

**AZ ELMÉLET ÉS A GYAKORLAT TALÁLKOZÁSA  
A TÉRINFORMATIKÁBAN  
XVII.**

**THEORY MEETS PRACTICE IN GIS**



Szerkesztette:  
Dr. Abriha-Molnár Vanda Éva

Lektorálta:  
Dr. Négyesi Gábor

ISBN 978-963-490-795-4

A kötet a 2026. május 21–22. között Debrecenben megrendezett  
Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás előadásait tartalmazza.  
A közlemények tartalmáért a szerzők a felelősek.

*A konferenciát szervezte:*

A Debreceni Egyetem Földtudományi Intézete, az MTA Természetföldrajzi  
Tudományos Bizottság Geoinformatika Albizottsága, az MTA DTB  
Földtudományi Szakbizottsága és az eKÖZIG ZRT.

Felelős kiadó:  
Prof. Dr. Kun Ferenc, dékán,  
Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar

## Tartalomjegyzék

### Előadások

Ábri Tamás – Csajbók József – Szabó Gergely – Szabó Loránd: Akác genotípusok spektrális tulajdonságainak értékelése vegetációs indexek alapján	5
Ács Norbert – Heil Bálint – Szász Botond – Folcz Ádám – Preisinger Márk – Sándor Gyula – Czimber Kornél: Kétszintű erdőkár felmérés műholdas és UAV adatok integrálásával	11
Amani Sanga – Japheth Ominde – Meriem Khelali – Varga Zsófia: Urbanization Hotspots in Dodoma Urban: A Comparative Landscape Metrics and Spatial Autocorrelation Analysis	17
Dániel Balla – Levente Tari – Emőke Kiss – Liza Czibulka – Marianna Zichar – Tamás Mester: 3D geovisualization of the DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in a Hungarian settlement	25
Balogh Árpád – Juhász Attila: Régészeti célú pontfelhő osztályozás zajos tanítóadatokon alapuló gyengén felügyelt tanulással	33
Czomba Péter – Vass Róbert – Túri Zoltán Krisztián: Történeti térképek és UAV-alapú digitális domborzatmodellek integrált alkalmazása mederzátanyok morfológiai vizsgálatában	41
László Csordás: Development of holiday home construction in Hungary and in the Great Hungarian Plain (1980-2019)	47
Demeter Gábor – Gyula Gergő – Németh Gábor – Somogyi Dániel: Szeriális források és GIS: új megközelítések a történet-tudományban az Engel-térképtől az oszmán összeírásokon át a GIS-ta Hungarorum projektig	57
Dobos Anna – Bujtor László Dániel: Az Alsó-Tarna-völgyben lezajlott negyedidőszaki éghajlatváltozások talajtani és üledéktani bizonyítékainak térinformatikai rendszerezése	69
Farkas-Németh Zoltán – Török Zsolt Győző: A városi forgalom dinamikája és időjárási érzékenysége: FCD-adatok térbeli és időbeli elemzése budapesti csomópontokban	77
Gereben Miklós: A felszínborítás változásainak raszter alapú elemzése a Szamos folyó hullámterében az 1965 – 2024 közötti időszakban	83
Gyenizse Péter – Halmai Ákos – Balogh Richárd – Pirkhoffer Ervin: Assessment of urban residential areas using GIS	91
Amjad Hamdan – Issa Loghmanieh – László Bertalan: Metric Accuracy of Pix4Dcatch with Pix4DCloud Processing on iPhone 15 Pro Max	101
Japheth Ominde – Amani Sanga – Khelali Meriem – Lewis Mjomba Ndungu – Varga Zsófia: From Pixels to Urban Form: Detecting Infill, Edge-Extension, and Leapfrog Growth Using GHSL and Open-Source GIS Across Urban Hierarchies	103
Kanyó Szilárd – Túri Zoltán: A talaj menti csapadékmérő állomások mérési anomáliáinak automatizált detektálása meteorológiai radaradatok bevonásával	113

Kerekes Konrád Péter: Marsi felvételek szemantikus szegmentációja saját U-Net modell segítségével	121
Khelali Meriem – Bouhata Rabah – Bensekhria Aida – Ahmed Djaber Djabri – Amani Sanga – Japheth Ominde – András Jung: Wildfire Vulnerability Assessment and Mapping Using Remote Sensing, GIS in the Eastern Aures in Algeria	125
Kovács Gábor – Czomba Péter – Móré Ádám: Tengeri teknősök fészkeinek elosztási mintázatának vizsgálata Észak-Ciprus partvonalán fejlesztés alatt álló mérőbot tesztadatai alapján	133
Krausz Nikol: A történelmi épületek digitalizációjának szükségessége: a HBIM és a digitális iker szerepe	139
Issa Loghmanieh – Amjad Hamdan – Géza Bujdosó – László Bertalan: A high-resolution multi-sensor UAS framework for individual tree delineation, structural analysis, and health monitoring in walnut orchards	147
Misányi Júlia: Belső minőségellenőrzés a KARESZ adatbázisában	149
Nagy Richárd – Szurofka Laura: Térinformatikai alapú szántóföldi stabilitás- és kockázatelemzés	155
Paprika Angelika Bora – Pődör Andrea: Térinformatikai modellalkotás városi mintaterületek fenntarthatósági szempontú elemzéséhez	159
Pólik Mihály Bekény – Dobos Anna: Geomorfológiai veszélyek feltárása Eger belvárosában, térinformatikai elemzések egy egri mintaterület alapján	167
Szurofka Laura – Nagy Richárd: A mezőgazdasági gyakorlatok fenntarthatóságának értékelése távérzékelési eszközökkel, az aszályreziliencia és a klímaváltozás hatásainak elemzése	175
Utasi Zoltán: 4D kataszterek lehetőségei Magyarországon	181
Bertalanné Balázs Boglárka – Farkas Jenő Zsolt – Abriha Dávid – Csomós György: Oktatási intézmények zöldfelületi és mikroklimatikus adottságainak térképezése Debrecen példáján: Módszerek és kihívások	189
Gubucz Gábor Mátyás – Barta Károly – Kovács Ferenc: Földrészlet alapú talajnedvesség-változás vizsgálat automatizált OPTRAM modell és terepi mérések alapján	197
Kovács Lilla – Négyesi Gábor – Kovács Panni – Abriha Dávid: Erdőterületek fafaj alapú képosztályozása PRISMA hiperspektrális műholdfelvétel, valamint Google Satellite Embedding adatok felhasználásával	207
Zoltán Turi – József Barnabás Tóth – Balázs Gáti: Investigation of the phenology of winter triticale using remote sensing data	211
Vízhányó József: Esri ArcGIS Platform: döntéstámogató térinformatikai megoldások	217
Lewis Mjomba Ndungu – László Zentai: Evaluating Spectral, Terrain, and Textural Predictors in LULC Mapping Using SHAP and Tree-Based Classifiers	219
<b>Mellékletek</b>	227
<b>Szponzorok és kiállítók</b>	229

# Akác genotípusok spektrális tulajdonságainak értékelése vegetációs indexek alapján

Ábri Tamás<sup>1</sup> – Csajbók József<sup>2</sup> – Szabó Gergely<sup>3</sup> – Szabó Loránd<sup>4</sup>

<sup>1</sup> tudományos munkatárs, Ph.D., Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ültetvénytudományi és Fatermesztési Osztály, abri.tamas@uni-sopron.hu

<sup>2</sup> egyetemi tanár, Ds.C., Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Növénytermesztési, Nemesítési és Növénytechnológiai Intézet, csj@agr.unideb.hu

<sup>3</sup> egyetemi docens, Ph.D., Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, szabo.gergely@science.unideb.hu

<sup>4</sup> egyetemi adjunktus, Ph.D., Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, szabo.lorand@science.unideb.hu

**Absztrakt:** A távérzékelési technológiák, különösen az UAV-alapú multispektrális felmérések új lehetőségeket kínálnak a faültetvények vizsgálatában. Jelen kutatás célja négy akácklón (NK1, NK2, PL040, PL251) és az Üllői akác (kontroll) spektrális tulajdonságainak értékelése volt vegetációs indexek alapján. A felmérést 2024 augusztusában végeztük egy napkori kísérleti faültetvényen, az adatok statisztikai kiértékelésére pedig faktor- és kanonikus diszkriminancia analízist alkalmaztunk. Az eredmények alapján a PL040 klón mutatta a legjobb vegetációs állapotot, míg a kontroll Üllői akác értékei voltak a legalacsonyabbak. A vizsgálat rávilágított, hogy a red-edge alapú klorofill indexek (LCI,  $CI_{red-edge}$ , NDRE,  $CI_{green}$ ) a legfontosabbak az akácklónok elkülönítésében. A diszkriminancia analízis a vizsgált egyedek 71,3%-át sorolta be helyesen; az Üllői akác és a PL040 klón jól elkülönült a többtől, míg az NK1 és NK2 klónok esetében a spektrális profilok részleges átfedése volt tapasztalható. Az eredmények igazolják, hogy a red-edge tartományra érzékeny indexek hatékonyan támogatják a genotípusok gyors elkülönítését, ezáltal segítve az azonosítást az akác-nemesítési programokban.

## Bevezetés

A távérzékelés alapú erdőmonitoring jelentős fejlődésen ment át az utóbbi években. Az UAV technológiának köszönhetően a faállományok fizikai paramétereit egyre pontosabban meg lehet határozni különböző szenzorokkal (ECKE ET AL. 2022). A multispektrális szenzorokból kinyerhető különböző spektrális indexek átfogó képet adnak a növényzet egészségi és fejlettségi állapotáról, segítségükkel különböző genotípusok elkülönítésére, összehasonlítására is lehetőség nyílik (DASH ET AL. 2018). Klasszikus vegetációs indexek, mint az NDVI, GNDVI, SAVI, EVI jó visszajelzést adnak a vegetációról, a biomassza sűrűségéről, egészségi állapotáról (BHOSLE – DESHMUKH 2025). A red-edge tartományon alapuló vegetációs indexek, mint az NDRE,  $CI_{red-edge}$ , LCI,  $NDVI_{red-edge}$  kimagasló klorofill-érzékenységgel bírnak, így kiválóan alkalmazhatók sűrű lombzat esetén, mivel kevésbé telítődnek az értékek, mint például egy NDVI esetében (BOIARSKII – HASEGAWA 2019). További vegetációs indexek, mint a  $CI_{green}$  a zöld hullámhosszra fókuszálnak, ami korai fejlődési fázisban jó elkülöníthetőséget biztosít, a DVI és CCCI gyors kiszámíthatósága mellett a

struktúrára, klorofilltartalomra fókuszálnak, a DVI ezek közül kiemelkedik lineáris biomassza-kapcsolatával (KURBANOV ET AL. 2023).

Jelen kutatásban a fent említett spektrális indexek segítségével végeztünk multispektrális UAV felmérést egy kísérleti akác ültetvényen, ahol arra kerestük a választ, hogy 1) a vizsgált akácklónok és a kontroll fajta közül melyik mutatja a legkedvezőbb vegetációs állapotot, valamint 2) a spektrális indexek közötti összefüggések feltárásával mely mutatók (kiemelten a red-edge tartomány) a legalkalmasabbak a különböző genotípusok statisztikai elkülönítésére.

## **Anyag és módszer**

### ***A kísérleti ültetvény és a környezeti jellemzők bemutatása***

A Napkor település mellett 2020-ban létesített akácklón-összehasonlító kísérleti ültetvényt folyamatosan vizsgáljuk. Az enyhén savanyú, kis humusztartalmú humuszos homok talajú termőhelyen négy akácklont (NK1, NK2, PL040 és PL251) és egy államilag elismert fajtát (Üllői akác) tesztelünk (ÁBRI ET AL. 2025, 2026).

Az elmúlt 20 év meteorológiai adatait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a 2024-es évben rekord 12,9 °C-os átlaghőmérséklet volt tapasztalható, ami 1,7 °C-os emelkedés a sokéves átlaghoz viszonyítva. Az összes lehulló csapadék 506 mm volt 2024-ben, kevesebb, mint a 20 éves átlag (550 mm), az éven belüli csapadékeloszlás is egyenlőtlen volt, júliusban és augusztusban nagymértékű aszály volt tapasztalható (ÁBRI ET AL. 2026).

### ***UAV felmérés, a multispektrális adatok feldolgozása***

A multispektrális felmérést egy DJI M200 típusú drónnal, MicaSense RedEdge-Mx RED szenzorral végeztük 2024. augusztus 16-án. A 2,5 m x 2,5 m ültetési hálózatból véletlenszerűen kiválasztottunk 30 faegyedet klónonként, összesen 150 fát. A faegyedek körül generált 80 centiméter sugarú pufferezónán belül számítottuk ki a vegetációs indexeket.

### ***Statisztikai analízis***

Az adatok statisztikai kiértékelése során leíró statisztikákat, a nagyszámú változót tartalmazó adatstruktúra egyszerűsítésére faktoranalízist alkalmaztunk. Annak tesztelésére, hogy a mért paraméterek alapján milyen hatékonysággal különíthetők el az egyes klónok, kanonikus diszkriminancia analízist használtunk az adatok sztenderdizálása után. Az alkalmazott szoftvercsomag az IBM SPSS (ver. 26.0) volt.

## **Eredmények**

Az eredmények alapján a PL040 klón mutatta a legjobb vegetációs állapotot (NDVI = 0,93; NDRE = 0,57; CI<sub>green</sub> = 8,73), míg a kontroll Üllői akác átlagos VI

értékei voltak a legalacsonyabbak (NDVI = 0,91; NDRE = 0,52;  $CI_{\text{green}} = 7,55$ ). A PL251 és NK1 nagyon hasonló VI átlagokat mutat (NDVI = 0,92; NDRE = 0,56 mindkettőnél). Az NK2 gyengébb teljesítményű (NDVI = 0,91;  $CI_{\text{green}} = 7,73$ ;  $CI_{\text{red-edge}} = 2,38$ ) a többi klónhoz képest. A klónok EVI értékei (0,74–0,75) meghaladták a kontroll vonatkozó értékét (0,73), ami jobb fotoszintetikus aktivitásra utalhat. A szórások minden indexnél alacsonyak (pl. NDVI szórás =  $\pm 0,01$ ), ami homogén állományokat jelez. Összességében a vizsgált akácklónok – különösen a PL040 – vegetációs indexei felülmúlják a kontroll Üllői akác vonatkozó értékeit.

A vegetációs indexek közötti kapcsolat feltárására sztenderdizált adatokon faktoranalízist végeztünk. A komponensmátrix alapján három fő komponens különíthető el, amelyek eltérő spektrális tulajdonságokat reprezentálnak (1. táblázat).

Az első komponenshez magas faktorsúllyal kapcsolódnak a klorofill-érzékeny vegetációs indexek, különösen az LCI (0,978), a  $CI_{\text{red-edge}}$  (0,964), az NDRE (0,959) és a  $CI_{\text{green}}$  (0,949). Szintén magas értéket mutatott a GNDVI (0,940), a CCCI (0,910), valamint az NDVI és SAVI (0,889). Ez arra utal, hogy az első komponens elsősorban a növényzet klorofilltartalmával és általános vegetációs aktivitásával kapcsolatos spektrális információkat reprezentálja.

A második komponenshez elsősorban az EVI (0,952) és a DVI (0,881) kapcsolódik magas faktorsúllyal, ami alapján ez a komponens inkább a faállomány szerkezeti jellemzőit, illetve a lombzat és biomassza különbségeit írja le.

A harmadik komponens legnagyobb abszolút értékű faktorsúlya az  $NDVI_{\text{red-edge}}$  (–0,712) indexhez kapcsolódik, amely a red-edge tartományban mért spektrális különbségekre érzékeny.

1. táblázat Főkomponens analízis eredménye

	Komponens		
	1	2	3
NDVI	<b>0.889</b>	0.140	-0.399
GNDVI	<b>0.940</b>	-0.100	0.154
NDRE	<b>0.959</b>	-0.167	0.168
$CI_{\text{green}}$	<b>0.949</b>	-0.115	0.159
$CI_{\text{red-edge}}$	<b>0.964</b>	-0.182	0.156
$NDVI_{\text{red-edge}}$	<b>0.553</b>	0.368	<b>-0.712</b>
DVI	0.322	<b>0.881</b>	0.341
LCI	<b>0.978</b>	-0.114	0.073
SAVI	<b>0.889</b>	0.140	-0.399
EVI	0.151	<b>0.952</b>	0.260
CCCI	<b>0.910</b>	-0.250	0.304

\*sztenderdizált vegetációs index értékek

A faktoranalízis alapján tehát a klónok elkülönítésében a red-edge alapú klorofill indexek a legfontosabbak, míg a klasszikus VI-k, mint az NDVI és SAVI, nagyrészt redundáns információt hordoznak.

Ezt követően diszkriminancia analízist végeztünk az összes vizsgált index alapján a klónok csoportos elkülönítésére. Az eredmények szerint a klónok 71,3%-a került helyesen besorolásra a tényleges csoportokba

A diszkriminancia analízis eredményeit alaposan megvizsgálva megállapítható, hogy a PL251 akácklón esetében a helyes besorolások aránya 70%, ami azt jelzi, hogy nagyrészt elkülönül a többi vizsgált akácklontól és a kontroll Üllői akáctól. A hibás besorolások főként a PL040 és NK2 klónok felé történtek, ami azt mutatja, hogy bizonyos spektrális jellemzők esetében részben átfedés mutatkozik. Az NK1 jelzésű akácklón a legnehezebben elkülöníthető, hiszen csak 60%-ban került helyesen besorolásra, és jelentős mértékben keveredett a PL251 és PL040 klónokkal, kisebb arányban pedig az NK2-essel. Ez arra utal, hogy az NK1 klón spektrális profilja részben hasonlít a többi klónéhoz, így az elkülönülés itt mérsékeltebb.

A PL040 esetében a helyes besorolások aránya 73,3%, így ez az akácklón viszonylag jól elkülönül. A hibás besorolások főként az NK1 felé történtek, de összességében a PL040 elkülönül a többi vizsgált akácklontól. Az NK2 66,7%-ban került helyesen besorolásra, és a hibás besorolások elsősorban a PL251 és NK1 klónokhoz irányultak, kisebb mértékben a PL040 és a kontroll Üllői akácfajta felé. Ez azt mutatja, hogy az NK2 klón elkülönülése közepes, a genotípusos profil részben átfed a többi klónnal.

A kontroll Üllői akác a legnagyobb arányban, 86,7%-ban került helyesen besorolásra, ami jól mutatja, hogy ez a többi akácklontól a leginkább elkülönülő genotípus. A hibás besorolások elenyészőek, és főként a PL251, NK1 és NK2 felé irányultak, ami minimális átfedést jelez a spektrális jellemzőkben (2. táblázat).

Összességében a diszkriminancia-analízis azt mutatja, hogy a kontroll Üllői akác és a PL040 akácklón azok a genotípusok, melyek a leginkább elkülönülnek a többitől, míg az NK1 és NK2 klónok esetében a spektrális profilok részleges átfedése miatt az elkülönülés mérsékeltebb.

A diszkriminancia analízis eredményei megerősítik a faktoranalízis megállapításait: a klónok elkülönítésében a red-edge alapú klorofill érzékeny vegetációs indexek (LCI,  $CI_{red-edge}$ , NDRE,  $CI_{green}$ ) rendelkeznek a legnagyobb diszkriminációs képességgel. Ezek a VI-k a levél klorofilltartalmára és a fotoszintetikus aktivitásra érzékenyek, így jól tükrözik az akácklónok közötti fiziológiai különbségeket. A diszkriminancia analízis 71,3%-os helyes besorolási aránya arra utal, hogy bár a VI-k jelentős mértékben képesek elkülöníteni a klónokat, a spektrális profilok átfedése miatt néhány klón, különösen NK1 és NK2, nem teljesen elkülöníthető. A kontroll üllői akác és a PL040 akácklón elkülönítése azonban jól sikerült, ami a genetikai és morfológiai különbségeket tükrözi.

2. táblázat Osztályozás eredménye

Klón		Becsült csoportbesorolás						
		PL251	NK1	PL040	NK2	Üllői	Összes	
Tényleges csoportbesorolás	Esetszám	PL251	21	0	4	5	0	30
		NK1	3	18	7	2	0	30
		PL040	0	7	22	1	0	30
		NK2	4	4	1	20	1	30
		Üllői	2	1	0	1	26	30
	%	PL251	<b>70,0</b>	<b>0,0</b>	13,3	16,7	<b>0,0</b>	100
		NK1	10,0	<b>60,0</b>	23,3	6,7	<b>0,0</b>	100
		PL040	<b>0,0</b>	23,3	<b>73,3</b>	3,3	<b>0,0</b>	100
		NK2	13,3	13,3	3,3	<b>66,7</b>	3,3	100
		Üllői	6,7	3,3	<b>0,0</b>	3,3	<b>86,7</b>	100

Megjegyzés: Az eredeti csoportba sorolt egyedek 71,3 %-át a modell helyesen osztályozta

## Konklúzió

Az eredmények gyakorlati jelentőséggel bírnak az akácnevelés számára. A red-edge spektrális tartományra érzékeny VI-k lehetővé teszik a genotípusok gyors elkülönítését. Különösen a PL040 és az Üllői akác esetében figyelhető meg, hogy a spektrális profilok jól megkülönböztethetők, ami segítséget nyújt az azonosításhoz és a szelektív kiválasztáshoz a nevelési programok során.

Ugyanakkor az NK1 és NK2 esetében a részleges átfedés azt jelzi, hogy a pontos elkülönítéshez célszerű további adatokat bevonni, például multitemporális felvételeket vagy morfológiai jellemzőket, amelyek növelik a megbízhatóságot.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFI Hivatal) támogatta az NKFI ADVANCED 152950 számú pályázat keretében.

## Szakirodalom

- ÁBRI, T. – SZABÓ, L. – SZABÓ, G. (2025): Akácklónok drónos távérzékeléses módszerrel történő vizsgálatának előzetes eredményei. Erdészettudományi Közlemények. 15(1–2): 55–67. <https://doi.org/10.17164/EK.2025.04>
- ÁBRI, T. – CSAJBÓK, J. – KESERŰ, Z. – SZABÓ, G. – SZABÓ, L. (2026): Growth and Multispectral Analysis of New Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Clones. Forests. 17(2): 208. <https://doi.org/10.3390/f17020208>
- BHOSLE, S. S. – DESHMUKH, P. D. (2025): Evaluating NDVI, GNDVI, EVI, and SAVI for Accurate Crop Classification: A Case Study in Mahalaxmi Kheda Village. IJSAT-

International Journal on Science and Technology, 16(4). <https://doi.org/10.71097/IJSAT.v16.i4.9800>

- BOIARSKII, B. – HASEGAWA, H. (2019): Comparison of NDVI and NDRE indices to detect differences in vegetation and chlorophyll content. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 4, 20–29. <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.4/2019.11.00003>
- DASH, J. P. – PEARSE, G. D. – WATT, M. S. (2018): UAV multispectral imagery can complement satellite data for monitoring forest health. *Remote Sensing*, 10(8): 1216. <https://doi.org/10.3390/rs10081216>
- ECKE, S. – DEMPEWOLF, J. – FREY, J. – SCHWALLER, A. – ENDRES, E. – KLEMMT, H.-J. – TIEDE, D. – SEIFERT, T. (2022): UAV-Based Forest Health Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 14(13): 3205. <https://doi.org/10.3390/rs14133205>
- KURBANOV, R. – PANARINA, V. – POLUKHIN, A. – LOBACHEVSKY, Y. – ZAKHAROVA, N. – LITVINOV, M. – REBOUH, N. Y. – KUCHER, D. E. – GUREEVA, E. – GOLOVINA, E. – YATCHUK, P. – RASULOVA, V. – ALI, A. M. (2023): Evaluation of Field Germination of Soybean Breeding Crops Using Multispectral Data from UAV. *Agronomy*, 13(5): 1348. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051348>

# Kétszintű erdőkár felmérés műholdas és UAV adatok integrálásával

Ács Norbert<sup>1</sup> – Heil Bálint<sup>2</sup> – Szász Botond<sup>3</sup> – Folcz Ádám<sup>4</sup> –  
Preisinger Márk<sup>5</sup> – Sándor Gyula<sup>6</sup> – Czímber Kornél<sup>7</sup>

<sup>1</sup> PhD hallgató, Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet;  
geoinformatikus, webfejlesztő, TopoLynx Kft., acs.norbert@topolynx.hu

<sup>2</sup> egyetemi tanár, Soproni Egyetem, Környezet- és Természetvédelmi Intézet

<sup>3</sup> intézeti mérnök, Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

<sup>4</sup> termelési és kereskedelmi igazgató, Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

<sup>5</sup> erdőgondnok, Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

<sup>6</sup> vezérigazgató, Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt.

<sup>7</sup> egyetemi tanár, Soproni Egyetem, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet ügyvezető igazgató,  
TopoLynx Kft., czimber.kornel@topolynx.hu

**Absztrakt:** Tanulmányunk egy kétszintű erdőkár felmérési módszert mutat be, amely műholdas és UAV alapú adatok integrációján alapul a Soproni-hegységben. Az első fázisban Sentinel-2 felvételek NDVI idősorain végzett kettős differencia elemzéssel azonosítottuk a károsodott foltokat. A második fázisban UAV felmérésből előállított multispektrális ortofotó és lombkorona magasságmodell alapján egyesfa szintű szegmentálást és objektumalapú NDVI elemzést végeztünk. Az eredmények szerint a műholdas módszer megbízhatóan jelezte a károsodott területeket, míg az UAV alapú feldolgozás pontosította azok kiterjedését és lehetővé tette a károsodott egyedek azonosítását. A módszer hatékony eszközt kínál az erdőkárok több léptékű monitorozására.

## Bevezetés

A klímaváltozás következtében a közép-európai erdők egyre fokozódó környezeti stressznek vannak kitéve. Az aszályok, hóhullámok, erdőtüzek, valamint az inváziós fajok terjedése növelik az erdőkárok gyakoriságát és mértékét, ami az erdők vitalitásának és biodiverzitásának csökkenéséhez vezet. Ez indokolttá teszi a gyors és megbízható monitoring módszerek alkalmazását.

A műholdas távérzékelés a nagy területi lefedettség és rendszeres adatgyűjtés révén kulcsfontosságú eszköz az erdők állapotának nyomon követésében. A Sentinel-2 adatok és az NDVI alapú időszorelemzés széles körben alkalmazott módszerek, amelyek lehetővé teszik a hirtelen és fokozatos változások detektálását (LAŠTOVIČKA ET AL. 2020; HUETE ET AL. 2012; MODZELEWSKA ET AL. 2017). Magyarországon a TEMRE rendszer országos szinten alkalmazott műholdas NDVI alapú erdőmonitoringot (SOMOGYI ET AL. 2018; INTERNET 1).

Az UAV alapú fotogrammetria nagy térbeli felbontású adatokat biztosít, amelyek alkalmasak egyedi lombkoronák lehatárolására és erdészeti paraméterek becslésére (SZÁSZ ET AL. 2025; PANAGIOTIDIS ET AL. 2016). A lombkorona szegmentálás kulcsfontosságú lépés az egyes faegyedek szintjén végzett

elemzésekhez, míg a multispektrális adatok lehetővé teszik a növényi stressz korai kimutatását (DASH ET AL. 2017). A különböző távérzékelési módszerek integrációja ugyanakkor még korlátozott, annak ellenére, hogy jelentős potenciállal bír (ECKE ET AL. 2022). A közelmúlt hazai kutatásai is rámutattak a többforrású távérzékelési adatok jelentőségére az erdőállományok szerkezetének vizsgálatában (CZIMBER ET AL. 2025; SZÁSZ ET AL. 2024).

## Anyag és módszer

A vizsgálatok során két erdőrészletet választottunk ki a Soproni-hegység területén. A Sopron 199/A erdőrészlet egy luc (*Picea abies*), bükk (*Fagus sylvatica*) elegyes állomány. Az elmúlt években jelentős károsodást szenvedett, amelyet elsősorban az aszályos időszakok és a másodlagos kártevők, különösen a szűbogarok okoztak. A Sopron 113/G erdőrészlet egy erdei fenyő (*Pinus sylvestris*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) állomány. A területen 2025 tavaszán avartűz pusztított.

Az első fázis, a műholdas elemzés célja a károsodott erdőfoltok korai azonosítása Sentinel-2 felvételek felhasználásával. A feldolgozás során az L2A feldolgozási szintű adatokat alkalmaztuk, amelyeken saját fejlesztésű felhő- és árnyékmáskot használtunk. Az NDVI értékeket minden felvételre kiszámítottuk, majd havi időablakban az adott pixel legmagasabb NDVI értékét választottuk ki, így NDVI maximum kompozitot állítottunk elő. A változások vizsgálatához az aktuális hónapot az előző év azonos időszakával hasonlítottuk össze. Az NDVI-alapú változás detektálás során nem egyszerű különbséget alkalmaztunk, hanem a kettős differencia (DD) módszerét, amely a pixel környezetéhez viszonyított eltéréseket is figyelembe veszi. A kettős differenciát az alábbi módon számítottuk:

$DD = (NDVI_{act} - NDVI_{actPerc}) - (NDVI_{last} - NDVI_{lastPerc})$ , ahol  $NDVI_{act}$  és  $NDVI_{last}$  az aktuális és referencia időszak NDVI értékei, míg az  $NDVI_{actPerc}$  és  $NDVI_{lastPerc}$  a pixel környezetében számított percentilisek.

A módszer előnye, hogy csökkenti a klimatikus különbségek és a fenológiai eltolódások hatását, így alkalmas az egymást követő aszályos és csapadékos időszakok összehasonlítására. Emellett lehetővé teszi a károsodott területek azonosítását nemcsak időbeli változásuk, hanem a környező állományokhoz viszonyított eltérésük alapján is (CZIMBER ET AL. 2023).

A műholdas feldolgozás több lépésből áll, jelentős számítást is igényel, az eredményeket pedig webes környezetben célszerű publikálni. Ezért erre a célra egy külön szoftvercsomagot dolgoztunk ki, mely három részből épül fel. Az első egy időszakonként automatikusan elinduló képletöltő Python modul, a második egy C++ nyelven írt képfeldolgozó szoftver, amely az eredmény képeket fel is csempézi. A harmadik komponens pedig egy webes megjelenítő alkalmazás, amelyet az operatív feladatokat végző erdészek napi szinten tudnak használni. Az alkalmazás neve EVELIN, amelyet a magyar erdőkár monitoring szavakból képeztünk (ÁCS ET AL. 2026).

Az UAV felmérést egy DJI Mavic 3M drónnal végeztük július elején, 100 m repülési magassággal, 70% hosszirányú és 60% oldalirányú átfedéssel, terep-követéssel. Az RGB felvételekből SfM eljárással pontfelhőt állítottunk elő (DJI Terra), amelyet a talajpontok hiánya miatt ALS pontfelhő (Envirosense Kft.) talajpontjaival egészítettünk ki. A két pontfelhőt a CloudCompare szoftverrel egyesítettük. A pontfelhőkből digitális felszínmodell (DSM) és terepmodell (DTM) készítettünk, a kettő különbségéből pedig előállítottuk a lombkorona magasságmodell (CHM).

A lombkoronák elkülönítésére több módszert teszteltünk (inverz vízgyűjtő, voxel alapú és kevert algoritmusok), amelyek közül a TreeDetect kevert eljárása adta a legjobb eredményt. A további elemzésekhez ezt alkalmaztuk, a két területen eltérő paraméterezéssel.

A multispektrális ortofotóból NDVI térképet számítottunk, és árnyék maszkolást végeztünk (Brightness < 0,2), valamint kizártuk a lombkorona alatti vegetációt is (CHM > 1 m). A lombkorona szegmenseken objektumalapú NDVI statisztikát számítottunk és a károsodott egyedeket az NDVI átlag és szórás különbségéből meghatározott küszöbérték alapján azonosítottuk.

A Sopron 199/A területen felügyelt objektumalapú osztályozást is végeztünk (Random Forest, SVM), az RGB és MS sávok, valamint különböző spektrális indexek (NDVI, NDRE, GNDVI) felhasználásával, a modellek teljesítményének összehasonlításával.

## **Eredmények**

A lombkorona szegmentálási módszerek összehasonlítását a Sopron 199/A erdőrészleten végeztük el. Az erdőrészlet leírólap szerint 1674 db fa található a területen. Az inverz vízgyűjtő eljárás jelentősen túlbecsült (2166 db), a voxel alapú módszer szintén (2025 db). A TreeDetect kevert algoritmus 2,5 m-es paraméterezéssel adta a legjobb egyezést (1636 fa), ezért a további elemzésekhez ezt alkalmaztuk.

Az NDVI-alapú károsodásdetektálás küszöbértékének meghatározását a Sopron 199/A területen manuálisan, ortofotó alapján azonosított száradt faegyedek segítségével végeztük. A különböző küszöbértékek (átlag–szórás\*x) összehasonlítása alapján a detektált egyedek száma 210 és 135 között változott. A legjobb kompromisszumot az átlag–szórás\*1,0 küszöb adta, ahol 168 egyed került detektálásra, ebből 161 valódi találat, 7 téves detektálás és 1 kihagyott egyed mellett. Alacsonyabb küszöbértékek esetén nőtt a téves detektálások száma, míg magasabb értékeknél a kihagyások száma emelkedett. A Sopron 113/G esetén már ezt a határértéket alkalmaztuk.

A Sopron 199/A erdőrészletben a műholdas detektálás stabilitását is vizsgáltuk. Ennek során az elmúlt három év júliusi felvételei alapján gyakorisági térképet készítettünk (DD > 0 feltétellel). A magasabb gyakorisággal rendelkező pixelek

jól egybeestek az UAV-alapú elemzéssel azonosított károsodott faegyedek térbeli eloszlásával, ami megerősíti a módszer időbeli robusztusságát (ÁCS ET AL. 2026).

A Sopron 199/A erdőrészetben felügyelt objektumalapú képosztályozást is végeztünk, amely során fenyő, lombos és száradt kategóriákat különítettünk el. A különböző osztályozási modellek magas általános pontosságot mutattak (97,8–100%), ugyanakkor a károsodott területek arányának becslésében jelentős eltérések adódtak (7–12%). Az NDVI-alapú küszöbértékes megközelítés stabilabb és konzisztensebb eredményt adott. Az elegyarányok tekintetében a modellek jól közelítették az erdőrészet leírólapjában szereplő 65:35 fenyő–lombos arányt.

A műholdas NDVI kettős differencia alapú lehatárolás és az UAV-alapú detektálás összehasonlítása során mindkét erdőrészetben különböző küszöbértékek mellett vizsgáltuk a kihagyási és téves besorolási hibákat. A Sopron 199/A esetében a módszer jól követte a károsodás főbb mintázatait, míg a Sopron 113/G területen a lehatárolás jól egyezett az erdőtűz által érintett területtel (1. táblázat, 2. táblázat, 1. ábra, 2. ábra).

## Konkluzió

A bemutatott kétszintű módszer jól elkülöníti a változás detektálást és a tényleges károsodás felmérését. A Sentinel-2 alapú NDVI kettős differencia elsősorban az aktuális időszak változásait mutatja az előző évhez viszonyítva, míg az UAV felmérés a ténylegesen károsodott faegyedeket azonosítja, beleértve a korábban bekövetkezett károsodásokat is.

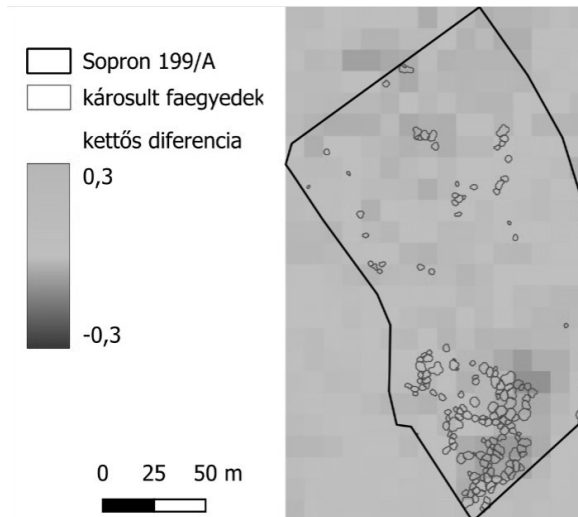
Ez különösen a Sopron 199/A esetében volt jelentős, ahol a többéves pusztulási folyamat miatt az UAV olyan egyedeket is kimutatott, amelyeket a kettős differencia csak korábbi időszakokban jelezhetett. Itt a módszer elsősorban a terepi

1. táblázat Detektált károsodott pixelek száma (199/A)

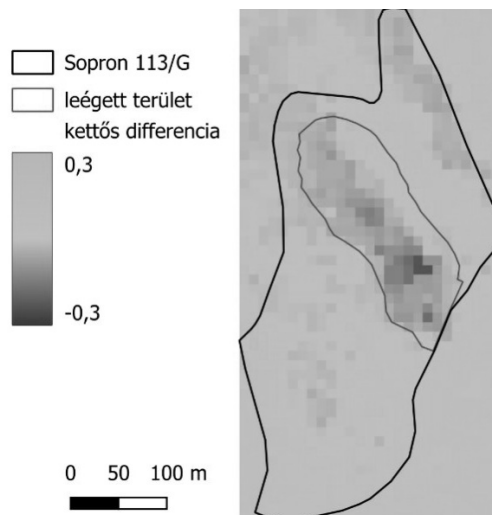
DD határérték	DD + UAV	csak DD	csak UAV
<0	58	130	22
<-0.01	44	86	36
<-0.02	32	38	48
<-0.03	25	15	55

2. táblázat Detektált károsodott pixelek száma (113/G)

DD határérték	DD + Felmérés	Csak felmérés	DD + UAV	Felmérés + UAV
<0	197	45	159	4
<-0,01	169	64	150	13
<-0,02	153	72	142	21
<-0,03	132	78	127	36



1. ábra Sopron 199/A erdőrészlet NDVI kettős differenciája és károsodott faegyedek



2. ábra Sopron 113/G erdőrészlet NDVI kettős differenciája és tűzzel érintett terület

kárbecslés kiváltását tette lehetővé. Ezzel szemben a Sopron 113/G területen egy akut káresemény esetén mind a műholdas, mind az UAV-alapú elemzés jól detektálta a károsodást, valamint további, a tűzzel nem összefüggő problémákat is azonosított.

A két megközelítés jól kiegészíti egymást: a műholdas feldolgozás automatizálható, költségghatékony és nagy időbeli felbontású monitoringot biztosít, míg az UAV felmérés pontos, egyedi fa szintű információval támogatja a kárbecslést. Együttes alkalmazásukkal a károsodások korai felismerése mellett a még egészséges állományok célzott védelme is lehetővé válik.

## Felhasznált irodalom

- ÁCS N. – CZIMBER K. – NAGY M. – FOLCZ Á. – SÁNDOR G. – KONCZOS T. – SZŰCS K. (2026): EVELIN: Országos és operatív műholdas erdőállapot megfigyelő rendszer fejlesztése, validálása és összekapcsolása szakmai rendszerrel. In: Czimber K. (szerk.): Erdészeti Tudományos Konferencia Kiadványa 2026 – I. kötet. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 4–10.
- ÁCS N. – HEIL B. – SZÁSZ B. – FOLCZ Á. – PREISINGER M. – SÁNDOR G. – CZIMBER K. (2026): Two-Phase Forest Damage Assessment with Sentinel-2 NDVI Double Differencing and UAV-Based Segmentation. *Remote Sensing*, 18(5), 803.
- CZIMBER K. – REKECKI D. – ÁCS N. (2023): Erdővédelmi műholdas monitoring rendszer fejlesztése. In: Abriha-Molnár V.E. (szerk.): Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában XIV. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 61–66.
- CZIMBER K. – SZÁSZ B. – ÁCS N. – HEILIG D. – ILLÉS G. – MÉSZÁROS D. – VEPERDI G. – HEIL B. – KOVÁCS G. (2025): Estimation of the Total Carbon Stock of Dudles Forest Based on Satellite Imagery, Airborne Laser Scanning, and Field Surveys. *Forests*, 16, 512.
- DASH J.P. – WATT M.S. – PEARSE G.D. – HEAPHY M. – DUNGEY H.S. (2017): Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, pp. 104–115.
- ECKE S. – DEMPEWOLF J. – SCHWALLER A. – ENDRES E. – KLEMMT H.-J. – TIEDE D. – SEIFERT T. (2022): UAV-Based Forest Health Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 14(13), 3205.
- HUETE A.R. (2012): Vegetation Indices, Remote Sensing and Forest Monitoring. *Geography Compass*, 6, e2379.
- LAŠTOVIČKA J. – ŠVEC P. – PALUBA D. – KOBLIUK N. – SVOBODA J. – HLADKÝ R. – STYCH P. (2020): Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sensing*, 12(12), 1914.
- MODZELEWSKA A. – STEREŃCZAK K. – MIERCZYK M. – MACIUK S. – BAŁAZY R. – ZAWILA-NIEDŹWIECKI T. (2017): Sensitivity of Vegetation Indices in Relation to Parameters of Norway Spruce Stands. *Folia Forestalia Polonica, Ser. A*, 59, pp. 85–98.
- PANAGIOTIDIS D. – ABDOLLAHNEJAD A. – SUROVÝ P. – CHITECULO V. (2017): Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), pp. 2392–2410.
- SOMOGYI Z. – KOLTAY A. – MOLNÁR T. – MÓRICZ N. (2018): Forest Health Monitoring System in Hungary Based on MODIS Products. Technical report, TEMRE, Debrecen. Elérhető: [http://www.temre.hu/temre/publikaciok/Somogyi\\_forest\\_health\\_monitoring\\_2018.pdf](http://www.temre.hu/temre/publikaciok/Somogyi_forest_health_monitoring_2018.pdf) (letöltve: 2026.04.08).
- SZÁSZ B. – HEIL B. – KOVÁCS G. – HEILIG D. – VEPERDI G. – MÉSZÁROS D. – ILLÉS G. – CZIMBER K. (2024): Investigation of the Relationship between Topographic and Forest Stand Characteristics Using Aerial Laser Scanning and Field Survey Data. *Forests*, 15, 1546.
- VACCA G. – VECCHI E. (2024): UAV Photogrammetric Surveys for Tree Height Estimation. *Drones*, 8(3), 106.
- INTERNET1 – TEMRE: Forest Health and Environmental Monitoring System, <http://www.temre.hu/>, Letöltés ideje: 2026. április 8.

# Urbanization Hotspots in Dodoma Urban: A Comparative Landscape Metrics and Spatial Autocorrelation Analysis

Amani Sanga<sup>1\*</sup> – Japheth Ominde<sup>1</sup> – Meriem Khelali<sup>1</sup> – Varga Zsófia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD-Student, Eötvös Loránd University, Institute of Cartography and Geoinformatics, Budapest, Hungary; H-1117 Budapest, Pázmány P. sny 1/C

<sup>2</sup>assistant professor, Eötvös Loránd University, Institute of Cartography and Geoinformatics, Budapest, Hungary; H-1117 Budapest, Pázmány P. sny 1/C

\*Correspondence: amanisanga12@gmail.com; Tel.: +36 205804099

**Abstract:** The research explores the effects of city designation on the spatial dynamics of urban growth using landscape metrics and Local Indicator of Spatial Association (LISA) analysis. The results show that the urban growth process shifted from relatively stable, consolidated patterns during the period from 2017 to 2020, which included the city designation process in 2018, to rapid, dispersed growth by 2025. The growth process is characterized by an increase in the number of patches, reflecting the level of fragmentation and indicating a shift toward heterogeneous or unregulated growth. The results from the LISA technique show that the hotspots for built-ups, especially along the infrastructure corridors, indicate the level of impact that infrastructure development, such as the ring road, Msalato International Airport, and Mtumba Government Town, has had on the growth process. This shows that infrastructure is playing an increasingly significant role in the growth process.

## Introduction

Dodoma Urban has emerged as one of the most rapidly urbanizing cities in Tanzania, largely driven by its elevation to city status in April 2018 (KISAMBA – LI 2023). This policy shift has accelerated urban growth, infrastructure development, and land use change, transforming what was once a modest urban center into a rapidly expanding city (SUMARI 2025). The city is facing intensifying land pressures, resulting in notable spatial expansion and an evolving urban form. Understanding these dynamics is essential for planning the city and avoiding the common challenges in many African cities, where urban growth outpaces formal city planning (SUMARI ET AL. 2025).

Rapid urbanization in Dodoma Urban has been characterized by the emergence of urban hotspots and dispersed settlement patterns, commonly associated with urban sprawl (KISAMBA – LI 2023). These patterns have significant implications for ecosystem sustainability, service provision, and urban resilience (PANDEY – GHOSH 2023). To enhance understanding of urban transformations, landscape metrics and spatial autocorrelation offer a robust analytical framework for examining the structure and distribution of urban growth. In particular, the Local Indicator of Spatial Autocorrelation (LISA) enables the identification of statistically significant clusters of urban land forms, providing deeper insights into the spatial heterogeneity of development processes (KOWE – SHOKO 2025).

This study examines urbanization hotspots in Dodoma Urban using a comparative approach that combines landscape metrics with LISA-based spatial analysis. By analyzing spatiotemporal changes in urban form, it seeks to uncover patterns of clustering, fragmentation, and expansion associated with rapid urban growth. The findings aim to support more sustainable and informed planning strategies in Dodoma urban and other rapidly urbanizing cities facing similar developmental trajectories.

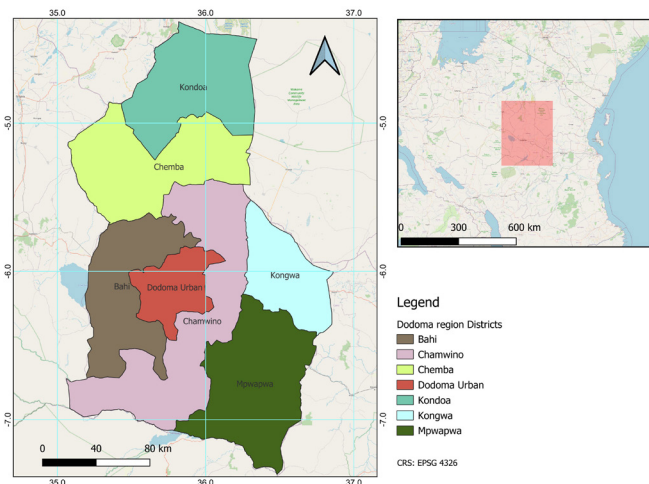
## Methods and Materials

### *Description of the study area*

This study was carried out in Dodoma Urban, a Semi-arid region receiving an average annual rainfall of 576 mm and an altitude-dependent mean temperature ranging from 17°C to 29°C (JOHN 2022). Bahi, Chamwino, Chemba, Kondoa, Kongwa, and Mpwapwa are the other six districts comprising the Dodoma region, including Dodoma Urban, as presented in *Figure 1*. The main land cover categories include bushland, built-up areas, bare land, water bodies, and vegetation cover. Numerous factors, including human pressure on land, have been observed to drive changes in land cover over time and across space. Reports indicate that Dodoma has been rapidly urbanizing since 2019, following its declaration as a city in 2018 by the president (CHARLES – FENG 2023).

### *Data acquisition*

This study employed Sentinel-2 Level-2A satellite imagery acquired from Copernicus data providers for September 2017, September 2020, and September 2025. The selection of September ensured temporal consistency in seasonal land cover conditions, thereby minimizing phenological variability across the study period.



*Figure 1. Dodoma urban map*

The Level-2A products are analysis-ready, having undergone atmospheric correction and geometric rectification by the data providers (FRANCESCONI ET AL. 2017). A total of 260 ground truth coordinates were utilized to support supervised image classification, derived from high-resolution Google Earth imagery. Additionally, ancillary data from OpenStreetMap were incorporated to refine land-use classification and improve thematic accuracy.

### ***Data processing and analysis***

#### *Satellite image classification*

A multispectral band composite was generated using QGIS by integrating the blue, green, red, near-infrared, and shortwave infrared bands for the years 2017, 2020, and 2025. This spectral configuration provides strong discriminatory capability for the detailed delineation of urban land cover classes in semi-arid environments. Supervised classification was conducted using the *Orfeo Toolbox*, where 70% (n = 182) of the ground truth coordinates were allocated for training a *Random Forest* classifier across all study years. The classification scheme comprised seven land cover classes: water bodies, swamps, moderately vegetated areas, densely vegetated areas, built-up zones, bare land, and bushland.

#### *Classification accuracy assessment*

To assess the thematic accuracy of the image classifications for 2017, 2020, and 2025, 30% of the ground-truth coordinates (n = 78) were used in *Orfeo Toolbox* to compute a confusion matrix using the *Compute Confusion Matrix* tool. The derived metrics included the user's accuracy, producer's accuracy, overall accuracy, and the kappa coefficient.

#### *Grid design*

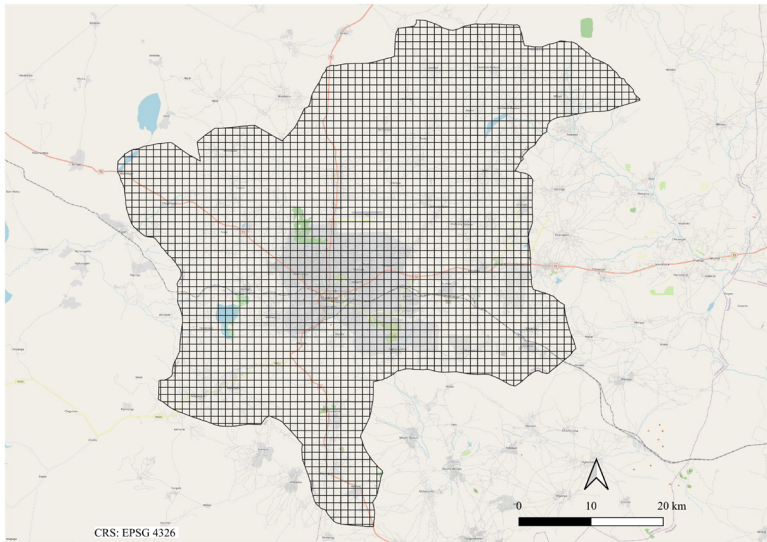
To enhance the analysis of built-up area hotspots, a 1 km × 1 km grid was generated using *QGIS* (Figure 2). This grid served as a spatial framework for extracting the number of patches from the classified satellite images for 2017, 2020, and 2025.

#### *Computation of the number of patches of the built-up areas*

The number of individual patches was computed from classified satellite images for 2017, 2020, and 2025 using the *LecoS* plugin in *QGIS*, with a 1 km × 1 km grid used as a vector overlay layer. The output consisted of a 1 km × 1 km grid vector layer containing the number of built-up area patches.

#### *Analysis of spatial autocorrelation*

The Local Indicators of Spatial Association (LISA) analysis was conducted in *QGIS* to examine the spatial distribution of built-up area clusters, including statistically significant hotspots and cold spots, for the years 2017, 2020, and 2025. A 1 km × 1 km grid layer containing patch counts was used as the input dataset. Statistical significance was assessed at the 95% confidence level to identify and map clusters of high and low built-up area concentrations.



*Figure 2. 1 km x 1 km analysis grid*

## **Results**

### ***Classified satellite images***

The image classification produced land cover maps for 2017, 2020, and 2025, each comprising seven distinct land cover classes (*Figure 3*). These included water bodies, swamps, moderately vegetated areas, densely vegetated areas, built-up areas, bare land, and bushland. The classification outputs provide a spatially explicit representation of land cover distribution across the study period, forming the basis for subsequent spatial and temporal analyses. This classification achieved a consistently higher classification accuracy, with the Kappa coefficients being 0.889 for 2017, 0.890 for 2020, and 0.889 for 2025.

The high accuracy level obtained for the classification, based on the metrics for all years (Kappa  $\approx$  0.89), proves the reliability of the obtained land cover maps for the analysis of urban dynamics.

### ***Number of patches***

The analysis of built-up area patches indicates a decrease in patch fragmentation between 2017 and 2020, as reflected by a reduction in the number of individual patches, suggesting a phase of relatively stable and consolidated urban growth (*Figure 4*). In contrast, the number of patches increased markedly in 2025, indicating renewed fragmentation and a rapid expansion of built-up areas over a short time period.

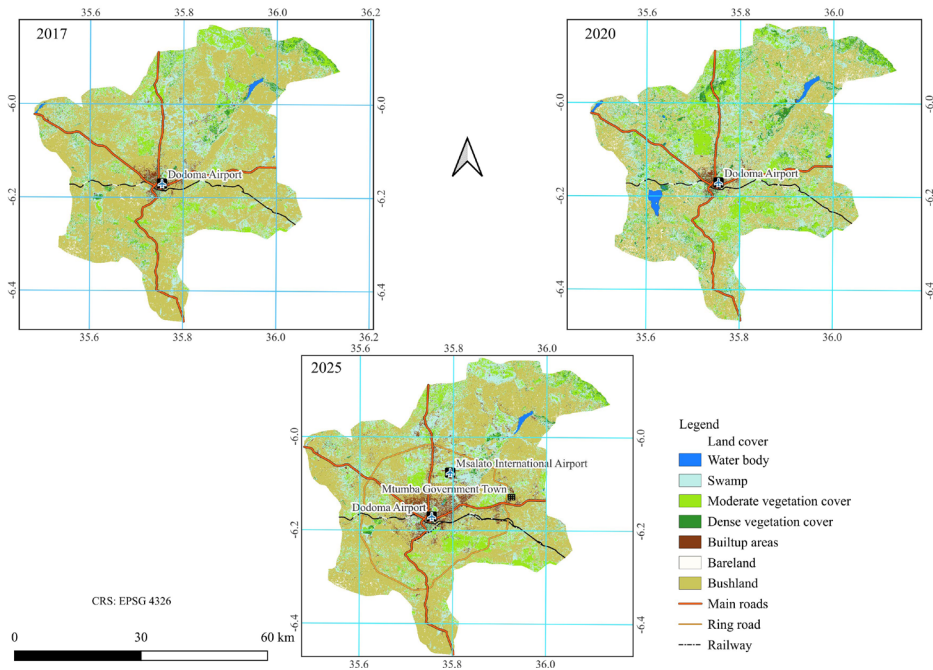


Figure 3. Land cover maps

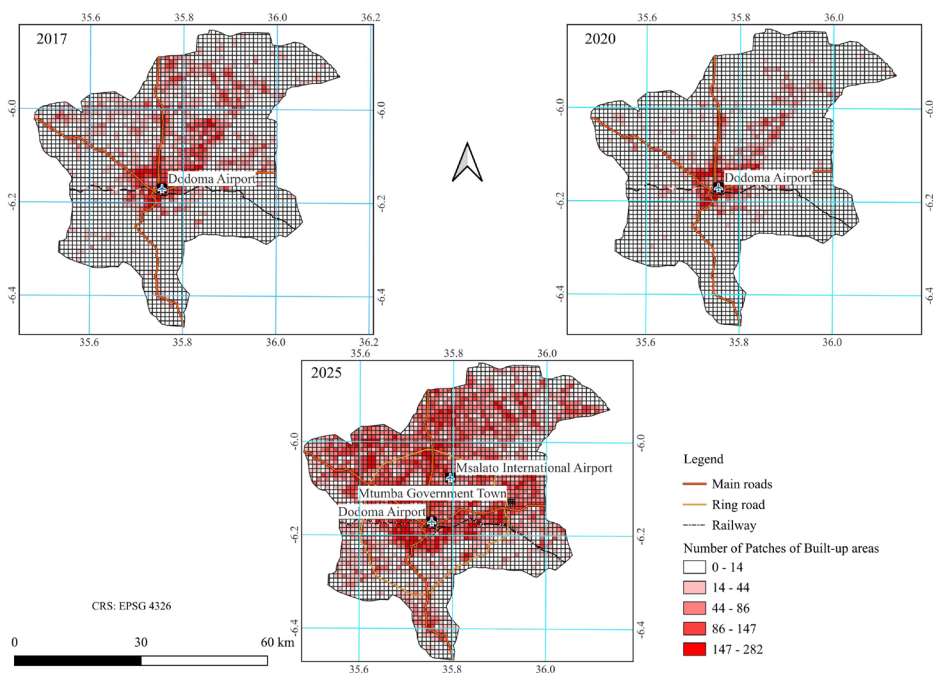


Figure 4. Number of Patches

## Hotspots and Cold Spots in Built-Up Areas

The Local Indicators of Spatial Association (LISA) analysis revealed limited statistically significant clustering of built-up areas between 2017 and 2020, indicating a relatively stable pattern of urban growth during this period (Figure 5). In contrast, the 2025 results show pronounced and statistically significant hotspots of built-up area expansion, reflecting intensified urban growth. These hotspots were predominantly concentrated along major urban infrastructure corridors, highlighting the spatial influence of infrastructure on recent urban development patterns.

## Discussion

This study identifies city designation as a potential catalyst associated with accelerated urban expansion in Dodoma Urban. A relatively steady pattern of urban growth was observed during the 2017–2020 period, spanning the city designation milestone in 2018. However, by 2025, a marked increase in urban expansion was observed, accompanied by heightened fragmentation of built-up areas, suggesting intensified, potentially unregulated urban growth dynamics.

The observed trend in the reduction of patch fragmentation from 2017 to 2020 is associated with the period of stable, consolidated, and possibly controlled urban growth. The significant increase in the number of patches in 2025, however, reveals the dynamics toward more fragmented, rapid, and possibly uncontrolled urban growth.

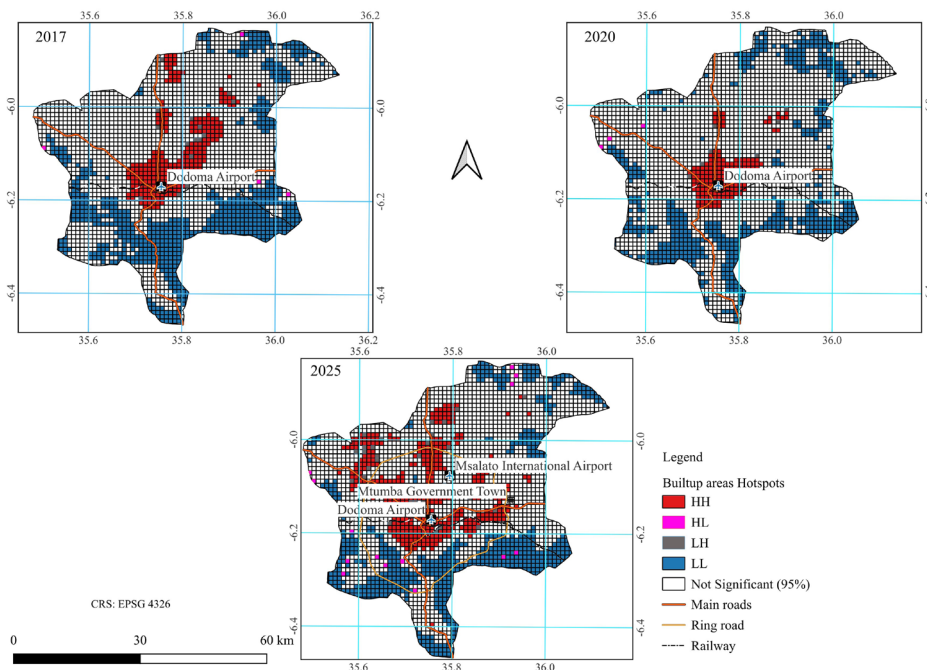


Figure 5. Built-up areas: hotspots, and cold spots

These trends are also confirmed by the results obtained using the LISA analysis, indicating the formation of significant hotspots for the growth of built-up areas in 2025, particularly along infrastructure corridors. These trends reveal the increased impact of infrastructure on urban growth, possibly indicating the dynamics toward more spatially heterogeneous development. Major city infrastructure developments, including the ring road, Msalato International Airport, and Mtumba Government Town in 2025, are strongly associated with this outward urban growth.

## Conclusion

This study reveals that the city designation process in April 2018 has impacted the spatial dynamics of urban growth in Dodoma Urban, from relatively stable and consolidated growth from 2017 to 2020 to faster and more dispersed growth by 2025. The noticeable increase in the number of patches and the fragmentation of the built-up areas reveal more heterogeneous and possibly unregulated growth. Moreover, the results obtained from the LISA analysis reveal the prominent role of infrastructure in the growth process, particularly along the major corridors where the ring road, Msalato International Airport, and Mtumba Government Town are located.

The transition to city status can also be seen as a critical policy shift that actively influenced these spatial patterns. This transition probably stimulated more investment in the public sector, restructuring in terms of administration, and an upsurge in land use demand, all contributing to faster urbanization beyond planned and controlled limits. This policy shift in transition to city status seems to have prompted both formal and informal development, contributing to the fragmented urbanization patterns noted in this analysis. Thus, this analysis suggests that the transition to city status is not just a critical policy shift but also a catalyst for faster urbanization with significant implications.

## References

- CHARLES, F. – FENG, K. (2023): Analysis and modelling urban growth of Dodoma urban district in Tanzania using an integrated CA – Markov model. *GeoJournal*, 88(1), 511–532. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10617-4>
- FRANCESCONI, B. – LONJOU, V. – LAFRANCE, B. (2017): Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs9060584>
- JOHN, O. (2022): Evaluation of Rainfall Extreme Characteristics in Dodoma Urban, A Central Part of Tanzania. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(3), 165–177. <https://doi.org/10.30897/ijgeo.1000458>
- KISAMBA, F. C. – LI, F. (2023): Analysis and modelling urban growth of Dodoma urban district in Tanzania using an integrated CA–Markov model. *GeoJournal*, 88(1), 511–532. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10617-4>
- KOWE, P. – SHOKO, C. (2025): A spatial autocorrelation approach in examining the impacts

of spatial-temporal dynamics of seasonal land surface temperature and land cover changes on the urban climate of the metropolitan city of Bulawayo. *Journal of Spatial Science*, 70(4), 621–642. <https://doi.org/10.1080/14498596.2025.2570646>

PANDEY, B. – GHOSH, A. (2023): Urban ecosystem services and climate change: a dynamic interplay. *Sustainable-Cities*, 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1281430>

SUMARI, N. S. (2025): The Evolution of Urbanization in Dodoma : A 21-Year Spatial Assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII(April), 6–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-1397-2025>

SUMARI, N. S. – COBBINAH, P. B. – TETTEH, N. – ERDIAW-KWASIE, O. – TETTEH, N. (2025): Geo-spatial Information Science Unsettled urbanization: spatiality of urban growth in Dodoma, Tanzania. *Geo-Spatial Information Science*, 28(5), 2163–2182. <https://doi.org/10.1080/10095020.2025.2505550>

# 3D geovisualization of the DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in a Hungarian settlement

Dániel Balla<sup>1\*</sup> – Levente Tari<sup>2</sup> – Emőke Kiss<sup>2</sup> – Liza Czibulka<sup>1</sup> –  
Marianna Zichar<sup>1</sup> – Tamás Mester<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Debrecen, Department of Data Science and Visualization, Faculty of Informatics, H-4028 Debrecen, Hungary

<sup>2</sup> University of Debrecen, Department of Landscape Protection and Environmental Geography, H-4032 Debrecen, Hungary

**Abstract:** Assessment of aquifer vulnerability is important for resource planning, monitoring, and environmental protection in the field of earth sciences. Since the introduction of the DRASTIC model, we have been able to describe vulnerability using seven parameters: D—Depth to groundwater, R—Recharge rate, A—Aquifer, S—Soil, T—Topography, I—Impact of the vadose zone, and C—Hydraulic conductivity. Although this large amount of data can make assessment and comparison significantly difficult, this approach, combined with modern GIS methods used in groundwater vulnerability estimation, has become widespread due to its capabilities and ease-of-use. In the present study, the effects of the sewage network construction on groundwater vulnerability were evaluated using the DRASTIC model in a Hungarian settlement. Water samples were collected from 44 groundwater wells in the summer of 2022. The vulnerability was assessed by using the DRASTIC model and open-source webGIS methods. By assessing the spatial distribution of the aquifer vulnerability, it was found that the northern and south-eastern areas of the settlement were the most vulnerable zones in the Báránd settlement. In addition, other important results of the assessment include the publication of the cloud-based vulnerability webmap with groundwater data, which aids in the visual interpretation of the vulnerability and purification processes for the general public.

*Keywords:* DRASTIC, groundwater vulnerability, Hungary, webGIS

## Introduction

Protecting aquifers and ensuring good water quality is critical to sustainable development, and tackling groundwater pollution sources in municipalities is an increasing priority in environmental research. International studies have shown that the lack of wastewater treatment systems in rural areas leads to wastewater being discharged into groundwater, increasing the vulnerability of groundwater (ABDALLA – KHALIL 2018; NLEND ET AL. 2018). One of the best-known and most widely used vulnerability assessment systems is the DRASTIC (D-Depth to groundwater, R-Recharge rate, A-Aquifer, S-Soil, T-Topography, I-Impact of the vadose zone, and C-Hydraulic conductivity) method, which determines the potential for compensation of pollutants during their movement from the surface to a given point in the aquifer, taking into account local hydrogeological conditions (ALLER ET AL. 1987). When integrated into modern GIS-based systems and displayed on maps, the water quality data generated by the DRASTIC index can further assist in assessing the groundwater vulnerability of municipalities. Several publications have been published in recent years on the deterioration of groundwater vulnerability caused by wastewater in urban

environments, however, comparative studies involving long-term monitoring data have not yet become widespread (SENER ET AL. 2009; SHIRAZI ET AL. 2013; SINGH ET AL. 2015). Therefore, the aim of this study is to evaluate and visualize groundwater vulnerability using DRASTIC model and webGIS methods. Furthermore, the research aims to determine whether the vulnerability of groundwater in the municipality has significantly improved in the period following the construction of the sewerage network based on the spatial models generated.

## Materials and Methods

The first paragraph that follows a table, figure, equation etc. does not have an indent, either. The settlement examined is Báránd, located in the eastern part of the Great Hungarian Plain, in the Nagy-Sárrét, Hungary (Fig. 1). The altitude of the Nagy-Sárrét is typically 85–89 m a.s.l., and the region is classified as a flat plain (relative relief 0-3 m/km<sup>2</sup>). The groundwater level can be found close to the surface, at a depth of 1–2 m; consequently, all the soil types have been formed under the influence of water (MICHÉLI ET AL. 2006). In the study area, the most frequent soil types are Solonetz, Vertisol, Kastenzem, and Chernozem, and in the built-up area—as a result of anthropogenic effects—Technosol (BALLA ET AL. 2016). The climate is moderately warm and dry, with an average annual precipitation of 520-540 mm and an average annual evaporation of 606 mm, which results in a high climatic water deficit in the area (DÖVÉNYI 2010). The sewerage network in the settlement was completed in 2014 with the support of the New Hungary Development Plan (NHDP). Eight years after its construction, more than 90% of the households connected by 2022 (MESTER ET AL. 2017).

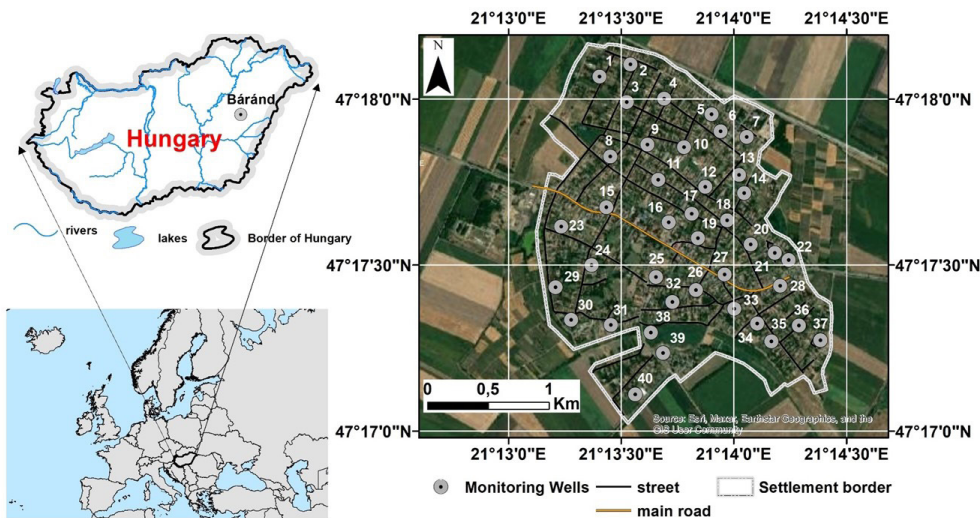


Figure 1. Location of the study area in Hungary

A monitoring network ( $N_{\text{monitoring\_wells}}=40$ ) has been set up to assess the vulnerability of the settlement to groundwater and to detect and evaluate spatial and temporal variations in the vulnerability. The municipality's uniform coverage was one of the most essential criteria for selecting monitoring wells. To assess the municipality's topography, a Trimble S9 high-accuracy GPS device was used determining the absolute elevation of the inner part of the municipality and the monitoring wells under investigation to an accuracy of 2 cm above sea level. The dataset recorded during the field survey was used to create a terrain model of the municipality. The geospatial processing of the data and the determination of the DRASTIC index values were performed in the ArcGIS software environment (ESRI 2011).

The vulnerability of groundwater to contamination was assessed using the DRASTIC model (ALLER ET AL. 1987). The parameters like Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, hydraulic Conductivity of the aquifer, were considered for the preparation of the aquifer vulnerability map. Calculation of the DRASTIC was carried out using the following equation:

$$\text{DRASTIC index} = D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w$$

The mapping of the vulnerability status of the municipality and its sharing on the WebGIS platform resulted from three work streams (Fig. 2). We used a kriging geostatistical method from the vulnerability status data to produce distribution maps of the area for all three time points (2013, 2018, and 2022), which were saved as raster files. After geospatial processing, the online publication was configured on

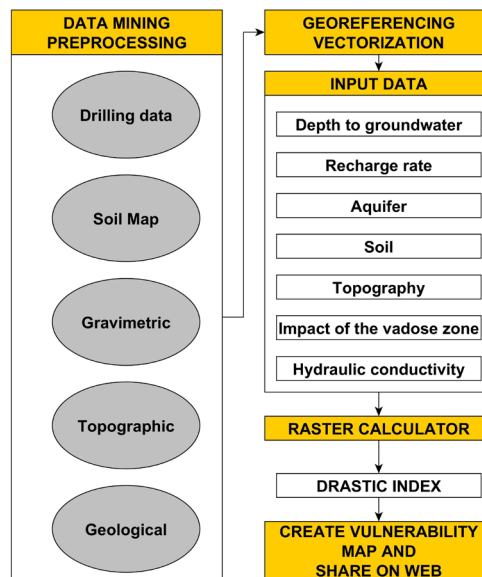


Figure 2. Geoprocessing and Web-sharing of the DRASTIC model.

the research team's web server. Vector and raster layers of the vulnerability datasets generated from the DRASTIC index were exported from the QGIS environment and set up for WMS service for web sharing. Web maps were created by running the optionally installable Qgis2threejs in a QGIS software environment. The module generates interactive web maps using the layers and symbology of the current QGIS project (QGIS). Qgis2threejs modules are suitable for displaying and sharing geospatial data (raster files, vector overlays, etc.) in web 3D with users without server-side software.

## Results and discussion

We plotted vulnerability indices on thematic distribution maps for each sampling year to explore the spatial and temporal evolution of vulnerability status. For the spatial representation of vulnerability data in Báránd, we made a time series database freely available from three time points (2013, 2018 and 2022). The three-dimensional representation is based on a raster digital elevation model derived from the Trimble S9 high-accuracy GPS data. The uploaded model can be rotated and zoomed at will. The information content of the layers can be queried by clicking on the layer, which displays the data stored in the layer's attribute table to the user. It is also possible to control the visibility of the layers (*Fig. 3*).

In the year before constructing the sewerage network, the DRASTIC index showed moderate vulnerability in a large part of the municipality, while the southern parts of the city were low vulnerable. In 2013, the "moderate" area proportion was 80% for the study area (*Table 1*). In the years following the construction of the sewerage network, the extent and spatial configuration of the settlement areas with low vulnerability increased significantly. The share of the "moderate" area decreased

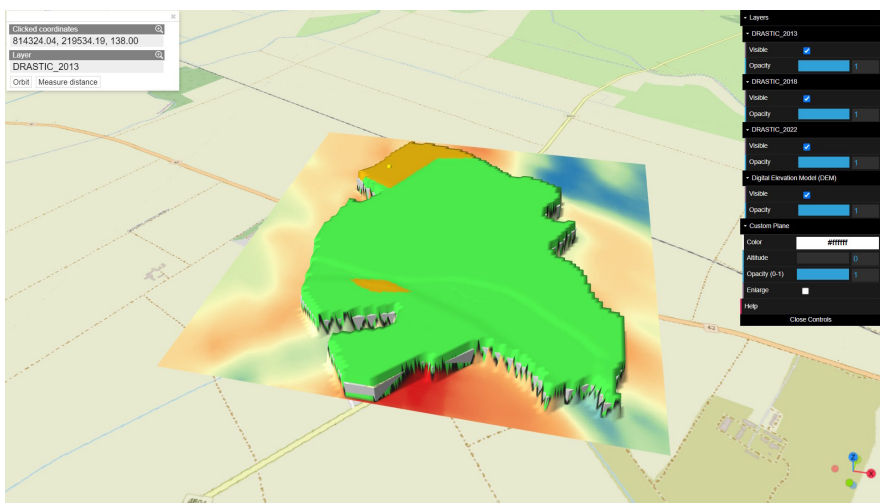


Figure 3. 3D web map of Báránd.

Table 1. DRASTIC index values in Báránd with vulnerability zones and area percentage

Date	DRASTIC Index value	Vulnerability Zone	Area (%)
2013	113-129	Low	12.62%
	130-147	Moderate	87.38%
2018	113-129	Low	77.26%
	130-147	Moderate	22.74%
2022	113-129	Low	90.89%
	130-147	Moderate	9.11%

Table 2. Results of Wilcoxon signed rank test

	2013DRASTIC - 2018DRASTIC	2018DRASTIC - 2022DRASTIC	2013DRASTIC - 2022DRASTIC
<b>Z</b>	-2.867 <sup>b</sup>	-1.222 <sup>b</sup>	-4.380 <sup>b</sup>
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>	0.004	0.222	0.000

from 22.74% in 2018 to 9.11% in 2022, with a parallel increase in the size of low vulnerability areas (from 77.26% to 90.89%). Nevertheless, there is still a variable extent of "moderate" vulnerability in the northern regions of the municipality (Fig. 4).

The fourth and eighth years after the construction of the sewerage network show positive changes in the index values, however, the index values for 2022 are still closer to the data of the transition. Geostatistical analyses were also conducted to support the connection between changes in vulnerability indices and the sewerage network. The Wilcoxon signed rank sum test results for the pre-and post-sewerage data series show a significant difference, which can be explained by the effect of the construction of the sewerage network (Table 2).

The results suggest that the improvement in the DRASTIC index values of groundwater wells after the construction of the sewerage network was not coincidental; it was due to a significant reduction in wastewater discharge, which was also confirmed by other studies using the DRASTIC model (NESHAT ET AL. 2014; FANNAKH – FARSANG 2022).

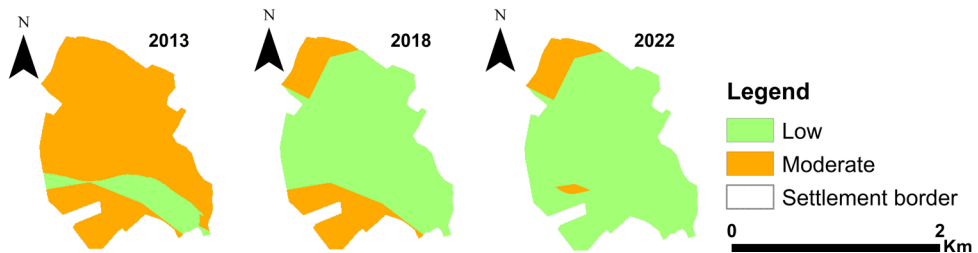


Figure 4. Spatial distribution of DRASTIC index in the years before (2013) and after the construction of the sewerage network (2018, 2022)

## Conclusion

Using the DRASTIC index and geostatistical analyses, our study investigated and visualized groundwater quality changes in a Hungarian study area in a municipal setting. The results show that the construction of a sewerage network has led to positive changes in the settlement's water vulnerability. The statistical test results confirmed that after the sewerage system was constructed, the DRASTIC index values of the monitoring wells studied improved due to a significant reduction in wastewater discharge.

## Acknowledgments

The work of Dániel Balla was supported by the EKÖP-24-4-II-DE-89 University Research Scholarship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund. Supported by the University of Debrecen Scientific Research Bridging Fund (DETKA).

## References

- ABDALLA, F. – KHALIL, R. (2018): Potential effects of groundwater and surface water contamination in an urban area, Qus City, Upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 141, 164-178.
- ALLER, L. – BENNETT, T. – LEHR, J.H. – PETTY, R.J. – HACKETT, G. (1987): DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Potential Using Hydrogeologic Settings; EPA/600/2-85/018; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA,
- BALLA, D. – NOVÁK, T.J. – ZICHAR, M. (2016): Approximation of the WRB reference group with the reapplication of archive soil databases. *Acta Univ. Sapientiae Agric. Environ.* 8, 27–38.
- BARBULESCU, ALINA. (2020): Assessing groundwater vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-like methods: a review. *Water* 12.5, 1356.
- DÖVÉNYI, Z. (2010): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, p. 876.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- FANNAKH, A. – FARSANG, A. (2022): DRASTIC, GOD, and SI approaches for assessing groundwater vulnerability to pollution: a review. *Environmental Sciences Europe* 34(1), 77.
- MESTER, T. – SZABÓ, G. – BESSENYEI, É. – KARANCSI, G. – BARKÓCZI, N. – BALLA, D. (2017): The effects of uninsulated sewage tanks on groundwater. A case study in an eastern Hungarian settlement. *Journal of Water and Land Development*, 33(1), 123.

- MICHÉLI, E. – FUCHS, M. – HEGYMEGI, P. – STEFANOVITS, P. (2006): Classification of the major soils of Hungary and their correlation with the World Reference Base for Soil Resources (WRB). *Agrokémia és Talajtan* 55, 19–28.
- NESHAT, A. – PRADHAN, B. – DADRAS, M. (2014): Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resour. Conserv. Recycl.* 86, 74–86.
- NLEND, B. – CELLE-JEANTON, H. – HUNEAU, F. – KETCHEMEN-TANDIA, B. – FANTONG, W. Y. – BOUM-NKOT, S. N. – ETAME, J. (2018): The impact of urban development on aquifers in large coastal cities of West Africa: Present status and future challenges. *Land Use Policy* 75, 352-363.
- QGIS. <https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/>
- SENER, E. – SENER, S. – DAVRAZ, A. (2009): Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: A case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeol. J.* 17, 2023.
- SHIRAZI, S.M. – IMRAN, H.M. – AKIB, S. – YUSOP, Z. – HARUN, Z.B. (2013): Groundwater vulnerability assessment in the Melaka State of Malaysia using DRASTIC and GIS techniques. *Environ. Earth Science* 70, 2293–2304.
- SINGH, A. – SRIVASTAV, S.K. – KUMAR, S. – CHAKRAPANI, G.J. (2015): A modified-DRASTIC model (DRASTICA) for assessment of groundwater vulnerability to pollution in an urbanized environment in Lucknow, India. *Environ. Earth Science* 74, 5475–5490.



# Régészeti célú pontfelhő osztályozás zajos tanítóadatokon alapuló gyengén felügyelt tanulással

Balogh Árpád<sup>1</sup> – Juhász Attila<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD-hallgató, BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, múzeumi térinformatikus, MNMKK MNM Nemzeti Régészeti Intézet, balogh.arpad@mnm.hu

<sup>2</sup> egyetemi docens, BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, juhasz.attila@emk.bme.hu

**Absztrakt:** A légi lézerszkennelés forradalmasította a régészeti jelenségek azonosítását, azonban a pontfelhők automatizált osztályozása során a konvencionális szűrők gyakran zajként távolítják el a releváns struktúrákat. Jelen tanulmány egy olyan integrált munkafolyamatot mutat be, amely szabályalapú előosztályozásból származó, zajos tanítóadatokra (proxy referencia) építve vizsgálja Random Forest, PointNet++ és Point Transformer modellek teljesítményét. Az eredmények szerint a mélytanulási módszerek – különösen a Point Transformer – képesek részben kompenzálni a hibás címkézésből fakadó zajt, és javítani a régészeti releváns felszínformák detektálhatóságát. Ugyanakkor a lokális geometriai anomáliák és a ritka objektumok bizonytalan felismerése rámutat arra, hogy a megbízható referencia-adatok és a szakértői validáció továbbra is kulcsfontosságúak.

## Bevezetés

A légi lézerszkennelt adatok napjainkra nélkülözhetetlenné váltak szinte minden mérnöki tevékenység, valamint jelentős számú természettudományos és humán probléma megoldásában. Ezen alkalmazások során a pontfelhőkből levezetett digitális felületmodellek (DFM) és digitális terepmodellek (DTM) alapvető jelentőséggel bírnak. Bizonyos vizsgálatoknál a természetes vagy mesterséges objektumokat reprezentáló pontok precíz leválogatása, míg más esetekben a tisztán topográfiai felszín azonosítása a kritikus lépés a későbbi megbízható eredmények eléréséhez. Ezt a folyamatot nevezzük pontfelhő-osztályozásnak, amelynek eredményeképpen az egyes mérési pontokat specifikus objektumosztályokhoz rendeljük.

A régészetben hosszú évek óta sikeresen alkalmazzák a légi lézerszkennelést, amely forradalmi változást hozott a tudományterületen (ŠTULAR ET AL. 2021). A sűrű vegetáció alá is „belátó”, igen nagy térbeli felbontással rendelkező mérési módszer, valamint a levezetett DTM-ek specifikus vizualizációja mostanra hatalmas számú régészeti felfedezést és jelenségazonosítást eredményezett, hiszen a mikrodomborzat vizsgálata a régészeti kutatásokban kiemelt jelentőséggel bír. Az adatgyűjtéstől a régészeti értelmezésig tartó komplex folyamat (CRUTCHLEY – CROW 2010) nyers adatfeldolgozásra, pontfelhő-szűrésre, a végtermékek (raszteres magassági modellek) előállítására, végül pedig a többszintű régészeti értelmezésre bontható fel.

Ennek a lépéssorozatnak az egyik legkritikusabb része a talajpontok leválogatása. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a terepi pontok kinyerésére használt általános, konvencionális algoritmusok sokszor nem a megfelelő eredményt szolgáltatják régészeti szempontból, mert nem veszik figyelembe az alkalmazási terület sajátosságait. A régészeti leletek vagy azok nyomai (pl. egykori sáncok, omladékok, falmaradványok) morfológiai szempontból nagyon sokszor anomáliaként jelentkeznek a terepmodellen. Ennek következtében az „átlagos” domborzati viszonyokra optimalizált szűrők ezeket a felszíni nyomokat gyakran tévesen, zajként vagy növényzetként távolítják el. A DTM/DFM létrehozása mindig egy komplex folyamat, mely során integráltan kell figyelembe venni az adatgyűjtési paramétereket, a terep lejtését és a heterogén vegetációs borítottságot. A téma szakirodalmában több olyan publikáció is található, amely az egyes szoftveres megoldásokon belül megtalálható szűrési és osztályozási eljárásokat hasonlítja össze és értékeli régészeti szemszögből, kvalitatív és kvantitatív mutatók alapján (ŠTULAR – LOZIĆ 2020; DONEUS ET AL. 2022).

Bár a régészeti objektumok azonosításában és értelmezésében a szakértői vizuális ellenőrzés hagyományosan elengedhetetlen, az egyre növekvő adatmennyiség és az extenzív területi vizsgálatok szükségessé teszik az automatizált eljárások bevonását. Ennek hatására az utóbbi években új, specifikus fejlesztések jelentek meg, köztük a gépi és mélytanuláson alapuló módszerek (MAZZACCA – FABIO 2026), amelyek forradalmasíthatják az osztályozási feladatokat. Ezen algoritmusok felügyelt tanításához azonban elengedhetetlen a hatalmas mennyiségű, megbízhatóan felcímkézett tanítóadat (referencia-pontfelhő), amelynek manuális előállítása rendkívül erőforrásigényes feladat.

Jelen dolgozat célja annak vizsgálata, hogy szabályalapú előosztályozásból származó zajos tanítóadatokra épülő gyengén felügyelt tanulás képes-e kompenzálni a bemeneti címkehibákat, ezáltal javítva a régészeti jelenségek vizuális azonosíthatóságát.

## **Anyag és módszer**

Vizsgálati helyszínként Szigliget-Óvár környezetét választottuk, amely geomorfológiai és felszínborítottsági szempontból kifejezetten változatos terület: sík felszínek, enyhe és meredek lejtők, valamint fás, bokros és füves foltok egyaránt előfordulnak. A LiDAR felmérést 2024. február végén Matrice 600 UAV CHCNAV AlphaAir 450 szenzorral a Régészeti Intézet végezte. A különböző domborzati és növényzeti viszonyok hatásainak figyelembevétele a régészeti célú pontfelhő-osztályozás során fokozottan releváns problémakör (DONEUS ET AL. 2008; KOKALJ – HESSE 2017). A korszerű megoldások rendszerint nagy hangsúlyt fektetnek a régészeti szaktudás – mint emberi tényező – bevonására a vizuális kontroll érdekében (DONEUS ET AL. 2022), esetünkben azonban egy eltérő megközelítést alkalmaztunk.

Célunk egy Python-alapú, teljesen automatizált (end-to-end) eljárás kidolgozása és tesztelése volt, amely a következő fő lépésekből tevődött össze:

- pontfelhő-előkészítés,
- proxy referencia létrehozása,
- jellemzőtér generálása,
- modelltanítás és validáció,
- vizuális kiértékelés.

Az eljárás során figyelemmel voltunk arra is, hogy a módszertan általános, átlagos számítási kapacitással rendelkező kutatói munkaállomásokon is futtatható maradjon, így a hardveres erőforrások optimális kihasználása alapvető szempont volt a modellek tervezésekor.

Az eredetileg  $\sim 800$  pont/m<sup>2</sup> sűrűségű pontfelhőt a PDAL programkönyvtár (BUTLER ET AL. 2021) segítségével készítettük elő a feldolgozásra: a pontsűrűség egységesítése és a hibás mérések eltávolítása érdekében statisztikai zajsűrűséget, mély zajsűrűséget, valamint 10 cm-es sugáralapú ritkítást végeztünk.

Az osztályozott referencia pontfelhő létrehozását egy többlépcsős, hibrid eljárással végeztük. A talajpontok detektálását a szakirodalomban jól ismert algoritmusok (CSF, SMRF, SBF) különböző lejtőkategóriákra (sík, lankás, meredek) optimalizált kombinációjával hajtottuk végre. Mivel ezen szűrők alkalmazása és paraméterezése a régészeti célú alkalmazások kapcsán részletesen tárgyalt (ŠTULAR – LOZIĆ 2020; DONEUS ET AL. 2022), a konkrét beállítások ismertetésétől eltekintünk. A talaj feletti kategóriák szeparációját pontszintű geometriai jellemzők (talaj feletti magasság, planaritás, visszaverődési arány) alapján végeztük: a markánsan sík, egyszeres visszaverődésű felületeket épületként, míg a kaotikusabb struktúrákat növényzetként szegmentáltuk. Az izolált, fals pozitív épületpontokat egy utólagos, lokális sugáralapú zajsűrűréssel távolítottuk el.

A további munkafolyamatokat – a jellemzőtér előállításától a modellek validációjáig – a Python programozási nyelv nyílt forráskódú könyvtárait alapoztuk Scikit-learn (PEDREGOSA ET AL. 2011) és PyTorch (PASZKE ET AL. 2019) keretrendszerekben.

A nyers XYZ koordinátákat egy komplex jellemzőtérrel bővítettük. Az intenzitás és a visszaverődési arány mellett kiszámítottuk a pontok lokális felszín feletti magasságát. A memóriahatékonyság érdekében ezt egy 2x2 méteres felbontású, 2D rácsozáson alapuló Numpy aggregációs algoritmussal közelítettük. A geometriai formákat az eredeti, nyers XYZ koordinátákon egy KD-fa adatszerkezet segítségével, két eltérő keresési sugárral (0,5 m és 1,5 m) elemeztük. A szomszédság jellemzéséhez egy főkomponens-analízist (PCA) végeztünk, és a kapott 3D kovarianciamátrix sajátértékeiből kiszámítottuk a dimenzionalitást leíró változókat (linearitás, planaritás, gömbszerűség, anizotropia, vertikálitás, görbület), valamint a Z-koordináták lokális szórását (érdesség).

A gépi tanulási modellek egyik gyakori problémája a térbeli adatszivárgás, valamint az implicit helyalapú torzítás, amely során a modellek a koordinátákhoz

kötődő mintázatokat tanulják meg a valódi strukturális jellemzők helyett (ROBERTS ET AL. 2017; MEYER ET AL. 2019). E hatások minimalizálása érdekében két kulcsfontosságú lépést építettünk a feldolgozási láncba. Egyrészt a hagyományos, véletlenszerű pontszintű mintavétel helyett a vizsgált területet 20×20 méteres térbeli blokkokra osztottuk és a tanító (80%), valamint teszt (20%) halmazokat ezen blokkok mentén szeparáltuk, hogy a modellek generalizációs képessége minél robusztusabb térbeli extrapoláción alapuljon. Másrészt a bemeneti jellemzők közül elhagytuk a globális Z-koordinátát, amely erős helyfüggő információt hordozhat és torzíthatja a tanulási folyamatot. A megmaradó jellemzőket a tanítóhalmaz statisztikai alapján Z-érték eljárással normalizáltuk, hogy a különböző skálájú változók ellenére a tanítás során stabil optimalizációt biztosítsunk.

Három eltérő megoldást teszteltünk: A régészetben alacsony erőforrásigénye miatt kifejezetten népszerű, klasszikus, döntési fákból álló együttes gépi tanulási algoritmust, a Random Forest (RF) modellt (BREIMAN 2001; CASTIELLO – TONINI 2021; PERIPATO ET AL. 2023; BALOGH – JUHÁSZ 2024), valamint mélytanulást megvalósító PointNet++ (PN++) (QI ET AL. 2017a) és Point Transformer (PT) (ZHAO ET AL. 2021) architektúrákat. A proxy-adatok osztály-kiegyensúlyozatlanságát, valamint a rendelkezésre álló hardveres erőforrások korlátait mindhárom vizsgált modell esetében célzott eljárásokkal kezeltük.

Az RF esetében esetében a ~15 millió pontból egy 500 000 pontos, rétegzett véletlen mintavételezést hajtottunk végre. A tanítóadatokban alulreprezentált épület osztályú pontokat a maximális minta 50%-áig prioritásként válogattuk be, míg a halmaz fennmaradó részét a többi osztályból (talaj, növényzet) töltöttük fel. Az adatszintű kiegyensúlyozást a viszonylag kevés, 50 fából álló modellünk súlyozásával egészítettük ki. Az épületpontok fals negatív tévesztését huszonötszörös súllyal büntettük az egyéb osztályok tévesztésével szemben.

A PN++ és PT esetében erőforrás-optimalizált konfigurációt alkalmaztunk, és a betanítási paramétereket egységesítettük. Mindkét hálózatot 8192 pontos kötegmérettel és 25 epochán keresztül tanítottuk. Az osztály-kiegyensúlyozatlanságot egy osztálytudatos mintavételezéssel kezeltük, amely 25% valószínűséggel kényszerítette a hálózatok fókuszát az épített struktúrákra. A zajos tanítóadatok negatív hatásainak csökkentése érdekében lágy címkézést vezettünk be, amely valószínűségi eloszlást rendel az osztályokhoz, ezáltal mérsékelve a modellek túlzott magabiztosságát és javítva a zajjal szembeni robusztusságukat, valamint általánosító képességüket (LUKASIK ET AL. 2020). Emellett az osztály-kiegyensúlyozatlanság kezelésére osztálysúlyozott keresztentropia-alapú veszteségfüggvényt alkalmaztunk, amely a ritkábban előforduló kategóriák tanulását hangsúlyozza (JOHNSON – KHOSHGOFTAAR 2019).

A közös mélytanulási alapelveken túl a PN++ architektúráját a memóriahatékonyság és a matematikai stabilitás érdekében specifikusan módosítottuk. A hálózat hierarchiáját két halmaz-absztrakciós (Set Abstraction – SA) szintre korlátoztuk 50%-os, illetve 25%-os távolságalapú pontritkítással, a K-legközelebbi

szomszédok számát pedig 12-ben maximalizáltuk. A hálózat numerikus stabilitásának biztosítása érdekében az SA modulokat egy kiegészítő, többrétegű perceptronon (Multi-Layer Perceptron, MLP) alapuló transzformációval egészítettük ki (QI ET AL. 2017b). Ez a megoldás olyan peremhelyzetekben aktiválódik, amikor a lokális pontsűrűség nem elegendő a standard mintavételezési és aggregációs lépések végrehajtásához, és biztosítja, hogy a jellemzőtér dimenziója a hálózat mélyebb szintjein is konzisztens módon növekedjen.

A PT esetében a fent ismertetett általános mélytanulási optimalizációs elveket alkalmaztuk. Ezen keretek között a modell megőrizte az eredeti, önfigyelemre épülő térbeli kontextus-feldolgozó képességét (ZHAO ET AL. 2021). A számítási igény csökkentése érdekében a lokális szomszédosági keresést szigorúbban korlátoztuk ( $k=12$  és  $k=24$ ). Ez az architektúrális kompromisszum lehetővé tette a hatékony futtatást anélkül, hogy a modell alapvető reprezentációs képessége szignifikánsan sérült volna.

## Eredmények

Az eredmények kapcsán fontos hangsúlyozni, hogy nem optimálisra hangolt modellek teljesítményét tükrözik, hanem egy erőforrás-korlátok között működő, stabil implementáció viselkedését. Ennek megfelelően az eredmények elsősorban módszertani összehasonlításként értelmezendők.

A kvantitatív értékelés eredményeit – a modellek tanító- és teszhalmazon elért intersection over union (IoU) értékeit, pontosságát (Prec.), és érzékenységet (Rec.) – az 1. táblázat foglalja össze.

Az osztályozási torzítások szemléltetése érdekében ezt kiegészítettük a teljes vizsgált pontfelhő százalékos osztályeloszlásának elemzésével (2. táblázat).

A domináns osztályok (talaj és növényzet) szegmentálása terén mindhárom modell stabilan teljesített. A modellek közötti különbségek a ritka, kiterjedésükben marginális épített struktúráknál jelentkeztek.

1. táblázat A vizsgált modellek kvantitatív teljesítménymutatói a tanító (TRAIN) és teszt (TEST) halmazokon (%)

Modell	Halmaz	Talaj			Növényzet			Épület		
		IoU	Prec.	Rec.	IoU	Prec.	Rec.	IoU	Prec.	Rec.
RF	TRAIN	78,80	83,62	93,18	68,16	77,43	85,06	20,25	20,25	99,98
	TEST	80,03	84,7	93,56	62,13	74,42	79,01	18,31	19,32	77,89
PN++	TRAIN	74,84	84,26	87,00	66,28	73,24	87,45	24,61	30,58	55,77
	TEST	78,28	86,12	89,57	63,00	72,28	83,07	30,46	38,94	58,31
PT	TRAIN	86,25	90,07	95,32	66,76	71,94	90,26	31,41	35,82	71,84
	TEST	86,95	90,43	95,77	61,94	69,65	84,84	29,84	34,94	67,13

2. táblázat A pontfelhők osztályeloszlási statisztikája (%)

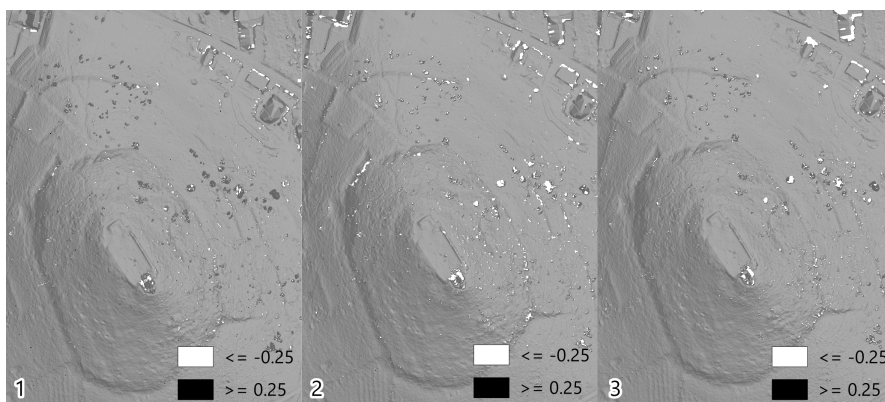
Modell	Osztályozatlan	Talaj	Növényzet	Épület
Referencia	27,45	58,05	14,14	0,36
RF	18,28	64,59	15,46	1,67
PN++	22,58	60,01	16,79	0,62
PT	20,18	61,44	17,67	0,71

A klasszikus RF modell értékelése rámutat implementációnk korlátaira. Az aránytalanság elsősorban az 1:25 arányú osztálybűntetés hatásával indokolható: a fals negatív tévesztések elkerülése érdekében rengeteg zajos, nem fal jellegű pont is az épület kategóriába került. Az RF tehát a statisztikai kényszernek engedelmessé drasztikusan megnövelte a fals pozitív találatok arányát.

A PN++ esetben az épület osztály kvantitatív mutatói javulást mutattak az RF-hez képest, azonban a predikció során túlbecsülés jelentkezett: a hálózat fals pozitív tévesztéseket generált a növényzettel borított, meredek hegyoldalakon. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a PN++ lokális szomszédságra épülő SA metódusa érzékeny a hiperparaméterek pontos finomhangolására. Mivel jelen kutatásban a hardveres korlátok miatt eleve egy leegyszerűsített, paramétereiben nem tökéletesen optimalizált konfigurációt alkalmaztunk, a hálózat túlzottan szűk látótérrel dolgozott, így kevésbé tudta szeparálni a valódi mesterséges struktúrákat.

A PT modell mutatta a legkiegyensúlyozottabb eredményeket, erőforrás-korlátozott paraméterezés mellett is megértette a tágabb térbeli kontextust, ezáltal csökkentve az izolált, fals pozitív zajok megjelenését. A tanító és teszt eredmények közötti kisebb eltérés stabil generalizációs képességre utal.

A modellek teljesítményének végső vizuális ellenőrzését a pontfelhők talaj és épület osztályú pontjaiból származtatott 25 cm felbontású DFM-ek és a referencia DFM kivonásával előállított különbségraszterek segítségével végeztük el (1. ábra).



1. ábra A modell-predikciókból származtatott DFM-ek és a proxy referencia közötti vertikális eltéréseket bemutató különbségraszterek (1 – RF, 2 – PN++, 3 – PT) részletei a referencia domborzatárnyékolásos megjelenítésére vetítve

A vizualizált vertikális anomáliákból következtethetünk a sikeres zajszűrésre vagy a téves adateltávolításra. A legkevesebb eltérést az RF mutatta, ez igazolja a modell memorizációs hajlamát: bár megőrizte a valódi struktúrákat, érintetlenül hagyta a fals pozitív hibákat. A legnagyobb különbség PN++ esetében jelentkezett, a hálózat nemcsak zajt, hanem valódi épületpontokat is eltávolított. Ellenben a PT kiszűrte a domborzati és növényzeti zaj jelentős részét, miközben megmaradtak a releváns struktúrák.

## Konklúzió

Eredményeink igazolják, hogy a heurisztikus előosztályozás és a modern mélytanulási eljárások integrációja képes kompenzálni a bemeneti proxy-adatok zaját a régészeti célú pontfelhő-feldolgozásban, bár a vizuális kiértékelés során tapasztalt geometriai anomáliák óvatosságra intenek. Az emberi tényező nem váltható ki: a nagy megbízhatóságú referencia-adathalmazok megteremtése megköveteli a precíz manuális osztályozást és a terepi hitelesítést, amelynek elengedhetetlen alapja a régészeti szaktudás.

## Felhasznált irodalom

- BALOGH Á. – JUHÁSZ A. (2024): Kora újkori vesztőhelyek vizsgálata prediktív modellezéssel. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XV., Debreceni Egyetem, Debrecen, pp. 67–76.
- BREIMAN, L. (2001): Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), pp. 5–32.
- BUTLER, H. – CHAMBERS, B. – HARTZELL, P. – GLENNIE, C. (2021): PDAL: An open source library for the processing and analysis of point clouds. *Computers & Geosciences*, 148, pp. 104680.
- CASTIELLO M. – TONINI M. (2021): An Explorative Application of Random Forest Algorithm for Archaeological Predictive Modeling. A Swiss Case Study. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 4(1), pp. 110–125.
- CRUTCHLEY S. – CROW P. (2010): The Light Fantastic: Using Airborne Laser Scanning in Archaeological Survey. *English Heritage*, Swindon.
- DONEUS, M. – BRIESE, C. – FERA, M. – JANSA, J. (2008): Airborne laser scanning of forested archaeological sites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(5), pp. 562–570.
- DONEUS, M. – HÖFLE, B. – KEMPF, D. – DASKALAKIS, G. – SHINOTO, M. (2022): Human-in-the-loop development of spatially adaptive ground point filtering pipelines—An archaeological case study. *Archaeological Prospection*, 29(4), pp. 503–524
- JOHNSON, J. M. – KHOSHGOFTAAR, T. M. (2019): Survey on deep learning with class imbalance. *Journal of Big Data*, 6(1), pp. 1–54.
- KOKALJ, Ž. – HESSE, R. (2017): Airborne laser scanning topographic data in archaeology: A guide to good practice. Založba ZRC, Ljubljana.

- LUKASIK, M. – BHOJANAPALLI, S. – MENON, A. K. – KUMAR, S. (2020): Does label smoothing mitigate label noise? In *International Conference on Machine Learning*, PMLR, pp. 6448–6458.
- MAZZACCA G. – REMONDINO F. (2026): Under-Canopy Archaeological Mapping Using LiDAR Data and AI Methods. *Heritage*, 9(4), p. 134.
- MEYER H. – REUDENBACH C. – WÖLLAUER S. – NAUSS T. (2019): Importance of spatial predictor variable selection in machine learning applications – Moving from data reproduction to spatial prediction. *Ecological Modelling*, 411, 108815.
- PASZKE A. – GROSS S. – MASSA F. – LERER A. – BRADBURY J. – CHANAN G. – KILLEEN T. – LIN Z. – GIMELSHEIN N. – ANTIGA L. – DESMAISON A. – KOPF A. – YANG E. – DEVITO Z. – RAISON M. – TEJANI A. – CHILAMKURTHY S. – STEINER B. – FANG L. – BAI J. – CHINTALA S. (2019): PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. In: Wallach H. (szerk.) *Advances in Neural Information Processing Systems* 32, Curran Associates, Red Hook, pp. 8024–8035.
- PEDREGOSA F. – VAROQUAUX G. – GRAMFORT A. – MICHEL V. – THIRION B. – GRISEL O. – BLONDEL M. – PRETTENHOFER P. – WEISS R. – DUBOURG V. – VANDERPLAS J. – PASSOS A. – COURNAPEAU D. – BRUCHER M. – PERROT M. – DUCHESNAY E. (2011): Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, pp. 2825–2830.
- PERIPATO V. – LEVIS C. – MOREIRA G. A. – GAMERMAN D. – TER STEEGE H. – PITMAN N. C. A. – IRIARTE J. (2023): More than 10,000 pre-Columbian earthworks are still hidden throughout Amazonia. *Science*, 382(6666), pp. 103–109.
- QI, C. R. – YI, L. – SU, H. – GUIBAS, L. J. (2017a): PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space. In: Guyon, I. (szerk.) *Advances in Neural Information Processing Systems* 30, Curran Associates, Red Hook, pp. 5099–5108.
- QI, C. R. – SU, H. – MO, K. – GUIBAS, L. J. (2017b): PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, Washington, DC, pp. 652–660.
- ROBERTS D. R. – BAHN V. – CIUTI S. – BOYCE M. S. – ELITH J. – GUILLERA-ARROITA G. – HAUENSTEIN S. – LAHOZ-MONFORT J. J. – SCHRÖDER B. – THULLER W. – WARTON D. I. – WINTLE B. A. – HARTIG F. – DORMANN C. F. (2017): Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, 40(8), pp. 913–929.
- ŠTULAR B. – LOZIĆ E. (2020): Comparison of Filters for Archaeology-Specific Ground Extraction from Airborne LiDAR Point Clouds. *Remote Sensing*, 12(18), pp. 3025.
- ŠTULAR B. – LOZIĆ E. – EICHERT S. (2021): Airborne LiDAR-derived digital elevation model for archaeology. *Remote Sensing*, 13(9), p. 1855.
- WEINMANN, M. – JUTZI, B. – HINZ, S. – MALLET, C. (2015): Semantic point cloud interpretation based on optimal neighborhoods, relevant features and efficient classifiers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, pp. 286–304.
- ZHAO, H. – JIANG, L. – JIA, J. – TORR, P. H. S. – KOLTUN, V. (2021): Point Transformer. In: *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, IEEE, New York, pp. 16259–16268.

# Történeti térképek és UAV-alapú digitális domborzatmodellek integrált alkalmazása mederzátonyok morfológiai vizsgálatában

Czomba Péter<sup>1,2</sup> – Vass Róbert<sup>3</sup> – Túri Zoltán Krisztián<sup>4</sup>

<sup>1</sup> tanársegéd, Nyíregyházi Egyetem Környezet- és Természettudományi Intézet, Földrajz és Turizmus Intézeti Tanszék [czomba.peter@nye.hu](mailto:czomba.peter@nye.hu)

<sup>2</sup> PhD hallgató, Debreceni Egyetem Földtudományok Doktori Iskola

<sup>3</sup> adjunktus, Debreceni Egyetem Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, [vass.robert@science.unideb.hu](mailto:vass.robert@science.unideb.hu)

<sup>4</sup> adjunktus, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, [turi.zoltan@science.unideb.hu](mailto:turi.zoltan@science.unideb.hu)

**Absztrakt:** A Tisza folyó medermorfológiája az elmúlt évszázadokban jelentős átalakuláson ment keresztül, amelyben a természetes hidromorfológiai folyamatok mellett a szabályozási beavatkozások is meghatározó szerepet játszottak. Kutatásunk célja a mederzátonyok morfológiai változásainak a vizsgálata volt történeti térképi források és UAV-alapú digitális domborzatmodellek integrált alkalmazásával. A történeti térképeket digitalizáltuk, georeferáltuk és vektorizáltuk, majd rekonstruáltuk a zátonyok korábbi térbeli elhelyezkedését és kiterjedését. Az így előállított adatokat összevetettük a drónfelvételekből fotogrammetriai eljárással készített nagyfelbontású digitális domborzatmodellekkel és ortofotó-mozaikokkal. Az eltérő időmetszetek összehasonlítása lehetővé tette a zátonyok térbeli elmozdulásának, morfológiai átalakulásának és a kiterjedésük változásának a kvantitatív elemzését.

Az integrált módszertan hozzájárul a Tisza jelenlegi mederfejlődési tendenciáinak pontosabb értelmezéséhez, valamint lehetőséget biztosít a folyószabályozási beavatkozások hosszú távú geomorfológiai hatásainak az értékelésére.

## Bevezetés

A folyómedrek morfordinamikai alakulása világszerte jelentős térbeli és időbeli eltéréseket mutat, amelyet a lefolyási viszonyok, az üledékszállítás és az antropogén tevékenységek nagymértékben befolyásolnak. Különösen igaz ez a nagy síkvidéki folyók esetében, ahol a meder laterális vándorlása és az üledékfelhalmozódási folyamatok szoros kölcsönhatásban alakítják a mederformákat (AMISSAH ET AL. 2019). Ezen formakincs dinamikus változása a fluviális geomorfológiai kutatások egyik központi kérdéskörét képezi (LÓCZY ET AL. 2009). A folyómedrek meghatározó formái az oldalzátonyok, melyek a folyóvízi rendszerek jellegzetes morfológiai elemei. Kialakulásuk és fejlődésük közvetlenül kapcsolódik az áramlási viszonyokhoz és az üledékszállításához (KISS – ANDRÁSI 2015). E formák térbeli helyzete és morfológiája érzékenyen reagál a meder elmozdulására, ugyanakkor saját szerkezetük is befolyásolja stabilitásukat és mobilitásukat (SCHUMM 1979; SIPOS 2006). Az elmúlt években az UAV-alapú felmérések és a nagy felbontású digitális domborzatmodellek megjelenése új lehetőségeket teremtett a morfológiai

vizsgálatokban (BERTALAN – SZABÓ 2015; WATANABE – KAWAHARA 2016; OZCAN – AKAY 2018; GRACCHI ET AL. 2021). Ezek az adatok lehetővé teszik a zátonyfelszínnek részletes jellemzését beleértve a lejtésviszonyok, a felszíni érdesség és a mikroformák elemzését. Ugyanakkor a történeti térképi források integrálása révén a hosszabb távú mederváltozások is feltárhatók, így komplex képet alkothatunk a folyómeder fejlődéséről (GRABOWSKI – GURNELL 2016; SERLET ET AL. 2018).

Jelen kutatás célja a Tisza egyik szakaszán található oldalzátónyok morfológiai jellemzőinek és elmozdulásainak a vizsgálata különös tekintettel ezeknek a formáknak a folyómeder középvonalának laterális elmozdulásával való kapcsolatára. Arra keressük a választ továbbá, hogy a zátonyok morfológiai sajátosságai milyen mértékben befolyásolják azok mozgását.

## **Anyag és módszer**

Vizsgálatunk a Felső-Tisza Tarpa és Vásárosnamény közötti szakaszán található oldalzátónyokra irányult. A kutatás alapját az 1978 és 1979 között kiadott Vízrajzi Atlasz Tisza köteteinek 1:10 000 léptékű térképszelvényei képezték. Ezekre a térképeken vektorizáltuk a folyómeder középvonalát és lehatároltuk az oldalzátónyokat.

A jelenlegi morfológiai állapot vizsgálatához UAV-felvételekből előállított digitális domborzatmodellek (DEM) kerültek felhasználásra. A felvételeket UTM 34N vetületi rendszerben földi illesztőpontok segítségével georeferáltuk, majd a pontfelhők feldolgozását követően digitális terepmodellek (DTM) készültek, melyek térbeli felbontása 8,5 cm/px volt. Ezekből az adatokból további raszteres rétegeket hoztunk létre, amelyekből a lejtés (slope) és a lejtésalapú szűréssel előállított morfológiai viszonyok kerültek kiszámításra.

A folyómeder elmozdulásának meghatározása érdekében különböző időpontokban, egymástól szabályos távolságokban jelöltünk ki pontokat a középvonalak mentén. Az oldalzátónyok elmozdulásának a vizsgálatát a poligonok középpontjai közötti távolság és az irányszög meghatározásával végeztük. A morfológiai és a dinamikai paraméterek összekapcsolása érdekében az oldalzátónyok és a középvonal térbeli változásainak értékeit vetettük össze, ami lehetővé tette a zátonyok mozgása és a folyómeder elmozdulása közötti kapcsolatok feltárását. Különös figyelmet fordítottunk az oldalzátónyok lejtésének és morfológiai jellemzőinek az elemzésére, amelyek fontos szerepet játszanak a zátonyok stabilitásának és alakváltozásának a meghatározásában (MASON – MOHRIG 2019).

## **Eredmények**

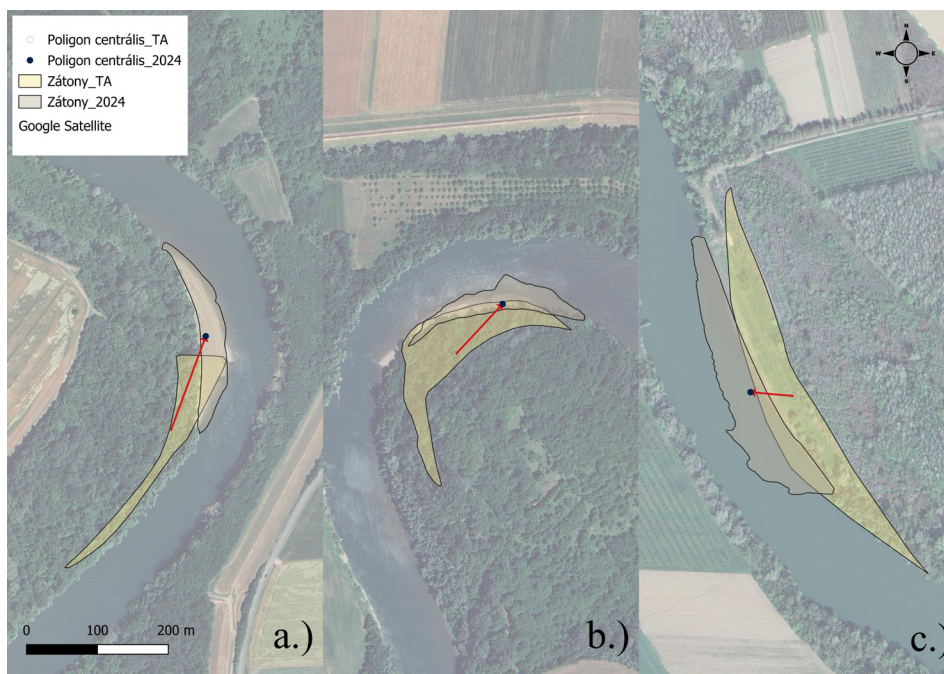
A zátonyok laterális elmozdulásának vizsgálata során az egyes időpontokban lehatárolt poligonok centroidjai közötti elmozdulást vektorként határoztuk meg. A legnagyobb elmozdulás a tarpai zátony esetében 142 méter volt, amely É–ÉK-i

irányba történt. A kiricei zátony közepes mértékű elmozdulást (97 m) mutatott szintén ÉK-i irányba, míg a jándi oldalzátóny esetében volt a legkisebb mértékű az elmozdulás: 61 méter nyugati irányba (1. ábra).

A középvonaltól mentén számított elmozdulási értékek jelentős különbségeket mutattak a vizsgált folyószakaszok között. Az átlagos középvonaltól elmozdulás Tarpa esetében a legalacsonyabb (8,9 m) volt, míg Kiricén (17,3 m) és Jándnál (20,6 m) jelentősen magasabb értékek adódtak. A medián és az átlag közötti eltérés különösen Tarpa esetében jelentős, ami arra utal, hogy az alacsony elmozdulási értékek dominálnak, azonban lokálisan nagyobb elmozdulások is előfordulnak. A szórás alapján Tarpa mutatja a legnagyobb relatív változékonyságot, míg Jánd esetében az elmozdulás egyenletesebben oszlik meg (1. táblázat).

1. táblázat A középvonaltól mentén mért középvonaltól elmozdulás statisztikai jellemzői a vizsgált szakaszokon 1978 és 2024 között

	Tarpa	Kirice	Jánd
<b>Minimum</b>	0,17	0,482282	2,314508
<b>Maximum</b>	23,41	50,3495	53,91331
<b>Átlag</b>	8,91	17,29367	20,61255
<b>Szórás</b>	9,20	15,12	15,03
<b>Medián</b>	2,24	9,82	18,11

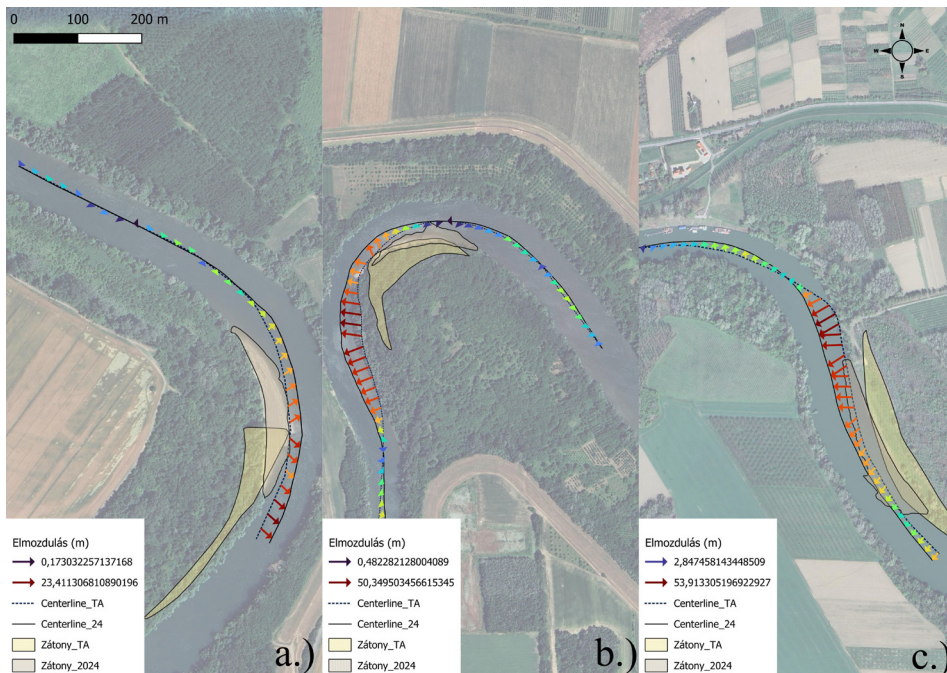


1. ábra A vizsgált oldalzátónyok: Tarpa (a), Kirice (b), Jánd (c) laterális elmozdulása és területváltozása 1978 és 2024 között

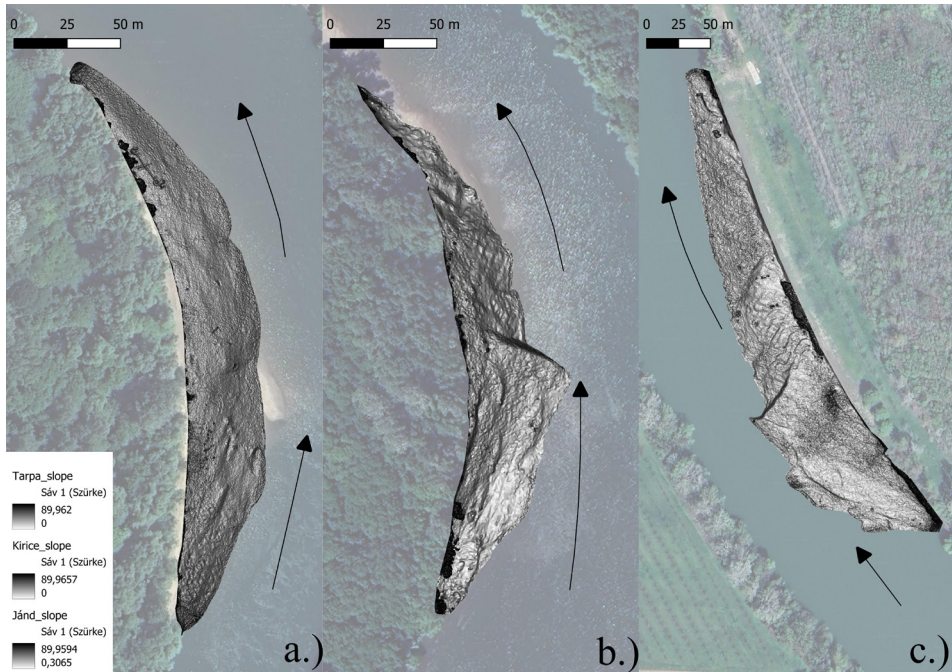
A zátonyok és a középvonál mentén számított eredmények összevetése rámutat arra, hogy míg a jándi szakaszon a mederelmozdulás nagyobb mértékű és egyenletesebb, addig a zátony elmozdulása kisebb mértékű, ami a zátony relatív stabilitására utalhat. Ezzel szemben a tarpai szakaszon a középvonál elmozdulása kisebb mértékű, a zátony viszont jelentős elmozdulást mutat, ami lokálisan intenzívebb morfológiai átrendeződésre utal. A kiricei szakasz átmeneti jelleget képvisel mind a meder-, mind a zátonymozgás tekintetében (2. ábra).

A lejtőszög-alapú zonális statisztikai elemzés során a vizsgált zátonyok között egyértelmű morfológiai különbségek mutatkoznak. A legmagasabb átlagos lejtőszöggel a tarpai zátony rendelkezett ( $50,3^\circ$ ), a kiricei ( $45,8^\circ$ ) és a jándi ( $38,9^\circ$ ) zátony alacsonyabb értékeket mutatott. A lejtőszögértékek szórása az alsóbb szakaszon elhelyezkedő Kirice és Jánd esetében magasabb, ami a felszín nagyobb mértékű tagoltságára és heterogenitására utal, míg a tarpai zátony felszíne ebből a szempontból homogénebbnek tekinthető.

Ezen eredmények összefüggést mutatnak a zátonyok elmozdulási jellemzőivel. A legnagyobb elmozdulást mutató tarpai zátony egyben a legmeredekebb felszínnel rendelkezik, ami arra utal, hogy a nagyobb lejtőszögű felszínek fokozottabb morfordinamikai aktivitással jellemezhetők. A meredekebb lejtőkön a gravitációs és a hidraulikai erők hatékonyabban érvényesülnek, ami elősegíti az üledékek átrendeződését, ezáltal növelve a zátony elmozdulásának a lehetőségét.



2. ábra A Tisza középvonál elmozdulása a vizsgált oldalzátónyok: Tarpa (a), Kirice (b), Jánd (c) menti folyószakaszokon 1978 és 2024 között



3. ábra A vizsgált zátonyok: Tarpa (a), Kirice (b), Jánd (c) lejtőszögviszonyai UAV-alapú digitális domborzatmodell alapján

Ezzel szemben a jándi zátony, amely a legnagyobb kiterjedésű (~20 000 m<sup>2</sup>), alacsonyabb átlagos lejtőszöggel és kisebb elmozdulással jellemezhető. Ez arra utal, hogy a nagyobb, laposabb felszínek morfológiailag stabilabb állapotot képviselnek, ahol az üledékfelhalmozódás dominál, és a formák kevésbé hajlamosak gyors átrendeződésre. A kiricei zátony átmeneti jelleget mutat mind a lejtőszög, mind az elmozdulás tekintetében, ami egy köztes morfordinamikai állapotként értelmezhető (3. ábra).

## Konklúzió

Eredményeink alapján a zátonyok laterális elmozdulása és dinamikája szoros összefüggésben áll azok felszíni lejtőszögével, mely így nem csupán leíró paraméterként, hanem a zátonyok dinamikai viselkedésének egyik indikátoraként is értelmezhető. A meredekebb lejtőszögű formák jelentősebb üledékmozgással jellemezhetők és nagyobb térbeli elmozdulást mutatnak, míg az alacsonyabb lejtésű, nagyobb kiterjedésű zátonyok stabilabb, egyenletesebb fejlődési állapotot képviselnek.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatta.

## Felhasznált irodalom

- AMISSAH, G. J. – KISS, T. – FIALA, K. (2019): Active point bar development and river bank erosion in the incising channel of the lower Tisza river, Hungary. *Landscape & Environment*, 13(1), 13–28. <https://doi.org/10.21120/LE/13/1/2>
- BERTALAN L. – SZABÓ G. (2015): Mederfejlődési vizsgálatok a Sajó hazai szakaszán. In: Boda J. (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás VI.* Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 61–68.
- GRABOWSKI, R. C. – GURNELL, A. M. (2016): Using historical data in fluvial geomorphology. In G. M. Kondolf & H. Piégay (Eds), *Tools in Fluvial Geomorphology* (1st edn, pp. 56–75). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118648551.ch4>
- GRACCHI, T. – ROSSI, G. – TACCONI STEFANELLI, C. – TANTERI, L. – POZZANI, R. – MORETTI, S. (2021): Tracking the Evolution of Riverbed Morphology on the Basis of UAV Photogrammetry. *Remote Sensing*, 13(4), 829. <https://doi.org/10.3390/rs13040829>
- KISS, T. – ANDRÁSI, G. (2015): Kanyarulatfejlődés sajátosságai és antropogén hatások vizsgálata két drávai kanyarulat példáján. *Tájökológiai Lapok*, 13(1), 73–88. <https://doi.org/10.56617/tl.3662>
- LÓCZY, D. – KIS, É. – SCHWEITZER, F. (2009): Local flood hazards assessed from channel morphometry along the Tisza River in Hungary. *Geomorphology*, 113(3–4), 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.013>
- MASON, J. – MOHRIG, D. (2019): Differential bank migration and the maintenance of channel width in meandering river bends. *Geology*, 47(12), 1136–1140. <https://doi.org/10.1130/G46651.1>
- OZCAN, O. – AKAY, S. S. (2018): Modeling Morphodynamic Processes in Meandering Rivers with UAV-Based Measurements. *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 7886–7889. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518221>
- SCHUMM S. A. (1979): Geomorphic thresholds: the concept and its applications. In: *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series*, 4(4), pp. 485–515.
- SERLET, A. J. – GURNELL, A. M. – ZOLEZZI, G. – WHARTON, G. – BELLEUDY, P. – JOURDAIN, C. (2018): Biomorphodynamics of alternate bars in a channelized, regulated river: An integrated historical and modelling analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(9), 1739–1756. <https://doi.org/10.1002/esp.4349>
- SÍPOS GY. (2006): A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. PhD értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 138 p.
- WATANABE, Y. – KAWAHARA, Y. (2016): UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Engineering*, 154, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.482>

# Development of holiday home construction in Hungary and in the Great Hungarian Plain (1980-2019)

László Csordás

CSc, senior research fellow, Department of Tourism and Hospitality, Faculty of Economics and Business, John von Neumann University, Kecskemét, Hungary csordas.laszlo@nje.hu  
<https://orcid.org/0000-0002-2985-4494>

**Abstract:** According to the data of the HCSO (Hungarian Central Statistical Office) per settlement, the number of holiday resorts created in Hungary between 1981 and 2019 exceeds 64,3 thousand, of which only 10,3 thousand can be connected to the six counties of the Great Plain. Examined by settlements, most holiday homes in Hungary were built between 1981-90 in Gárdonyi, Siófok, Balatonkenese, and from 1991 to the present in Szentendre, Budapest and Ráckeve. In the Great Plain in the decade before the change of regime in Gyula, Tiszakécske, Békésszentandrás and Tiszacsege, and in the following 29 years most leisure homes were built in Szolnok, Békésszentandrás, Kiskunmajsa and Abádszalók.

## Introduction and goals

The economic, social and technological development in the last third of the 20th century has resulted in significant changes. Locations suitable for spending leisure time have gained more and more significance besides residential areas and work places. This change is well represented by the spatial expansion of holiday-recreational areas and the massively growing number of leisure homes (holiday homes) used in the expanding leisure time (ENYEDI 1988; KOWALCZYK 1994). Leisure homes are second homes that are mainly used in leisure time and only temporarily (after working hours, at weekends or during day-offs) (COPPOCK 1977; BAUMHACKL 1989; MARTONNÉ ERDŐS 1990; CSORDÁS 1992, 1995, 2021).

Tourism and especially inland tourism has been dynamically improving for decades. Still we do not know the exact number of those who participate in tourism as „official tourism” measures only commercial accommodations trade flow. According to HCSO, the draft prior to population census in 2001 the total number of holiday homes exceeded 250.000 in Hungary (BAÁR – GRATZL, 2004; MICHALKÓ 2007), and the majority of them was used for holiday purposes. The importance of the topic is very well represented by the fact that accommodation (beds) in holiday homes in Hungary multiplies commercial accommodation, and they had/have a very important role in Hungarian and foreign tourists' holidays.

The goal of this study is to introduce the development of holiday home building using HCSO data in Hungary and mainly the Great Plain on national and settlement level between 1981 and 2019; finding the reasons for this development especially before and right after the change of regime.

## Content and methods

During my research I have put HCSO data on holiday homes in a data basis, designed charts, tables and maps besides studying the national and international bibliography (HCSO 1970-2019). The Great Plain – mainly because of statistical and impoundment reasons – is meant to include six counties in the Great Plain.

Regarding the period between 1970 and 1980 only annual county data from county statistical annuals were available, while data about building holiday homes per settlements were available from 1981 onwards. This fact clearly indicates how the significance of holiday homes (private recreational homes, holiday homes) has risen. This is the reason why I have chosen to study the period between 1981 and 2019: data are available as the positive and negative impacts of holiday home development could have been detected in their local settlements.

I have divided the aforementioned period into two sub-periods with different lengths. The dividing line is defined by the political changes, local council election law in 1990 and the new political situation being evolved after the first local elections. In the first sub-period – starting in 1981 and ending in 1990, the year of the change of – the number of holiday homes developed yearly exceeded 2400, which equals to the 60,3% (38,8 thousand) of all the constructed buildings. In the second sub-period – from 1991 till the end of 2019, altogether 29 years – the number of the developed holiday homes falls behind, so 25,5 thousand holiday homes received occupancy permit out of the total 64,3 thousand.

## Results

### *Socio-economic-political reasons for holiday home development in Hungary, especially in the period prior to and right after the change of regime*

According to researchers in the western world second homes develop everywhere, regardless of the political regime. However, certain special features can be found in former socialist countries including our country. Due to the restrictions on travels to „capitalist countries” (in certain periods and in different ways), lack of vacancies in company and trade union recreational facilities (not everybody could have a summer vacation yearly), the collectivisation of the majority of land and the investment enforcement after the restrictions on companies, quite a few people purchased or built their own holiday homes. Laws and regulations on garden lockets contributed to the massive development of recreation and garden locket areas at the end of the 1960s. The income from the allowed second economy after purchasing a flat, a car was invested into a second home, holiday home, jewels, etc. (CSORDÁS 1995).

The dynamism of building holiday homes with some ups and downs was unbroken till the mid-1980s. The turning point was the first decade of the studied period, year 1987; new, previously unimaginable „reforms” had to be introduced. The

most important of them is the changes in the taxation laws, namely the introduction of personal income tax and value added tax in January, 1988. People were afraid of the new changes; especially they had a fear that authorities would look into „who had obtained what” compared to their status at the end of December, 1987. Accordingly, everybody tried to manage their house or holiday home construction or purchase, legalise their assets; and to decrease their expenses in dread of VAT and the increasing inflation. Mainly these were the reasons for the increasing number of holiday home constructions; in 1987 altogether 5206 holiday homes were built, and this number is one and a half times higher than that of the previous and following years, and was outstandingly the highest in the past 39 years. In 6 counties in the Great Plain 871 holiday homes were built, which is twice as much as in the previous year.

Besides the taxation law another important factor causing the decrease of holiday home construction is the “world passport”, which was initiated in 1987, and introduced in January, 1988. This passport made holidays in foreign countries available for Hungarians, the so called passive tourism started to strive; unfortunately at first it was mainly shopping tourism. The holiday home constructions, especially the very dynamic ones in the Great Plain – right after the construction boom in 1987 –, were hindered by the introduction of world passport in 1988. Moreover, laws being introduced after 1988 supported economic changes and the foundation of companies including travel agencies (specialised in organising mainly coach tours in the beginning). They could meet the varied, unprecedented holiday needs, which often meant visiting several countries within a year. Later publicly traded companies appeared, and investing into properties, especially into the mainly vacant holiday homes was not the most favoured way of conserving and increasing the value of savings any more. The new opportunities motivated people to start their own business – many had to do so because a lot of workplaces closed down – to get adjusted to their new situations, so quite a lot of them sold their holiday homes. This tendency is well illustrated by the decreasing number of holiday home construction, the owners’ frequent change, and giving up holiday homes.

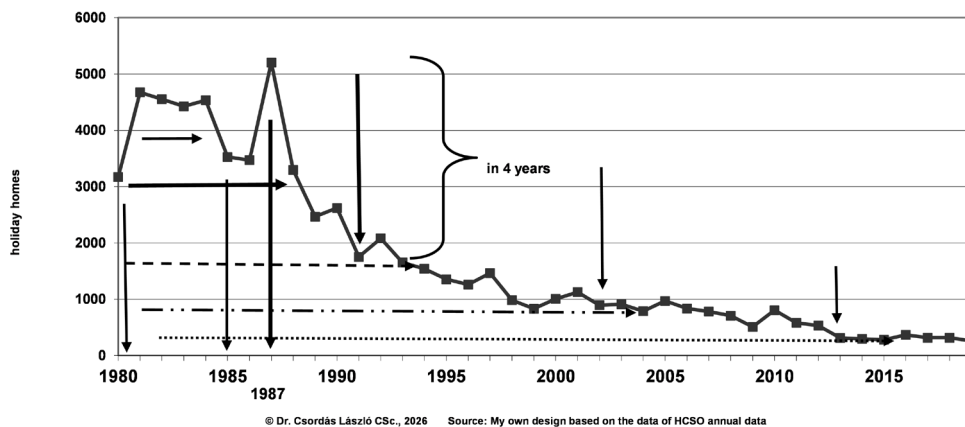
### ***Development of holiday homes on national level, in counties and settlements (1981-2019)***

Holiday homes developed after 1980 exceeds 64,3 thousand according to HCOS settlement data, and only 10,3 thousand are located in 6 counties in the Great Plain. The ratio of holiday homes in the Great Plain rose from 9% to 20% in the 1980s, and this ratio of cca. 18-24% was stable till the end of the period. Their number was three thousand nationwide at the beginning of the 1980s, and stayed above this number until 1988 even with the fluctuation caused by external effects. Most of the holiday homes were developed in 1987 being in dread of taxation laws (personal income tax and VAT) and the uncontrolled rise in prices. From the following year a significant drop could be seen due to the introduction of the world passport, the appearance of outgoing tourist agencies and the socio-economic changes; therefore the number of

constructed holiday homes dropped back by two-thirds all over the country including the Great Plain by 1991. The number of developed holiday homes was halved by the end of the 1990s, and did not even reach the number of 1000 after year 2002 (not even 200 in the Great Plain after 2003), 500 all over the country, and 100 in the Great Plain since the beginning of 2013. The lowest number holiday home constructions can be detected in the last year of the 38-year-period (257), while only 52 holiday homes were constructed in the Great Plain in 2015 and 2018; their number fell far behind the initial number in 1981, it is only a tenth of it, less than 300 (*Figure 1.*).

Most holiday homes were built in Pest county since 1981 – except for four years: in 2007 Budapest, in 2012, 2016 and 2018 Somogy county took the first place in the list. Pest county was followed by Somogy and Veszprém county with a significant fall back, so does Fejér county between 1986 and 1990. In the Great Plain at first it is Békés, then in the first half of the 1990s, while between 2001 and 2016 – except for 2006 and 2008 – it is Jász-Nagykun-Szolnok county that took the first place every year. This fact is due to the appreciation of the river Tisza, Tisza Lake, spas and thermal baths. The ever reducing number of holiday home constructions in 2007 Bács-Kiskun, in 2018 Csongrád, and in 2019 Hajdú-Bihar and Békés county ended up first in the list. Holiday home construction after 1981 was closely tied to locations where surface water (Lake Balaton, Velencei Lake, Tisza Lake; rivers: the Danube, the River Tisza, the Rivers Körösök) and hot thermal bath could be found.

In the analysed period, between 1981 and 2019, minimum one holiday home was built in 589 settlements all over the country, their total number was 64.315. Most holiday homes were constructed in Gárdony (1600) and Szentendre (1597), and in further 6 settlements their number was above one thousand: in Siófok (1392), Balatonkenese (1329), Ráckeve (1186), Balatonmárfürdő (1123), Balatonalmádi (1103) and Velence (1028). Moreover, there were 15 settlements where 600-1000 holiday homes were built, but some of them (e.g. Harkány, Zalakaros,



*Figure 1. The annual development of holiday home construction in Hungary, 1980-2019.  
Source: My own design based on the data of HCSO annual data*

Békésszentandrás, Tiszakécske) are farther away from the previously mentioned tourist districts (Balaton, Velencei Lake, Budapest agglomeration, the Danube Bend). In the top twenty the only settlement from the Great Plain is Békésszentandrás – having 611 holiday homes of which value equals to 33% of that in Gárdony –, and some other settlements had more than 500 holiday homes: Tiszakécske (605), Szolnok (559), Gyula (504), and Szeged (502).

*The development of holiday home construction per settlement in Hungary and the Great Plain prior to the change of regime (1981-1990)*

From 1981 till 1987, the number of settlements taking part in holiday home constructions continuously increased from 214 to 240. The culmination (240) of this increase was in 1987, when most of the holiday homes (5206) were built in Hungary. That year 251 holiday homes were built in Gárdony, almost as many as in 2019 all over the country. The first (-third) settlements in the imaginary podium of holiday home construction in Hungary and the Great Plain in the 1980s are situated close to the Lake Balaton (Siófok was the first 3 times, while Boglárlelle once), but Zamárdi, Fonyód and Balatonalmádi are also among them. From the middle of the decade a significant change took place, as new settlements ended up in the first place (Harkány, Gárdony), and there were settlements in the Great Plain among the top three ones (Gyula, Tiszavasvári); they are famous for spas and thermal bath tourism that is farther away from the Lake Balaton. Gárdony took the first place four times between 1986 and 1989, and this fact contributed to the appreciation of Velencei Lake region and Fejér county.

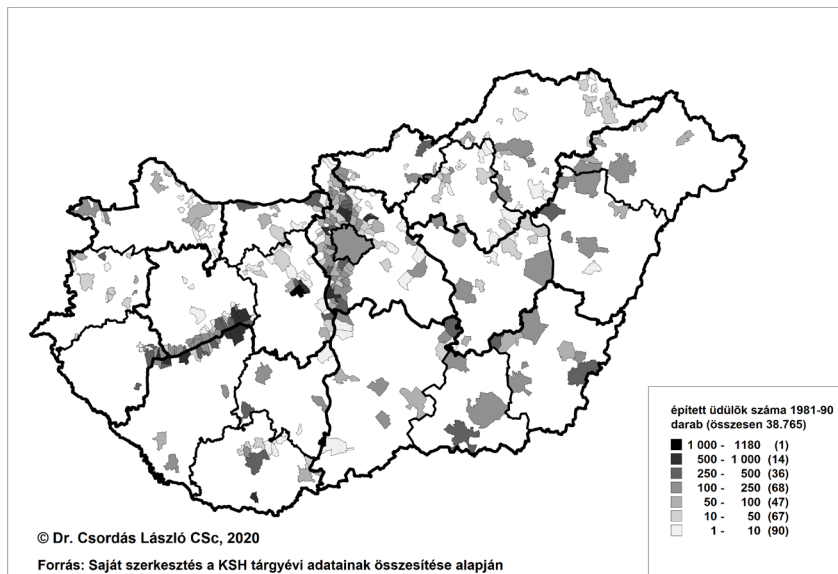


Figure 2. Holiday home construction per settlements in Hungary, 1981-1990.  
 Source: My own draft based on the data of HCSO annual data

*Figure 2* is about the holiday home construction per settlement in 10 years (1981-1990). 38,8 thousand holiday homes were built in 323 settlements in Hungary. The top settlements in the list are Gárdony (1.171 holiday homes), Siófok (805), Balatonkenese (802), Szentendre (785), Balatonalmádi (783), Velence (766) and Balatonmárfürdő (760), but there were no settlements from the Great Plain in the top twenty list.

In the same period 5.233 holiday homes were constructed in 48 settlements in the Great Plain, which equals to the 13,5% of the national value. The settlement ranking first in the list from the Great Plain, Gyula, with its 400 holiday homes was only the 22nd in the national list, followed by Tizsakécske (389 holiday homes, 25th in the list), Békésszentandrás (299 holiday homes, 36th in the list), Tiszacsege and Szeged with more than 250 holiday homes.

#### *Development of holiday home construction per settlement after the change of regime (1991-2019)*

Although the number of developed holiday homes dropped drastically after 1987, the number of settlements where holiday homes were constructed stayed above 200 even a decade afterwards. From the millennium till 2010 there were still 150 settlements where holiday home construction was significant, however, this number drastically dropped between 2011 and 2017. Nevertheless, this number was above 100, while in the previous two years only 89 and 82 settlements gave occupancy permit to newly built homes.

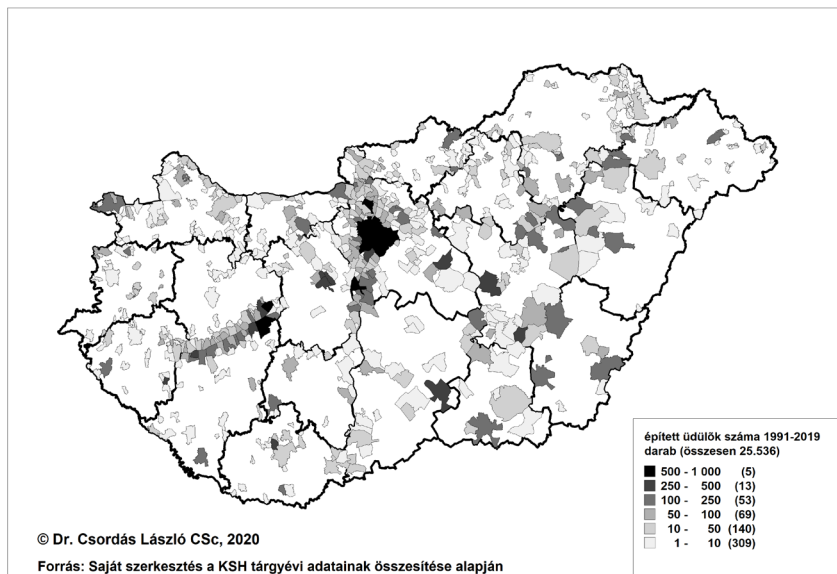
In the 1990s (between 1991 and 1998) the settlement leading the rank changed from year to year (Gárdony, Szentendre, Sukoró, Szigetszentmiklós, Orfű, Kiskunmajsa, Balatonkenese, Várgesztes and Tiszavasvári in a draw). After this decade Kiskunmajsa (1999) and Balatonkenese (2002) could lead the field, which means they ranked first twice within 5 years. This was the only period when settlements in the Great Plain could be the first ones in the national list, even though they did not have many holiday homes (their number was 27-56): Kiskunmajsa in 1996 and 1999, Tiszavasvári in 1998.

Prior to the millennium (in 1998, 1999) Ráckeve was the 3rd in the list, and in 2000 and 2003 it was awarded the first place; in the meantime thermal holiday resorts with international fame (Hévíz, Bük) forged ahead until 2004, and in 2005 and 2006 Zalakaros got extremely popular: more than 100 holiday homes were constructed every year there. After 2003 Budapest turns up more and more often in the list ending up as the third, then the second, and takes the lead after 2007 several times (2007, 2010, 2011, 2018), just like Szentendre (2009, 2013, 2015, 2017, 2019). After 2003 there was not any years when one of these two settlements were not among the top three settlements with the highest scores in holiday home construction; moreover, in 2007-2008, 2010-2011, 2014 and 2018 both of them were in this category. Szentendre always used to be one of the top three settlements between 2006 and 2019. It was only Siófok that could end up with the same scores more than once (in 2012 and 2016).

*Figure 3* clearly shows that 25.536 holiday homes were constructed in 589 settlements between 1991 and 2019 in Hungary. The number of settlements taking part in holiday home construction rose with 82%. The national rank in order: Szentendre (812 holiday homes) Budapest (710), Siófok (587), Ráckeve (541), Balatonkenese (527), Gárdony (433), Szolnok (414) in the 7th place. Diffusion from the most popular holiday resorts to the more distant parts of the country was relevant even on settlement level (*Figure 3.*). Parallel to this phenomenon, the increasing concentration around the capital can also be noticed.

In these three decades 5018 holiday homes were constructed in 109 settlements in the Great Plain, which equals to 20% of the national value. The number of settlements that joined this progress doubled (rose by 2,27 times) compared to the previous decade. Szolnok, which was the settlement ranked first in the Great Plain, had 414 holiday homes constructed; it was followed by Békésszentandrás (312 holiday homes) being the 12th, Kiskunmajsa (304 holiday homes) the 14th, Abádszalók (248 holiday homes) the 19th, Szeged (246 summer homes) the 20th in the national list; they were followed by Tiszavasvári, Tiszakécske and Tiszacsege. The fact that 5 settlements in the Great Plain are among the most thriving settlements in the three decades after the change of regime is a sign of a moderate appreciation of the region, as there were none of them among the top twenty settlements before the change of regime.

It also can be noticed that less than 10 holiday homes were constructed in half of the settlements between 1991 and 2019 according to *Figure 2* and *3*. In the



*Figure 3. Holiday home construction per settlements in Hungary, 1991-2019.*  
 Source: My own draft based on the data of HCSO annual data

top category where settlements with minimum 1000 holiday homes belonged to, there was no settlement. There was also drastic drop – especially compared to the decade prior to the change of regime – in the number of those settlements (from 14 to 5) where the number of newly built holiday homes was between 500 and 999, or between 250 and 499 (from 36 to 13) in the past 29 years. It means that between 1981 and 1990 more than 250 holiday homes were built in every 6 or 7 settlement, while this number was achieved in every 33 settlements in the following decade.

## **Conclusion**

Most holiday homes (5206) were built in 1987, but a drastic drop occurred due to legal, socio-economic changes in the following years; nowadays their number is less than the tenth of the figures in 1980 (there were only 257 holiday homes in 2019). In the past 39 years Gárdony, Szentendre, Siófok, Balatonkenese and Ráckeve were ranked as the top five settlements (>1180 holiday homes), while the majority of holiday homes was constructed in Békésszentandrás, Tizsakécske, Szolnok, Gyula and Szeged (>500 in total) in the Great Plain.

A significant territorial diffusion can be noticed in the spread of holiday homes. Every ninth settlement joined the holiday home constructions between 1981 and 1990, while between 1991 and 2019 every fifth settlement did so; accordingly, holiday homes appeared farther away from the residence of target holiday population. The position of the Great Plain relatively improved between 1991 and 2019 – in spite of the decrease in holiday home construction, or as its consequence – one fifth of the holiday homes was built here (compared to the one eighth between 1981 and 1990), one settlement was among the top 10, further four among the top 20 settlements; and one settlement, Békésszentandrás could preserve this position throughout the whole period, between 1981 and 2019.

Holiday home construction may significantly change the geographic structure, morphology, functional features, infrastructure, land use, the social and demographic features of the population in the involved settlements. A significant change is to be expected in society and life style in the recipient area.

## **Acknowledgement**

This research is supported by EFOP-3.6.1-16-2016-00006 "The development and enhancement of the research potential at John von Neumann University" project. The Project is supported by the Hungarian Government and co-financed by the European Social Fund.

## References

- BAÁR, L-NÉ, GRATZL, F. (2004): 2001. évi népszámlálás: 15. Az üdülők adatai. Budapest: KSH.
- BAUMHACKL, H. (1989): Die Aufspaltung der Wohnfunktion. Wien: Universität Wien. Manuskript. p. 453
- COPPOCK, J. T., ed. (1977): Second Homes: Curse or Blessing. Oxford: Pergamon.
- CSORDÁS, L. (1992): Magánüdülők a Dél-Alföldön. Alföldi Társadalom. pp. 72–91.
- CSORDÁS, L. (1995): Szabadidő-lakások az Alföldön. Kecskemét: Kandidátusi értekezés. p. 154. + p. 260 Appendix + 275 maps
- CSORDÁS, L. (2021): The development of holiday home construction in Hungary and in the great plain in the past 4 decades (1980-2019). In: Pázmándi, K. – Pétervári, K. (ed.) Space – Time – Market– Economy Budapest, Magyarország: HVG-ORAC pp. 283–292.
- ENYEDI, GY. (1988): A városnövekedés szakaszai. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- KOWALCZYK, A. (1994): Geograficzno-spoeczne problemy zjawiska "drugich domów". Warszawa: Uniwersytet Warszawski.
- MARTONNÉ, ERDŐS K. (1990): Az egyéni rekreáció lehetőségei és megvalósulásai Miskolc környékén. Debrecen: KLTE. Kandidátusi értekezés. Kézirat. p. 158
- MICHALKÓ, G. (2007): Magyarország modern turizmusföldrajza. Pécs-Budapest: Dialóg Campus Kiadó.
- HCSO national and county annuals (1970-2000): Budapest and county capitals: HCSO.
- National Land Development and Land Management Information System (Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer) <https://www.teir.hu/> (The access period: 2010-2020.)



# Szeriális források és GIS: új megközelítések a történettudományban az Engel-térképtől az oszmán összeírásokon át a GISa Hungarorum projektig

Demeter Gábor<sup>1</sup> – Gyula Gergő – Németh Gábor – Somogyi Dániel

<sup>1</sup> tudományos főmunkatárs, ELTE HTK TTI, demeter.gabor@htk.elte.hu

**Absztrakt:** 2014-ben, az MNL Adatbázisok Online felületén korábban közzétett 1720-as és 1715-ös Regnicolaris Conscriptio (INTERNET1) szkennelt képei és digitális átírata (a levéltár azonban csak a neveket publikálta, a gazdasági életre vonatkozó számokat nem) hatására kezdődött el a 18-19. századi magyarországi szeriális történeti források településsoros összesítéseinek digitalizálása, adatbázisba rendezése és vizualizálása a GISa Hungarorum felületén az 1910-es népszámlálás (mint a történeti országhatár legérzékenyebb felvételezése) településsoros adatainak feldolgozásával. A projekt fő célja az 1720-as összeírás és 1910-es népszámlálás közötti, országos fedettségű, településsoros adatok adatbázisba szervezése, valamint a középkori és 21. századi adatbázisokkal való harmonizációja a társadalmi-gazdasági és demográfiai folyamatok regionális mintázatának hosszútávú vizsgálatához.

## Bevezetés

GISa Hungarorum projekt fő célja az 1720-as összeírás és 1910-es népszámlálás közötti, országos fedettségű, településsoros adatok adatbázisba szervezése, valamint a középkori és 21. századi adatbázisokkal való harmonizációja a társadalmi-gazdasági és demográfiai folyamatok regionális mintázatának hosszútávú vizsgálatához. Az adó- és urbéri összeírások mellett a történeti népszámlálások településsoros adatainak feldolgozása lehetővé teszi

(1) az adott korban érvényes társadalmi-gazdasági-demográfiai viszonyok területi differenciáltságának vizsgálatát, az egyenlőtlenségek jellegének és mértékének feltárását, a rurális fejlettségi viszonyok rekonstrukcióját.

(2) A társadalmi-gazdasági-demográfiai viszonyok területi differenciáltságának, az egyenlőtlenségeknek és a fejlettségi viszonyok időbeli változásának vizsgálatát országos kitekintésben 1720-ban, 1786-ban, 1828-ban, 1880-ban és 1910-ben.

(3) A fentiek vizualizálását térképeken, valamint történeti statisztikai módszerek segítségével.

(4) A történeti statisztikai adatok mellett extern változók (a konzervatívnak tekintett talajviszonyok és domborzat, a nyersanyagkincsek elérhetősége, vízekől-utaktól való távolság, stb.) is tárolásra kerültek az adatbázisban.

(5) Szem előtt tartva a kutatások gyakorlati hasznosítását, célként jelent meg az integrált történeti adatbázis mai, modern földrajzi (periféria)kutatásokhoz kötődő

adatbázisokkal való összekapcsolásának igénye, éppúgy, mint a korábban készült, vagy párhuzamosan készülő, 18. század előtti (középkori és oszmán kori) adatbázisok és térinformatikai rendszerek integrálása.<sup>1</sup>

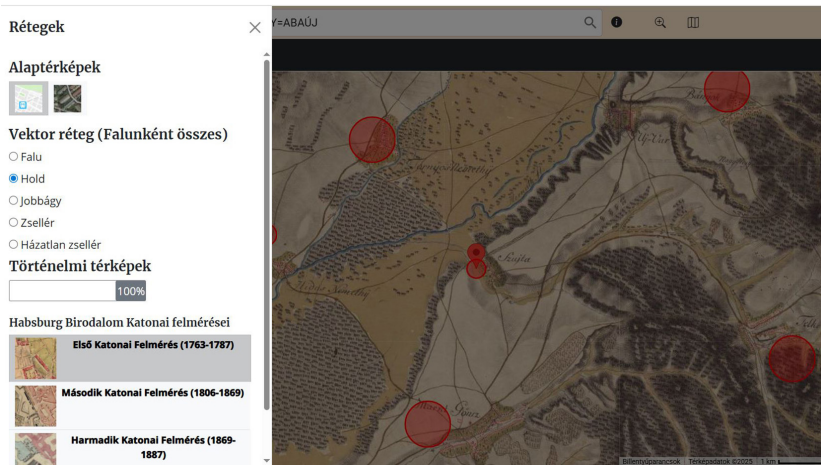
Ez utóbbi két cél szükségessé tette épülő 19. századi adatbázisunk geokódjainak összekapcsolását a már létező adatbázisok ID-ivel, az egynél több időmetszet pedig egy egymásból levezethető, azonos méretarányú, azaz szintén harmonizált, és a mai OSM-rendszerekkel kompatibilis és pontos (jó felbontású, 1:144 000-es léptékű) pont- és poligonterképeket igényelt. Az először egyértelműen kutatási célból készülő GISa Hungarorum a történészek számára a regionális nézőpont és a GIS implementálásával a történeti statisztika megújítása érdekében jött létre; a geográfia irányában pedig a cél a történeti nézőpont beemelése volt a modern perifériakutatásba – melyet Szilágyi Zsolt és Péntes János visz tovább. Az ökonometria (kliometria) számára pedig a 19. század vége előtt rekonstruálhatatlan GDP értékek más indikátorokkal, kompozit (összetett) mutatókkal való kiváltása volt a cél. A finom felbontás alkalmazásával pedig a területi egyenlőtlenségek fogalmának és mutatóinak (pl. Hoover-index, a fejlettség-fogalom mellé, azzal azonos szintre állítása vált lehetővé.

A tudományosság mellett a tudás társadalmiasítása, a tudomány népszerűsítése és az eredmények hatékony disszeminációja is célként jelentkezett az alapadatok és alaptérképek közzététele mellett a vizualizált eredmények (300 kartogram) webes megjelenítésével. Annál is inkább, mert az MNL-ben folyó fejlesztések (adatbázisok AI-val történő generálása, egységes névtér kialakítása, a fióklevéltárakban lévő levéltári állományok digitális összekapcsolása, kereshetővé tétele a Hungaricana-projekten keresztül, INTERNET2) továbbra is az adat- és adatbázispublikációkat preferálták a térképes megjelenítéssel szemben. A GISa Hungarorum első online verziójának megjelenésekor csak az 1767-es úrbérrendezés digitális adatállományának volt térképi megjelenítése (a vetületbe húzott katonai első felvételezésre helyezett pin-ek segítségével) (INTERNET3), a GISa legutóbbi, 2026-os bővítésekor (1. ábra) ehhez már társult a Simon Éva által vezetett oszmán defterek feldolgozása ugyancsak pin-ek használatával a vizualizációhoz (2. ábra) (INTERNET4). Szintén új fejlesztés a Reisz T. Csaba által kivitelezett „Négyzetkataszter”, mely viszont a GISa Hungarorumhoz hasonlóan shape-fileokon alapuló, nem pin-es megjelenítésű módszerrel köti össze a teret a Hungaricana-ban található, az adott településre vonatkozó kataszteri adatokkal és levéltári állományokkal (3. ábra) (INTERNET5).

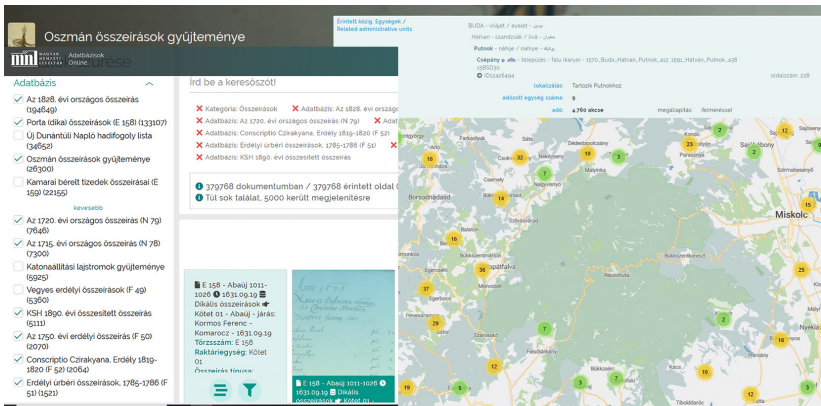
A három új levéltári fejlesztés azonban nem átjárható, nincsenek harmonizálva: három eltérő módon szervezett térinformatikai rendszerről van szó, melyben az adatok történeti (statisztikai) vizsgálatokhoz való hasznosítása nehézkes, hiszen a háttéradatok nem tölthetők le tömegesen (csak egyenként). Szintén nem kapcsolhatók automatikusan a GISa Hungarorumhoz. Ennek legutóbbi térképes webes fejlesztése

---

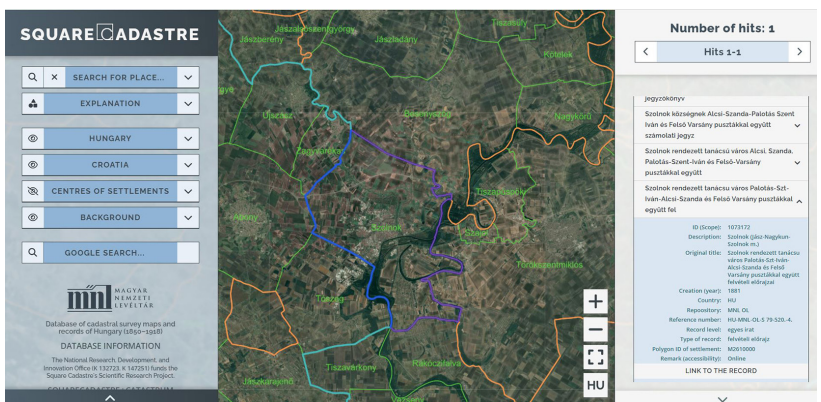
<sup>1</sup> NKFI 145 924: A késő középkori Magyar Királyság regionális különbségei (F. Romhányi Beatrix) és NKFI 149648: A magyarországi hódoltság és hódoltsági peremvidék kataszteri iratainak (tapu-defter) feldolgozása III. (SZ. Simon Éva)



1. ábra Az 1767-es úrbérrendezés anyagának térképi, webes platformja



2. ábra Oszmán adóösszeírások adatbázisa és térképi megjelenítése (MNL – AOL)

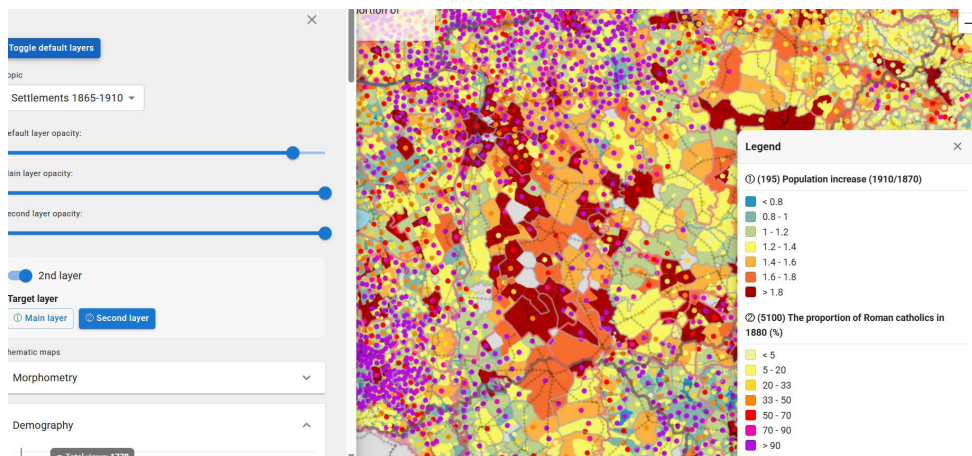


3. ábra A négyzetkataszter, az MNL térképes alkalmazása a Hungaricana-ba feltöltött források metaadatainak területi alapú megjelenítését teszi lehetővé

viszont tömegesen letölthető adattáblákat, GIS-alaptérképeket, 4 időmetszetben mintegy 300 derivált (alapadatbók kombinációjából számított, pl. egy főre jutó értéket megjelenítő, vagy %-os megoszlást illusztráló) tematikus térképet tartalmaz, a térképes felületen pedig kattintással az adott településhez tartozó, a tematikus térképekhez felhasznált nyers alapadatok is láthatók egy popup-window segítségével. A Gyula Gergő (Allum Digital) által fejlesztett interaktív alkalmazás településneves keresővel is ellátott (ha a név egy részét írjuk be akkor az összes ez tartalmazó találatot kiadja), ezen felül a 4 időhorizontban kronologikusan és azon belül tematikus csoportokba szervezett kartogramok (demográfia, mezőgazdaság, stb.) közül egyszerre akár kettő is megnyitható egymás felett (az egyik foltkitöltéssel, a másik szimbólummal ábrázolva a jelenséghez tartozó adatokat).

Az adatok PostgreSQL-ben vannak tárolva, ez egy nagy, ingyenes adatbázis-kezelő rendszer. A térinformatikai lekérdezésekhez GeoServer-t használunk, ami kapcsolódik a PostgreSQL megfelelő tábláihoz és köztes interface-ként lehetővé teszi a koordináta-rendszerben leképezett geometriai adatok átadását. A geometriai, térképes adatokat a Leaflet jeleníti meg, ez egy javascript könyvtár. A rendszer React-ben lett fejlesztve, a képernyőn látható vezérlőelemek, panelek a React-hez elérhető MUI komponenskönyvtár tartozékai. Az összes eszköz ingyenes és folyamatosan fejlesztik az újabb verziókat (4. ábra).

A GIS-ta Hungarorum a közelmúltban bővült az 1828-as országos összeírás településsoros adatait vizualizáló mintegy 70 kartogrammal és nyers adataival. A közeljövőben (2026 május) történik meg a polgári Horvátországra vonatkozó kiterjesztése (kartogramok az 1910-es, 1828-as és 1786-os adatokra) – ez a GIS-tastica Croatica almenü. A fejlesztés korlátai között (ezek egy része forrásadottságokhoz kötött, mint az adathiány, vagy a lassú feldolgozás) említendő, hogy a vizualizáció során használt színskála kötött, nem állítható és előre definiált, nem módosítható intervallumokat alkalmaz.



4. ábra A GIS-ta Hungarorum webes felülete (<http://gistahungarorum.abtk.hu/new/>)

## Anyag és módszer

A GIS-t tehát jelenleg az alábbi, *1. táblázatban* látható korszakokra vonatkozó összeírásokat tartalmazza településsoros adatként (hierarchiaszintekkel együtt, így magasabb adminisztratív egységekre aggregálhatók az adatok). A feldolgozott

*1. táblázat. A GIS-ta Hungarorum térbeli és időbeli kiterjedése (félkövérrel kiemelve, 2025), statisztikai alapegységei és viszonya a testvérprojektek adatfeldolgozásaihoz*

Év	A vizualizált és számításokhoz használt adminisztratív/területi alapegység a GIS-ta Hungarorum adatbázisaiban	Ennek megjelenése az alaptérképek (shapefájl alapentitása) – területi számításokhoz	Demográfia, a népességbecslés alapja a fajlagos mutatókhoz
1330 pápai tizedjegyzék <sup>2</sup>	plébánia (+település)	pont + Voronoi poligon	becslés – 530 fő/pap (kivéve az orthodox és szász lakosságot)
1495: szubszidium országos összeírása	plébánia (+település)	pont + Voronoi poligon	730 fő/pap adófizetők száma
1560-as évek, oszmán defterek <sup>3</sup>	nahiye (+település) eltér a korábbi keresztény adminisztrációtól	pont + poligon (1864)	férfiak 13 év felett + adófizetők + hane szám (300 akçe bevétel feletti háztartások)
1560-as évek Conscriptio portarum	település	pont + poligon (1884)	adófizetők és adóegységek (porta)
<b>1720 (1728) Regnicolaris Conscriptio</b>	<b>település (+ vármegye)</b>	<b>pont + poligon (1884)</b>	<b>adózők</b>
<b>1750 erdélyi adóösszeírás</b>	<b>település (+ járás + vármegye) csak Erdély</b>	<b>pont + poligon (1884)</b>	<b>adózők</b>
<b>1785 első népszámlálás</b>	<b>település (+ vármegye)</b>	<b>pont + poligon (1884)</b>	<b>teljes népesség</b>
<b>1786 adófizető úrbéres lakosság összeírása</b>	<b>település (+ vármegye) Erdély nincs</b>	<b>pont + poligon (1884)</b>	<b>adózők</b>
<b>1828 adófizetők összeírása</b>	<b>település (+ vármegye) Erdély nincs</b>	<b>pont + poligon (1884)</b>	<b>adózők</b>
<b>1870-1910 népszámlálásai</b>	<b>település (+ járás + megye)</b>	<b>pont + poligon (1910)</b>	<b>teljes népesség</b>
1920-1941 népszámlálásai	település (+ járás + megye) csak mai országterület	pont + poligon (1930)	teljes népesség
1990-2010 népszámlálásai	település (+ járás + megye) 12 indikátorra, történeti országterület	pont + poligon (2000)	teljes népesség

<sup>2</sup> F. Romhányi Beatrix: NKFI 145 924: A késő középkori Magyar Királyság regionális különbségei

<sup>3</sup> Sz. Simon Éva: NKFI 149648: A magyarországi hódoltság és hódoltsági peremvidék kataszteri iratainak (tapu-defter) feldolgozása III.

köteteket, levéltári állagokat az irodalomjegyzék részletezi. A táblázatban kiemelt sorok a GIS-ta-ba integrált adatokat jelentik, a többi párhuzamos és harmonizált fejlesztés, azonos térinformatikai alapokon (kódrendszer, alaptérkép). Mivel az alapadatok rögzítésén túl a fent kitézött célok miatt szükség volt az összeírásokban mért értékek fajlagos, egy főre eső és területegységre eső értékének kiszámítására és illusztrálására is, emiatt népességi proxy-adatokat is tartalmaz a rendszer és a települések közigazgatási határait is megpróbáltuk azonosítani a 18. századra, 19. század végi adatok alapján (2. táblázat).

2. táblázat. Az egyes adatbázisok, időmetszetek készülségi állapota 2025-ben

Összeírás	Magyarország	Erdély	Szlavónia	Horvátország	ID (települési azonosító, mely kapcsolómező a térinformatikai alaptérképhez és a többi táblázathoz)
1330 pápai tizedjegyzék	DS	DS	DS	-	Engel ID (településszint) + plébánia ID (F. Romhányi)
1495, szubszidium összeírása	DS	DS	DS	-	Engel ID (településszint) + plébánia ID (F. Romhányi)
1560-as évek oszmán defterjei	DS	-	DS	n.a.	Engel ID (településszint)
1560-as évek Conscriptio portarum / Dicalis conscriptiones	0	-	DS	n.a.	feldolgozás alatt
<b>1720 (1728) Regnicolaris Conscriptio</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	-	-	<b>ID 1780</b>
<b>1750-es erdélyi összeírás</b>	-	<b>DS</b>	-	-	<b>ID 1780</b>
<b>1785 első népszámlálás</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>ID 1780</b>
<b>1786 adózó úrbéri népesség összeírása</b>	<b>DS</b> <b>Bánát hiányzik</b>	<b>(1750), 0</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>ID 1780</b>
<b>1828 adózó népesség összeírása</b>	<b>DS</b>	<b>0</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>ID 1780</b>
<b>1870-1910, népszámlálások</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>DS</b>	<b>ID 1910</b>
1920-1941, népszámlálások	DS (1920 utáni területre)	0	0	0	ID 1910, ID 1930
1990-2010, népszámlálások	DS	DS	0	0	LAU, GISCO - kód

DS – adatbázis és alaptérkép; 0 – nincs kész, nem elérhető; – nem létezik

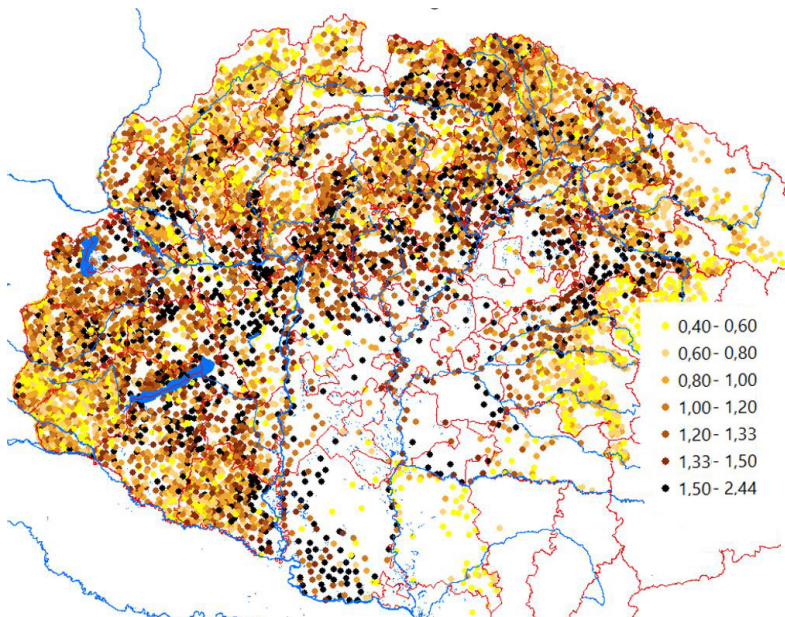
A GISa Hungarorum szeriális forrásai alapján és Digitális Domborzatmodell segítségével, ESDA típusú szemléletet alkalmazva (DALLERBA 2009) – teljesség igénye nélkül – a fent kifejtett lehetőségek mellett a következő jelenségek vizsgálhatók akár vizuálisan, akár módszerekkel:

- Milyen hasonlósági régiók (történelmi klaszterek) azonosíthatók a társadalmi-gazdasági-demográfiai mutatók alapján? Mennyire mozaikos a történelmi tér? Milyen társadalmi-gazdasági és demográfiai jellemzőkkel rendelkeztek a centrumok és a perifériák, és hogyan változott ezek elhelyezkedése az idők folyamán?
- Milyen társadalmi-gazdasági és demográfiai különbségek mérhetők a nem számszerűsíthető kategóriák és alcsoportok, például a vallás, a nyelv és a településállomány jogi kategóriái között? (A magyarok által lakott települések jobb életkörülményekkel rendelkeztek? Mikortól?)
- Hogyan befolyásolták a külső (földrajzi) jellemzők a társadalmi-gazdasági és demográfiai mutatókat? (Van-e összefüggés a fejlettségi szint, településméret, jogi helyzet, stb. és a talajminőség között?)
- Hogyan befolyásolta a rurális életminőséget a nyersanyagoktól, a lineáris infrastruktúrától és a piacoktól való távolság?
- Hogyan befolyásolta a társadalmi differenciáltság a társadalmi-gazdasági és demográfiai mintákat? (A föld nélküli parasztok – zsellérek – által lakott területek eleve szegényebbek voltak és később a modern kor perifériáivá váltak?)
- Hogyan befolyásolta a birtoktípus és a földbirtoklás jellege a parasztság jólétét (társadalmi-gazdasági mutatók)? (Hol voltak jobbak az életkörülmények: a magánbirtokokon, az egyházi birtokokon vagy az állami-kamarai tulajdonban lévő birtokokon?)
- Hogyan befolyásolta a települések mérete a társadalmi-gazdasági és demográfiai jellemzőket? (A nagyobb települések jobb helyzetben voltak a 18. században, mint ezt a geográfia a 19-20. századra bizonyította?)

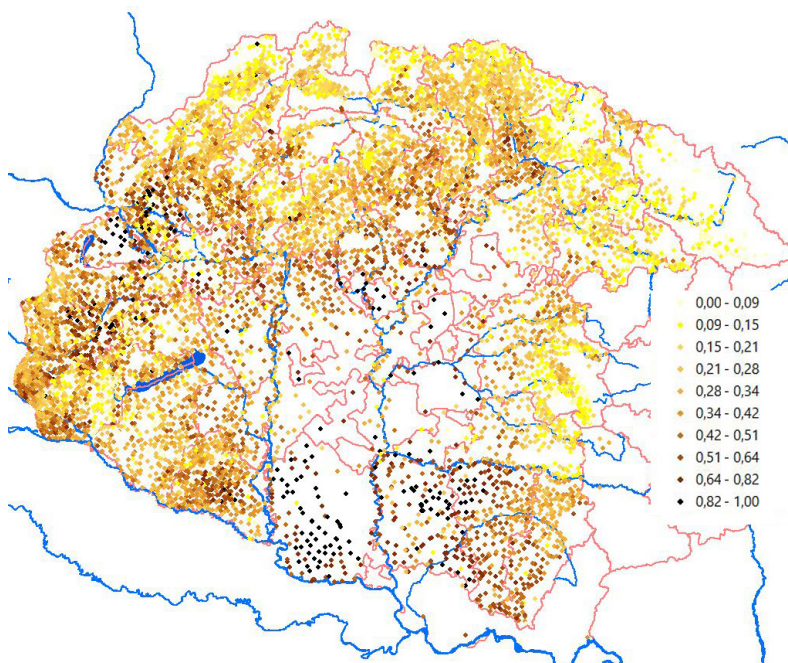
## Eredmények

Bár GDP-t a 18. századra rekonstruálni nem tudunk, hiszen nincs jövedelemadatunk, ráadásul az uradalmak, majorságok termelése sem ismert a jobbágyi adóösszeírások jellegéből következően, szintén nem mérhető 1828-ig az állattartás jelentősége (6. ábra), azonban történelmi HDI-t (Human Development Index) viszont mégis tudunk számolni, akár településszinten is. Ehhez csak a HDI három komponensmutatójának megfeleltethető proxy változót kell találni és máris vázolhatók a 18. századi Magyarország agrártársadalmának fejlettségi különbségei, nemcsak materiális, de kulturális és egészségügyi értelemben is. A modern HDI esetében a GDP, a várható élettartalom és a képzettség a három bemenő változó, de ezek történelmi korokban nem állnak rendelkezésre és nem is kalkulálhatók. SZILÁGYI ZSOLT (2026) az 1880-1910 közötti HDI-re vonatkozó számításaiban korrelációs

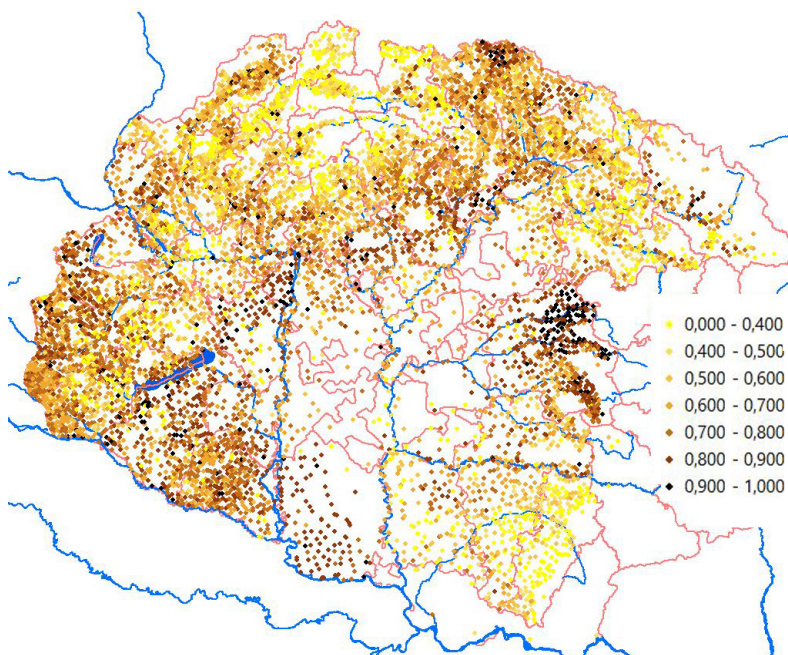
vizsgálatokkal az eredeti változókat az állami direkt adókkal, az írni-olvasni tudók arányával és a mortalitási rátával helyettesítette. 1780 körülre azonban egyik sem áll rendelkezésre és 1828-re sem. Azonban a földjövedelmet meghatározta a földminőség, az üzemegységre eső földméret és az eltartottak száma: ezt a családmérettel, az 1-12 éves gyerekek arányával, az 1786-ös ötosztályos földminősítéssel (korrekciós szorzótényező), az egy úrbéresre jutó földmérettel, a nyomások számával (földméret korrekciós tényezője) és az adózás utáni maghozammal közelítettük. Az oktatást (és kulturális jólétet) az iskolamesterrel, pappal és mindkettővel vagy egyikkel sem rendelkező települések négyfokozatú (ordinális) skáláján értelmezve közelítettük. A mortalitást az 1-12 év 13-17 év közötti korosztály arányszámával közelítettük, tudván, hogy nulla mortalitás esetében a két halmaz nagyságának aránya településenként (az egyes kohorsokban azonos születési rátát feltételezve) 12:5 (közel 2:1) lenne normális esetben. Ezt tetézte a mortalitási ráta – FARAGÓ (2008) szerint a született gyerekek fele sem élte meg ekkor Magyarországon a 18 éves kort, ami a normál arányt 12:3 (4:1) közelébe vitte (és a halmazból hiányoztak azon elsősülöttek, akik majd öröklik a jobbágytelket, de még nem nagykorúak – őket a „paraszt és polgár örököse” kategóriában találjuk a józsefi népszámlálásban). A két korcsoport településenkénti hányadosa azonban igencsak változott az ország különböző területein, így ez lehetővé tette a mortalitás lokális differenciáinak közelítését. A három bemenő (input) indikátor értékeit normalizálva (0-1 között újraosztályozva), majd összeadva, a három változó átlaga adta ki a fejlettségi rangsort, melyet 10%-os bontásban illusztráltunk az abszolút számértékek használatának bizonytalanságait, támadhatóságát elkerülendő (5. ábra).



5. ábra Kísérlet a történeti Human Development Index (kompozit fejlettség) rekonstrukciójára az 1780-as években (GDP helyett és finomabb felbontásban)



6. ábra A fejlettség regionális mintázata 1828-ban a kompozit fejlettségi mutató alapján (decilis értékek – adathalmaz 10%-os bontásban)

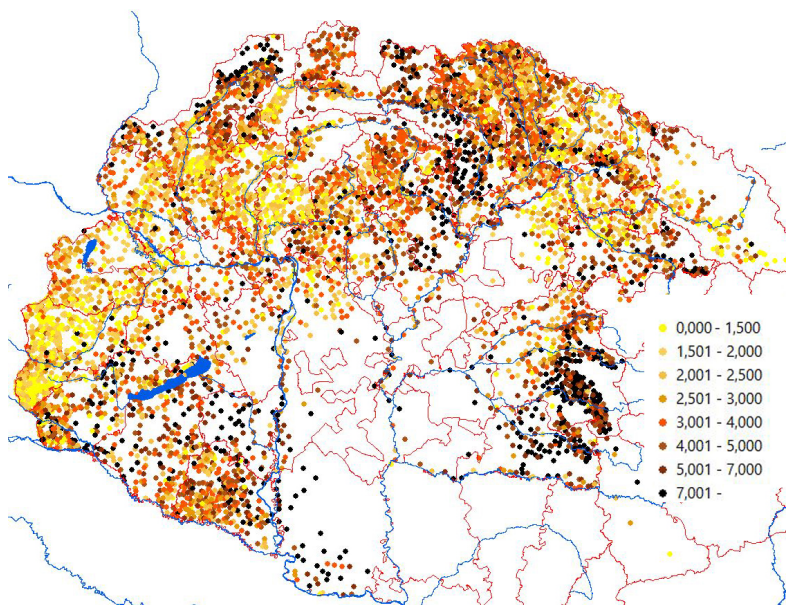


7. ábra Az állattartás relatív súlya a gazdaságban 1828-ban (az állatok nélkül mért fejlettségi szint értéke az állatokkal mért fejlettségi szinthez, 1=100%)

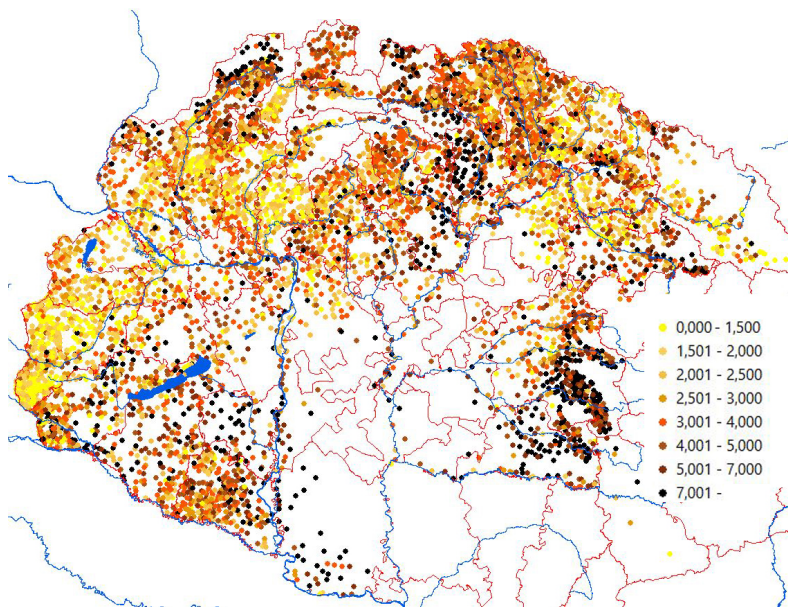
1828-ra szintén készítettünk egy kompozit fejlettségi indikátort a termelési adatok felhasználásával, immár belefoglalva az állattartást a szőlőtermesztés, gabonatermelés, rétyjövedelem, földméret mellett, mely ráadásul piaci árakon alapul, a korábbi összeírásokhoz (1720, 1728) képest, ahol a vetett gabonához mért szemhozamot adták meg (miután levonták a vetőmagot és az adót – ez alapján az országos átlagos szemhozam 5 körül alakult) (6. ábra).

Az állattartás 1828-as relatív súlya a fejlettségben (7. ábra) szintén unikális, ugyanis sem előtte, sem utána nem publikáltak településsoros adatot az állatállományról, így csak becsülni lehet – épp az itt publikált adatok alapján –, hogy az állattartásnak mekkora szerepe volt (és ez regionálisan hogyan változott) az agrártermelésből élő lakosság jólétében 1780 körül, vagy éppen később, 1865-ben, 1880-ban és 1910-ben. Az utóbbi időpontokból ugyanis van településsoros földhasználati és földnagyság adatunk, van tiszta kataszteri földjövedelem (ez utóbbi 1883-ból és 1910-ből földhasználat szerint is differenciálva), és ismert az állami direkt adók települési összege is. Azonban sem a földjövedelem, sem a direkt adó nem utal az állattartásból befolyó jövedelmekre.

Végül pedig – bemutatva, hogy az adatbázis nemcsak területi differenciáltságot képes rögzíteni egy adott időpontra, de időbeli összehasonlítást is lehetővé tesz a források és indikátorok körültekintő megválasztása esetén – az 1786-ban és 1828-ban összeírt adóköteles lakosság számának változásával (vagy az 1720 és 1786 között összeírt adózók számának változása alapján) az újratelepített ország régióinak eltérő dinamikáját is illusztrálhatjuk (8-9. ábra). Fontos ugyanakkor hangsúlyozni, hogy



8. ábra Az 1786-ban és 1720-ban összeírt adózók számának változása mutatja a népesség növekedésének eltérő regionális dinamikáját a török kor utáni rekonstrukció idején



9. ábra Az 1828-ban és 1786-ban összeírt adózók számának változása mutatja a népesség növekedésének eltérő regionális dinamikáját a felvilágosult abszolutizmus idején

történeti- és forrásismeretek nélkül könnyen tévútra kerülhet a kutató: például az első népszámlálás (1785-87) között összeírt nem helyi születésű és távollevő lakosság, vagy akár az 1-12 és 13-17 éves gyerekek aránya csak korlátozottan alkalmas mai indikátorokkal való összevetésre, mert egyszerűen más fogalmat értettek alatta a 18. században. Egy ilyen ábrásor összevetése a megyei adóegységek számának változásával (ennek újraelosztása a diéták egyik fő foglalatossága volt) rámutat, hogy a korban is létező, regionálisan differenciált fejlesztéspolitika mennyire követte le a társadalmi demográfiai változásokat (ti. az adózás, a személyre vagy földre vetítve ugyan országosan egységes volt, de az adott területről beszedendő adó nagysága már vita tárgya lehetett)

## Felhasznált irodalom

### *Levéltári források*

#### *GISa Hungarorumba integrált*

HU MNL OL X MF 8374–8386: Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára, (egykor: Központi Statisztikai Hivatal, Iratgyűjtemények volt F iratgyűjtemény) (1701–1996), XXXII-23-j-12, 31–85. doboz. Az 1728-as adóösszeírás feldolgozásának anyaga Perjés Géza hagyatékában)

HU MNL OL A 39 A Magyar Kancelláriai Levéltár, Acta Generalia (1770–1848), 3688/1786.

HU MNL OL W 21 4 N 26: Az 1828-as összeírás Generalia táblái

### *Előkészületben*

HU MNL OL F 51 Erdélyi országos kormányhatósági levéltárak, Gubernium Transylvanicum levéltára (13. sz.–19. sz.), 1785/86-i úrbéri összeírás.

HU MNL OL F 52 Erdélyi országos kormányhatósági levéltárak, Gubernium Transylvanicum levéltára: Conscriptio Czirakyana, Erdély 1819-1820.

### *Publikált források (GIS-ta Hungarorumba integrált)*

ACSÁDY I. (1896): Magyarország népessége a pragmatica sanctio korában 1720–21. M. Kir. Stat. Hivatal, Budapest. (Kiegészítve az Adatbázisok Online felületén elérhető nyomás- és termékenységs adatokkal).

Az első magyarországi népszámlálás (1784–1787). Budapest: KSH, 1960.

DÁNYI D. – FARAGÓ T. – LÁSZLÓ G. (szerk.) (1996): II. József népszámlálásának községi adatai. KSH, Budapest.

GYÉMÁNT, L. ET AL. (2009–2016): Conscriptia fiscală a Transilvaniei din anul 1750. I–II. Editura Enciclopedică, Cluj-Napoca.

FÓNAGY Z. (2013): A nemesi birtokviszonyok az úrbérrendezés korában. Adattár I–II. MTA TTI, Budapest.

ILLÉS J. (szerk.) (1920): Lexicon locorum Regni Hungariae populorum anno 1773 officiose confectum. Hornyánszky, Budapest.

MISKOLCZY A. – VARGA E. Á. (2013–2014): Erdély történeti demográfiájának forrásai a XVIII. század második felében. I-II-III. Felekezeti összeírások 1750–1850. Pro-Print, Csíkszereda.

Pótlás (1975): Pótlás az első magyarországi népszámláláshoz 1786–87. KSH, Budapest, 1975. (Történeti statisztikai tanulmányok 2.)

VÁLYI A. (1796): Magyar országnak leírása ... feltaláltatnak, I–III. Királyi Universitas, Buda.

### *Felhasznált irodalom*

DALLERBA, S. (2009): Exploratory Spatial Data Analysis. In: International Encyclopedia of Human Geography. Elsevier, pp. 683–690.

FARAGÓ T. (2008): Városi halandóság Magyarországon a 18-20. században In: Uő. A múlt és a számok. Pest-Buda környéke népessége és társadalma a 18-20. században. BFL, Budapest, pp. 109–130.

SZILÁGYI Zs. (2026): Új perspektívák és módszerek a 18–20. századi Kárpát-medencei gazdasági-társadalmi folyamatok megértéséhez. Kézirat, pp. 161–203.

### *Internetes források (utolsó letöltés: 2026.04.21.)*

INTERNET1 – <https://adatbazisokonline.mnl.gov.hu/>

INTERNET2 – [www.hungaricana.hu](http://www.hungaricana.hu)

INTERNET3 – <https://archives.hungaricana.hu/hu/urberi/>

INTERNET4 – <https://adatbazisokonline.mnl.gov.hu/adatbazis/oszman/terkep>

INTERNET5 – <https://negyzetkataszter.mnl.gov.hu/>

# Az Alsó-Tarna-völgyben lezajlott negyedidőszaki éghajlatváltozások talajtani és üledéktani bizonyítékainak térinformatikai rendszerezése

Dobos Anna<sup>1</sup> – Bujtor László Dániel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> egyetemi docens, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék, [dobos.anna@uni-eszterhazy.hu](mailto:dobos.anna@uni-eszterhazy.hu)

<sup>2</sup> egyetemi TDK-hallgató, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Táj kutatások – Természetvédelem Tehetségműhely, [bujtorlacus@gmail.com](mailto:bujtorlacus@gmail.com)

**Absztrakt:** A 2025. évi konferencia cikkünkben sikerült az Alsó-Tarna-völgyben félig kötött futóhomok formákat igazolnunk a SURFER 13 és 28.2.275 verziójú szoftverek; szerkesztett DTM-ek; az I., II. és III. katonai felvételezések és a 1:10 000 méretarányú kartográfiai térképek (1990) alkalmazásával és elemzésével. Jelen tanulmányunk célja, e kutatás folytatásaként, a Tarnaszentmária és Tófalu között fekvő mintaterületen, a pleisztocén elejétől a riss glaciálisig (2,58 Ma – 335 ka) épülő nagyobb hordalékkúp felszabdalódási folyamatainak és bizonyítékainak feltárása térinformatikai módszerekkel. Kutatásunk során geológiai, geomorfológiai, talajtani és genetikai üledéktani bizonyítékok térbeli rendszerét elemeztük a SURFER 13. és 30. GIS-szoftver alkalmazásával.

## Bevezetés

Észak-Magyarországon, a Bükk hegység előterében számos hordalékkúp képződött a pliocén és pleisztocén határán, amikor a Bükk hegység központi tömege kiemelkedett és az Alföld térszíne bezökkent. Egy ilyen korábbi egységes, legyezőszerűen elterülő hordalékkúp képződött az Alsó-Tarna-völgyben, a Tarna mentén (SZÉKELY 1958). Mivel a Tarna völgye tektonikus eredetű és ma is igen széles alluviummal és egykori teraszokkal rendelkezik, itt jól megőrződtek a korábbi földtörténeti időszakok felszíni formakincsei és az azokon kialakult üledékek, talajok. Az Alsó-Tarna-völgy földtudományi rendszerének feltárásával 2014 óta foglalkozunk. Először talajtani felmérések zajlottak 2014-2015 között a településeken (DOBOS ET AL. 2014), majd a SURFER 13 és 30. GIS-szoftver segítségével térinformatikai módszerekkel kezdtünk neki a kapott adatok elemzésének (DOBOS ET AL. 2024, 2025). Az elemzések alapjául CSUTÁK ÉS BÓDIS (2001) és KOCSIS (2021) térinformatikai módszereit is alkalmaztuk, akik digitális domborzat modellt alkalmaztak geomorfológiai vizsgálatokban és rendszerezték a digitális talajtérképezés alapjait is.

Kutatásunk aktualitása az, hogy az elmúlt években az EGU új, összesítő térképeket jelenít meg Európa Negyedidőszaki formáinak és üledékeinek térbeli rendszeréről (INTERNET1), s így hazánkban is rendszerezettebbé válhatnak a Bükk hegység és a Bükkalja eddigi kutatási eredményei.

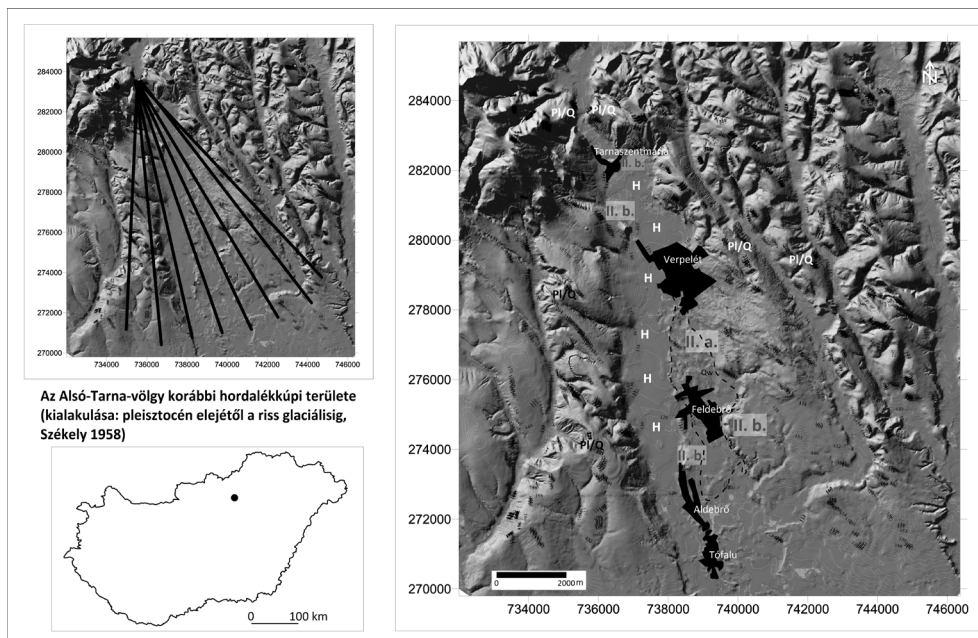
## Anyag és módszer

### *Kutatási terület*

Kutatási területünk Észak-Magyarországon, az **Alsó-Tarna-völgyre** esik, közigazgatásilag döntően Tarnaszentmária, Verpelét és Feldebrő településeket érintik a felvételezéseink (1. ábra). A Tarna egykori hordalékkúpjának területe 2,58 Ma és 335 ka között képződött (SZÉKELY 1958), majd ezt követően szabdalódott fel napjainkig tektonikai mozgások és éghajlatváltozási periódusok során, a Tarna meder mélyülési, majd völgszélesítési folyamatainak váltakozásával.

### *Kutatási módszer*

Az Alsó-Tarna-völgy Tarnaszentmária, Verpelét és Feldebrői szakaszán 2014 és 2015 között talajtani felvételezési kutatásokat végeztünk. Tarnaszentmárián 10 talajszelvényt, Verpeléten 22 talajszelvényt és Feldebrőn 13 talajszelvényt mélyítettünk. Felvételezéseinket a FAO (2006) Guidelines for Soil Description kiadványának és NOVÁK (2013) Talajtani Praktikum könyvének alkalmazásával, mintegy 51 talajparaméter megadásával végeztük el (DOBOS ET AL. 2014); a szelvények pontos EOVS koordinátáit és talajtípusait is leírva. A SURFER (Golden Software) 13. és 30. GIS-szoftverek segítségével, a 1:10 000 méretarányú topográfiai térképet alapul véve, 1 m pontosságú, raszteres Digitális Terep Modelleket (DTM), geológiai térképet (GYALOG – SÍKHEGYI 2005) és saját talajtani térképet készítettünk.



1. ábra Az Alsó-Tarna-völgy korábbi hordalékkúpi mintaterülete, a jelenlegi geomorfológiai formák képződési korával

A talajszelvények ábráit és a hozzájuk kapcsolódó domborzati keresztmetszeteket a SURFER 30 szoftver segítségével szerkesztettük meg. Kiválasztott talajszelvényekre és talajmélységekre laboratóriumi adatok ábrázolásával a negyedidőszaki üledékek genetikus eredetét kimutató szemcseösszetételi görbéket is készítettünk.

A térinformatikát és a SURFER GIS-szoftvert a geomorfológiai, domborzati, geológiai, talajtani és üledéktani információk közötti térbeli kapcsolatrendszer kimutatására alkalmaztunk.

## **Eredmények**

### ***Az eredeti hordalékkúp felszabdalódásával keletkezett táj geológiai és domborzati alapadottságai***

Az Alsó-Tarna-völgy területén fekvő, hajdani legyezőszerűen kiterjedő hordalékkúp fejlődését Székely (1958) a pleisztocén elejétől a riss glaciális időszakáig (2,58 Ma – 335 ka) jelezte. A negyedidőszak során lezajlott tektonikus események és éghajlatváltozások hatására e hordalékkúp felszíne felszabdalódott, új és alacsonyabban fekvő felszíni formák képződtek, mindig új környezeti feltételek mellett.

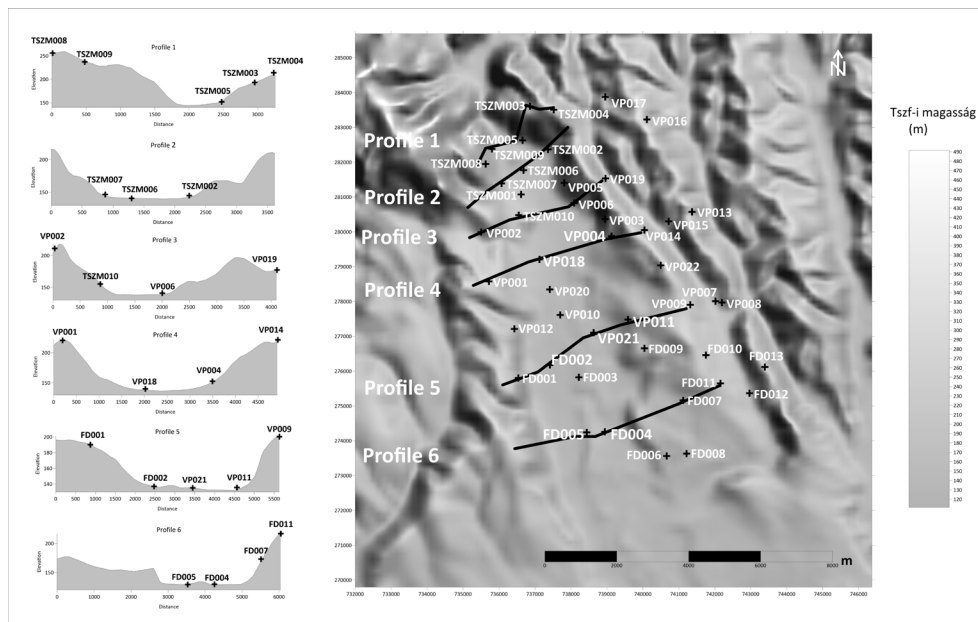
A hordalékkúp egykori felszínét miocén kori vulkáni kőzetek (Nagyhársas Andezit Formáció; Felnémeti Riolittufa Formáció; Tari Dácittufa Formáció; Galgavölgyi Riolittufa Formáció) és tengeri üledékek (Sajóvölgyi Formáció; Kozárdi Formáció) övezik (GYALOG – SÍKHEGYI 2005). A hordalékkúp egykori területét azonban negyedidőszaki üledékek építették fel. Ma ezen üledékek és az újonnan keletkező üledékek a bevésődő Tarna egykori hegyláb felszínein, folyóvízi teraszain és holocén alluviumán mutathatók ki.

A Tarna mai medre fölött elhelyezkedő magas hegyláb felszínének (M) alapkőzete miocén Sajóvölgyi Formáció és Kozárdi Formáció. Az alacsonyabb hegyláb felszín (PI/Q) alapkőzete pleisztocén lösz és miocén Kozárdi Formáció. A II.b. számú folyóvízi terasz alapkőzete pleisztocén lösz vagy lejtő- és proluviális üledék. A II.a. számú folyóvízi terasz alapkőzete pleisztocén és holocén időszakos fluviális és proluviális üledék. A Tarna medre fölötti ártéren (H) ugyanakkor a holocén fluviális üledék jellemző.

Az említett formák és kőzetek / üledékek térbeli kapcsolatát georeferált geológiai és domborzati térképek (1. ábra) alapján mutattuk be.

### ***Az eredeti hordalékkúp felszabdalódásával keletkezett táj talajtani alapadottságai***

A pleisztocén és holocén során felszabdalódott hordalékkúp mai geomorfológiai szintjeihez igazodva, megvizsgáltuk a mintaterületen kimutatható talajtípusok térbeli megjelenését (DOBOS ET AL. 2014). Az egykori hordalékkúp területét figyelembe véve, északnyugatról délkelet felé haladva 6 domborzati keresztmetszeti ábrát szerkesztettünk a feltárt talajszelvények környezetében (2. ábra).



2. ábra Az Alsó-Tarna-völgy feltárt talajszelvényei és a talajszelvényekhez igazított domborzati keresztmetszeti ábrák topográfiai helyzete

Az egykori hordalékkúp kezdeti szakaszán, az 1. keresztmetszeti ábrán (2. ábra), a völgy magasabb térszínein Arenosols (*humuszos homoktalaj*, TSZM008) és Luvisols (*barna erdőtalaj*, TSZM004), a lejtők mentén Regosols (*erdőtalajok lejtőhordaléka*, TSZM009) és Luvisols (*barna erdőtalaj*, TSZM003), majd az alluvium peremén Fluvisols (*humuszos öntéstalaj*, TSZM005) mutatható ki. A 2. keresztmetszeti ábrán, a lejtők alsó részén Erubase (*erubáz*, TSZM007), az alluvium peremén Gleysols/Fluvisols (*réti talaj*, TSZM006) és Fluvisols (*humuszos öntés talaj*, TSZM002) képződött. A 3. keresztmetszeti ábrán, az egykori hordalékkúp felső egyharmadánál, a tetősíntekben Fluvisols (*karbonátos öntéstalaj*, VP002) és Cambisols (*Ramann-féle barna erdőtalaj*, VP019), a lejtők mentén Regosols (*erdők lejtőhordaléka*, TSZM010), míg az alluvium magasabb részén Fluvisols (*karbonátos réti öntéstalaj*, VP006) mutatható ki. A 4. keresztmetszeti ábra tetősíntjeiben Chernozems (*karbonátos csernozjom barna erdőtalaj*, VP001) és Luvisols (*nem podzolos agyagbemosódásos barna erdőtalaj*, VP014), az ártér peremén Arenosols (*humuszos homoktalaj*, VP004), az ártéren Fluvisols (*karbonátos öntés rétitalaj*, VP018) képződött. Az 5. keresztmetszeti ábrát az egykori hordalékkúp alsó szakaszán jelöltük ki. A tetősíntekben Cambisols (*Ramann-féle barna erdőtalaj*, FD001) és Arenosols (*humuszos homoktalaj*, VP009) mutatható ki. A nyugati völgytalp magasabb részén Chernozems (*terasz csernozjom talaj*, FD002), a II.a. teraszon Arenosols (*humuszos homoktalaj*, VP021, VP011) képződött. A 6. keresztmetszeti ábrát már Feldebrőn, a hordalékkúp alsó részén tártuk fel. Itt a keleti tetősíntben Cambisols (*Ramann-féle barna erdőtalaj*, FD011), a Feldebrői kápolna-domb



***Az eredeti hordalékkúp felszabdalódásával keletkezett táj geomorfológiai, talajtani és üledéktani térbeli kapcsolatrendszerének feltárása GIS módszerekkel***

A fentebb jelzett, GIS módszerekkel megszerkesztett DTM-ek, tematikus geológiai, talajtani térképek, valamint a genetikus üledékvizsgálatok eredményei együttesen egy térbeli rendszert mutattak ki mintaterületünkön. A geomorfológiai szintek, a talajtípusok és az üledékek genetikus típusainak összefüggő kapcsolatrendszerét összesítő táblázatban jelenítettük meg (1. táblázat).

Kiderült, hogy az egykori hordalékkúp területe az elmúlt 1,8 Ma alatt fiatal, alacsonyabb pedimenttel (Pl/Q - *Villányumi pediment*), lejtőkkel, a pleisztocén időszak, würmi II.b. sz. folyóvízi terasszal és a würm / holocén határán kivésődő II.a. sz. folyóvízi teraszokkal szabdalódott fel (DOBOS ET AL. 2024; GÁBRIS 2003). Napjainkban a Tarna medre felett egy holocén időszakban képződő ártér mutatható ki (1. táblázat).

A magasabb és alacsonyabb pedimentek térszínén, az alapközettől függően, barna erdőtalajok vagy erubáz talajok jelennek meg, a talajszelvényekben talált üledékek egyrészt fluviális, másrészt eolikus eredetet mutatnak. A lejtők mentén lejtőhordalék talajok jellemzőek.

A 12-15 m relatív magassággal kiemelkedő *II.b. sz. folyóvízi teraszok* (Qw) felszínén érettebb, nagyobb humusztartalmat jelző réti talajok (Fluvisols / Gleysols)

*1. táblázat A geomorfológiai formák, a talajtípusok és az üledékek genetikai típusai között, GIS módszerekkel, kimutatott térbeli kapcsolat*

<b>Geomorfológia</b>	<b>Kor (formaképződés)</b>	<b>Talajtípusok</b>	<b>Üledéktípusok</b>
<b>Pedimentek</b>	M – 8-5 Ma  Pl/Q – 2,58-1,8. Ma	Barna erdőtalajok (Umbrisols) Csernozjom barna erdőtalajok (Chernozems) Erubáz talaj (Erubase)	Eolikus (Glaciális) Fluviális (Interglaciális)
<b>Lejtők</b>	Pleisztocén - Holocén	Lejtőhordalék talaj (Regosols)	
<b>II.b. terasz</b>	(Qw) pleisztocén: Würm) 100 000 – 11 700 év	Réti talaj (Fluvisols / Gleysols)	Eolikus (Glaciális) Fluviális (Interstadiális)
<b>II.a. terasz</b>	Qw/H (Pleisztocén: Würm / Holocén) 12 000 – 11 700 év (I. Termináció)	Humuszos homoktalaj (Arenosols)	Eolikus (Glaciális / Interglaciális) Fluviális (Interglaciális)
<b>Alluvium</b>	H (Holocén) 11 700 - napjainkig	Csernozjom talaj (Chernozems) Réti talaj (Fluvisols / Gleysols) Öntéstalaj (Fluvisols)	Fluviális (Interglaciális)

jelennek meg. A talajszelvények üledékei itt is fluviális és hidegebb időszaki eolikus üledékeket jeleznek. E teraszfelszínen akár a würmben, akár a későbbi holocén időszakában lehetett eolikus üledék áthalmozódás a felszínen/felszín közelében.

Az 5-6 m relatív magassággal kiemelkedő *II.a. sz. folyóvízi teraszon* (Qw/H) általánosságban elterjedtek a humuszos homoktalajok (Arenosols), amelyek azt jelzik, hogy a fiatal Dryas időszakában itt még a hideg glaciális szelek részt vettek a felszín elegyengetésében és a félig kötött futóhomok formák kialakításában (DOBOS ET AL. 2025). A szemcseeloszlási görbék is hűen tükrözték, hogy a korábban lerakódott időszakos fluviális üledékeket a szél tovább formálta, a felszín közeli üledékek eolikus futóhomok eredete igazolt.

A *holocén időszaki alluviumon* (H) csernozjom talajt (Chernozems), réti talajt (Fluvisols / Gleysols) és öntéstalajt (Fluvisols) tudunk kimutatni. A talajszelvények üledékeinek genetikája fluviális, mely jól tükrözi, hogy a holocén felmelegedő időszakában a folyóvízi erózió és a fluviális üledékek lerakódása megélenkült.

## Konklúzió

A SURFER digitális domborzatmodellek, a tematikus térképek (geológiai térkép, talajtani térkép) és a keresztmetszeti ábrák megszerkesztésével, valamint a talajszelvényekben feltárt üledékek genetikai elemzésével sikerült az Alsó-Tarnavölgyében Tarnaszentmária, Verpelét és Feldebrő településeken rendszerezni a rendelkezésünkre álló geomorfológiai, geológiai és talajtani adatokat, információkat és vizuális térképi tartalmakat. Az elemzések azt igazolták, hogy egy átfogó rendszer rajzolódik ki az egyes tájadottságok adatai között, amelyek között szignifikáns kapcsolatrendszer mutatható ki az egykori hordalékkúp felszabdalódási fázisai során.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0016 pályázat és az NTP-HHTDK-25-0053 pályázat (*Tehetségfejlesztő program az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem TTK TDK műhelyeiben*) keretében a Nemzeti Tehetség Program és az Innovációs Minisztérium támogatta.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS  
MINISZTERIUM



Nemzeti Tehetség  
Program

## Felhasznált irodalom

- CSUTÁK M. – BÓDIS K. (2001): Digitális domborzat modell alkalmazása a geomorfológiai vizsgálatokban a Velencei-hegység területén. Földrajzi Értesítő, 50(1-4), pp. 73–84.
- DOBOS A. – HEGYI B. – HEGYI P. T. – ZELEI Z. – DARAGÓ G. – TARI G. (2014): Talajtani Alprojekt. Verpelét (VP001 –VP022). Kutatási Jelentés, Kézirat, Eszterházy Károly Egyetem, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék, Eger, pp. 1–375.

- DOBOS, A. – HEGYI, P. T. – BUJTOR, L. D. – TOLNAI, ZS. – HEGYI, B. (2024): Description of the Characteristic Soil Profiles and Indication of the Degree of Sheet Erosion in Verpelét. *Journal of Environmental Geography*, 17(1–4), pp. 73–90.
- DOBOS A. – BUJTOR L. D. – ZUBOR A. F. – PÓLIK M. B. (2025): Digitális domborzat modellek alkalmazása a geomorfológiában; futóhomokformák, negyedidőszaki üledékek és talajok kutatási eredményei Tarnaszentmária, Verpelét, Feldebrő és Aldebrő határában. In: Abriha-Molnár V.É. (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XVI. Theory meets practice in GIS*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 81–88.
- FAO (2006): *Guidelines for Soil Description*. Fourth edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- GÁBRIS GY. (2003): A földtörténet utolsó 30 ezer évének szakaszai és a futóhomok mozgásának főbb periódusai Magyarországon. *Földrajzi Közlemények CXXVII*. 51(1–4), pp. 1–14.
- GYALOG L. – SÍKHEGYI F. (sorozatszerk.) (2005): *Magyarország földtani térképe, M = 1:100 000*. A Magyar Állami Földtani Intézet Kiadványa, Budapest.
- KOCSIS M. (2021): *Térinformatikai alapok a digitális talajtérképezéshez*. Felsőoktatási jegyzet és feladatsor. MATE Georgikon Campus, Keszthely.
- NOVÁK T. J. (2013): *Talajtani Praktikum*. Meridián Alapítvány, Debrecen.
- PÁSZTOR L. – DOBOS E. – MICHÉLI E. – VÁRALLYAY GY. (2024): Talajok. In: Kocsis K. (főszerk.): *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet*. HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földrajztudományi Intézet, Budapest (2., átdolgozott kiadás), pp. 82–93.
- SZÉKELY A. (1958): A Tarna-völgy geomorfológiája. *Földrajzi Értesítő*, 7(4), pp. 389–417.
- INTERNET1 – <https://blogs.egu.eu/divisions/cl/2021/03/31/presenting-a-new-european-loess-map/>, Letöltés ideje: 2025. szeptember

# A városi forgalom dinamikája és időjárási érzékenysége: FCD-adatok térbeli és időbeli elemzése budapesti csomópontokban

Farkas-Németh Zoltán<sup>1</sup> – Török Zsolt Győző<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ITS adatelemző - doktori hallgató, Budapest Közút Zrt. - ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskola  
<sup>2</sup> egyetemi docens, ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet

**Absztrakt:** A tanulmány Észak-Budapest útcsomópontjaiban vizsgálja a járműforgalom térbeli és időbeli dinamikáját úszóautós (FCD) GPS-adatok alapján. Az elemzés a 2024 novemberre és 2026 márciusa közötti időszakot fedi le, közel 1200 jármű 10 másodperces helyadataira építve, 72 csomópontra aggregálva. A meteorológiai háttérhez az OMSZ öt állomásának csapadékadatait használtuk, Voronoi-alapú térbeli hozzárendeléssel. Az eredmények szerint az átlagos csomóponti korreláció száraz időben 0,524, csapadék esetén 0,441 (-15,8%), a legalacsonyabb érték (0,405) esős munkanapokon jelentkezik. Az 500 m-en belüli csomópontok között 43,4%-os forgalmi hasonlóság figyelhető meg, amely 5 km felett 38,6%-ra csökken. Az eredmények rámutatnak a forgalmi mintázatok időjárási és térbeli meghatározottságára, és hozzájárulhatnak a városi közlekedési rendszerek adaptív tervezéséhez és üzemeltetéséhez.

*Kulcsszavak: városi mobilitás, úszóautós adatok (FCD), GPS-alapú forgalom mérés, térbeli autokorreláció, meteorológiai hatás*

## Bevezetés

Az intelligens közlekedési rendszerek (ITS) fejlesztésének sarokköve a városi közlekedési hálózatokban végbemenő forgalmi változások azonosítása és mérése. A hagyományos, állandó módon beépített észlelési infrastruktúrára alapuló módszerek egyre inkább kiegészülnek a mozgó járművek követésével gyűjtött, nagy térbeli lefedettségű GPS-adatokkal (Floating Car Data, FCD). Az „úszóautós” adatok forradalmasíthatják a forgalomszámlálást: a helyzeti és időbeli információt tartalmazó GPS-adatsorozatokból nemcsak az áthaladási sebesség, hanem a forgalom sűrűsége, az útvonalválasztás és a várakozási idők is levezethetők anélkül, hogy fix mérési infrastruktúrát kellene üzemeltetni (HERRERA ET AL. 2010; SEO ET AL. 2017).

Budapesten az ICEL Kft. kereskedelmi vállalkozások gépjárműveinek fedélzeti GPS-egységeiből gyűjt adatokat. Jelen vizsgálatunkban közel 1200 járműre vonatkozóan a 2024 novemberétől 2026 márciusáig terjedő, 16 hónapos adatsor kerül feldolgozásra. A kutatás kettős célú: egyrészt bemutatja annak módszertanát, hogy miképpen nyerhetők megbízható forgalmi mutatók a nyers GPS-adatokból; másrészt eredményeket közöl a természeti és társadalmi tényezők forgalomra gyakorolt hatásáról, különös tekintettel a hálózati szintű térbeli összefüggésekre. Budapest esetében az FCD-adatok csomóponti szintű, térbeli koherencia vizsgálatának ez az első elemzése.

Az időjárási hatásokat a forgalomra számos korábbi nemzetközi kutatás vizsgálta. AGARWAL és szerzőtársai (2005) például esős körülmények között a városi utakon 10–20%-os forgalomcsökkenést mértek, amit a megnövekedett menetidőkkel és a „modal shift” jelenséggel magyaráztak. A napi különbségek szintén jól ismertek: a munkaszüneti napok forgalmi struktúrája lényegesen eltér a munkanapoktól, különösen az ipari és kereskedelmi funkciójú útvonalakon.

## **Adatforrások**

### ***Mozgó járművek GPS-adatai (FCD)***

Elemzés alapját az ICEL Kft. FCD-adatbázisa képezi. A rendszerben közel 1200 gépjármű vesz részt: fedélzeti GPS-egységeik 10 másodpercenként rögzítik a jármű WGS84-koordinátáit, sebességét és haladási irányát, majd mobilhálózaton (GPRS/4G) továbbítják ezeket az ICEL szervereire. A vizsgált időszak 2024. november 19-től 2026. március 22-ig tart (16 hónap); a teljes adatbázis – szűrés és aggregálás után –  $N = 86\,087\,524$  rekordot tartalmaz, 72 hálózati csomópontra vonatkozóan, negyedórás felbontásban.

Az FCD-adatok előnye a hagyományos fix forgalommérési megközelítésekkel szemben, hogy nem egyes mérési helyhez kötöttek. Mivel az egész vizsgált hálózaton folyamatosan rendelkezésre állnak, valós idejű képet adnak a forgalmi helyzetről. Hátránya a módszernek, hogy a mintavételi arány nem teljes körű, és a nyers GPS-adatok előfeldolgozást igényelnek.

### ***Meteorológiai adatok és területi hozzárendelés***

A meteorológiai háttér-adatokat az OMSZ öt budapesti mérőhelyéről töltöttük le, 10 perces felbontásban. Ebben a vizsgálatban kizárólag a csapadékoszlopot ( $r$ , mm/10 perc) alkalmaztuk, bináris kódolással: esős intervallumnak minősül minden mérés, ahol  $r \geq 0,1$  mm/10 perc, összhangban a WMO (2018) ajánlott küszöbértékével. Az öt mérőhely és a 72 hálózati csomópont összekapcsolásához Voronoi-sokszög (Thiessen-poligon) alapú területi hozzárendelést alkalmaztunk: minden csomóponthoz EOV-koordinátái alapján egyértelműen meghatározható a legközelebbi mérőhely. Ez a hozzárendelés a vizsgálat teljes időtartamán változatlan.

## **Módszertan**

### ***Az FCD-adatok kétlépéses szűrése***

A nyers GPS-adatsorok közvetlenül nem alkalmasak forgalomelemzési célra, mivel kétféle zaj terheli őket: fizikailag indokolt, de az elemzés szempontjából nem kívánatos álló helyzetek (piros lámpa, megállás), valamint a GPS-vevő korlátozott pontosságából eredő, értelmezhetetlen sebességértékek. A feldolgozás kétlépéses szűrési eljárással kezdődik.

1. Álló helyzetek eltávolítása: amennyiben egy jármű sorozatában legalább 3, egymást követő rekord 0 km/h sebességet mutat, a második és az azt követő, nulla sebességű rekordok törlésre kerülnek (az első megmarad, mint a megállás kezdőpontja). Ez a művelet adatbázis rekordjainak 18%-át érintette.
2. A fizikailag értelmezhetetlen sebességek szűrése: a 130 km/h feletti értékeket tartalmazó rekordokat – amelyek GPS-koordinátaugrásból adódnak – töröltük. Érdekes, hogy a nyers adatbázisban 300 km/h feletti, látszólagos sebességek is előfordultak.

### ***Aggregálás és időbeli összehangolás***

A GPS-nyomvonalakat az OSM útgráfhoz illesztjük (map-matching), majd csomópontonként aggregáljuk: 10 mp-es rekord → 10 perces összegzés → negyedórás (15 perces) összegzés. Mivel az OMSZ adatai 10 perces, a forgalmi adatok pedig 15 perces felbontásban álltak rendelkezésre, az összekapcsoláshoz OR-logikájú szabályt alkalmaztunk: egy 15 perces forgalmi intervallum esősnek minősül, ha a lefedett OMSZ-rekordok közül legalább egy eléri a 0,1 mm/10 perces küszöböt. Ez a konzervatív megközelítés fizikailag indokolt, mivel az útfelület nedvessége a csapadék után is fennmarad. Minden negyedórás rekordhoz naptípus-besorolás is kapcsolódik (munkanap, hétvége, munkaszüneti nap stb.).

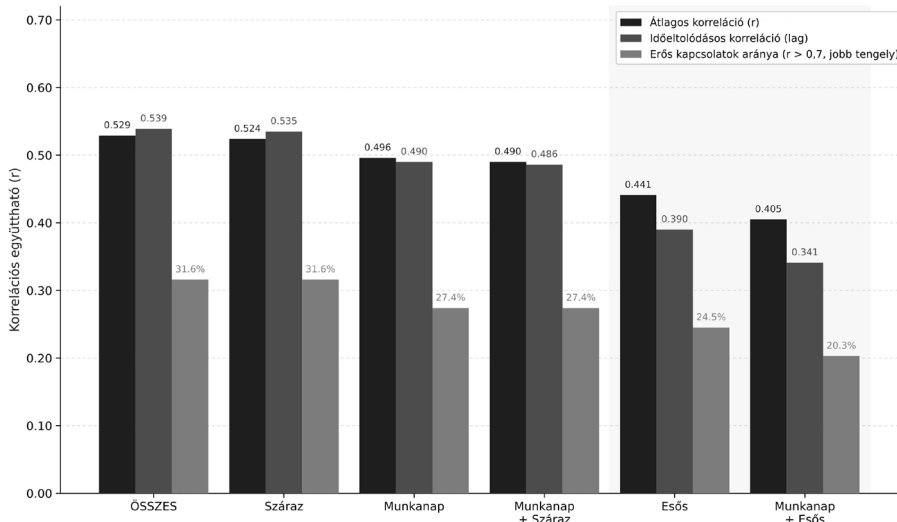
## **Eredmények**

### ***Általános adatjellemzők***

Az adatbázis főbb paraméterei: 72 hálózati csomópont,  $N = 14\,385\,412$  negyedórás aggregált rekord, a csapadékos negyedórák aránya 1,43% (küszöb: 0,1 mm/10 perc), 5 OMSZ-mérőhely. Az első szűrési lépés az adatok 18%-át érintette, a sebességszűrés felső határa 130 km/h volt.

### ***Csapadék hatása a térbeli koherenciára***

Esős időben az átlagos csomóponti korreláció – szemben a száraz időben mért 0,524-gyel – 0,441-re csökken, ami 15,8%-os visszaesést jelent. Az erős kapcsolatok ( $r > 0,7$ ) száma esőben 75-re csökken (szárazon: 97), az időeltolódásos korreláció (lag) esőben 0,390, szárazon 0,535 – ez 27%-os csökkenés. A fentiek összhangban vannak AGARWAL ET AL. (2005) megállapításaival. A Kolozsvári utca – Széchenyi utca csomópontnál az esős átlag (198,81 jármű/negyedóra) meghaladja a száraz időszakra jellemző értéket (160,39): ez a gyalogos- és kerékpárosforgalom gépjárműre való áttérődésével magyarázható. A munkanap–esős kombináción mértük a legalacsonyabb koherenciát (0,405), ami a két tényező additív hatására utal (*1. ábra*).



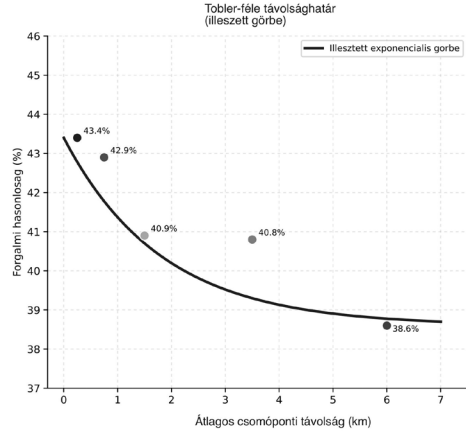
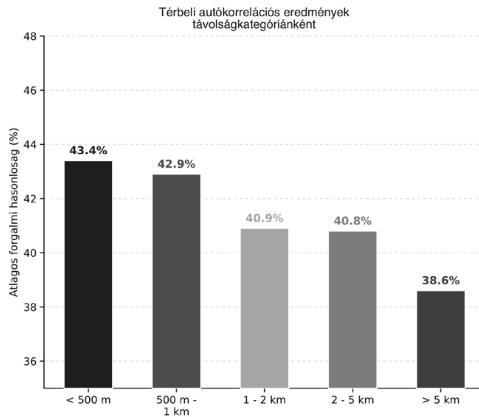
1. ábra Forgalmi térbeli korrelációk vizsgálati kategóriánként (Budapest, FCD-adatok, 2024. november – 2026. március)

### Térbeli autokorreláció

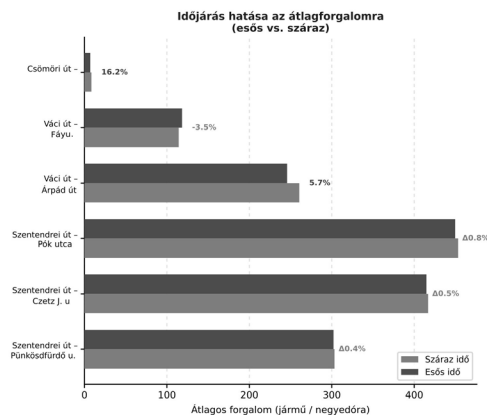
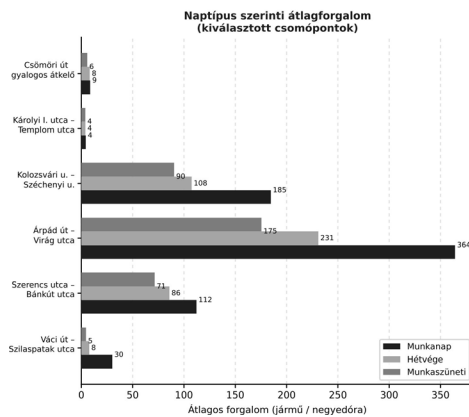
Az 500 m-nél közelebbi csomópontok forgalmi hasonlósága 43,4%, amely fokozatosan csökken 38,6%-ra az 5 km-nél távolabbi pároknál. A 4,8 százalékpontos különbség mérsékelt, a hálózat viszonylagos forgalmi homogenitására utal. A Szentendrei út – Pók utca – Czetz János utca – Püskösdfürdő utca csomópontláncon minden kategóriában  $r > 0,97$  korrelációt mértünk (távolságok: 1351 m és 1911 m) – ez Budapest egyik fő forgalmi folyosója. Szintén erős korreláció ( $r > 0,93$ ) jellemzi a Váci út – Árpád út – Rózsa utca – Árpád út párokat. A lag-elemzés minden kategóriában 0 óra időeltolódást jelzett: a szomszédos csomópontok változásai az óránkénti felbontásban egyidejűként azonosíthatók (2. ábra).

### Naptípus és szezonális hatások

A térség útjain munkanapokon az átlagos forgalom 15–80%-kal magasabb a munkaszüneti napoknál. A Váci út – Szilas-patak utca csomópontnál a munkaszüneti forgalom a munkanapinak csupán 15%-a (4,53 vs. 30,18 jármű/negyedóra), ami erős ipari-kereskedelmi területi jelleget jelez. A Csömöri út – O1 gyalogos átkelőhely hétfői forgalma ezzel szemben a munkanapinak 95%-a (8,18 vs. 8,60), ami vegyes, lakó- és rekreációs funkciójú területre jellemző. Az Árpád út – Virág utca a hálózat legforgalmasabb csomópontja (364,16 jármű/negyedóra munkanapon); munkaszüneti napon ez a forgalom a 48%-ára csökken, ami az ingázóforgalom elmaradásával magyarázható, miközben a híd tranzitszerépésből adódó forgalom részben fennmarad. Összességében a naptípus-besorolás eredményei jól illeszkednek Budapest területhasználati jellemzőihez és megerősítik az FCD-alapú forgalomelemzés alkalmasságát a funkcionális forgalmi szempontú vizsgálatára (3. ábra).



2. ábra Térbeli autokorrelációs vizsgálat: forgalmi hasonlóság és csomópontközi távolság (Budapest, FCD-adatok, 2024. november – 2026. március)



3. ábra Naptípus és időjárás hatása a csomóponti járműforgalomra (Budapest, FCD-adatok, 2024. november – 2026. március)

## Összegzés és következtetések

Az eredmények megerősítik, hogy a GPS-alapú FCD-adatok alkalmasak hálózati szintű forgalmi minták azonosítására és a természeti, illetve társadalmi tényezők hatásának számszerűsítésére. Főbb megállapítások:

- A kétlépéses szűrés (18% álló helyzet; 130 km/h sebességhatár) megbízható forgalmi mutatókat eredményez. A módszer reprodukálható és más nagyvárosok hasonló elemzéseivel összehasonlítható.
- A Voronoi-sokszög módszer egyszerű és determinisztikus eszköz az 5 OMSZ-idejézési mérőhely és a 72 hálózati csomópont területi összekapcsolásának.

Az OR-logikájú időbeli összehangolás biztosítja a 10 perces meteorológiai és 15 perces forgalmi adatok fizikailag indokolt összekapcsolását.

- A csapadék szignifikánsan csökkenti a térbeli koherenciát: esős időben az átlagos korreláció  $-15,8\%$ -kal, a lag-korreláció  $-27\%$ -kal gyengébb a száraz időhöz képest – ez a budapesti hálózaton FCD-adatokon először igazoltuk empirikusan, összhangban AGARWAL ET AL. (2005) eredményeivel.
- A vizsgálatunkban a Szentendrei út mentén azonosított csomópont-lánc minden körülmény között  $r > 0,97$  korrelációt mutat, és így Budapest egyik fő forgalmi folyósóját alkotja. A naptípus-hatás csomópontonként  $15\text{--}80\%$ -os forgalmkülönbséget eredményez, ami jól tükrözi a különböző területhasználati jellemzőket.

Jövőbeli kutatási irányok: radar-alapú csapadéktér alkalmazása a Voronoi-módszer kiváltására, az FCD-minta reprezentativitásának vizsgálata, valamint prediktív modellek fejlesztése a csapadék  $\times$  naptípus  $\times$  napszak kombinációkra a még megbízhatóbb forgalomirányítási döntéstámogatás céljából.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az ICEL Kft.-nek a GPS-alapú FCD-adatbázis rendelkezésre bocsátásáért, az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a csapadékmérési adatokért.

## Irodalomjegyzék

- AGARWAL, M. – MAZE, T. H. – SOULEYRETTE, R. (2005): Impacts of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity. Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa.
- HERRERA, J. C. – WORK, D. B. – HERRING, R. – BAN, X. – JACOBSON, Q. – BAYEN, A. M. (2010): Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The Mobile Century field experiment. Transportation Research Part C, 18(4), 568–583.
- SEO, T. – BAYEN, A. M. – KUSAKABE, T. – ASAKURA, Y. (2017): Traffic state estimation on highway: A comprehensive survey. Annual Reviews in Control, 43, 128–151.
- WMO (World Meteorological Organization) (2018): Guide to Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8, Geneva.

# A felszínborítás változásainak raszter alapú elemzése a Szamos folyó hullámterében az 1965 – 2024 közötti időszakban

Gereben Miklós

Alkotópedagógiai Műhely - koordinátor, Bessenyei György Pedagógusképző Központ, Nyiregyházi Egyetem, gereben.miklos@nye.hu

**Abstract:** I examined changes in land cover within the floodplain of the Szamos River between its mouth and Panyola settlement by analyzing aerial photographs, orthophotos, and raster drone data from 1965 to 2024. The arable land dominance (46.7%) characteristic of the Kádár era in 1965 had shifted to deciduous forest dominance (+148.3%) by 2024, while the proportion of arable land decreased by 23.7%. Despite homogenization (SHDI: 1.58→1.35), patch consolidation (MPA: 4.38→4.73 ha) resulted in stable habitat patches. The number of patches (NP: 553→582→532) shows fragmentation followed by consolidation. Shrublands developed cyclically (0.8%→8.8%→0.4%), while wetlands retreated (0.1%). The QGIS LecoS-based raster analysis (EL, ED, PD, SPLIT) confirms the landscape transformation following the political transition. The forest cover developing across the entire study area increases flood risk, particularly in narrow sections, and simultaneously reduces landscape diversity, as indicated by a 14.6% decrease in the SHDI.

## Bevezetés

A hullámterek egyszerre árvízvédelmi, mezőgazdasági és természetvédelmi szerepkört is betöltő sajátos helyzetű árterek. A 19. századi nagyléptékű mederszabályozások és ármentesítések megindulásának egyik fő indoka az volt – főként a Felső-Tisza vidékének területén –, hogy a folyók futásvonalukat gyorsan változtatták és sok túlfellett kanyarulatot fejlesztettek (VASS – TÚRI 2010). Ezek a beavatkozások a Felső-Tisza vidékén is jelentős környezeti változásokat okoztak, pusztán azzal, hogy az egységes ártér hullámterre és mentett ártérre tagolódott (NAGY ET AL. 2018). A vízügyi szempontok miatti elkülönítés nagyban kihatott a hullámter, mint nagyvízi meder felszínfejlődésére, ami befolyásolta azok vízvezető képességét (VASS ET AL. 2009). A Felső-Tisza legnagyobb mellékfolyóján a Szamoson is számos beavatkozást végeztek, főleg annak torkolati szakaszán voltak jelentős, nagy tájformáló hatással bíró intézkedések. Míg a mederrendezés során, pl. az olcsvai kanyar levágásával és az 1890-es új torkolat kialakításával, egy egyenes mesterséges mederszakasz jött létre, addig a hullámterek ármentesítése nagy kiterjedésű mezőgazdasági kultúrtájat hozott létre (IHRIG 1973). VASS ÉS TÚRI (2021) munkája is igazolja, hogy a rendszerváltás utáni korszak szántó-dominanciájának megszűnése a sűrű aljnövényzettel rendelkező ártéri erdő került túlsúlyba, ami csökkent az áramló víz sebességét, ez pedig növelheti akkumuláció mértékét és ezzel növekszik az árvizek kockázata. A teljes Tisza szakaszra vonatkozó vízrajzi

kockázat elemző vizsgálatok alapján megállapították, hogy a szántó művelés és a kertgazdálkodás háttérbe szorítása lenne a legcélszerűbb az árvizek biztonság szempontjából. „*A hullámtér gazdasági hasznosítása során mind az árvízvédelmi, mind a természetvédelmi szempontból – kevés kivételtől eltekintve – az erdőművelés a legkedvezőbb területhasználat, bizonyos esetekben a keskeny hullámtereken a gyeperét, legelő gazdálkodás*” (BARTA ET AL. 2000).

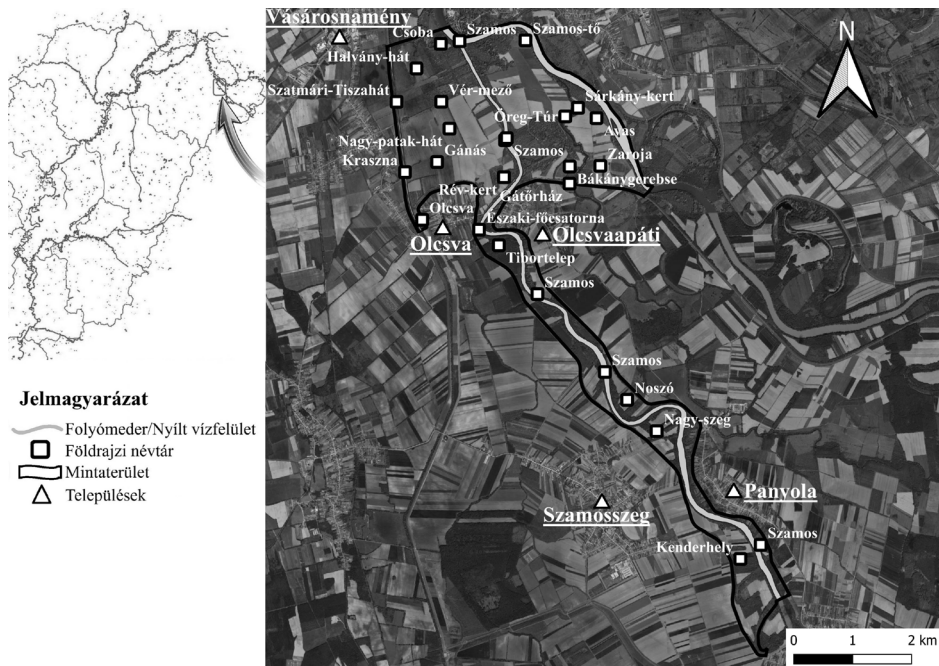
Jelen kutatás célja a Szamos folyó torkolatától Panyola térségéig terjedő hullámtéri szakasz (13,34 fkm, 1474 ha) felszínborítási és tájhasználati változásainak átfogó vizsgálata az 1965 és 2024 közötti időszakban. Az elemzés alapját légifelvételek vektoros, raszteres feldolgozása és összehasonlító értékelése képezi.

## **Anyag és módszer**

A Szamos, a Tisza bal oldali mellékfolyója a Désnél egyesülő Nagy- és Kis-Szamosból ered. A Szamos folyó teljes hossza 411 kilométer, melynek a folyószabályozások hatására erősen megnövekedett az esése (KOVÁCS 1979). A Szamos folyó magyarországi szakasza 52 km hosszú.

A vizsgált terület a Szamos folyó 19. századi szabályozással létrehozott „*új torkolati szakasza, mely 1300 méterrel hosszabb, amelynek eredményeképpen a Szamos nem Jánd községgel szemközti, hanem jó két kilométerrel lejjebb, Gergelyugornyával szemközt torkollik a Tiszába*” (IHRIG 1973). A vizsgálati terület a Felső-Tisza vidékének középtáján, a Szatmári-sík kistáján fekszik. A teljes mintaterület hullámtér, a Szamos folyó torkolattól (Gergelyugornya), Panyola község határáig terjedő 0–13,34 fkm közötti szakasza (összterület: 1474 ha; 14079 km<sup>2</sup>, legszélesebb pontja 3934 m, legkeskenyebb 232 m), amely Vásárosnamény, Olcsva, Olcsvaapáti, Szamoszeg és Panyola települések határait foglalja magába. A mintaterület alakja speciális, a felső szakasza jellemzően keskeny, alsó szakasza erőteljesen kiszélesedik, amely már a Tiszával közös hullámtérre esik. Itt a legszélesebb része csaknem 4000 m: Gánás, Rév-kert, Bákánygerebse és Zaroja területeken, ahol lehetővé válik, hogy árvíz idején a víz jelentős mértékben szétterüljön, sebessége lelassuljon és a hordalék intenzíven akkumulálódjon. Legkisebb szélessége 232 m, mely a Nagy-szeg és Kenderhely közötti kanyarulatnál található (*I. ábra*).

A területen a 19. század végéig természetes növényborítás mellett a Felső-Tisza-vidékre jellemző kispácellás ártéri gyümölcsösök és szántók domináltak. A harmadik ötéves terv (1966 – 1970) időszakában, már javarészt a mezőgazdaságé volt a főszerep az országon belül (ROMSICS 2010). Ez a mintaterületen is jól megfigyelhető: a gyümölcsösöket kiszorították a nagy pácellás szántók. 1989-től a rendszerváltást követő földkárpótlások és erdőtelepítések révén a lomblevelű erdők kezdtek teret hódítani, fokozatosan uralma alá vonva a hullámtér jelentős részét. Ez a tájhasználati transzformáció nemcsak a felszínborítási mintázatot változtatta meg, hanem annak hidrológiai funkcióit – így az árvízszabályozó, vízmegtartó és talajnedvesség-szabályozó képességeit – is alapvetően átalakította.



1. ábra A kutatási terület elhelyezkedése, lehatárolása  
(Forrás: A Lechner Tudásközpont adatbázisából származó ortofotóból készült térkép. Saját szerkesztés)

A mintaterületen a Szamos és a Tisza folyó hidrológiai jellemzői együttesen fejtik ki hatásukat (1–2. táblázat). A csengeri szelvényben a vízhozamok széles tartományban mozognak ( $Q_{min} = 10,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{max} = 3170 \text{ m}^3/\text{s}$  – az 1970-es nagy árvíz idején regisztrált szélsőérték;  $Q_{av} = 110,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), amelyet a magas  $Q_{max}/Q_{min}$  arány (301,9) is jelez. A Vásárosnamény térségében a Tiszán mért vízhozamok meghaladják a Szamos értékeit ( $Q_{min} = 42,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{max} = 3702 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q_{av} = 352 \text{ m}^3/\text{s}$ ), valamint jelentős  $Q_{max}/Q_{min}$  arány (87,7) figyelhető meg, amely a nagy vízgyűjtőterület

1. táblázat A Szamos folyó vízhozamának jellemző statisztikai mutatói a Csenger vízmércénél 1970-2026 között.

Vízmérce helye	$Q_{min}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{av}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{max}/Q_{min}$
Csenger	10,5	3170	110,7	301,9

Forrás: Országos Vízügyi Főigazgatóság adatai alapján saját szerkesztés.

2. táblázat A Tisza folyó vízhozamának jellemző statisztikai mutatói a Vásárosnamény vízmércénél 1901-2025 között.

Vízmérce helye	$Q_{min}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{av}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{max}/Q_{min}$
Vásárosnamény	42,2	3702	352	87,7

Forrás: Országos Vízügyi Főigazgatóság adatai alapján saját szerkesztés.

integrált hatását tükrözi. Az adatok bemutatása rávilágít arra, hogy a Szamos kisebb vízhozamú, jóval szélsőségesebb vízjárású folyó, míg a Tisza nagyobb víztömeget szállít, amelynek hidraulikai hatása a torkolat közeli szakaszokon visszaduzzasztás formájában is érvényesül.

A kutatáshoz a Földmérési és Távérzékelési Intézet 1965. évi fekete-fehér archív légifelvételeit, a Lechner Tudásközpont 2011. évi színes és infravörös ortofotóit, valamint saját készítésű 2024. évi drónfelvételeket (90°-os gimbal, 60% átfedéssel egyesítve, INTERNET1) és SkyWatch műholdas adatokat használtam fel. A felvételeket a QGIS (INTERNET2) nevezetű geoinformatikai szoftver segítségével dolgoztam fel, amely lehetővé tette a hullámtér pontos digitalizálását és különböző művelési ágakra bontását.

Ennek eredményeként részletes és megbízható képet kaptam a terület földhasználati viszonyairól. CSORBA (2021) Magyarország kistájai, valamint a Corine Land Cover (INTERNET3) és a Copernicus Riparian Zones (INTERNET4) adatbázisok nomenklatúráját felhasználva 11 felszínborítási kategóriát határoztam meg: Nyílt felszínnek kevés növényzettel vagy növényzet nélkül, Folyómeder/nyílt vízfelület, Cserjés, sarjerdő, Holtág, Lazán beépített terület, Mocsár, Lomblevelű erdő, Szántó, Kert, Gyep, Vegyes mezőgazdasági terület.

A térképeket tájfoltonként az egységes országos vetületi rendszer alapján (EOV) digitalizáltam, hogy a lehető legpontosabb adatokat nyerjem.

A tájfoltonként digitalizált térképek elkészülte után, a foltterképek raszterizálása következett, amihez a QGIS 3.38 szoftver LecoS bővítményét (INTERNET5) használtam bizonyos tájméteri adatok elemzésére, biztosítva az eredmények megbízhatóságát és részletességét.

A tájhasználatban bekövetkezett változások azonosításához különböző területi és kerületi jellemzőket, alakmutatókat, magterület-paramétereket, szomszédsági és izolációs viszonyokat, konnektivitási tényezőket, valamint diverzitási indexeket alkalmaztam, amely a hasonló területek vizsgálatához jó alapot biztosítanak (FORMAN – GODRON, 1986; JAEGER 2000; SZABÓ 2009; TÚRI 2011). Az elemzéseket raszter alapú térképeken végeztem el a QGIS 3.38 szoftver LecoS bővítményének segítségével, az alábbi mutatók alkalmazásával.

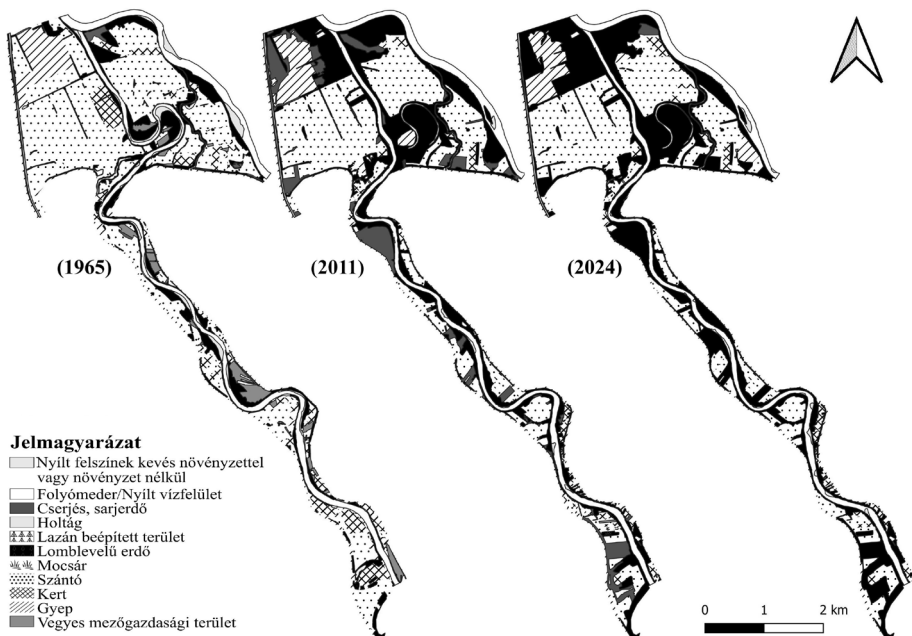
- **EL** (Edge Length) – szegélyhossz: A táj teljes élhosszát adja meg, osztva a teljes tájterülettel.
- **ED** (Edge Density) – szegélysűrűség: Egy adott területborítási osztályból származó összes folt teljes élhosszának összegét adja eredményül.
- **NP** (Number of Patches) – foltszám: az azonos típusú vagy egy tájon belüli foltok teljes számát adja meg, de nem ad információt azok területéről, sűrűségéről.
- **MPA** (Mean Patch Area) – átlagos foltterület: Egy adott felszínborítási osztályhoz tartozó foltok átlagos méretét jelzi, amellyel a vizsgált terület heterogenitása jellemezhető.

- **OCA** (Overall Core Areen) – magterület: A magterület meghatározásához egyik időszikban sem használtam az adott folttípusokra jellemző indikátor fájlokat.
- **PD** (Patch Denisty) – foltűrűség
- **SHDI** (Shannon's Diversity Index) – Shannon-féle diverzitási index
- **SPLIT** (Splitting index) – felszabdaltsági index

Az elemzés során nyert adatokat a MySQL (INTERNET6) nevű adatbáziskezelő szoftverbe vittem fel. Mivel több ezer adat állt rendelkezésre, ez a megoldás lehetővé tette az adatok rendszerezett és átlátható kezelését, jelentősen megkönnyítve a későbbi elemzéseket.

## Eredmények

A 1474,1 ha-os mintaterületen, a Szamos folyó torkolati hullámtéren a szántóterületek folyamatos csökkenése (1965: 46,7% → 2011: 36% → 2024: **35,6%**) és a lomblevelű erdők robbanásszerű növekedése (1965: 16% → 2011: 30,5% → 2024: **39,7%**) figyelhető meg, amely a rendszerváltás utáni földhasználati átalakulás és tendencia egyértelmű lenyomata (2. ábra). 1965-ben a területet a nagy kiterjedésű, összefüggő szántóterületek dominálták, ami viszonylag homogén tájszerkezetet eredményezett. Ezt tükrözi a mérsékelt foltszám (NP = 553 db), a nagyobb átlagos foltméret (MPA = 4,38 ha), valamint az alacsonyabb foltűrűség (PD). A Shannon-diverzitási index (SHDI = 1,58) közepes diverzitást jelez, míg a SPLIT index alacsonyabb értéke kisebb mértékű fragmentációra utal.



2. ábra A felszínborítási kategóriák változása 1965 és 2024 között

2011-re a táj szerkezete fragmentáltabbá vált, a foltszám nőtt (NP: 553 → 582 db), miközben az átlagos foltméret csökkent (MPA: 4,38 → 3,76 ha). Ezzel párhuzamosan a folt-sűrűség (PD), a teljes szegélyhossz (EL) és a szegély-sűrűség (ED) növekedett. A Shannon-index enyhén csökkent (SHDI: 1,58 → 1,55), ami a domináns felszínborítási típusok fennmaradására utal, míg a SPLIT index növekedése a fragmentáció erősödését jelzi.

A 2011 és 2024 közötti időszakban a tájszerkezeti folyamatok iránya részben megváltozott. A foltszám csökkent (NP: 582 → 532 db), miközben az átlagos foltméret növekedett (MPA: 3,76 → 4,73 ha), ami a foltok összeolvadására és a nagyobb kiterjedésű élőhelyek – különösen a lomblevelű erdők – térnyerésére utal. A teljes szegélyhossz 419918 m értéket ért el, ugyanakkor a szegély-sűrűség (ED) továbbra is a lazán beépített területek esetében volt a legmagasabb. A folt-sűrűség (PD) tekintetében a vegyes mezőgazdasági területek domináltak. A Shannon-diverzitási index jelentősen csökkent (SHDI: 1,55 → 1,35), ami a táj homogenizálódását jelzi. Ez azt mutatja, hogy 2024-re a felszínborítás szerkezete egyszerűsödött, és a tájat döntően két domináns kategória – a szántó és a lomblevelű erdő – határozza meg (2. ábra). Ezzel összhangban a SPLIT index magas értékei (különösen a mocsarak esetében) továbbra is a táj egyes elemeinek erős feldaraboltságát jelzik.

## Konklúzió

A Szamos torkolati hullámtéri szakaszán az 1965–2024 közötti raszteres elemzés igazolja a rendszerváltás utáni tájhasználati transzformációt, a Kádár-korszak mezőgazdasági dominanciája (szántó: 46,7%) a földkárptlást követő erdőtelepitések következtében a lomblevelű erdő térhódítása (39,7%; +148,3%) figyelhető meg, párhuzamosan a szántók 23,67%-os visszaszorulásával. Ez a tendencia (CZOMBA ET AL. 2022) a Tisza Borzsa-torkolat–Tivadar szakasz eredményeivel (szántó: 51,51% → 24,76%; erdő: 8,15% → 41,25%) teljes egyezést mutat, alátámasztva a Felső-Tisza régió egységes tájökológiai folyamatát.

A táj homogenizálódása (SHDI: 1,58 → 1,35; -14,6%) ellenére a foltkonsolidáció (MPA: 4,38 → 4,73 ha; NP: 553 → 532) és a szegélyhossz jelentős csökkenése (551 668 → 419 918 m) nagyobb kiterjedésű, stabil élőhelyfoltokat eredményezett, javítva az ökológiai funkciók fenntarthatóságát. A cserjés-sarjerdők ciklikus dinamikája (0,8% → 8,8% → 0,4%) természetes vegetációfejlődést tükröz, míg a mocsarak visszaszorulása (0,1%) klímaváltozásból eredő szárazodás következménye.

A hullámtéren a lombos erdők területének növekedése növeli a felszín érdességét, amely lassítja az árhullámok levonulását, hozzájárulva a terület árvizek általi veszélyeztetettségéhez. Emellett a sűrűbb növényzet lassítja az áramló víz sebességét, ami elősegíti az üledék lerakódását, így hozzájárul a hullámtér feltöltődéséhez. Ez a jelenség különösen veszélyes a szűk szakaszokon, ahol eleve korlátozott a vízátervező képesség. Azzal, hogy a feltöltődés csökkenti a hullámtér

átfolyási keresztmetszetét, a nagyvizek egyre magasabb vízszintek mellett vonulnak, ami szélsőséges esetben növelheti a töltések terhelését és a gátszakadás kockázatát.

## Felhasznált irodalom

- BARTA K. – BÓDIS K. – BOGA T. L. – KISS T. – KISS R. – MEZŐSI G. – PÁLFAI I. – RAKONCZAI J. – SZLÁVIK L. – TÖRÖK I. GY. (2000): Tisza-vidék kutatás-fejlesztési program 2000: A Tisza-vidék fejlesztését befolyásoló vízrajzi kockázatok, erőforrások és lehetőségek. Tizenkettedik részjelentés, pp. 1–110., 110 p.
- CZOMBA P. – TÚRI Z. – ABDELMAJEED A. E. A. – VASS R. (2020): A felszínborítás változásainak raszter alapú elemzése a Tisza Borzsa-Torkolat és Tivadar közötti szakaszán (MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen), pp. 150–154.
- CSORBA P. (2021): Magyarország Kistájai (microregions of Hungary) (Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen)
- FORMAN, R.T.T. – GODRON, M. (1986): Landscape Ecology; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, ISBN 978-0-471-87037-1.
- IHRIGH D. (1973): A magyar vízszabályozás története (OVH, Budapest, pp. 297–321.
- JAEGER J.A.G. (2000): Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation. Landsc. Ecol., pp 115–130.
- KOVÁCS D. (1979): Árvízvédelem, folyó- és tószabályozás, víziutak Magyarországon (OVH, Budapest), pp. 380–387.
- NAGY J. – KISS T. – FIALA K. (2018): Hullámtér-feltöltődés vizsgálata az Alsó-Tisza mentén. II. Folyóhátak (parti hátak) feltöltődését befolyásoló tényezők. HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY, 98, 1 pp. 33–39., 7 p.
- ROMSICS I. (2010): Magyarország története a XX. században (Rubicon-Ház Bt., Budapest), pp. 269–313.
- SZABÓ S. (2009): Tájmetriai mérőszámok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a tájanalízisben (Opportunities for the Application of Landscape Indices in Landscape Analysis). Ph.D. Thesis. Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar, Debrecen.
- TÚRI Z. (2011): Tájmintázat vizsgálata a Tiszazugban (Landscape Pattern in the Tiszazug). Tájökológiai lapok, pp, 43–51.
- VASS R. – SZABÓ J. – TÓTH Cs. (2009): Ártéri morfológia és akkumuláció felső-tiszai mintaterületeken. In: Kiss, Tímea (szerk.) Geográfus Doktoranduszok IX. Országos Konferenciájának: Természettudományi Tanulmányai: Természettudományi folyamatok és formák. Szeged, Magyarország: Szegedi Tudományegyetem TTIK Természeti Földrajzi Tanszék, 289 p., pp. 3–11, 9 p.
- VASS R. – TÚRI Z. (2010): Morfometriai vizsgálatok a Felső-Tisza Vásárosnamény és a Túr torkolata közötti szakaszán. In: Lóki, J (szerk.) Interdiszciplinaritás a természet- és társadalomtudományokban: tiszteletkötet Szabó József geográfus professzor 70. születésnapjára Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem Természettudományi és Geoinformatikai Tanszék, 343 p., pp. 337–343, 7 p.
- VASS R. – TÚRI Z. (2021): Studying floodplain roughness in an Upper Tisza study area. ACTA Geographica Debrecina Landscape And Environment Series, 15: 1, pp. 85–90, 6 p

## **Internetes források**

INTERNET1 – Image Composite Editor: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/image-composite-editor/>, letöltés ideje: 2024. július

INTERNET2 – QGIS térinformatikai szoftver: <https://www.qgis.org/download/>, letöltés ideje: 2023. február

INTERNET3 – Corine Land Cover adatbázisa: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>, letöltés ideje: 2024. június

INTERNET4 – Riparian Zones Nomenclature Guidelines: <https://land.copernicus.eu/en/products/riparian-zones>, letöltés ideje: 2024. június

INTERNET5 – QGIS LecoS plugin: <https://plugins.qgis.org/plugins/LecoS/>, letöltés ideje: 2024. július

INTERNET6 – MySQL adatbáziskezelő szoftver: <https://www.mysql.com/downloads/>, letöltés ideje: 2024. június

# Assessment of urban residential areas using GIS

Gyenzise Péter<sup>1</sup> – Halmai Ákos<sup>2</sup> – Balogh Richárd<sup>3</sup> – Pirkhoffer Ervin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> egyetemi docens, PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet, gyenzise@gamma.ttk.pte.hu

<sup>2</sup> egyetemi adjunktus, PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet, halmaia@gamma.ttk.pte.hu

<sup>3</sup> kutatótámogató munkatárs, PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet,  
brichard@gamma.ttk.pte.hu

<sup>4</sup> egyetemi tanár, PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet, pirkhoff@gamma.ttk.pte.hu

**Abstract:** This article presents the application of a 25-factor GIS model for assessing residential areas in Debrecen. We collected spatial data and conducted a questionnaire survey in 2021. The factors are shown in *Table 1*. The analysis shows that, based on the factors examined, the residential areas with the highest scores are located in the Péterfia and Sestakert districts, while those with the lowest scores are found on the southern side of the Lóskút district.

## Introduction and Objectives

It is a well-known fact in human geography that changes in certain natural, social, and economic conditions can lead to the rise or decline of settlements. The concepts of “Ortslage” and “Verkehrslage” first appeared in Friedrich Ratzel’s 1903 work on the location of large cities (RATZEL 1903). The concept of “site” describes the characteristics of the area in which the settlement is located and whose resources it exploits through its direct labor. “Situation” refers to the specific characteristics that determine the settlement’s accessibility from other settlements or regions.

In our view, a topographical location (site) and a traffic location (situation) can be interpreted not only at the level of continents and countries, but also on a smaller scale, even within a single city. For example, when selecting a site for a shopping center, sports arena, or educational institution, the topographical and traffic location of the plot designated for the project within the settlement is taken into account. We can interpret the value of individual residential buildings in a similar way (though other factors may play a role in some cases). Physical condition and location within the settlement have a significant impact on how real estate is assessed. Based on the above reasoning, we developed a GIS model that evaluates the residential areas of larger cities—in this case, Debrecen—based on 25 factors.

The aim of the research is to present a GIS-based assessment model that assists urban planners in preparing urban development documents, using the city of Debrecen as an example.

## The basic concept of the residential area assessment model

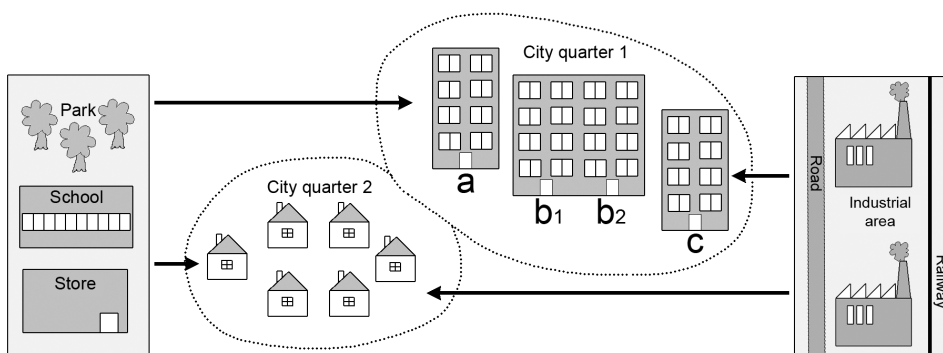
For urban inhabitants, residential buildings have varying degrees of value. In our model, we determine the relative differences in value among residential buildings. Attractive or repulsive characteristics often depend on the building's own attributes (e.g., type of building material), but they also depend on the characteristics of its surroundings (e.g., proximity to a park or industrial facilities). *Figure 1* illustrates the basic concept of the assessment method. According to this simplified example, the prefabricated concrete blocks of flats in District 1 are located closer to spatial objects considered disruptive (e.g., industrial plants) and farther from objects with attractive features (e.g., a park) than the detached houses in District 2. In addition, apartments in prefabricated apartment blocks are generally viewed more negatively than the mostly brick-built family houses. Therefore, based on the physical characteristics of the buildings and their distance from nearby transportation, educational, and service facilities, it can be said that the residential buildings in District 2 are more attractive to most city residents than the apartment blocks in District 1. Within District 1, Building "A" is rated higher than Building "C."

## Materials and Methods

First, we surveyed the spatial locations of residential buildings and the features influencing their value using field surveys and analog and digital maps. We vectorized the features (points, lines, polygons) and integrated them into the HD72/EOV projection system.

We rasterized the vector layers of spatial objects in QGIS software and created 27 weighted layers from them, which, when combined, give us the classification maps of the city's residential buildings.

Since the aim of the study was not only to spatially represent the objects but also to measure their impact on the population, an appropriate scoring system had to be developed for each object type.



*Figure 1. Illustration of the basic concept of the residential area assessment model*

In 2021, we surveyed 2 per 1,000 residents of Debrecen—a total of 402 people—on this topic. Based on a questionnaire survey of citizens' opinions, we determined which housing characteristics and the proximity of which facilities have a positive or negative impact, and we also surveyed the population's views on the range of their influence. After processing the questionnaires in MS Excel, we developed a relative scoring system.

During the questionnaire survey, we assessed the value of the 25 factors presented in *Table 1*. The question asked was as follows: "To what extent would the following factors influence your decision if you were to move from your current residence? Please rate the following factors." The scores for the objects depended partly on their own physical characteristics (site) and partly on their distance from other objects (situation). Respondents could assign one of five scores to each object type: -2 (very unfavorable), -1 (somewhat unfavorable), 0 (neutral), 1 (favorable), 2 (very attractive). Negative scores were necessary due to the psychological effect. The scores used for analysis were converted to a possible maximum range of minus 10 to plus 10.

The first set of questions specifically focused on the physical characteristics of the building. These describe the condition and amenities of the building. People generally prefer to buy homes that provide better living conditions but are cheaper to maintain.

The second set of questions concerned the distance to facilities providing public and private transportation options. Better transportation access is an advantage, but proximity to busy, noisy transportation routes can also be a disadvantage.

The third group includes the distance to educational and cultural facilities. It is a significant convenience for families with children if a nursery, kindergarten or school is located nearby and can be reached on foot in a short time. The proximity of higher education institutions can also offer economic benefits, such as the potential to rent out a room. Disadvantages include occasional noise from children and heavier morning traffic.

The fourth group includes questions regarding the proximity of larger shopping and catering facilities. Major grocery stores and hypermarkets, as well as electronics stores and drugstores, offer a wide selection of everyday necessities and are usually cheaper than smaller shops.

The fifth group includes the distance to areas suitable for recreation and sports, as well as major healthcare facilities. The proximity of hospitals may be particularly important for families with young children and the elderly.

The sixth group includes three factors considered negative when choosing a home. The proximity of factories and industrial zones, along with the associated heavy traffic, remains a disruptive factor today. In recent decades, automobile traffic has become the largest source of air pollution and noise.

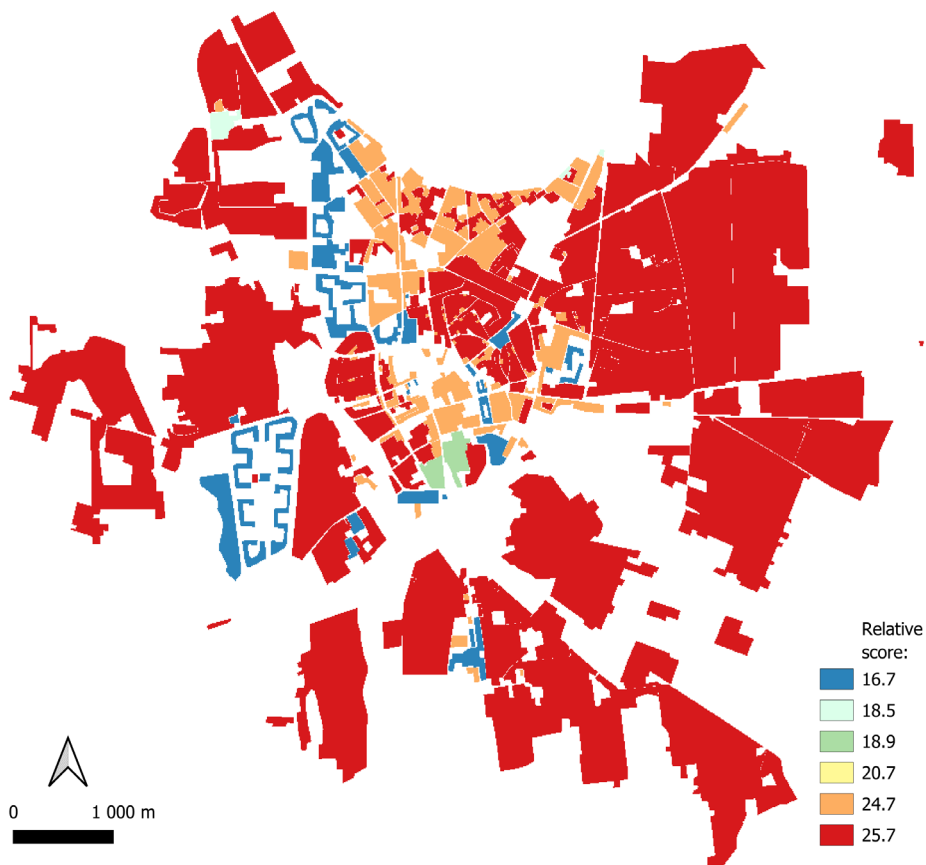
The questionnaire also included control questions.

Table 1. Factors used in the rating model and data from the 2021 survey (based on the analysis of 402 questionnaires)

<b>Property attributes</b>	<b>Relative score</b>	<b>Distances (m)</b>
1. Building material: brick (adobe, gas concrete)	5,8	–
Ferroconcrete	3,6	–
2. Availability of public utilities (electricity, plumbing, sewerage)	9,1	–
3. Heating: distance (central) heating	4,0	–
Individual heating	5,8	–
4. Needs for architectural and mechanical renewal	-5,0	–
5. Own backyard	5,0	–
<b>Transportation:</b>		
6. Proximity of bus, tram and trolley-bus stops	5,7	835
7. Proximity of local bus terminal	3,3	1290
8. Proximity of highways of heavy traffic	-1,8	1550
9. Proximity of train station	-1,2	1997
10. Proximity of railroad	-3,4	2138
<b>Education and culture</b>		
11. Proximity of day-cares, kindergartens, elementary, middle and high schools	4,3	1046
12. Proximity of college or university campuses	4,6	1129
13. Proximity of churches	1,3	1468
14. Proximity of downtown areas	5	1169
<b>Commercial facilities</b>		
15. Proximity of large grocery chains and farmer markets	7,2	827
16. Proximity of hypermarkets and superstores	6,6	946
17. Proximity of technical, decorator, furnisher, DIY and gardening superstores and drug stores	4	1281
18. Proximity of shopping malls	3,5	1351
19. Proximity of large restaurants and eateries	4,5	1225
<b>Recreation, sport and health care</b>		
20. Proximity of recreational parks	7,5	853
21. Proximity of sport facilities (including aquatic) and playgrounds	5	1137
22. Proximity of hospitals and health care centres	4,2	1358
<b>Industry and general environment</b>		
23. Proximity of industrial plants and parks	-7,2	3719
24. Proximity of air pollution, noise and stink sources	-8,8	4204
25. Proximity of residential groups of disadvantageous and low-income social status	-6,2	3584

The generated raster GIS layers can be divided into two groups. One type contains only the scores for residential buildings; these layers do not assess their surroundings. This group includes the layers created using the first set of questions. By summing the layers in this group, we obtained the partial results shown in *Figure 2*. Panel pre-fabricated blocks of flats received the lowest scores, while family houses received the highest scores.

The other group of raster layers was created based on the second through sixth sets of questions in the questionnaire. These are raster fuzzy layers in which we rated not only the buildings but the entire area based on the distance measured from various objects. By combining the fuzzy layers, we obtained the partial results shown in *Figure 3*. This indicates that the highest scores were given to the city's central areas, as these areas are closest to objects and service locations considered to be good or positive. Areas outside the city received negative scores in several places because these areas were closer to high-traffic roads and industrial zones than to positively rated objects.



*Figure 2. A classification layer indicating the physical characteristics of buildings (“site”)*

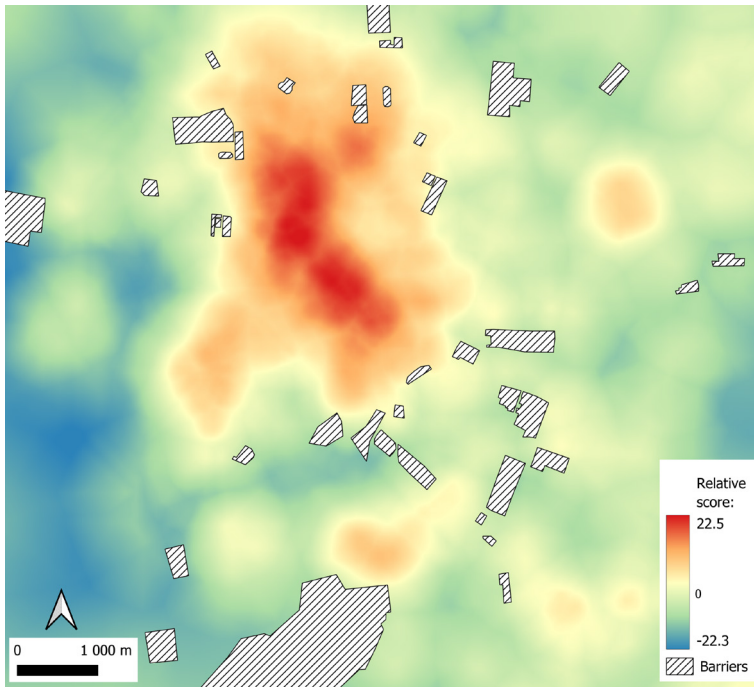


Figure 3. A classification layer based on the distance from objects of interest ("situation")

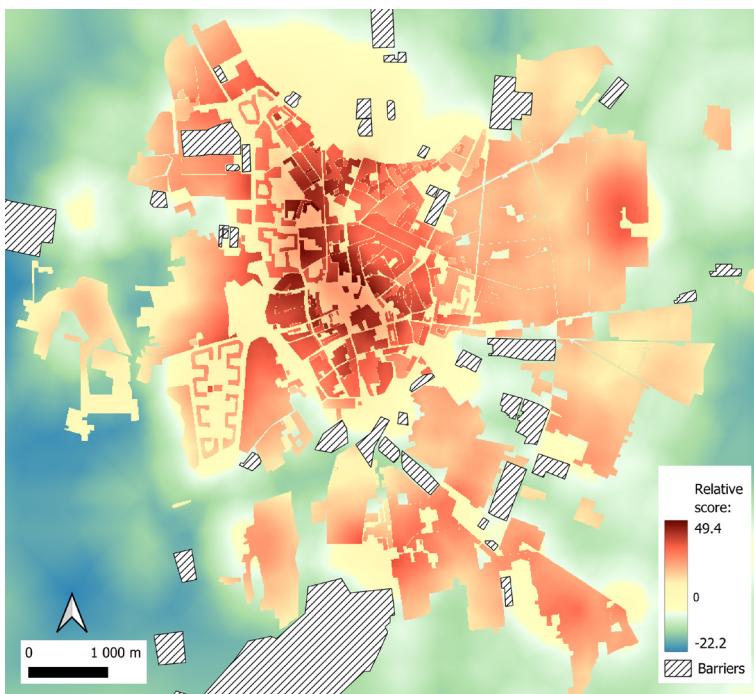
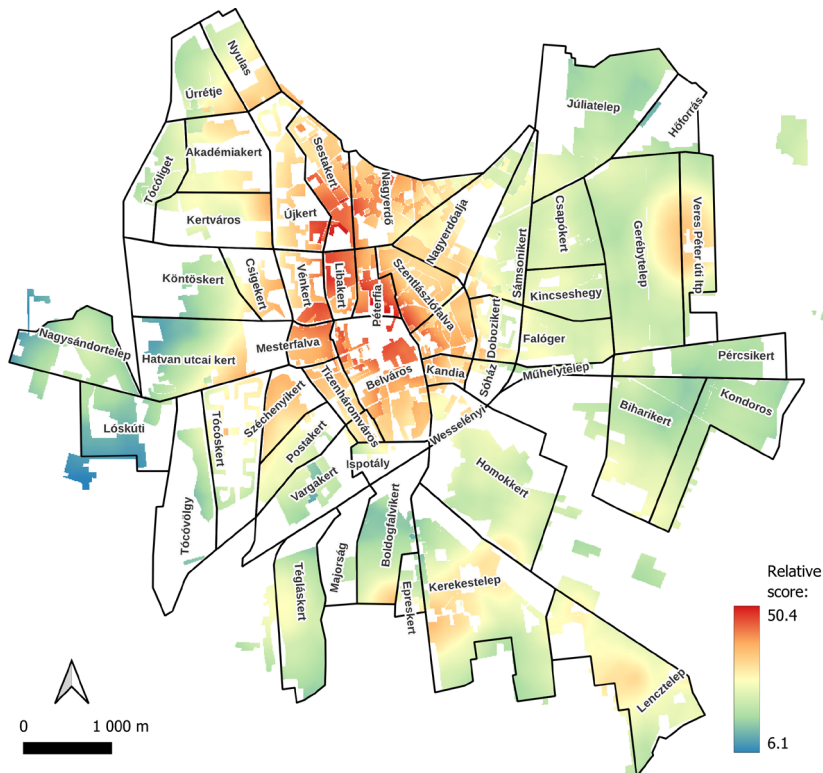


Figure 4. The final assessment map

In the next step, we added the scores from the previous two sub-results to obtain the final assessment layer shown in *Figure 4*. Since our goal was to assess only areas developed with residential buildings, we cropped those residential areas out of the final assessment map. This resulted in the classification map shown in *Figure 5*. It can be observed that the highest scores were received by several building blocks in the Péterfia and Sestakert districts. The lowest scores were received by the building blocks in the southern part of the Lóskút district.

We also calculated the average score for residential areas in each city district (*Figure 6*). The highest scores were achieved by the districts of Libáskert, Péterfia, and Mesterfalva, located on the northern side of the city center.

We verified the results using the questionnaires. We asked respondents to mark on a map the city districts they would like to move to and those they would not. We calculated the proportion of “yes” votes for each city district relative to the total number of “yes” votes cast in the questionnaire survey (100%), as shown in *Figure 7*. The patterns in *Figures 6* and *7* are very similar, but there are also some differences. On both maps, the Downtown area and the city districts to the north of it received the highest scores. The city districts with the lowest scores in both cases are located on the northeastern, southern, and western edges of the city.



*Figure 5. Assessment map of residential areas*



Based on this verification, it can be concluded that the rating model most likely correctly identified the main trends and pinpointed the residential areas where the municipality needs to implement improvements and changes to enhance the quality of life.

### **Acknowledgments**

This study was carried out as part of Project No. K142550, funded by the Energetikai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap, under the K\_22 grant program.

### **Reference**

RATZEL, F. (1903): Die geographische Lage der grossen Städte. In: Th. Petermann (Hrsg.): Die Großstadt Jahrbuch der Gehe-Stiftung IX., Dresden, pp. 33–72.



# Metric Accuracy of Pix4Dcatch with Pix4DCloud Processing on iPhone 15 Pro Max

Amjad Hamdan<sup>1</sup> – Issa Loghmanieh<sup>2</sup> – László Bertalan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD student, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, amjad.hamdan@science.unideb.hu

<sup>2</sup> PhD student, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, issa.loghmanieh@science.unideb.hu

<sup>3</sup> assistant professor, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, bertalan@science.unideb.hu

Precise three-dimensional modelling of the built environment underpins a wide spectrum of activities from heritage conservation and archaeological recording to progress tracking on construction sites and as-built BIM deliverables. Terrestrial Laser Scanning (TLS) has long set the accuracy benchmark: modern instruments deliver millimetre point precision, high density, and well-characterised error models. The integration of a solid-state Time-of-Flight LiDAR scanner into the iPhone 12 Pro in 2020 introduced a depth-sensing option that offers an affordable, accessible way to operate. Pix4Dcatch separates field capture from computation. The application is free and records a synchronised stream of LiDAR depth frames and high-resolution RGB images during scanning. The session data are uploaded to Pix4DCloud, a paid cloud processing service that fuses the two streams through a proprietary pipeline to deliver a calibrated point cloud, a textured 3D mesh, and the individual image frames.

This study evaluates the metric accuracy of Pix4Dcatch, paired with Pix4DCloud cloud processing, on the Apple iPhone 15 Pro Max across two case studies at the University of Debrecen: the main façade of the GeoMath building and a nearby bronze statue. To isolate the contribution of the LiDAR-fusion pipeline, the RGB image frames delivered by Pix4DCloud were reprocessed independently through a standard SfM workflow in Agisoft Metashape Professional, enabling a controlled three-way comparison against a Trimble X7 TLS reference. All datasets were registered to a total-station traverse network and evaluated with RMS-CP, ICP fine alignment, and M3C2 surface comparison.

For the façade, Pix4DCloud achieved 3.1 cm ICP fine RMS and 4.8 cm M3C2 standard deviation; Metashape produced 4.6 cm and 4.1 cm respectively over solid surfaces, but exhibited systematic data voids at all thirteen window openings. For the statue, Pix4DCloud reached 0.8 cm ICP fine RMS and 1.6 cm M3C2 standard deviation against 1.0 cm and 1.6 cm for Metashape, whose model was visually comparable to Pix4DCloud across all major geometric volumes. An eigenvalue-based geometric feature analysis in RStudio confirmed that the three pipelines are

structurally distinct at the local surface level, with Roughness and Surface Variation as the most discriminating indicators. Together, the results place the Pix4Dcatch–Pix4DCloud workflow at a level of accuracy (LOA 20) for façade documentation and approaching LOA 40 for small heritage objects.

# From Pixels to Urban Form: Detecting Infill, Edge-Extension, and Leapfrog Growth Using GHSL and Open-Source GIS Across Urban Hierarchies

Japheth Ominde<sup>1\*</sup> – Amani Sanga<sup>1</sup> – Khelali Meriem<sup>1</sup> –  
Lewis Mjomba Ndungu<sup>1</sup> – Varga Zsófia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eötvös Loránd University, Institute of Cartography and Geoinformatics, Budapest, Hungary; H-1117  
Budapest, Pázmány P. sny 1/C

\* omindejapheth@yahoo.com

**Abstract:** Cities across the world are changing in shape and size. Understanding the growth processes of these urban spaces is important for actionable urban planning strategies, especially in the rapidly urbanizing Global South. This study presents an open-source approach for detecting and classifying urban growth typologies: infill, edge-extension, and leapfrog development using Global Human Settlement Layer (GHSL) data and QGIS. Newly built-up patches between 2000 and 2020 were classified according to their spatial relationships with pre-existing urban areas using a buffer-based proximity approach. The study is conducted in two rapidly urbanizing municipalities in Kenya to examine the influence of urban hierarchy on the growth process. The findings indicate that Nairobi is dominated by edge-expansion growth, reflecting spatially expansive development. Kakamega, representing a secondary town, exhibits amorphous growth characterized by leapfrog development and expansive edge extension. The research demonstrates an alternative and replicable approach to the most commonly used landscape expansion index. This approach provides a clearer understanding of spatial growth dynamics in data- and resource-deficient environments.

*Keywords:* Urban growth typology, Buffer-proximity classification, Remote sensing, urbanization, Kakamega municipality

## Introduction

In recent decades, global urban development intensified in both magnitude and rate. It is during this period that the world's urban population exceeded the rural population, hitting 56% by 2022 (United Nations, 2024). This increase in urban settlement, largely driven by population growth and rural-urban migration, has been particularly pronounced in developing countries, transforming the spatial organization of cities through new urban growth (KORAH ET AL. 2024; SUMARI ET AL. 2023). The emergence of new built-up areas transforms the urban landscape in three major processes. New urban development occurring within the existing built-up area forms an infill process (WILSON ET AL. 2003). When it occurs beyond the urban footprint boundary, it is edge extension; otherwise, if disconnected from the existing urban fabric, it is leapfrog (GLOCKMANN ET AL. 2022). In many instances, these processes

have important implications for land-use efficiency, environmental conservation, and socioeconomic functions, hence the need for continuous monitoring.

The development of Remote Sensing (RS) has increased the availability of satellite-based global datasets, ultimately improving the monitoring of spatial urban dynamics (BUSHO ET AL. 2021; PANDEY ET AL. 2021). Among them is the GHSL project of the European Commission, which provides consistent datasets that enable scholarship on urbanization dynamics over decades (MELCHIORRI 2022; SIKDER ET AL. 2025). Despite these advances, many previous studies focus on urbanization dynamics within single cities, with limited attention to translating pixel-level datasets into interpretable urban form across urban hierarchies. Furthermore, methods for classifying patterns of urban growth are often difficult to replicate, especially in data-scarce regions where access to proprietary tools is limited. This creates a gap between geospatial processing outputs and their practical application in urban planning.

This study addresses the gap by demonstrating a transparent, reproducible framework that uses cost-free GHSL and GIS infrastructure to detect and classify the three main urban growth processes. The approach converts newly built-up areas into spatially explicit patches and applies a buffer-based proximity analysis to classify them as infill, edge-extension, or leapfrogging growth. The method is applied to two Kenyan cities representing different positions within the urban hierarchy: Nairobi, the country's primate city, and Kakamega, a secondary town. By comparing these contrasting contexts, the study examines how urban hierarchy influences spatial growth patterns while demonstrating how satellite-derived data can be operationalized to move from pixels to urban form.

## **Study Area**

Nairobi and Kakamega represent contrasting levels within Kenya's urban hierarchy. Nairobi municipality, which is Kenya's capital city, lies between latitudinal range 1°16' – 1°29' south and longitudinal range 36°48'– 36°49' east. It has an area of 696.1 km<sup>2</sup> inhabited by a total population of about 4.3 million (Kenya National Bureau of Statistics, 2019). Kakamega municipality is located in Kakamega county in western Kenya. Its latitudinal and longitudinal extents are 0°12' – 0°21' north and 34°39' – 34°50' east, respectively. It has a population of 285,882 within its 123 km<sup>2</sup> coverage area (SHIKOLI ET AL. 2024).

## **Methodology**

This study adopts a GIS-based spatial proximity approach to classify urban growth typologies using multi-temporal built-up data (*Figure 1*).

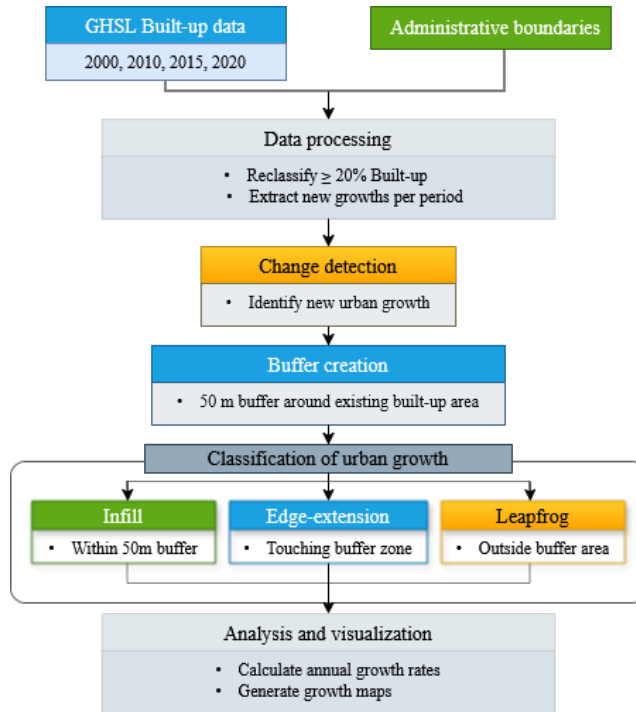


Figure 1. Flowchart of methodology

### **Data Collection**

GHSL built-up datasets for Nairobi and Kakamega for 2000, 2010, 2015, and 2020 at 100m resolution were used in this study. These datasets were downloaded from the Copernicus GHSL website <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/download.php>. This database provides long-term built-up raster data for the whole world. The GHSL default World Mollweide coordinate reference system was maintained for consistent and accurate area calculations (UHL ET AL. 2024). The study area boundaries were acquired from publicly available sources. For example, the Nairobi municipality boundary was downloaded from the Humanitarian Data Exchange website <https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-ken>. In the case of Kakamega, we digitized the municipality boundary from the map by SHIKOLI ET AL.(2024).

### **Data Processing**

The layers of each built-up raster were first reclassified into a binary format using a 20% built-up threshold. The choice of a lower threshold accounts for peri-urban surroundings and suburban spaces such as Kakamega (BALK ET AL. 2018). In each case, any pixel with at least 20% built-up presence was classified as urban, while the rest was classified as non-urban. The discrete pixels defined as urban were subsequently used to detect changes by comparing consecutive periods.

### ***Urban Growth Typology Classification***

Urban growth typologies were classified using a buffer-based proximity approach. For each time step, a 50 m buffer was created around the existing urban footprint at the start of the period. Newly developed patches were then classified based on their spatial relationship to this buffered zone as infill, edge-extension, or leapfrog. Any new urban patch detected within the buffered zone that forms part of an existing urban patch was classified as infill. New growths in direct contact with the existing urban fabric or buffer, but where part or the entire patch is outside the buffer, were classified as edge-extension. Isolated and discontinuous new patches detected outside the buffer area were classified as leapfrog. This approach captures spatial proximity and continuity, enabling differentiation between compact growth and dispersed expansion patterns. The final output of the analysis included spatially distributed maps for the three urban growth typologies and their proportional growth.

### **Results and Discussion**

This section presents the spatial patterns of urban expansion in Nairobi and Kakamega across the study period. Table 1 shows the distinct urban growth typologies in Nairobi and Kakamega municipalities across the study period. Nairobi exhibited consistent dominance of edge-extension, averaging 75% of new growth over 20 years. Infill remained present but limited at 7.8%, while leapfrog was moderate at 17%. In comparison, Kakamega's urban growth processes were fundamentally dissimilar from Nairobi's. Leapfrogging emerged as the dominant growth process, accounting for an average of 55.1% of new growth in two decades. Edge extension and almost negligible infill, averaging 41.6% and 3.3% of new development, were noted, respectively.

Similar patterns in urban growth processes across cities of different hierarchies have been reported elsewhere. For example, BUSHO ET AL. (2021), WEERAKOON (2017), and SUN ET AL. (2013) present primate cities under a distending edge-extension urban growth process over time. In Kakamega, the observed combination of leapfrog and edge extension conforms to the general trend in many African secondary towns (KINUTHIA ET AL. 2022; SUMARI ET AL. 2023). Therefore, regardless of hierarchy, the findings suggest urban areas in Kenya are experiencing spatially expansive and fragmented development. Even amid edge-extension tendencies in Nairobi, the gradual surge in leapfrog and the decline in infill indicate the emergence of a dispersed development. This persistent increase in the establishment of isolated new built-ups has important implications for sustainable urban planning and land-use efficiency, especially in secondary towns (KORAH ET AL. 2025; SUMARI ET AL. 2023).

In terms of temporal evolution, results (*Table 1*) show that initial urban growth (2000-2010) in both municipalities was largely edge-driven. However, distinct urban form processes crept in after 2010. This is observed between 2010 and 2015, with

Table 1. Proportions (%) of growth typologies across urban hierarchies

City	Period	Infill	Edge-extension	Leapfrog	Dominant Type
Nairobi	2000-2010	7.6	81.2	11.2	Edge-extension
	2010-2015	12.8	75.3	11.9	Edge-extension
	2015-2020	3.0	69.2	27.8	Edge-extension
	<b>Mean</b>	<b>7.8</b>	<b>75.2</b>	<b>17.0</b>	<b>Edge-extension</b>
Kakamega	2000-2010	5.7	67.9	26.4	Edge-extension
	2010-2015	4.0	31.0	65.0	Leapfrog
	2015-2020	0.1	26.0	73.9	Leapfrog
	<b>Mean</b>	<b>3.3</b>	<b>41.6</b>	<b>55.1</b>	<b>Leapfrog/ Edge-extension</b>

a rise in infill growth from 7.6% to 12.8% and a decline in edge-extension from 81.2% to 75.3% of new growth in Nairobi, suggesting gradual compaction. Leapfrog development remained relatively constant. However, a remarkable shift occurred in the recent period (2015-2020), where the leapfrog process rose to 27.8% while the infill decimated to 3.0%. In contrast, Kakamega recorded a marked decline in edge-extension and infill to 31.0% and 4.0%, respectively, during the second period. At the same time, leapfrog growth rose to 67.9% of the new development. The dominance intensified further in recent years, settling at 73.9%. These temporal developments mirror those in the existing literature (FANG – ZHAO, 2018; ROY ET AL. 2023).

An increase in the leapfrog development pattern can be caused by rising land costs, peri-urban development pressure, uncontrolled land subdivision, and weak policy implementation (KORAH ET AL. 2025). The change in governance in Kenya from a centralized to a devolved system in 2010 could have influenced the transformation of urban forms across urban hierarchies. The new constitution empowered county governments and municipal boards to be at the center stage in spatial urban planning and urban development (ANAMI 2023). While this appears to have contributed to rapid urban growth in county municipalities, challenges of inadequate resources for proactive urban planning have been reported (ANAMI 2023; CGK 2023). Therefore, the observed emergence of isolated, newly built-up areas in Kenya’s municipality after 2010 can be attributed to capacity limitations at lower urban levels.

Other factors influencing the distinct spatial patterns were identified. In Nairobi, edge-expansion was primarily focused on the outskirts but remained connected to the original urban footprint. Most growth occurred in the eastern, northern, and southwestern parts of the city, while southern expansion was limited (Figure 2). Although infill development was low and declining in recent years, it mainly occurred within the existing urban core and along major roads. In contrast, Kakamega showed very little infill and widespread edge-extension around the town and emerging market

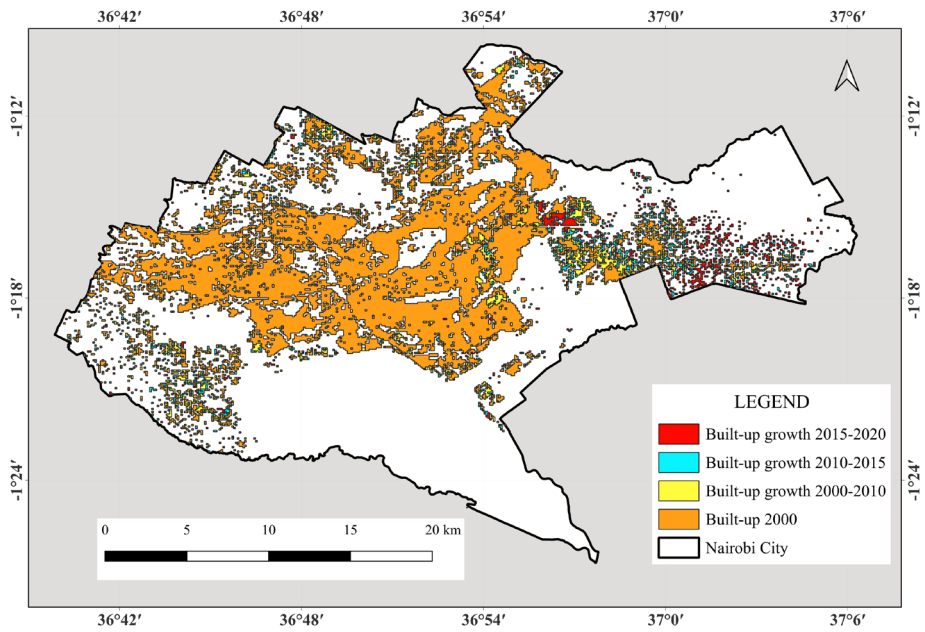


Figure 2. Built-up development in Nairobi city

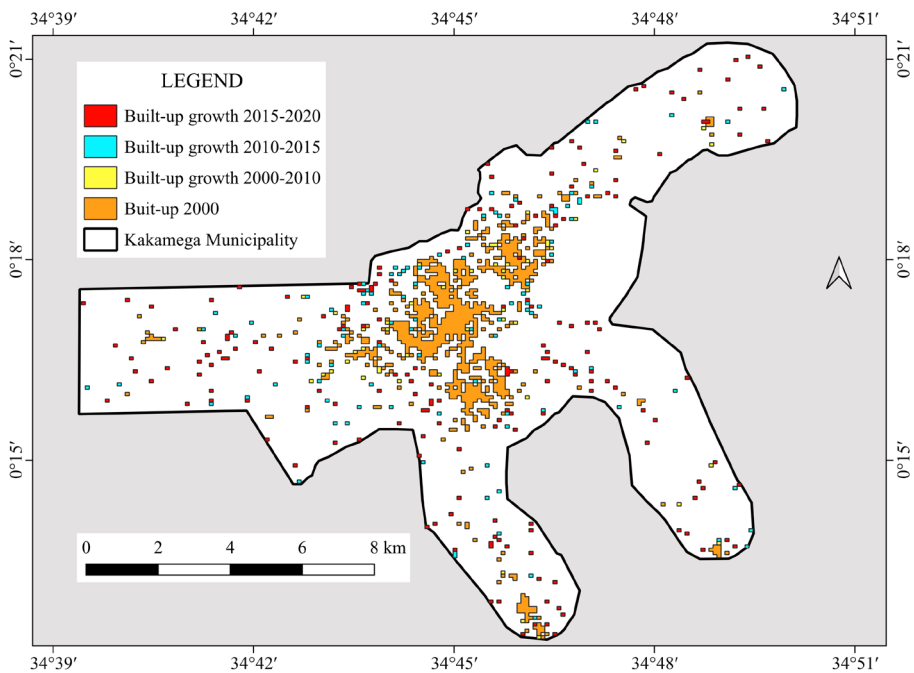


Figure 3. Built-up development in Kakamega municipality

centers. Leapfrog development was prevalent and evenly spread across urban fringes and surrounding rural areas. The eastern part experienced minimal growth (*Figure 3*). These patterns reflect differences in economic status and development regulations. Nairobi is better resourced, supporting outward expansion. In Kakamega, growth is more influenced by land availability and less restrictive development policies, contributing to more fragmented growth. Furthermore, protected areas control urban expansion. This is indicated by the limited development towards the south of Nairobi, with a national park, and to the east of Kakamega with a forest reserve. Taken together, the results demonstrate that urban growth is not uniform but varies systematically with city size and function. The buffer-based classification approach effectively captures these differences, providing a practical framework for monitoring and managing urban expansion.

## Conclusion

This study presents a proactive and reproducible method for identifying and classifying urban development processes using open-source GHSL datasets and QGIS. It employs a buffer-based proximity approach that converts pixel-level changes into meaningful urban growth typologies, including infill, edge-extension, and leapfrog patterns. The findings reveal diverse growth processes in the two municipalities. Nairobi's urban growth is increasingly characterized by edge-extension and leapfrog development. These patterns indicate a shift from expected city consolidation to expansion beyond the current urban footprint. In Kakamega, the amorphous growth, marked by leapfrogging dominance and significant edge extension, reflects fragmented, outward expansion typical of a secondary town. These varied growth patterns highlight the influence of urban hierarchy on urban expansion, moderated by protection policies. By using freely accessible tools and datasets, this study demonstrates the utility of the proximity-based technique in urbanization studies. The approach offers a scalable, transparent way for analyzing urbanization in regions with limited data and resources. Importantly, it offers insights for context-specific planning, promoting densification in metropolitan areas while guiding controlled expansion in intermediate towns. Therefore, the study presents a robust alternative framework for converting pixels into urban form, bridging remote sensing analysis with practical urban planning insights.

## References

- 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>
- BALK, D. – LEYK, S. – JONES, B. – MONTGOMERY, M. R. – CLARK, A. (2018): Understanding urbanization: A study of census and satellite-derived urban classes in the United

- States, 1990-2010. *PLOS ONE*, 13(12), e0208487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208487>
- BUSHO, S. W. – WENDIMAGEGN, G. T. – MULETA, A. T. (2021): Quantifying spatial patterns of urbanization: Growth types, rates, and changes in Addis Ababa City from 1990 to 2020. *Spatial Information Research*, 29(5), 699–713. <https://doi.org/10.1007/s41324-021-00388-4>
- CGK (2023): Kakamega County Integrated Development Plan 2023-2027. County Government of Kakamega. <https://repository.kippa.or.ke/handle/123456789/4211>
- FANG, C. – ZHAO, S. (2018): A comparative study of spatiotemporal patterns of urban expansion in six major cities of the Yangtze River Delta from 1980 to 2015. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(4), 95–114. <https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1469960>
- GLOCKMANN, M. – LI, Y. – LAKES, T. – KROPP, J. P. – RYBSKI, D. (2022): Quantitative evidence for leapfrogging in urban growth. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(1), 352–367. <https://doi.org/10.1177/2399808321998713>
- 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>
- KINUTHIA, H. – MAJALE, C. – LETEMA, S. (2022): Patterns and Drivers of Land Development in (Greater) Eastern Bypass Peri-Urban Area of Metropolitan Nairobi. *African Journal of Science, Technology and Engineering (AJSTE)*, 3(1), 61–82.
- KORAH, A. – KOCH, J. A. M. – WIMBERLY, M. C. (2024): Understanding urban growth modeling in Africa: Dynamics, drivers, and challenges. *Cities*, 146, 104734. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104734>
- KORAH, A. – SMITH, L. C. – WIMBERLY, M. C. (2025): Understanding urban expansion across primary and secondary cities in Ghana. *Habitat International*, 158, 103339. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2025.103339>
- MELCHIORRI, M. (2022): The global human settlement layer sets a new standard for global urban data reporting with the urban centre database. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1003862. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1003862>
- PANDEY, P. C. – KOUTSIAS, N. – PETROPOULOS, G. P. – SRIVASTAVA, P. K. – BEN DOR, E. (2021): Land use/land cover in view of earth observation: Data sources, input dimensions, and classifiers—a review of the state of the art. *Geocarto International*, 36(9), 957–988. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1629647>
- ROY, B. – KASEMI, N. – MUKHERJEE, K. (2023): Identification of Urban Growth Typology and its Association with Thermal Environment: A Study of Siliguri Urban Agglomeration, West Bengal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(7), 1581–1597. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01714-z>
- 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.
- SIKDER, S. K. – KAPOOR, M. – PARMAR, P. – TARIQUL ISLAM, MD. – NAHIDUZZAMAN, K. M. (2025): Global open data in local urban development: An actionable framework for adopting Global Human Settlement Layer (GHSL) in the Global South. *Sustainable Communities*, 2(1), 2518428. <https://doi.org/10.1080/29931282.2025.2518428>

- SUMARI, N. S. – UJOH, F. – SAMWEL SWAI, C. – ZHENG, M. (2023): Urban growth dynamics and expansion forms in 11 Tanzanian cities from 1990 to 2020. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 1985–2001. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2218114>
- SUN, C. – WU, Z. – LY, Z. – YAO, N. – WEI, J. (2013): Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 409–417. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.012>
- UHL, J. H. – MAFFENINI, L. – POLITIS, P. – SCHIAVINA, M. – PESARESI, M. – KEMPER, T. (2024): VectorCubeWarp: Lossless, efficient warping of global, multi temporal, gridded data cubes using a versatile, vector based areal interpolation approach. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/944370>
- United Nations (2024): “Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2024 World Population Prospects: Summary of results,” in UN DESA/POP/2024. Available at: <https://population.un.org/wpp/Publications/> (accessed March 30, 2026).
- WEERAKOON, K. G. P. K. (2017): Analysis of Spatio-temporal Urban Growth using GIS Integrated Urban Gradient Analysis; Colombo District, Sri Lanka. *American Journal of Geographic Information System*, 6(3), 83–89. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20170603.01>
- WILSON, E. H. – HURD, J. D. – CIVCO, D. L. – PRISLOE, M. P. – ARNOLD, C. (2003): Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 275–285. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00074-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00074-9)



# A talaj menti csapadékmérő állomások mérési anomáliáinak automatizált detektálása meteorológiai radaradatok bevonásával

Kanyó Szilárd<sup>1</sup> – Turi Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> geoinformatika MSc hallgató, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Természföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, kanyosz98@mailbox.unideb.hu

<sup>2</sup> adjunktus, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Természföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, turi.zoltan@science.unideb.hu

**Abstract:** The rapid expansion of precision agriculture makes data-driven decision-making, such as irrigation and pest control scheduling, reliant on real-time, locally accurate meteorological information. Due to the extreme spatial and temporal variability of precipitation, traditional ground-based networks often lack the necessary resolution or suffer from technical failures like sensor clogging. Meteorological radar networks provide high spatial coverage but contain estimation uncertainties. This study aims to develop an automated, GIS-based Quality Control procedure using Python to compare HungaroMet composite radar data and the KITE Ltd. agrometeorological network. We implemented a 5-stage Clogging Probability Score algorithm that integrates temporal consistency checks, 3x3 pixel neighborhood analysis, and 15 km spatial buffer validation. This robust methodology effectively distinguishes between actual sensor clogging and natural spatial heterogeneity (e.g., edge effects or virga). Our results contribute to the automated improvement of precipitation databases, enhancing the reliability of agricultural decision support systems.

## Bevezetés

A szántóföldi növénytermesztés és az időjárás szoros kapcsolatban állnak egymással, hiszen többek között az időjárási viszonyok, különösen a csapadék és a hőmérséklet határozzák meg a növények növekedését, terméshozamát és a növénytermesztés gazdasági eredményeit. A pontos időjárás-előrejelzések segítik a gazdálkodókat abban, hogy időben meghozzák a megfelelő vetési, öntözési és növényvédelmi döntéseket, csökkentve ezzel a termelési kockázatokat és növelve a terméshozamot. Az éghajlatváltozás hatására a csapadékesemények tér- és időbeli mintázata jelentősen átalakul, amely Magyarországon is egyre súlyosabb kockázatot jelent. Az éven belüli csapadékmennyiség és -eloszlás egyre szélsőségesebbé válik: a hosszú, aszályos időszakokat gyakran szakítják meg lokális, extrém intenzitású konvektív viharok és felhőszakadások (BARTHOLY ET AL. 2007). Az egyre gyakoribb szeszélyes időjárási események miatt az embereknek, köztük a mezőgazdasági termelőknek egyre nagyobb szükségük van a megbízható meteorológiai információkra, amelyek támogatják a fenntartható gazdálkodást és a gazdasági stabilitást. Így az időjárás-előrejelzések mezőgazdasági alkalmazása kulcsfontosságú a termelés hatékonyságának és a vidék fejlődésének a biztosításában.

Világszerte a felszíni csapadékméréseket főként billenőedényes csapadékmérőkkel végzik. Működési elvük egyszerű. A gyűjtőtölcséren átfolyó víz általában egy kétrekeszes edénybe jut, amely adott mennyiség (általában 0,2 mm) elérésekor át/lebillen, és elektromos jelet küld az adatrögzítő felé. Bár ezek az eszközök jól kalibrálhatók, a fizikai környezetből fakadóan számos hibaforrás fordulhat elő. Az extrém intenzitású zivatarok esetén a billenőedény mechanikai lomhasága komoly fáziskésést okozhat jelentősen eltorzítva az órási időbeli gyakoriságú mérési adatokat (DUNN ET AL. 2025). A legkiszámíthatatlanabb és legnehezebben szűrhető hibaforrást azonban a csapadékgyűjtő rendszerek részleges vagy teljes fizikai dugulása jelenti, amelyet pl. falevelek, felgyülemplő por vagy madárürülék okozhat. A dugulás felismerése a legnagyobb kihívás a minőségellenőrzésben, mivel a műszer által továbbított 0 mm-es adat egyaránt utalhat teljes szenzorhibára vagy csapadékmentes időjárásra (UPTON – RAHIMI 2003).

A meteorológiai radarok a légkörben lévő csapadékelemek által visszavert elektromágneses jelek alapján térképezik fel a csapadékmezőket. Nagy időbeli és térbeli felbontást biztosítanak, de adataik csupán közvetett becslések. A radaros csapadékbecslések megbízhatósága kizárólag a felszíni műszerekkel történő folyamatos többváltozós validációval biztosítható (GOUDENHOOFDT – DELOBBE 2009).

A merev értékeken alapuló adatminőség-ellenőrző (QC) rendszerek gyakran eredményezhetnek téves riasztásokat a természetes meteorológiai peremhatások, illetve a szél okozta fáziskésések miatt. A modern geoinformatikai és meteorológiai adatelemzés napjainkban már lehetővé teszi a többtényezős folytonos matematikai súlyozást. Ezt az innovatív kvantitatív minőségértékelési megoldást alkalmazta OŠRÓDKA ET AL. (2022) a RainGaugeQC algoritmus megalkotásában is. Tanulmányukban rávilágítottak arra, hogy a felszíni csapadékmérők valós észlelési anomáliáinak a kiszűréséhez elengedhetetlen egy olyan összetett (multi-faktoros) minőségi index felépítése, amely párhuzamosan elemzi a radaradatokat, a szomszédos szenzorok térbeli sűrűségét, valamint az adatok időbeli folytonosságát. Ezen a dinamikus többváltozós minőségértékelési elven alapul ez a kutatás, amelynek a célja egy olyan geoinformatikai algoritmus létrehozása, ami a meteorológiai radaradatokat és a csapadékmérő állomások észlelési adatainak a vektorizált feldolgozása, valamint kockázati súlyszámok alkalmazása révén képes azonosítani a csapadékmérők fizikai dugulásait.

## **Anyag és módszer**

A kutatás során két nyári hónap (2025. június és július) órási időbeli felbontású csapadék-adatbázisát vizsgáltuk, amely a KITE Zrt. több mint 800 agrometeorológiai állomásából álló mérőhálózat pontszerű adataiból, valamint a HungaroMet (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.) országos lefedettségű meteorológiai radarhálózatának az 1176,25 méteres térbeli felbontású raszteres csapadékbecsléseiből

tevődött össze. A radaradatokat 5 perces időbeli felbontásban kaptuk meg, így azokat órás időbeli felbontású adatokká kellett átalakítanunk, hogy összehasonlíthatók legyenek a csapadékmérő állomások értékeivel. Mivel a radarok a csapadék intenzitását intervallumokban határozzák meg, így minden egyes órához két, egy alsó (lower) és egy felső (upper), raszterréteget (GeoTIFF fájlt) hoztunk létre. A pontszerű állomásadatok tárolására és előkészítésére fájlgeoadatbázis (.gdb) formátumot alkalmaztunk, mivel a feldolgozás során fontos volt az idő pontos kezelése. A régebbi adatformátumok (pl. shapefile) attribútumtáblái nem megfelelően kezelik a dátum + idő típusú mezőket, a geoadatbázis-struktúra ezzel szemben biztosította a csapadékesemények óra alapú időbélyegeinek a megőrzését (CHILDS 2009).

A több mint 1 millió sort tartalmazó adatbázis kiértékeléséhez az ArcGIS Pro geoinformatikai szoftvert és annak Python (ArcPy) programozási felületét használtuk. A feldolgozási műveletek szűk keresztmetszetét a raszteres állományok lekérdezése jelentette. A hagyományos, attribútumtáblán végigfutó pontonkénti iteráció helyett vektorizált memóriakezelést alkalmaztunk a többdimenziós tömbműveletekre optimalizált NumPy könyvtár bevonásával (HARRIS ET AL. 2020). Az algoritmus a radarképeket memóriába töltött számmátrixokként kezelte, így az állomások földrajzi koordinátáinak pixelindexekké alakításával a feldolgozási idő órákról percekre csökkent.

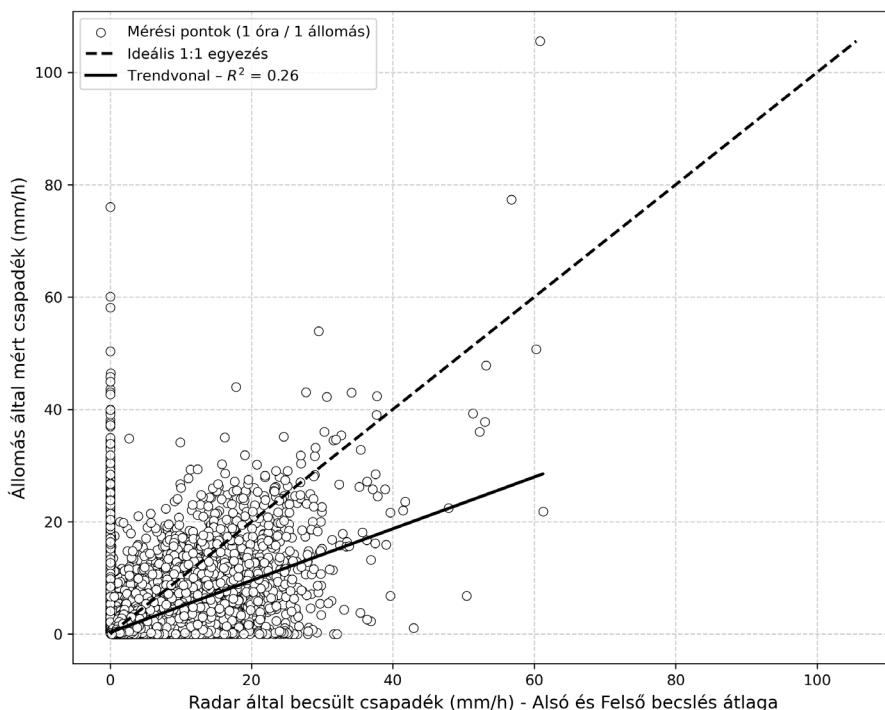
A mérési anomáliák osztályozására egy dimenzió nélküli 0-tól 100-ig terjedő dugulásvalószínűségi értéket határoztunk meg. A módszertant ZADEH (1965) fuzzy logikájának alapelveire építettük, mivel az adatok rendkívül gyenge korrelációt mutattak, és így nem lehetett merev, bináris döntéseket hozni. Helyette az algoritmus több tényező figyelembevételével határozza meg a hiba valószínűségét. A folyamat első lépése az előszűrés volt. Amennyiben az állomás által mért érték a radar alsó és felső becslése közé esett, a becslést meghaladta, vagy a kettő közötti abszolút eltérés nem érte el a 0,2 mm-es műszeres hibahatárt, az állomás megbízhatónak minősült és 0 pontot kapott.

A gyanús esetek, a radarhoz képest alulmérő állomások kiértékelése négy további egymásra épülő paraméterből tevődik össze. Elsőként egy dinamikus különbségsúlyozást végez, amely minden egyes hiányzó milliméter után 2 kockázati súlyt ad. Ez maximum 50 pont lehet, ennél többet ezen a szinten nem kap. Ezután az időbeli fáziskésést vizsgálja meg, hogy a problémásnak vélt időpont előtti és utáni órában mennyi csapadékot mért az állomás. Összeveti a radar és a műszer közötti bruttó hiányzó csapadékot a  $t-1$  és a  $t+1$  órás mozgóablak mért csapadékával. Ha ez a szomszédos mennyiség eléri a hiány 80%-át, a dugulás gyanúja megdől, és a pontszám nullázódik. Ha nem, az állomás 15 kockázati pontértéket kap, mivel nincs igazolva az időbeli csúszás. Harmadik lépésként a radarkép egy  $3 \times 3$  pixeles mátrixán végez morfológiai elemzést. Ha az állomás a vihar magterületén van ( $> 6$  aktív pixel), az érték 15 ponttal nő. A kérdéses zóna (3–6 pixel) 10 pontot jelent, míg a peremrész ( $< 3$  pixel) nem növeli az értéket. Végző lépésként egy 15 kilométeres övezetet húz az állomás köré, és szomszédos észlelőállomásokat keres benne. Ha a szomszédos

állomás(ok) is a radarcella alatt van(nak) és mért(ek) csapadékot, az igazolja a csapadékhullást, így 20 ponttal nő az érték. Ha azonban a térségben más állomás sem észlelt csapadéktevékenységet, akkor nagy a gyanú egy esetleges radarhibára vagy felszint el nem érő csapadékhullásra (virga-jelenségre). Emiatt az algoritmus 20 pontot levon az addigi összegből. A végső dugulásvalószínűségi érték ezeknek a pontszámoknak az összegéből áll össze.

## Eredmények

Az automatizált minőségellenőrző eljárás sikeresen dolgozta fel a két hónapos időszak összesen 1 103 318 darab órás időbeli felbontású észlelésből álló csapadékrekordját. A statisztikai elemzés eredményei jól tükrözik a radaros csapadékbecslés és a felszíni mérések közötti komplex, de ellentmondásos kapcsolatokat. A több mint 1,1 millió mérési pontra illesztett szórásdiagram (1. ábra) azt mutatja, hogy a két mérési rendszer között rendkívül gyenge a korreláció, amit a mindössze  $R^2 = 0,26$ -os determinációs együttható is igazol. Szembetűnő a mérési pontok tömeges megjelenése az x és az y tengelyek mentén, ahol a radar jelentős csapadékot jelzett, miközben az állomás 0 mm-t mért. Az is gyakran előfordult, hogy az észlelőállomások jelentős mennyiségű csapadékot mértek, de a radar nem



1. ábra A radaros becslések (alsó és felső átlaga) és a felszíni csapadékmérések összesített korrelációja a vizsgált időszakban

észlelt csapadéktevékenységet. Ez a gyenge korreláció tette elengedhetlenné a geoinformatikai ellenőrző algoritmus alkalmazását a hálózat fizikai állapotának a felmérésére.

A több mint 1,1 millió felszíni csapadékmérési adat túlnyomó többsége (1 010 256 esetben) illeszkedett a radar becslési sávjaiba, vagy az eltérés a 0,2 mm-es műszeres tűréshatárnál nem volt nagyobb. Az alulmérő anomáliák esetében a modell pontosan meghatározza a dugulásvalószínűségi értéket. Az 1. táblázat bemutatja az öt legnagyobb mérési anomáliát tartalmazó esetet.

A csapadékmérő edény teljes dugulása következett be „KERKAKUTAS” állomáson (2025.07.11. 16:00). A radarkép alapján a szenzor egy kiterjedt zivatar magterületén helyezkedett el (9 aktív pixel). A minimális csapadékélvárás 26,8 mm volt. A fáziskésést vizsgáló szűrőfeltétel (t-1, t+1) nem talált kompenzáló vízmennyiséget, a szomszédos felszíni csapadékmérő állomások pedig igazolták az intenzív csapadéktevékenységet. A modell a 26,8 mm-es bruttó hiányra kiosztotta a maximális 50 kockázati pontot, amit az egyéb vizsgálatok (+15 fáziskésés hiánya, +15 morfológia, +20 szomszédok) tovább növeltek, így az állomás erre az időpontra megkapta a 100-as dugulásvalószínűségi értéket. Ez az esemény a szórásdiagramon (1. ábra) a radarbecslés x tengelye mentén található pontok között jelenik meg.

Az „ESZTÁR” állomás (2025.07.27. 07:00) esete bizonyítja, hogy egy tényező is mennyire tudja befolyásolni az eredményt. Bár a radar 21,4 mm-es alsó becsléséhez képest itt is jelentős, 16,8 mm-es bruttó hiány lépett fel, az algoritmus kimutatta, hogy a következő órában 28,2 mm csapadékmennyiséget mért az észlelőállomás. Ez tökéletesen igazolhatja az adott órás időintervallumban a csapadékmentességet, mivel előfordulhat, hogy azt a csapadékmennyiséget a fáziskésés miatt csak a következő órában rögzítette az agrometeorológiai állomás. Mivel az eltérés meghaladta a 80%-os kompenzációs küszöböt, a rendszer a dugulás gyanúját azonnal elvetette.

1. táblázat Az algoritmus által kiemelt órás időbeli felbontású mérési anomáliák (feltételezett valós dugulások és igazolt fáziskésés) a vizsgált időszakban

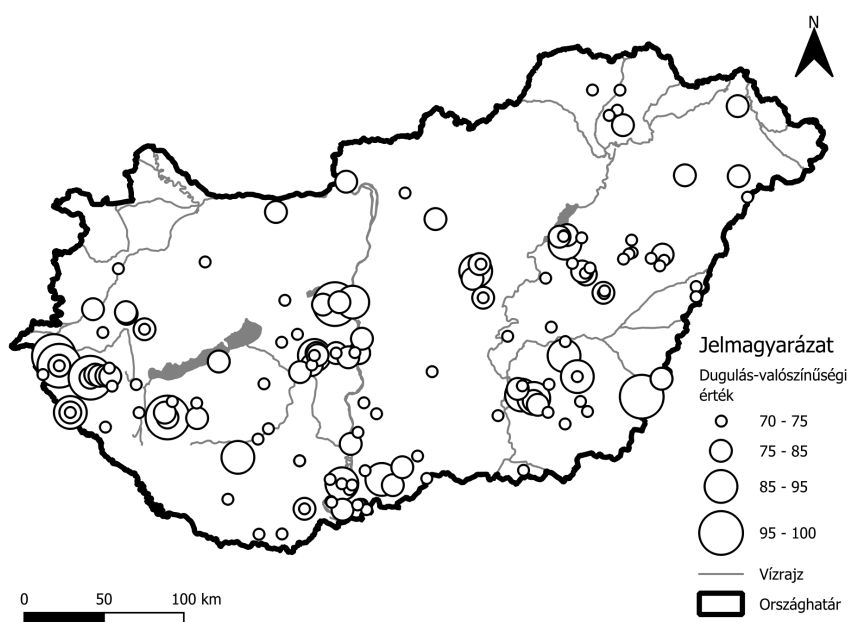
Állomásnév	Mérési dátum	Csapadék (mm/h)	Radar (alsó)	Hiány	t-1	t+1	3x3 pixel	Szomszéd	Pontszám
NAGYRÁKOS	25/06/03 14:00	3.8	31.8	-28.0	0.0	2.5	9	ESIK	100
KERKAKUTAS	25/07/11 16:00	0.0	26.8	-26.8	0.0	0.0	9	ESIK	100
ÚJKÍGYÓS	25/07/27 06:00	1.1	28.1	-27.0	2.0	0.0	9	ESIK	100
MESZTEGNYŐ	25/06/27 04:00	2.3	27.0	-24.7	2.7	2.3	9	ESIK	99
ZALATÁRNOK	25/07/07 11:00	0.0	23.6	-23.6	0.0	0.0	9	ESIK	97
ESZTÁR	25/07/27 07:00	4.6	21.4	-16.8	3.1	28.2	9	ESIK	0

2. táblázat Az 50 pont vagy a feletti dugulás-valószínűségi értéket elérő órás időbeli felbontású mérések gyakorisági eloszlása a vizsgált időszakban

Dugulásvalószínűségi érték	Eset
50	9694
60	725
70	160
80	43
90	10
100	3

A minőségellenőrzés hálózati szintű hatását a két hónapos idősor összevont statisztikája mutatta meg. Az algoritmus szűrőin felfelé haladva a találatok száma exponenciálisan csökken (2. táblázat). A kiindulási, 50 pontos kockázati szintet 9 694 esetben érte el a rendszer, de egy szigorúbb ponthatár megállapítása drasztikusan csökkenti az esetek számát. A 70 pontos kategóriába csupán 160 eset került, míg a teljes dugulást vagy hardverhibát jelentő maximális értéket (100 pont) mindössze 3 alkalommal osztotta ki az algoritmus.

A 70 pont feletti dugulásvalószínűségi értéket elérő állomások (2. ábra) térbeli és időbeli eloszlása élesen elkülönítette az eseti eltömődéseket a vélhetően valós hálózati problémáktól.



2. ábra A magas dugulásvalószínűségi értéket elérő mérőállomások időbeli ismétlődéseinek térbeli eloszlása

Az agrometeorológiai hálózat érintett állomásainak döntő többsége csupán egyszer produkált magas értéket, ami utalhat arra, hogy időközben megszűnt az eltömődés, vagy az elemzés során olyan tényezők kaptak hangsúlyt, amelyek tévesen növelték meg az értéket. Ezzel szemben megfigyelhetők voltak olyan eredmények is – KERKAKUTAS (4 alkalommal) és CSÖRNYEFÖLD (3 alkalommal) –, amelyek esetében a dugulás valószínűségi értéke többször is meghaladta a 70-es ponthatárt. A problémásnak ítélt állomások azonosítása jelentős mértékben elősegítheti a célzott üzemeltetői beavatkozásokat, hogy minél hatékonyabban hárítsák el a fizikai meghibásodásokat.

## **Következtetések**

A kutatás rávilágított arra, hogy a meteorológiai szenzorhálózatok adatminőség ellenőrzése nagyban függ a validálásra szolgáló adatoktól. A csapadék hullás fizikai bizonytalanságai (szélnyírás, magaslégköri párolgás, jégszemek torzító hatása) miatt a radaros becslések és a felszíni mérések között nincs tökéletes lineáris kapcsolat. A technológiai korlátok miatt az egyszerűbb összehasonlító módszerekkel nem tudtuk volna pontosan meghatározni a talaj menti csapadékmérő állomások és a meteorológiai radaradatok mérési anomáliáit, ezért a meglévő módszertan továbbfejlesztésével elemeztük a különböző adatforrásokat.

A kidolgozott munkamenet nem csak az adatok közötti korrelációt határozza meg, hanem több tényező alapján próbálja a valós hardveres meghibásodásokat kimutatni. Az algoritmus továbbfejlesztésével és a valószínűségi értékek finomításával a dugulásvalószínűségi értékek bevezetése pontos képet adhat a az észlelési anomáliákról. Mindez lehetővé teszi az észlelőállomások célzott karbantartását jelentősen optimalizálva a KITE Zrt. agrometeorológiai hálózatának üzemeltetési és fenntartási folyamatait.

A jövőbeli fejlesztések egyik iránya lehet az adatok pontosabb validációja. Ezt a folyamatot segítheti elő a más cégek, szervezetek által üzemeltetett felszíni meteorológiai állomáshálózatok adatainak a rendszerbe integrálása, ami hatékonyabbá teheti annak működését. Emellett a modell pontosságát jelentősen növelheti a további meteorológiai paraméterek: elsősorban a szélsébség és a szélirány adatainak a beépítése az algoritmusba. Mivel az erős szél csökkenti a billenőedényes műszerek mérési hatékonyságát, ennek a tényezőnek a figyelembevétele továbbcsökkentheti a téves riasztások számát.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnénk köszönetet mondani a KITE Zrt.-nek a kutatáshoz biztosított adatbázisokért és munkatársaik segítőkész szakmai együttműködéséért. Továbbá köszönet illeti Somfalvi-Tóth Katalint, aki iránymutatásaival támogatta a kutatás megvalósítását. A kutatás/publikáció elkészítését a Debreceni Egyetem Tehetséggondozó Programja (DETEP) támogatta.

## Felhasznált irodalom

- BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. (2007): A 21. század végén várható regionális éghajlatváltozás Magyarországon. Földrajzi Értesítő, 56(3–4), pp. 147–167.
- CHILDS C. (2009): The top nine reasons to use a file geodatabase. ArcUser, Spring 2009, pp. 12–15. <https://www.esri.com/news/arcuser/0309/files/9reasons.pdf>
- DUNN R. – FOWLER H. – GREEN A. – LEWIS E. (2025): Tipping-bucket rain gauges: a review of the undercatch phenomenon, and methods for its reduction and correction. Weather, 80, pp. 196–205.
- GOUDENHOOFDT E. – DELOBBE L. (2009): Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. Hydrology and Earth System Sciences, 13(2), pp. 195–203.
- HARRIS C. R. – MILLMAN K. J. – VAN DER WALT S. J. ET AL. (2020): Array programming with NumPy. Nature, 585, pp. 357–362.
- OŠRÓDKA K. – OTOPI I. – SZTURC J. (2022): Automatic quality control of telemetric rain gauge data providing quantitative quality information (RainGaugeQC). Atmospheric Measurement Techniques, 15(15), pp. 4581–4596.
- UPTON G. J. – RAHIMI A. R. (2003): On-line detection of errors in tipping-bucket raingauges. Journal of Hydrology, 278(1–4), pp. 197–212.
- ZADEH L. A. (1965): Fuzzy sets. Information and control, 8(3), pp. 338–353.

# Marsi felvételek szemantikus szegmentációja saját U-Net modell segítségével

Kerekes Konrád Péter

Geoinformatika MSc, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi intézet, Debrecen, Magyarország, konraad.kerekes@gmail.com

**Absztrakt:** A marsi felszín automatizált feltérképezése elengedhetetlen a jövőbeli űrmissziók és az autonóm roverek navigációjához. A Mars bolygó monoton és alacsony kontrasztú tájai azonban nehézségeket jelentenek a klasszikus képfeldolgozási algoritmusok számára. Jelen kutatás egy U-Net alapú mélytanulási modell fejlesztését és alkalmazását mutatja be, amely a NASA AI4MARS adatbázist használta fel a tanuláshoz és a teszteléshez is. Az elkészített modellt négy tereposztályra tanítottam be, melyek a talaj, alapkőzet, homok és szikla lett. Az eredmények alapján a hálózat 87,56%-os pixel szintű pontosságot ért el a validációs halmazon. Ezáltal a modell képes felismerni a főbb textúrákat és a kontúrokat, azonban az árnyékok és a roverre rakódott por továbbra is kihívást jelentenek.

## Bevezetés

Napjaink űrkutatásának egyik fő célja a Mars felszínének feltérképezése. A bolygó felszíne vizuálisan monoton, mivel a kőzetek, a regolit és a különböző geológiai alakzatok színe és textúrája is hasonló. Ennek következményeképpen és a folyamatosan beérkező hatalmas adatmennyiségek miatt a manuális feldolgozás szerepe egyre jobban csökken és átveszi a helyét a számítógépes látás és a mélytanulási modellek. A mélytanulási algoritmusokon belül, a Konvolúciós Neurális Hálózatok (CNN) közül is kiemelkedő teljesítményt nyújt a U-Net architektúra, amelyet eredetileg orvosi képfeldolgozásra fejlesztettek ki. Ez a neurális hálózat képes a pixel szintű részletek megtartására. Jelen tanulmány célja egy U-Net alapú modell fejlesztése és az eredmények bemutatása, amely feladata szemantikus szegmentáció végzése marsi rover felvételeken (Wu, é. n.).

## Adatok és Módszertan

A kutatás során a NASA Jet Propulsion Laboratory által készített AI4MARS adatbázist alkalmaztam. Az adatkészlet a Curiosity, Opportunity és a Spirit roverek 35 000 nyers felvételét és közösségi adatgyűjtéssel készült szegmentációs maszkokat tartalmazza. A számítási igények optimalizálása miatt a megfigyelt objektumokat négy nagyobb osztályra bontottam. Ezek az osztályok a talaj/háttér, alapkőzet, homok és nagy szikla/akadály.

A modell betanítására az előfeldolgozást követően 16 064 kép-maszk párt használtam fel, amelyeket véletlenszerűen 80-20% arányban felosztottam tanító és validációs halmazra. A felvételeket egységesen 256x256 pixeles felbontásra méreteztem a U-Net architektúra felezési szabálya és a hardveres korlátok miatt, illetve RGB csatornákra bontottam.

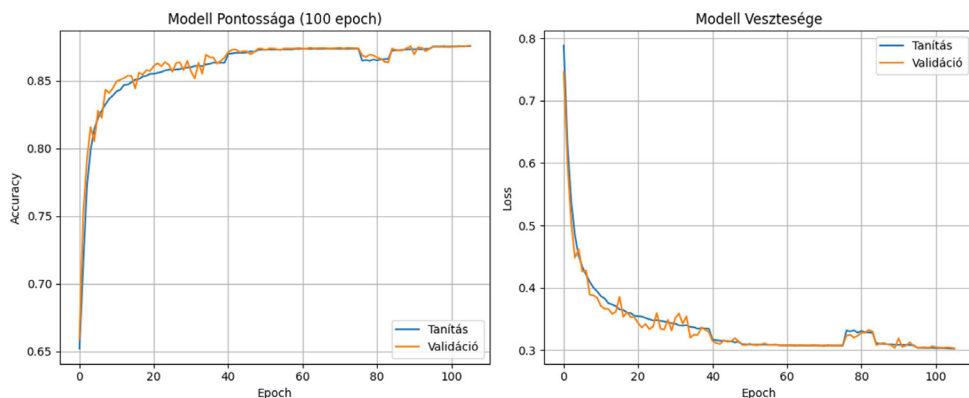
A modell alkotása során a klasszikus U-Net struktúrát követtem, amely az Encoderből, a látens térből és a Decoderből áll, melyek között átugró kapcsolatokat (skip connections) alkalmaztam. A tanítás során Adam optimalizációt és Categorical Crossentropy veszteségfüggvényt alkalmaztam. A teljes hálózat 16-os batch mérettel tanult 100 epochon keresztül (RONNEBERGER ET AL. 2015).

## Eredmények

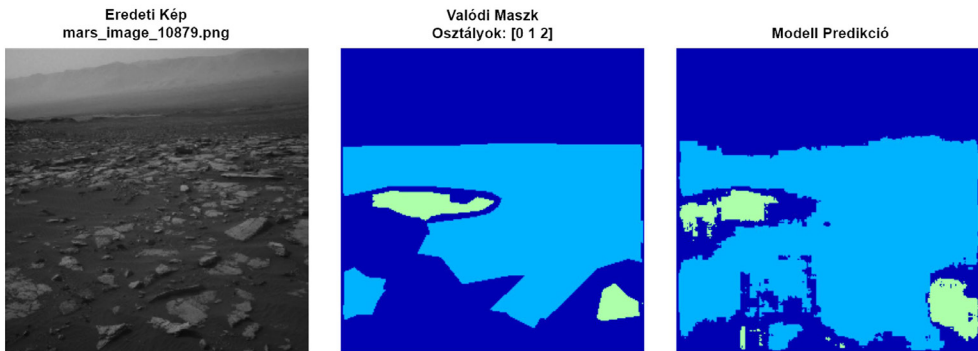
A modell stabil kezdeti konvergenciát mutatott a tanulás során, így a 15. epochra elérte a körülbelüli 85%-os pixel szintű pontosságot. A 100. epoch végére a hálózat már 87,56%-os pontosságot ért el a validációs halmazon. A veszteségfüggvény értéke 0,3 köré csökkent, a validációs görbe laposodása és a tanító görbével való együttmozgása pedig megmutatta, hogy a modell tanulása során nem történt túltanulás (1. ábra).

A kvalitatív kiértékelés során bebizonyosodott, hogy a modell képes elkülöníteni a szilárd kőzetlemezeket a homokos területektől. A U-Net sajátosságának köszönhetően képes követni a sziklák szabálytalan peremvonalait és képes felismerni a repedezett textúrákat is (2. ábra).

Az eredmények értékelése során azonban látható, hogy a modellnek vannak korlátai is. A sötétebb árnyékos és a világosabb sziklafalak találkozása során fals pozitív hiba lép fel és akadályként értelmezi ezeket a hálózat. Hasonló problémát okoz a rover alkatrészein megjelenő marsi regolit, amelynek textúrája és fényvisszaverődése



1. ábra Modell pontossága és vesztesége a 100. epoch után.



2. ábra Valódi és a modell alapján elkészült maszkok.

miatt a fémfelületeket tévesen a homokos felszín kategóriájába sorolja. Ezek a hibák főként az adathalmaz minősége, vagyis a kiegyenlítetlenségéből és a rossz/hiányos címkézésekből adódik.

## Konklúzió

A kifejlesztett U-Net modell bebizonyította, hogy a mélytanulási módszerek hatékonyak a marsi terep automatizált, pixel szintű szegmentálására. A kapott 87,56%-os eredmény elérte más hasonló kutatások, mint az Európai Űrügynökség által létrehozott ViBEKO projekt modelljének pontosságát. A jövőbeli kutatások egyik fő iránya lehet az alulreprezentált objektumok felismerésének javítása, akár más architektúrák bevezetésével. Ilyen lehetőség lehet a Generative Adversarial Networks (GAN) modellek alkalmazása szintetikus adatok előállítására, amelyek kiegyensúlyozhatják az adatbázist vagy pótolhatják a hiányos adatokat (KAY ET AL., é. n.).

## Hivatkozások

- KAY, S. – QUOOS, M. – FIELD, R. – PROKOPCZYK, M. J. – BENEDETTI, M. D. – SZRETER, M. – GAO, Y. – NTAGIOU, E. V. (é. n.). Ai-Enabled Computer Vision Framework For Automated Knowledge Extraction In Planetary Rover Operations.
- RONNEBERGER, O. – FISCHER, P. – BROX, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, & A. F. Frangi (Szerk.), Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015 (o. 234–241). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
- WU, J. (é. n.). Introduction to Convolutional Neural Networks.



# Wildfire Vulnerability Assessment and Mapping Using Remote Sensing, GIS in the Eastern Aures in Algeria

Khelali Meriem<sup>1\*</sup> – Bouhata Rabah<sup>2</sup> – Bensekhria Aida<sup>2</sup> –  
Ahmed Djaber Djabri<sup>3</sup> – Amani Sanga<sup>1</sup> – Japheth Ominde<sup>1</sup> – András Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eötvös Loránd University, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Informatics, Budapest, Hungary; H-1117, Pázmány Péter sétány 1/A.

<sup>2</sup> University of Batna 2, Department of Geography and Spatial Planning, Institute of Earth Sciences and Universe, Laboratory of Natural Hazards and Regional Planning, Batna 05000, Algeria.

<sup>3</sup> Laboratory of Territorial Sciences, Natural Resources and Environment, Faculty of Earth Sciences, Geography and Spatial Planning CAMPUS ZAOUAGHI SLIMANE, University of Constantine 1, Algeria

\* Correspondence: seriem@student.elte.hu

**Abstract:** Forest fires pose a significant environmental threat in Mediterranean ecosystems, particularly in Algeria, where they substantially contribute to forest degradation. This study aims to assess and map forest fire risk in the Aurès region using the Dagorne model integrated with Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques.

The methodology is based on the combination of three main factors: top morphology, vegetation combustibility, and human activity. Spatial datasets, including DEM, Sentinel-2 imagery, road networks, and settlement data, were processed within a GIS environment to generate a fire vulnerability index map. The results show that most of the study area falls within a moderate risk class (872 km<sup>2</sup>), followed by high risk (391 km<sup>2</sup>), low risk (269 km<sup>2</sup>), and very high risk (138 km<sup>2</sup>).

To validate the model, fire occurrence data from 2015 to 2022 were used. The validation results indicate that most fire events occurred in high- and very high-risk areas, with 64 fire points out of 162 occurring within these areas, confirming the reliability of the model. Additionally, the ROC analysis yielded a value of 0.66, indicating a good predictive performance of the Dagorne model. These findings highlight the effectiveness of GIS-based modeling for forest fire vulnerability assessment and support its application in decision-making and fire management strategies.

*Keywords:* Forest fires, GIS, Dagorne model, Aurès, risk mapping, vulnerability, remote sensing

## Introduction

Forest fires are among the most destructive natural hazards affecting ecosystems worldwide, particularly in Mediterranean regions characterized by hot, dry summers. In Algeria, forest fires are considered the main driver of forest degradation, causing severe ecological and economic damage (KHELALI ET AL. 2026b).

Over the past decades, the frequency and intensity of wildfires have increased significantly due to climate change and growing anthropogenic pressure. According to recent studies, Algeria loses thousands of hectares of forest annually due to fire events, with northern mountainous regions such as Kabylie and Aurès being particularly vulnerable (DJABRI ET AL. 2023; KHELALI ET AL. 2026b).

Traditional fire prevention methods remain insufficient due to the complexity of the interactions between environmental and human factors. However, creating

a fire-forecasting system is essential to improving sustainable forest management and strengthening fire-protection tactics. This can be achieved by using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technology to create fire vulnerability exposure maps. These maps will provide essential information for evaluating and lowering the area's fire vulnerability. For a thorough evaluation of wildfire problems and the creation of practical solutions, accurate mapping of fire risk areas is crucial (AOUDA – MAHDI, 2023; KHELALI ET AL. 2026a).

The combination of remote sensing and GIS-based modeling is still a useful method for determining and measuring wildfire vulnerability in Mediterranean ecosystems, including those in northern Algeria. But it's critical to choose a strategy that successfully strikes a balance between methodological transparency and data accessibility. The approach proposed by Dagherne Y. Duche (1993) offers a robust framework for such environments, as it combines physical, ecological,

and human factors into a reproducible vulnerability index adaptable to local conditions. During this study, we relied on the Dagherne Y. Duche. It has also been used by several other researchers (AOUDA – MAHDI 2023; BELGHERBI ET AL. 2018). This model is widely used in forest ecosystems in the Mediterranean region. The topographical index, fuel index, and human activity index are the three primary parameters that the applied model considers while evaluating the risk of forest fires to accomplish the goal. Based on Sentinel-2 satellite images, Open Street Map (OSM), digital elevation models, and Google Earth images, the analysis considered important factors that affect forest fire vulnerability, such as vegetation, slope, and aspect (DONG ET AL. 2005; FALEH – LAKHOUAJA 2012). Additionally, in the context of human activities, our assessment involves analyzing the spatial distribution of human infrastructures, such as roads and settlements (JAFARZADEH ET AL. 2017). These factors are introduced into a GIS environment as thematic layers to create a synthetic wildfire vulnerability map that shows forest areas based on how vulnerable they are to fire.

The study provides new insights into local wildfire vulnerability patterns by combining vegetation indices, topography, and human influence variables, providing high-resolution maps at a local scale.

## Study area

The Aurès region is in eastern Algeria and extends across Batna, Khenchela, and Oum El Bouaghi provinces (*Figure 1*). It represents a transitional zone between the Saharan domain and the humid northern regions (DJABRI ET AL. 2023; KHELALI ET AL. 2026b).

The area is distinguished by:

- A rugged alpine landscape with elevations of more than 2000 meters
- Mediterranean climate that is semi-arid (hot summers, mild winters)
- Aleppo pine, cedar, and oak predominate in the dense forest cover.

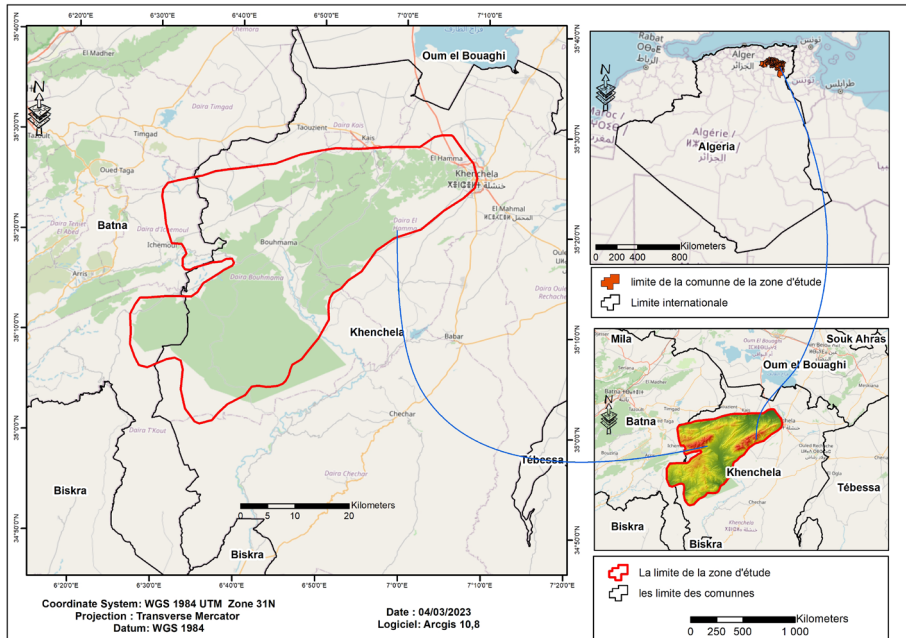


Figure 1. Location of study area

The Aurès region is extremely vulnerable to forest fires due to these environmental factors and human activity.

## Materials and methods

### *Data sources*

The methodology relies on several spatial datasets, including:

- The Copernicus geodatabase, which focuses on vulnerability and recovery mapping, uses a satellite image taken by the Sentinel-2 A sensors in 2022 as its main acquisition channel (ALCARAS ET AL. 2022). Its image facilitates the identification of forest regions with a spatial 10 m resolution.
- The DEM (Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) from Earth Explorer (USGS), with a spatial resolution estimated at 30 m, was processed within GIS software to extract slope and aspect.

For digitalization, Google Earth images with a spatial resolution of one meter are required.

- To extract road structures, use the Geofabrik Download Server's Open Street Map (OSM).

Point fire: historical data about fires in the Eastern Aurès forest. The General Directorate and the Province of Khenchela and Batna's Civil Protection are the sources of the data.

### *Forest fire vulnerability modelling*

A model created by Dagherne (BELGHERBI ET AL. 2018) and tested on the forest massifs of the Mediterranean region, is used to create the forest fire vulnerability map (AOUDA – MAHDI 2023).

Three key factors are included in the applied model for assessing the risks of forest fires: topography, combustibility, and human activity. The model is based on the following formula:

$$\mathbf{IR} = \mathbf{5. IC} + \mathbf{2. IH} + \mathbf{IM},$$

where IR stands for Indice of Fire Risk; IC for Indice of Combustibility (factor related to combustible); IH for Indice of Human Occupation (factor related to human activity); and IM for Indice Top morphology. This index's characterization is based on the regional variability of the fire risk, which is determined by physical and human factors that affect the selected model (AOUDA – MAHDI 2023; BELGHERBI ET AL. 2018).

#### *The combustibility index (IC)*

The method of MARIEL (1995) is used to calculate the index of combustibility (IC) in a forestry population. This method makes use of an empirical model that ponded the terms of a mathematical expression using parameters from a normalization description. The NDVI, which is derived from a Landsat 8 satellite image, is used to calculate the biovolume of the regional formation by adding the rates of recovery of forestry populations. The mathematical expression for calculating the biovolume can be expressed as follows:  $\mathbf{BV} = \mathbf{50 * NDVI}$ . The following relationship expresses the adopted fire's combustibility or potential intensity index:  $\mathbf{IC} = \mathbf{39 + 2,3 BV}$  (E–7,18). **BV**: represents the biovolume of the geological deposit. **E**: represents the combustibility note for all the installations.

#### *Human Activity Index (IH)*

The human activity index (IH) is based on two main aspects: fire ignition sources and anthropogenic factors. The first parameter, **IV (proximity to settlements)**, represents the anthropogenic pressure on forest areas within a buffer distance of 100 m, as human presence increases fire likelihood. The second parameter, **ID (road proximity index)**, accounts for road networks (roads, tracks, and paths), as fire occurrences are more frequent near transportation routes. The human activity index is expressed as:  $\mathbf{IH} = \mathbf{IV} + \mathbf{2ID}$

#### *Topomorphological Index (IM)*

The Topomorphological index (IM) is derived from three main topographic parameters: slope, aspect, and elevation. These parameters are extracted from the

Digital Elevation Model (DEM) of the study area. The index is calculated using the following equation:

$$IM = 3p + (m + e),$$

where: p: slope, m: terrain morphology, e: aspect. Slope plays a crucial role in fire propagation, as steeper slopes significantly accelerate fire spread.

### ***Validation***

Both statistical analysis and historical fire occurrence data were used in a validation process to evaluate the Dagonne model's dependability. To investigate the spatial relationship between observed fire incidents and anticipated high-risk locations, historical fire ignition points from 2015 to 2022 were first superimposed on the created fire risk map. Second, the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, which gauges the model's capacity to distinguish between fire-prone and non-fire locations, was used to assess the model's performance. A reliable evaluation of the model's predictive accuracy is produced by combining ROC analysis with spatial validation (DJABRI ET AL. 2023; KHELALI ET AL. 2026a, 2026b).

## **Results and Discussion**

### ***Forest Fire Vulnerability Map***

The spatial analysis of forest fire risk in the Aurès region reveals a heterogeneous distribution of risk levels across the study area (*Figure 2*).

The classification of fire risk shows that the moderate risk class dominates, covering an area of approximately 872 km<sup>2</sup>, followed by the high-risk class (391 km<sup>2</sup>). The low-risk class represents around 269 km<sup>2</sup>, while the very high-risk class occupies the smallest area with 138 km<sup>2</sup>.

These results indicate that a large portion of the study area is exposed to moderate fire risk, whereas significant zones fall under high and very high-risk categories, which require priority attention for fire prevention and management.

The spatial distribution of risk levels is closely related to environmental and anthropogenic factors. Moderate risk areas generally correspond to transitional zones characterized by moderate vegetation density. In contrast, high and very high-risk areas are mainly located in zones characterized by steep slopes, dense vegetation cover, proximity to roads, and human settlements

This distribution confirms that topography, vegetation density, and human activity are the main drivers of forest fire risk. These findings are consistent with previous studies conducted in Mediterranean environments, which highlight the strong influence of these factors on fire occurrence.

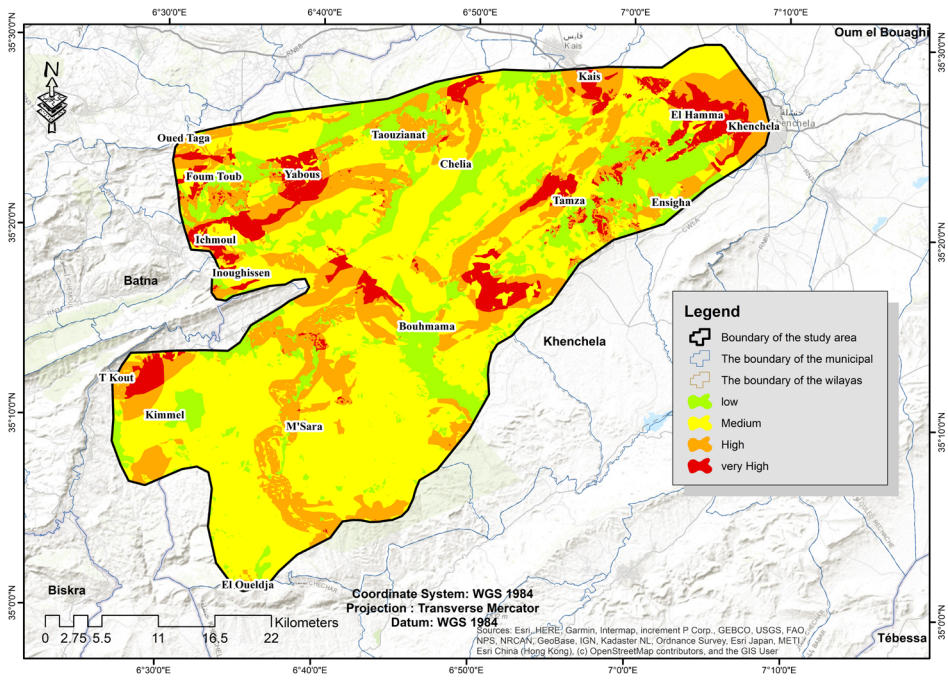


Figure 2. Forest fire vulnerability map

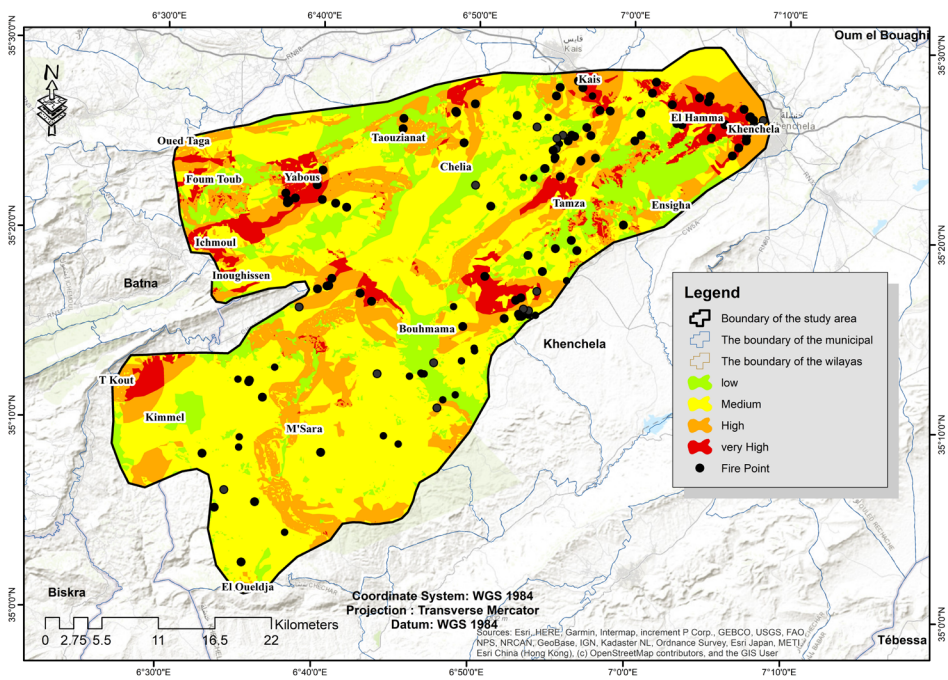


Figure 3. Fire Ignition Points Map

## ***Validation***

### *Fire Occurrence Data*

The Forest Directorate of Khenchela and Batna's historical fire occurrence data from 2015 to 2022 (*Figure 2*) was compared with the generated fire risk map as part of a validation process to evaluate the Dagorne model's dependability.

Fire ignition spots from Civil Protection records were superimposed on the fire vulnerability map as part of the validation process. The model's accuracy in identifying fire-prone locations can be assessed thanks to this spatial comparison.

According to the findings, 64 of the 162 fire points are situated in high and extremely high-risk areas. These results verify that:

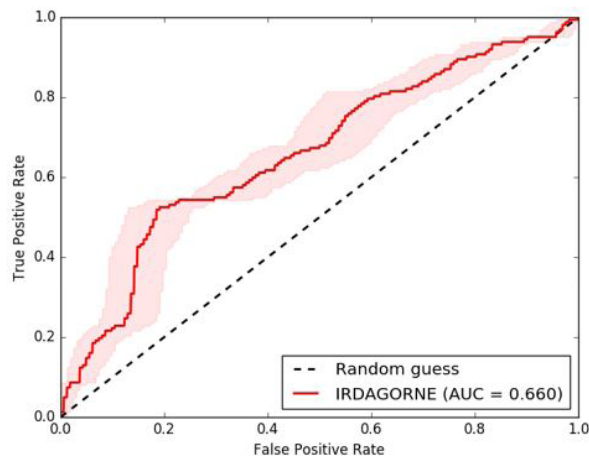
- Most fire events are concentrated in areas predicted as high-risk
- The model effectively identifies zones vulnerable to fire ignition

### *ROC Validation (Statistical Validation)*

The Receiver Operating Characteristic (ROC) curve was utilized to assess the model's predictive performance (*Figure 4*).

A statistical metric used to evaluate the model's capacity to differentiate between fire-prone and non-fire zones is the ROC index (Area Under the Curve, or AUC). Its values vary from 1 (perfect categorization) to 0.5 (random performance).

The Dagorne model's prediction performance is good and adequate, as indicated by the calculated ROC value of 0.66. This outcome demonstrates the model's capacity to distinguish between various fire danger categories and validates its dependability in the Aurès region. The performance is primarily attributable to the incorporation of biovolume and vegetation features into the combustibility index, and these results align with earlier GIS-based research on fire danger in Mediterranean settings.



*Figure 4. ROC index*

## Conclusion

This study assessed and mapped forest fire risk in the Aurès region using the Dagonne model integrated with GIS and remote sensing techniques. The results revealed a heterogeneous spatial distribution of fire risk, with moderate risk dominating the study area, while high and very high-risk zones were mainly associated with steep slopes, dense vegetation, and proximity to human activities. The validation process confirmed the reliability of the model, as most fire occurrences were concentrated in high-risk areas, and the ROC analysis demonstrated good predictive performance. Overall, the findings highlight the effectiveness of the Dagonne model in Mediterranean environments and emphasize the importance of integrating topographic, vegetation, and anthropogenic factors in fire risk assessment. GIS-based approaches provide a valuable framework for improving fire prevention strategies and supporting decision-making in vulnerable regions such as the Aurès.

## References

- ALCARAS, E. – COSTANTINO, D. – GUASTAFERRO, F. – PARENTE, C. – PEPE, M. (2022): Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 14(7), 1727. <https://doi.org/10.3390/rs14071727>
- AOUDA, S. – MAHDI, Y. (2023): Indice de risque d'incendie de forêts A l'aide de SIG Dans la wilaya de Skikda, Algérie. *AGROBIOLOGIA*, 13(2), 3664–3675.
- BELGHERBI, B. – BENABDELI, K. – MOSTEFAI, K. (2018). Mapping the risk forest fires in Algeria: Application of the forest of Guetarnia in Western Algeria. *Ekológia (Bratislava)*, 37(3), 289–300. <https://doi.org/10.2478/eko-2018-0022>
- DJABRI, A. D. – BOUHATA, R. – GUELLOUH, S. – BENSEKHRIA, A. – DJABRI, A. D. – BOUHATA, R. – GUELLOUH, S. – BENSEKHRIA, A. (2023): Wildfire Vulnerability Assessment and Mapping Using Remote Sensing, GIS and Weighted Overlay Method in the Eastern Aures in Khenchela, Algeria. *Geoadria*, 28(2), 191–210. <https://doi.org/10.15291/geoadria.4218>
- DONG, X. – LI-MIN, D. – GUO-FAN, S. – LEI, T. – HUI, W. (2005): Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169–174. <https://doi.org/10.1007/BF02856809>
- FALEH, A. – LAKHOUAJA, H. (2012): Sig, Teledetection Et Evaluation De Risque D'incendie De Forêts «Exemple Du Massif Forestier Khezana (Province De Chaouene)». *Papeles de Geografia*.
- JAFARZADEH, A. A. – MAHDAVI, A. – JAFARZADEH, H. (2017): Evaluation of forest fire risk using the Apriori algorithm and fuzzy c-means clustering. *Journal of Forest Science*, 63(8), 370–380. <https://doi.org/10.17221/7/2017-JFS>
- KHELALI, M. – BOUHATA, R. – BENSEKHRIA, A. – JUNG, A. (2026a): Integrating remote sensing and GIS for advanced forest fire hazards vulnerability and risk assessment in Gironde, France. *Fire Ecology*, 22(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s42408-025-00441-9>
- KHELALI, M. – BOUHATA, R. – DJABRI, A. D. – KADID, S. – JUNG, A. (2026b): Geomatics approach to assessment and mapping of forest fires vulnerability in Eastern Auras, Algeria. *Applied Geomatics*, 18(1), 53. <https://doi.org/10.1007/s12518-026-00703-4>

# Tengeri teknősök fészkeinek elosztási mintázatának vizsgálata Észak-Ciprus partvonalán fejlesztés alatt álló mérőbot tesztadatai alapján

Kovács Gábor<sup>1</sup> – Czomba Péter<sup>2</sup> – Móré Ádám<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BSc hallgató, Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b, kovacs0gabor1999@gmail.com

<sup>2</sup> egyetemi tanársegéd, Nyíregyházi Egyetem, Földrajz és Turizmus Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b, czomba.peter@nye.hu

<sup>3</sup> egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Automatizálás és Infokommunikációs Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros, adam.more@uni-miskolc.hu

**Absztrakt:** A dolgozat célja egy hordozható, szenzorvezérelt intelligens mérőbot fejlesztése és előzetes értékelése, amely alkalmas a tengeri teknősök fészkeinek kevésbé invazív, nagyobb pontosságú és gyorsabb detektálására. A rendszer alkalmazásával gyűjtött tesztadatok lehetőséget biztosítanak a fészkek térbeli elosztási mintázatának vizsgálatára Észak-Ciprus partvidékén, ezáltal hozzájárulva a preferált fészkelőterületek azonosításához és a térbeli sűrűségbeli különbségek feltárásához.

A módszer alapját a homok hőmérsékleti anomáliáinak és a homokréteg vizuális mintázatainak együttes elemzése képezi, amelyet digitális hőmérő, nagy látószögű kamera és GPS-alapú pozíciórögzítés támogat. A rendszer ESP32 alapú mikroszámítógépen fut, valós idejű adatmegjelenítést és mobilkommunikációt biztosítva. Az intelligens mérőbot a fejlesztési fázis során végzett tesztelések alapján várhatóan hozzávetőleg 85%-os detektálási pontosságot ér el, amely meghaladja a hagyományos, manuális szűrőpróba-alapú módszerek hatékonyságát, miközben minimális környezetbolygatással jár.

**Kulcsszavak:** tengeri teknős, fészketektálás, hőprofil, térbeli elosztás, szenzoros mérőrendszer, természetvédelem, GPS-alapú adatgyűjtés

## Bevezetés

A tengeri teknősök megőrzése világszerte kiemelt természetvédelmi feladat, mivel számos faj – köztük az álcserapesteknős (*Caretta caretta*) és a közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) – a Nemzetközi Természetvédelmi Unió (IUCN 2025) adatai szerint veszélyeztetett, és a mediterrán térségben különösen sérülékeny populációkat alkotnak. Fészkelőhelyeik érzékenységet az urbanizáció, a ragadozók jelenléte és a klímaváltozás tovább növeli, miközben a nőstények 20–25 év elteltével ugyanarra a partszakaszra térnek vissza, így minden egyes fészek védelme kritikus jelentőségű. A hagyományos fészekkeresési módszerek manuálisak és erősen tapasztalatfüggők: a kutatók vizuális nyomokat, felszíni elváltozásokat és a homok ellenállását vizsgálják, azonban a nyomok időjárási okokból gyorsan eltűnhetnek. (BOOTH 2017)

A kutatás célja a tengeri teknősök fészkeinek elosztási mintázatának vizsgálata Észak-Ciprus partvonalán egy fejlesztés alatt álló intelligens mérőbot tesztadatai alapján. A kifejlesztett eszköz lehetővé teszi a fészkelőhelyek gyorsabb és megbízhatóbb azonosítását a hagyományos módszerekhez képest, miközben

a környezet bolygatása minimális mértékű marad. A rendszer GPS-koordináták rögzítésére alkalmas, amelyek a Quantum GIS (QGIS) szoftver alkalmazásával térbeli elemzésekhez és a fészkelési eloszlási mintázatok feltárásához használhatók fel. A fejlesztés eredményeként egy ESP32 mikrokontroller alapú intelligens mérőbot jött létre, amely digitális hőmérőt, széles látószögű kamerát és GPS-alapú adatgyűjtést integrál, valamint valós idejű adatmegjelenítést biztosít (GAMMON ET AL. 2020; CLABOUGH ET AL. 2022).

A prototípus elkészítése Ciprus partvidékén vett gyakorlat alapján szerzett tapasztalat, a Cyprus Marinelife Centre programjában zajlott, ahol különböző homokösszetételű partokon használható. A lemodellezett terepi eredmények alapján a rendszer alkalmas a hagyományos detektálási módszerek kiváltására vagy kiegészítésére, gyorsabb és pontosabb fészkekazonosítást biztosítva.

## **Módszertan**

A fejlesztett mérőbot felépítése négy fő egységre bontható: a mechanikai szerkezetre, az elektronikai rendszerre, a szenzoros alrendszerre, valamint az adatgyűjtő és megjelenítő szoftverre. A rendszer működése során a homok hőmérsékleti adataiból és a fészkekre jellemző vizuális mintázatokból áll elő egy kombinált eredmény, amely alkalmas a fészkelési aktivitás detektálására. Ezzel párhuzamosan a GPS-modul meghatározza az egyes mérési pontok földrajzi koordinátáit, amelyek a Quantum GIS (QGIS) szoftver segítségével térinformatikai szempontból kiértékelhetők (INTERNET2). A következőkben részletesen bemutatásra kerül az eszköz felépítése, valamint az alkalmazott tesztelési folyamat.

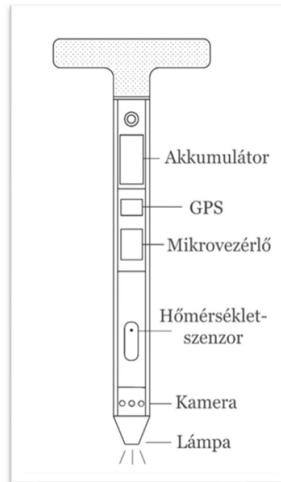
### ***A mérőbot mechanikai felépítése***

A mérőbot eloxált alumínium alapú csőrendszerre épül, amely egyszerre biztosítja a szenzorok stabil rögzítését, a kábelek vezetését és a mechanikai ellenállást. A markolat és a csuklórészek újrahasznosított, nagy ütésállóságú műanyagból készülnek (pl. ABS vagy PETG). A konstrukció fő szempontjai a kis tömeg, a magas hőtűrés és a homokszemcsék okozta kopással szembeni ellenállás voltak, különösen a homokos, sós, nedves part menti élőhelyeken (CLABOUGH ET AL. 2022).

A markolat ergonomikus kialakítású, csúszásmentes bevonattal, hogy a használó hosszabb ideig is kényelmesen tarthassa. A végén elhelyezett kamera és hőmérséklet-érzékelő 45°-os döntést kapott, hogy a homokfelszín textúráját és a felszíni réteg hőprofilját egyszerre lehessen vizsgálni (SELLÉS-RÍOS ET AL. 2022).

### ***Elektronikai felépítés és szenzorintegráció***

A rendszer központi eleme az ESP32 mikrokontroller, amely beépített Wi-Fi támogatásával lehetővé teszi a valós idejű kommunikációt és adatküldést.

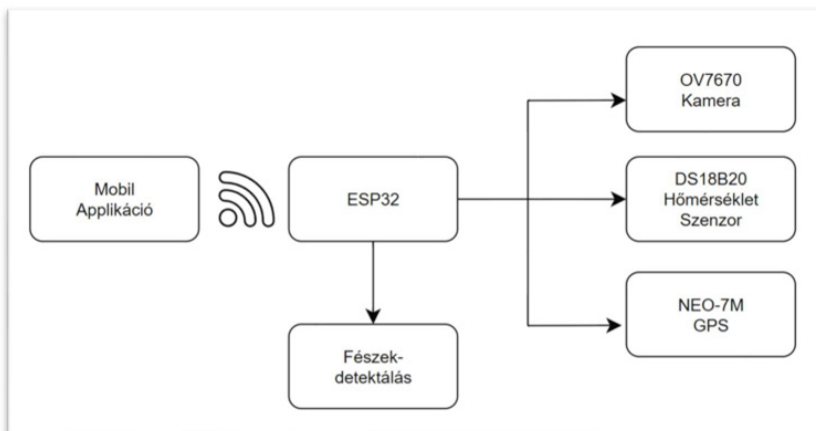


1. ábra A mérőbot prototípusának teljes szerkezeti képe

A hőmérsékletméréshez digitális DS18B20 szenzor került alkalmazásra, amely megfelelő pontossággal detektálja a homok hőmérsékleti változásait. A vizuális információt egy széles látószögű, ESP32-kompatibilis kamera (ESP32-CAM modul) biztosítja, amely képes a felszíni mintázatok felbontott rögzítésére.

A GPS-adatokat NEO-6M modul szolgáltatja, amely a mérési pontok pontos pozicionálását teszi lehetővé, és térbeli összevethetőséget biztosít a különböző fészkelőhelyek között. A tápellátást 3,7 V-os lítium-ion akkumulátor biztosítja, töltésvezérlő modullal és feszültségstabilizátorral kiegészítve.

Az alrendszerek közötti kommunikáció soros protokollon alapul, a kamera és a hőmérő közvetlenül az ESP32 buszára csatlakozik, míg a GPS UART interfészen keresztül működik (INTERNET1).



2. ábra A mérőbot működési folyamat ábrája

### *A szoftveres vezérlés és adatgyűjtés folyamata*

A szoftveres környezet MicroPython alapokon nyugszik, a mérési ciklus három fő lépésből áll:

1. Hőmérséklet-adat rögzítése (DS18B20) – a szoftver a homokfelszín közvetlen hőmérsékletét olvassa ki.
2. Kamerakép készítése – a felszíni mintázatok digitális értékeléséhez.
3. GPS-koordináták mentése – minden mérés pontos térbeli pozícióval társítva kerül tárolásra.

A mérőbot egy egyszerű mobilalkalmazással kommunikál, amely megjeleníti a hőmérsékletet és az elkészült képeket, így a terepi felhasználó azonnali visszajelzést kap.

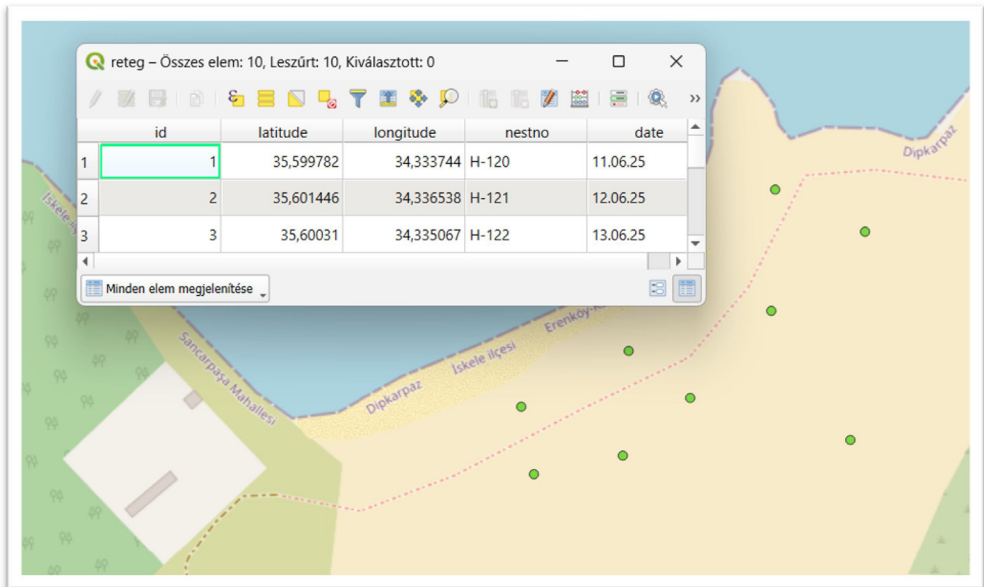
### *Terepi tesztelés és adatfelvétel*

A terepi vizsgálatok során megfigyeltem a teknősfészkek adatainak strukturált felépítését. A mérési program keretében rögzítésre került a fészkek azonosítója, a dátum, a teknős faja, a koordináták, valamint a fészkek méretei. Ezek helyét a természetvédelmi szervezet manuális módszerekkel határozta meg, amelyek referenciapontként szolgáltak az intelligens mérőbot fejlesztése során.

A kialakított rendszer lehetővé teszi a hőmérsékleti anomáliák mértékének számszerű összehasonlítását, továbbá a felszíni homoktextúra eltéréseinek vizuális elemzését is. A rögzített adatok alapján megállapítható, hogy a fészkekben kimutatható hő jelenik meg, amelyet a prototípus hőmérséklet-érzékelője stabilan és megbízhatóan, jó ismételtelőséggel képes detektálni.



*3. ábra A mérőbot terepi tesztelése*



4. ábra A teknős fészkek koordináták QGIS szoftverben

## Eredmények és értékelés

A modellezett terepi mérések alapján a rögzített koordináták elemzése alátámasztja, hogy a tengeri teknősök fészkeinek eloszlási mintázata a fejlesztés alatt álló mérőbot tesztadatai alapján jól kirajzolódik, és bizonyos térbeli minták ismétlődő, gyakori előfordulást mutatnak. Ez lehetőséget teremt az eloszlási sajátosságok későbbi, részletes térinformatikai elemzésére és a preferált fészkelőterületek azonosítására.

A mérőbot teljesítménye a hagyományos, manuális módszerekkel összehasonlítva jelentős előnyt mutatott: míg a szűrőpróba jellegű fészkek keresés általában 15–40 percet vett igénybe, addig a prototípus alkalmazásával ugyanazon terület 3–5 perc alatt vizsgálható volt, miközben a detektálás lényegesen kisebb mélységű fizikai behatást igényelt a homokrétégbe. A rendszer összesített detektálási pontossága elérte a 85%-ot, amely meghaladta az önkéntesek által végzett manuális módszer 60–70%-os átlagos eredményét, különösen azokon a helyszíneken, ahol a felszíni nyomokat a szél vagy a hullámozás már elsimította. Az intelligens mérőbot ezáltal nemcsak gyorsabb, hanem objektívebb és biztonságosabb megoldást biztosított a fészkek azonosításához.

## Konklúzió

A fejlesztett ESP32-alapú intelligens mérőbot terepi vizsgálatai igazolták, hogy a rendszer megbízhatóan alkalmazható a tengeri teknős fészkek minimálisan invazív, gyors és pontos detektálására. A hőmérsékleti anomáliák következetes azonosítása,

valamint a kameraképek alapján felismerhető felszíni textúrákülönbségek együttesen lehetővé tették, hogy a mérőbot a hagyományos, manuális módszerekhez képest lényegesen nagyobb pontosságot és rövidebb vizsgálati időt érjen el. A rendszer működése a terepi önkéntesek számára egyértelmű és objektív visszajelzést biztosított, csökkentve a hibázási arányt és a tojások esetleges sérülésének kockázatát.

A mérések során rögzített koordináták a QGIS szoftver segítségével kerülhetnek feldolgozásra és rendszerezésre, amely lehetővé teszi a térbeli elemzések elvégzését és a fészkelési eloszlási mintázatok feltárását.

A mérések összegzése alapján megállapítható, hogy az eszköz alkalmas a természetvédelmi gyakorlatba történő beillesztésre, különösen olyan helyszíneken, ahol a vizuális nyomok gyorsan eltűnnek, vagy a terepi személyzet tapasztalata korlátozott. A további fejlesztések iránya magában foglalhatja a hőtérkép-alapú vizualizáció integrálását, valamint az adatgyűjtés automatizálását. Ezek a fejlesztések lehetővé tennék, hogy a mérőbot egy komplexebb, skálázható és még nagyobb hatékonysággal működő természetvédelmi diagnosztikai rendszer alapjául szolgáljon.

## **Felhasznált irodalom**

- BOOTH (2017): Influence of incubation temperature on sea turtle hatchling quality. *Integr Zool*, 12(5).
- CLABOUGH ET AL. (2022): The secret life of baby turtles: A novel system to predict hatchling emergence, detect infertile nests, and remotely monitor sea turtle nest events. *PLoS One*, 17(10).
- GAMMON ET AL. (2020): A Systematic Review of Metabolic Heat in Sea Turtle Nests and Methods to Model Its Impact on Hatching Success. *Front Ecol Evol*, 8.
- LINDBORG ET AL. (2023): Use of a scent-detection dog for sea turtle nest monitoring of three sea turtle species in Florida. *PLoS One*, 18(9).
- SELLÉS-RÍOS ET AL. (2022): Warm beach, warmer turtles: Using drone-mounted thermal infrared sensors to monitor sea turtle nesting activity. *Frontiers in Conservation Science*, 3.
- INTERNET1 – Adeagbo, A. A. (2024): IOT Based Environment Monitoring System Using. arXiv preprint. Elérhető: <https://arxiv.org/pdf/2405.14047>
- INTERNET2 – QGIS Development Team (2025): QGIS Geographic Information System. Elérhető: <https://qgis.org>

# A történelmi épületek digitalizációjának szükségessége: a HBIM és a digitális iker szerepe

Krausz Nikol

adjunktus, BME Fotogrammetria és Térinformatika Tsz., krausz.nikol @emk.bme.hu

**Abstract:** The digital representation of historic and listed buildings has become increasingly important for documentation and sustainable operation. While HBIM provides a structured framework for integrating geometric, historical, and descriptive information, the connection of IoT-based monitoring data extends this model toward a dynamic digital representation. This study examined the relationship between HBIM, digital shadow, and digital twin concepts in the context of heritage buildings. It was shown that integrating static spatial data with real-time sensor information supports spatially explicit interpretation of building performance and use patterns.

## Bevezetés

A történelmi (történeti) és műemléki épületek dokumentálása és fenntartható használata napjainkban egyre nagyobb kihívást jelent. Ezek az épületek jellemzően hosszú időn keresztül alakulva érték el jelenlegi kialakításukat, több korszak beavatkozásainak eredményeként, miközben az eredeti tervdokumentáció gyakran hiányos vagy elavult. A hagyományos, kétdimenziós tervalapú ábrázolás önmagában már nem képes megfelelően kezelni a geometriai összetettséget, a térbeli kapcsolatokat, valamint az időben változó állapotjellemzőket. A digitális téradat-előállítás és a 3D modellezési technológiák fejlődése új lehetőségeket nyitott az épített örökség korszerű dokumentálásában. A lézerszkennelés, a fotogrammetria és az ezekből származtatott térbeli modellek lehetővé teszik a valós épített környezet nagy pontosságú, objektumalapú leképezését. Ezen adatok azonban önmagukban még nem alkotnak egységes információs rendszert, a geometriai reprezentáció kiegészítésre szorul funkcionális, történelmi és üzemeltetési információkkal. Ebben a kontextusban jelenik meg a Building Information Modeling (BIM), illetve annak örökségvédelmi alkalmazása, a Heritage Building Information Modeling (HBIM), amely az épület térbeli modelljét strukturált adatbázisként kezeli. A HBIM alkalmas arra, hogy különböző forrásból származó térbeli és leíró adatokat egységes rendszerbe szervezzen és hosszú távon is értelmezhető, kezelhető digitális reprezentációt hozzon létre. A tanulmány célja annak bemutatása, hogy a HBIM miként válhat egy digitális ikerré, hogyan egészíthető ki dinamikus, időben változó adatokkal, például épületmonitoring szenzorok méréseivel.

## **BIM és HBIM mint térbeli információs rendszerek**

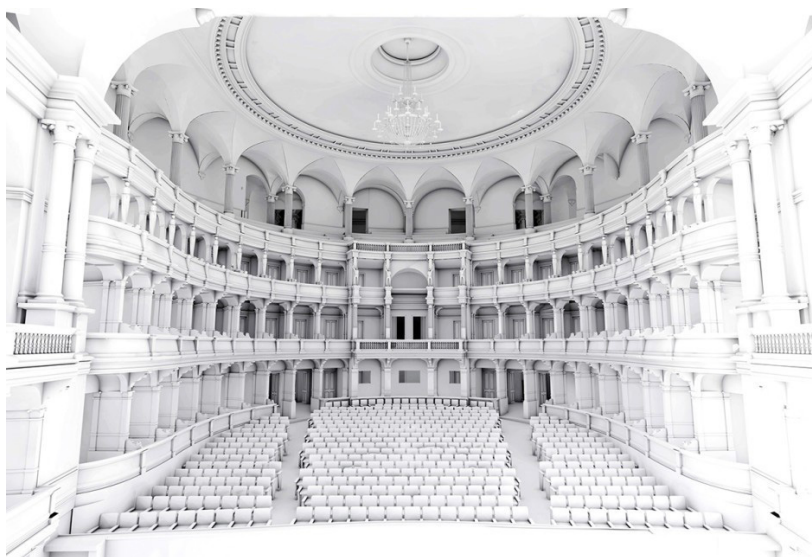
A Building Information Modeling (BIM) egy integrált információs rendszer, amely az épület fizikai és funkcionális jellemzőit egy közös digitális modellben reprezentálja. A BIM különbözik a hagyományos CAD-modellektől, mivel nem csak a geometriai információkat tartalmazza; metaadatokat és szakterületi attribútumokat is integrál, amelyek az épület teljes életciklusára vonatkoznak. A BIM fejlődése az elmúlt évtizedben jelentős mértékben felgyorsult, mivel a digitalizáció és az informatikai infrastruktúra fejlődése lehetővé tette a valós idejű adatkezelést és a többdimenziós modellezést (pl. 4D időbeli és 5D költségalapú integrációk). A BIM nemcsak tervezési és dokumentációs eszköz, hanem adatközpontú platformmá vált, amely képes integrálni különböző információs rétegeket és támogatni az épület életciklusának minden szakaszát (BAGHALZADEH SHISHEHGARKHANEH ET AL. 2022).

A Heritage Building Information Modeling (HBIM) – Örökségvédelmi építményinformációs modellezés a BIM speciális alkalmazási területe, amely történelmi és műemléki épületek dokumentálására és kezelésére fókuszál. A HBIM célja a történelmi / örökségvédelmi épületek részletes digitális reprezentációjának kialakítása, amely tartalmazza az épület szerkezeti, anyag és történelmi jellemzőit is (MURPHY ET AL. 2013). A modern 3D adatgyűjtési technológiák – mint a lézerszkennelés és a fotogrammetria – kulcsfontosságú szerepet játszanak a HBIM modellek létrehozásában, mivel nagy pontosságú, valóság-hű geometriai információkat szolgáltatnak (SALAH ET AL. 2025). A HBIM előnye, hogy nem csak egy digitális dokumentációs eszköz, hanem egy menedzsmentplatform is, amely támogatja a műemlékvédelmi döntéshozatalt, a restaurálási munkákat, az állapotfelmérést és a fenntartható üzemeltetést, karbantartást és kockázatkezelést (PUERTO ET AL. 2024).

### **3D adatgyűjtés és a modell előállítás**

A történelmi épületek digitális modellezésének alapját jellemzően mérésalapú adatgyűjtési módszerek képezik. A hagyományos tervdokumentációk (szakirodalmi, levéltári adatok, dokumentumok, ábrázolások, tervek stb.) gyakran hiányoznak, vagy nem tükrözik a meglévő állapotot, így a geometriai modell létrehozása elsődlegesen a valós térbeli viszonyok rögzítésén alapul. Ebben a folyamatban kulcsszerepet töltenek be a geodéziai és fotogrammetriai technológiák.

A földi lézerszkennelés (Terrestrial Laser Scanning – TLS) háromdimenziós pontfelhőt eredményez, amely részletesen és torzításmentesen reprezentálja az épület belső és külső felületeit (*1. ábra*). A georeferált pontfelhő lehetővé teszi a valós geometriai viszonyok pontos rögzítését és megbízható alapot szolgáltat a további modellezési lépésekhez (LOVAS ET AL. 2018). A fotogrammetria elsősorban a vizuális részletek, felületi textúrák, anyagstruktúrák és dekoratív elemek dokumentálásában nyújt kiegészítő értéket, különösen olyan felületeken és objektumokon, amelyek lézerszkenneléssel nehezen, vagy csak korlátozottan rögzíthetők (pl. finom reliefek, festett díszítmények) (ALSHAWABKEH – BAIK 2023).



1. ábra Operaház felújításhoz készült 3D modellje (forrás: [Graphisoft.com](http://Graphisoft.com) és [CEH.hu](http://CEH.hu))

A különböző adatforrások – pontfelhők, ortofotók, régi tervek és leíró dokumentációk – integrációja során a cél nem egy fotorealisztikus modell előállítás, hanem egy olyan geometriailag egységes és szemantikailag strukturált váz létrehozása, amely alkalmas az örökségvédelmi információk (anyagok, állapotleírások, beavatkozási tervek, értékvizsgálatok stb.) szervezett hozzárendelésére. A HBIM modellezésnél ezért döntő jelentőségű a geometriai részletesség (Level of Detail – LOD) és az információtartalom (Level of Information – LOI) szintjének harmonizálása a modell tervezett rendeltetésével és felhasználási kontextusával. A HBIM esetében a generalizáció mértéke és jellege a modell végső alkalmazási céljától (pl. állapotfelmérés, restaurálás tervezése, kutatás, virtuális bemutatás stb.) függ, miközben megőrzi a történelmi objektum autentikus geometriai és szerkezeti jellemzőit.

### **Szenzoradatok kapcsolása HBIM modellhez**

A történelmi, műemlékvédelmi épületek üzemeltetése különösen összetett feladat. A statikus geometriai és leíró adatok mellett egyre nagyobb szerepet kapnak az épületek működését leíró dinamikus adatok. Az épületmonitoring rendszerek által szolgáltatott szenzoradatok – például hőmérséklet, relatív páratartalom, levegőminőség vagy használati jellemzők – időben változó információkat hordoznak, amelyek önmagukban táblázatos vagy grafikonos formában nehezen értelmezhetők térbeli összefüggéseikben.

Az Internet of Things (IoT) olyan hálózatba kapcsolt eszközök rendszere, amelyek valós idejű adatokat gyűjtenek és továbbítanak különféle fizikai paraméterekről. Használatuk lehetővé teszi az épület állapotának folyamatos nyomon

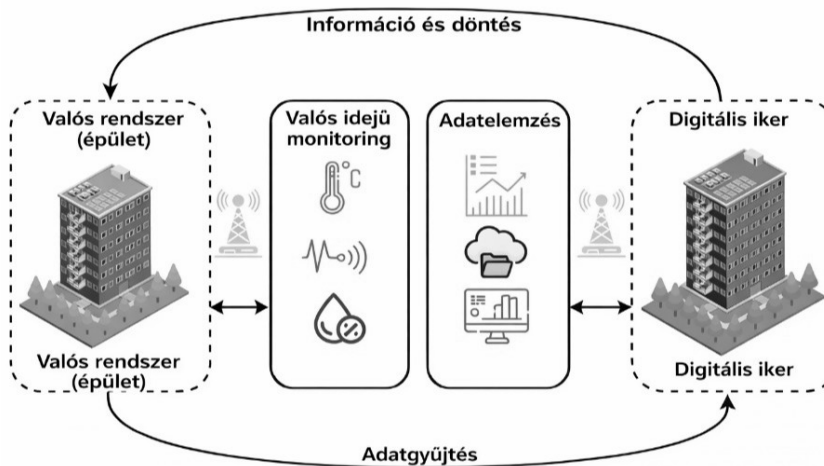
követését, potenciális hibák korai felismerését és prediktív karbantartási stratégiák kidolgozását. Az IoT adatok valós idejű jellege különösen kritikus olyan környezetben, ahol a gyors reakció és a kockázatminimalizálás elsődleges követelmény, például műemléki épületek vagy nagy forgalmú középületek esetében.

A szenzoradatok térbeli integrációja lehetőséget ad arra, hogy az épület működésével kapcsolatos jelenségek – például komfortkülönbségek, használati mintázatok vagy környezeti hatások – helyhez kötötten vizsgálhatók legyenek. Ez kifejezetten lényeges történelmi/műemléki épületek esetében, ahol a beavatkozási lehetőségek korlátozottak, és a döntéshozatalhoz megbízható, térben értelmezhető információkra van szükség. A statikus és dinamikus adatok együttes kezelése előkészíti a lehetőséget egy olyan komplex digitális reprezentáció kialakítására, amely már túlmutat a hagyományos dokumentációs szerepen, és az épület aktuális állapotának folyamatos nyomon követését is támogatja.

### **Digitális iker, mint komplex reprezentáció**

A valós rendszer digitális modelljének létrehozásával egy informatív reprezentáció jön létre, amely egy időpontban vagy egy időszakban megfigyelt állapotot tartalmaz. Az elkészült modell nem frissül automatikusan, a valós fizikai környezetre nincsen hatással. A digitális árnyék (DS – Digital Shadow) egy digitális modell, amely a fizikai rendszerből érkező adatokat folyamatosan integrálja a szimulációiban. A digitális árnyék folyamatos összeköttetésben van monitoring rendszereken keresztül a fizikai rendszerrel, viszont a modell nem hat vissza a fizikai rendszerre. A digitális iker (DT – Digital Twin) az előző két koncepció továbbfejlesztése. A digitális árnyékhoz hasonlóan szintén képes előrejelzést adni, valamint állapotkimutatást végezni a jelenlegi helyzetről. Fejlettebb azonban, hiszen a digitális iker hatással lehet a fizikai rendszerre. A BIM és IoT rendszerek integrációja az épület digitális ikerének létrehozását teszi lehetővé. A digitális iker egy olyan dinamikus digitális másolat, amely egy valós fizikai épülethez kapcsolódó, folyamatosan frissített adatokon alapuló modellel rendelkezik (2. ábra).

A digitális modell és a valós épület összekapcsolása különösen hasznos a műemléki karbantartás és megőrzés szempontjából (BAIK 2025; CECERE ET AL. 2024; MARTINELLI ET AL. 2025). A BIM modell biztosítja a statikus információkat (geometria, metaadatok), míg az IoT szenzorok szolgáltatják az aktuális, valós idejű dinamikus adatokat. Ez az integrált rendszer lehetővé teszi az épület állapotának folyamatos megfigyelését, előrejelzések készítését és optimalizált döntések meghozatalát. Az interoperabilitás kulcsfontosságú kihívás az integráció során, mivel a statikus BIM adatokat és a dinamikus IoT adatokat egységes formában kell kezelni és értelmezhetővé tenni. Számos kutatás foglalkozik az interoperabilitási kérdésekkel, valamint olyan architektúrák kidolgozásával, amelyek ontológiák és formális adatmodellek segítségével képesek integrálni a két adatforrást (IQBAL – MIRZABEIGI 2025).



2. ábra Digitális iker koncepció (forrás: IQBAL – MIRZABEIGI 2025)

## HBIM–IoT integráció egy történelmi épület példáján

A Heritage Building Information Modeling és az épületmonitoring rendszerek integrációjának lehetősége az utóbbi években egyre hangsúlyosabban jelenik meg a nemzetközi szakirodalomban. Több kutatás is rámutat arra, hogy a HBIM nem csupán statikus dokumentációs eszközként értelmezhető, hanem megfelelő adatkapcsolatok kialakításával képes valós idejű, mérésalapú információk befogadására és térbeli megjelenítésére.

NAGY ÉS ASHRAF (2021) egy olyan HBIM-alapú digitális platformot mutatnak be, amely történelmi épületek energetikai- és környezeti teljesítményének monitorozását valósítja meg IoT-alapú szenzorhálózat segítségével. A tanulmányban ismertetett megoldás lényege, hogy a szenzorok által szolgáltatott idősoros adatok közvetlenül kapcsolódnak a HBIM modell térbeli elemeihez, lehetővé téve a mért értékek helyhez kötött vizualizációját. A szerzők hangsúlyozzák, hogy ebben a megközelítésben a HBIM modell egyfajta központi digitális adatplatformként működik, amely a geometriai reprezentációt és a dinamikus mérési adatokat egységes rendszerben kezeli. A bemutatott platform nem automatizált vezérlésre, hanem az épület működésének megfigyelésére és értelmezésére fókuszál.

A HBIM–IoT integráció digitális iker irányába történő továbbfejlesztését vizsgálja Dionizio és munkatársai (DIONIZIO ET AL. 2025) tanulmánya, amely kifejezetten kulturális örökség részét képző épületek monitorozására koncentrál. A szerzők scan-to-HBIM módszerrel létrehozott digitális modelleket kapcsolnak össze IoT-alapú hőmérséklet- és páratartalom-szenzorok által gyűjtött adatokkal, két múzeum példáján keresztül. A tanulmányban a digitális iker fogalma elsősorban a térbeli modell és az idősoros adatok folyamatos összekapcsolására épül, nem pedig autonóm döntéshozó vagy vezérlő rendszerként jelenik meg. A szerzők

ugyanakkor rámutatnak az integráció gyakorlati kihívásaira is, különös tekintettel az interoperabilitásra és a különböző adatstruktúrák összehangolására, amelyek a HBIM–IoT rendszerek széles körű alkalmazásának jelenlegi korlátait jelentik.

A bemutatott tanulmányok alapján megállapítható, hogy a HBIM és az IoT technológiák integrációja reális és egyre elterjedtebb megközelítés a történeti/történelmi épületek digitális reprezentációjában. E szemlélet gyakorlati relevanciáját jól példázza a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem „F” épülete, ahol az elavult fűtési rendszer, az egyenetlen energetikai teljesítmény, valamint a műemléki környezetből fakadó beavatkozási korlátok együttesen jelentős üzemeltetési kihívásokat eredményeznek. Az épület jelenleg egy folyamatban lévő HBIM – IoT kísérleti projektnek ad helyet, amely a tervek szerint az egyedi fejlesztett interaktív online adtavizualizációs felület segítségével információt szolgáltat a vizsgált épület használati és energiagazdálkodási trendjeiről, illetve a projekt eredményeit feldolgozva segíti az üzemeltetésért felelős döntéshozókat hosszútávú üzemeltetési, és felújítási stratégiák kidolgozásában.

## **Összefoglalás**

A történelmi és műemléki épületek digitális dokumentálása összetett feladat, mivel a hagyományos tervrajzok gyakran hiányosak, az épületek geometriai kialakítása pedig a későbbi átépítések miatt nem szabványos. A korszerű adatgyűjtési technológiák – mint a földi lézerszkennelés és a fotogrammetria – lehetővé teszik a pontos háromdimenziós térbeli leképezést, azonban az így előállított geometriai modellek önmagukban nem biztosítanak teljeskörű információs rendszert. Jelen tanulmány a történelmi és kulturális örökségi épületek digitalizációjának kérdését vizsgálta a Heritage Building Information Modeling (HBIM), a digitális árnyék, illetve digitális iker koncepciójának összefüggésében. Bemutatta, hogy a mérésalapú 3D adatgyűjtési technológiák és az objektumalapú modellezés lehetővé teszik az épületek geometriai, leíró és időben változó állapotjellemzőinek egységes kezelését. A cikk hangsúlyozta a dinamikus, idősoros épületmonitoring adatok szerepét, amelyek IoT-alapú szenzorhálózatok segítségével kapcsolhatók a HBIM modellekhez. A statikus térbeli adatok és a valós idejű mérési információk integrációja egy digitális árnyék jellegű rendszert eredményez, amely elsősorban az épület működésének térben és időben értelmezhető megfigyelését támogatja. Ez a megközelítés előkészíti egy későbbi, automatizált döntéstámogatással vagy vezérléssel kiegészített digitális iker kialakításának lehetőségét.

## **Irodalom**

ALSHAWABKEH, Y. – BAIK, A. (2023): Integration of photogrammetry and laser scanning for enhancing scan-to-HBIM modeling of Al Ula heritage site. *Heritage Science* 2023, 11(1), 147. DOI:10.1186/s40494-023-00997-2

- BAGHALZADEH SHISHEHGARKHANEH, M. – KEIVANI, A. – MOEHLER, R. C. – JELODARI, N. – ROSHDI LALEH, S. (2022): Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis. *Buildings*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI:10.3390/buildings12101503
- BAIK, A. (2025): Three Decades of Innovation: A Critical Bibliometric Analysis of BIM, HBIM, Digital Twins, and IoT in the AEC Industry (1993–2024). *Buildings*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI:10.3390/buildings15101587
- CECERE, L. – COLACE, F. – LORUSSO, A. – MESSINA, B. – TUCKER, A. – SANTANIELLO, D. (2024): IoT and Digital Twin: A new perspective for Cultural Heritage predictive maintenance. *Procedia Structural Integrity*, 64, 2181–2188. DOI:10.1016/j.prostr.2024.09.334
- DIONIZIO, R. F. – MARQUES, C. K. B. – DEZEN-KEMPTER, E. (2025): Enhancing Cultural Heritage Monitoring: Integrating HBIM-IoT towards a digital twin. *Proceedings of the XXVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi)*, 1, 1789–1800. DOI:10.52842/conf.sigradi.2024.1789
- IQBAL, F. – MIRZABEIGI, S. (2025): Digital Twin-Enabled Building Information Modeling–Internet of Things (BIM-IoT) Framework for Optimizing Indoor Thermal Comfort Using Machine Learning. *Buildings* 2025, Vol. 15, 15(10): DOI:10.3390/BUILDINGS15101584
- LOVAS, T. – REHÁNY, N. – SOMOGYI, Á. J. (2018): Történelmi épületek rekonstrukciós munkálatainak támogatása pontfelhők segítségével. *Geodezia Es Kartografia*, 70(1), 19–24. DOI:10.30921/gk.70.2018.1.3
- MARTINELLI, L. – CALCERANO, F. – ADINOLFI, F. – CHIANETTA, D. – GIGLIARELLI, E. (2025): Open HBIM-IoT Monitoring Platform for the Management of Historical Sites and Museums. An Application to the Bourbon Royal Site of Carditello. *International Journal of Architectural Heritage*, 19(2), 153–170. DOI:10.1080/15583058.2023.2272130
- MURPHY, M. – MCGOVERN, E. – PAVIA, S. (2013): Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102. DOI:10.1016/J.ISPRSJPRS.2012.11.006
- NAGY, G. – ASHRAF, F. (2021): HBIM platform & smart sensing as a tool for monitoring and visualizing energy performance of heritage buildings. *Developments in the Built Environment*, 8(9), 100056. DOI:10.1016/j.dibe.2021.100056
- PUERTO, A. – CASTAÑEDA, K. – SÁNCHEZ, O. – PEÑA, C. A. – GUTIÉRREZ, L. – SÁENZ, P. (2024): Building information modeling and complementary technologies in heritage buildings: A bibliometric analysis. *Results in Engineering*, 22, 102192. DOI:10.1016/J.RINENG.2024.102192
- SALAH, R. – KÁROLYFI, K. A. – SZÉP, J. – GÉCZY, N. (2025): A structured framework for HBIM standardization: Integrating scan-to-BIM methodologies and heritage conservation standards. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. Elsevier Ltd. DOI:10.1016/j.daach.2025.e00420



# A high-resolution multi-sensor UAS framework for individual tree delineation, structural analysis, and health monitoring in walnut orchards

Issa Loghmanieh<sup>1</sup> – Amjad Hamdan<sup>2</sup> – Géza Bujdosó<sup>3</sup> – László Bertalan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD student, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, issa.loghmanieh@science.unideb.hu

<sup>2</sup> PhD student, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, amjad.hamdan@science.unideb.hu

<sup>3</sup> scientific advisor, Fruit Growing Research Center, Institute for Horticultural Sciences, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Budapest, Hungary, bujdosó.geza@uni-mate.hu

<sup>4</sup> assistant professor, Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Debrecen, Hungary, bertalan@science.unideb.hu

Persian walnut (*Juglans regia* L.) orchards in Hungary are increasingly imperiled by intricate biotic pathogens and abiotic climatic stressors. Traditional monitoring is often not enough because early symptoms frequently demonstrate up in the upper canopy, which is challenging to reach to. To deal with this issue, we propose a comprehensive multi-sensor Unmanned Aerial System (UAS) framework designed for acquiring high-resolution geospatial data for individual tree-level structural and physiological analysis.

The study was conducted across two distinct sites in Central Hungary: a strictly managed 2.4-hectare intensive commercial orchard, and a diverse 4.2-hectare genetic archive containing untreated control cultivars to capture heterogeneous disease responses. Data acquisition utilized a Zenmuse L2 LiDAR sensor to capture stable 3D structural parameters (e.g., tree height and crown complexity) and a 10-band MicaSense RedEdge-MX Dual system to detect changes in pigmentation and photosynthetic efficiency. To assess the impact of spatial resolution and temporal disease progression, multispectral surveys were conducted at varying altitudes (40, 57, and 72 m AGL, yielding 3, 4, and 5 cm/pixel GSDs, respectively) across baseline pre-symptomatic (June 2025) and symptomatic (September 2025) periods.

A fundamental prerequisite for this analysis is accurate individual tree crown delineation. We compared manual digitization against two automated methods: a 3D LiDAR point cloud-based geometric approach (FLAI) and a Deep Learning (DL) Mask R-CNN instance segmentation model utilizing RGB orthomosaics. Results indicated that geometric accuracy depends heavily on tree size and planting pattern. The LiDAR-based FLAI approach was highly accurate and consistent across all sizes (IoU: 0.76), while the DL model performed well in dense canopies (IoU: 0.65) but struggled with smaller crowns. Crucially, despite these geometric discrepancies, tree-level spectral statistics (CI<sub>re</sub>, NDRE, PRI) extracted using both automated methods showed no statistically significant differences from the manual reference.

Building on this validated extraction workflow, we applied multivariate statistical analysis to fuse LiDAR-derived 3D structural metrics with narrow-band spectral indices. This multi-sensor data fusion successfully clustered trees and categorized cultivars based on their physiological and structural profiles. Ultimately, this study demonstrates that automated structural segmentation reliably supports spectral health analysis, providing a robust, high throughput foundation for precision agriculture and early disease detection in orchard management.

# Belső minőségellenőrzés a KARESZ adatbázisában

Misányi Júlia

adatgyűjtési ellenőr, Budapest Közút Zrt., misanyi.julia@budapestkozut.hu

**Absztrakt:** A Budapest Közút Zrt. KARESZ / KAPU rendszere nagy mennyiségű és több adatforrásból származó adattal dolgozik, illetve tesz közzé felhasználói számára. A főváros szintű nyilvántartás és a kiterjedt használói kör egyaránt fontossá teszi, hogy a rendszerben szereplő adatok a lehető legjobb minőségűek legyenek. Ennek ellenőrzése tehát kiemelt, napi rendszerességű feladat.

## Bevezetés

A fővárosban a Budapest Közút Zrt. látja el a Fővárosi Önkormányzat tulajdonában lévő utak, hidak, műtárgyak, illetve a forgalomtechnikai létesítmények és a közösségi közlekedés által igénybe vett utak üzemeltetési és fenntartási feladatait.

A fenntartási feladatok összehangolásának támogatására, az alaptérképi és nyilvántartási adatok gyűjtésére és karbantartására jött létre 2013-ban a Közúti Adatgyűjtő- és adatfeldolgozó Rendszer (röviden a KARESZ). A kezelt adatok egy téradatbázisban kerülnek eltárolásra, amelynek elemei folyamatosan vagy ütemezett időközönként frissülnek. Az adatbázis frissítése a KARESZ felmérésekből és a különböző szakterületektől származó adatok alapján történik.

Mára már a KARESZ nem csak egy önálló rendszer, hanem egy komplex adattárház és térinformatikai szolgáltatási központ része. A KAPU (Közúti Adatok Publikációja) webes térinformatikai portál a KARESZ adatok mellett, a fővárosi közúti nyilvántartáson túl, több külső partner számára is nyújt térinformatikai szolgáltatásokat (INTERNET1).

Általánosságban elmondható, hogy egy (térinformatikai) adatbázis minőségét alapvetően meghatározza azoknak az adatoknak a minősége, amelyekre épül. Minden adatbázis felépítésénél és frissítésénél ellenőriznünk kell, hogy milyen minőségűek azok az adatok, amelyeket felhasználni készülünk. Kiemelten fontos ez akkor, amikor egy olyan, nagyobb és szélesebb körben használt adatbázisról beszélünk, mint amilyen a KARESZ / KAPU rendszer.

A minőség biztosításának érdekében többlépcsős, manuális és automata ellenőrzési folyamatot alakítottunk ki.

## **Anyag és módszer**

A KARESZ adatbázis legfontosabb adatforrása a társaságunk által készített 3D-s lézerszkennelt pontfelhő és az ezzel egyidőben készített fényképek. A nyers pontfelhő és képek feldolgozásával a Térinformatika részleg egy külön csoportja foglalkozik. A feldolgozás során a pontfelhő és a képek is átesnek egy ellenőrzési folyamaton, hogy a kiértékelés megfelelő minőségű alapadatokon történhessen.

Másik fő adatforrásunk a belső ügyviteli rendszeren keresztül érkező állományok (általában .dwg kiterjesztésű file-ok) és az ezeket kiegészítő, a helyszíneken készült fényképek. Ezek tartalmazhatnak nagyobb vagy kisebb területi kiterjedésű, a nyilvántartást érintő változást. Nagyobb változások esetén általában új lézeres felmérést végzünk, az így előálló pontfelhő és fényképek kiértékelésével frissítjük az adatbázist. Kisebb változás esetén a kapott mérnöki rajzokra és fényképekre támaszkodva vezetjük át a változást, miután ellenőriztük a képek és a rajzok adattartalmának konzisztenciáját.

A kiértékeléshez használt szoftvertől függően alapvetően két fájlípussal dolgozunk az adatbázis létrehozása és a változáskövetése során. Mind a FileGDB, mind a DGN+DB kiterjesztésű állományokban 3D-s geometriai és attribútum adatokat is tárolunk, így a minőségellenőrzés során mindkettőt vizsgálnunk kell.

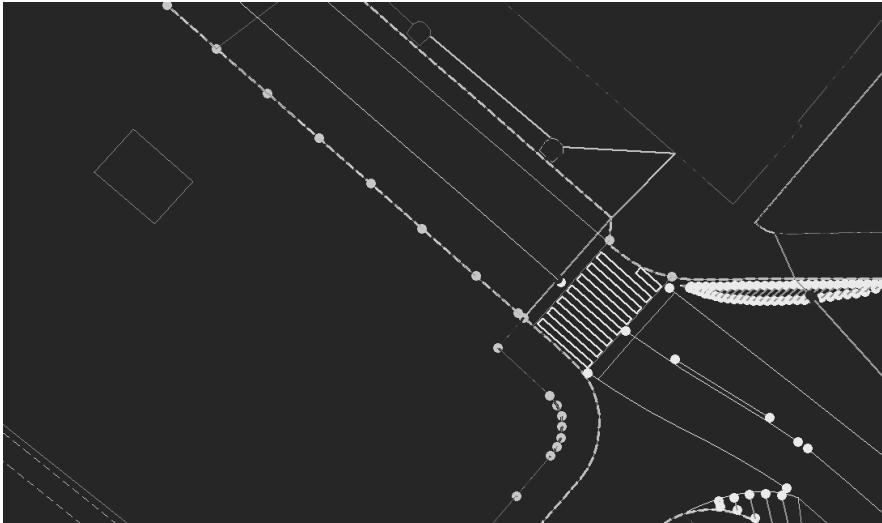
Mind a geometriai, mind az attribútum adatok automata folyamatokkal történő ellenőrzését természetesen mindig megelőzi az adott munkaterület vektoros állományának teljes átnézése a kiértékelés végén. Az ekkor észrevett, a digitalizálás során esetlegesen vétett hibákat így rögtön javítani tudjuk – legyen szó tartalmi, geometriai vagy attribútum hibáról.

## **Geometriai ellenőrzések**

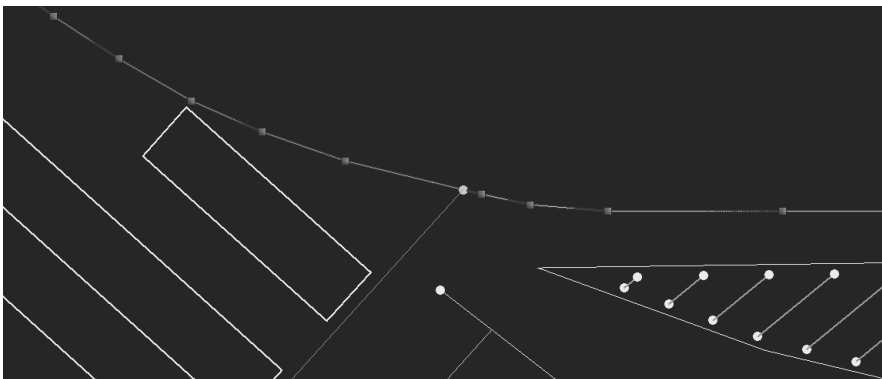
A vektoros állományok geometriai ellenőrzése első körben a használt szoftvereken belül történik. A térbeli topológiai ellenőrzés során a program adott geometriai feltételek teljesülését vizsgálja, meghatározott keresési rádiusz és tolerancia érték mellett. A vizsgálattal célunk a topológiai teljesség elérése, az általunk meghatározott geometriai szabályoknak való megfelelés a vektoros állományokon belül.

Az egyik ilyen szabály például, hogy két nem pontszerű alakzat csak közös töréspontban csatlakozhat – legyenek ezek vonalak vagy felületek – két alakzat nem keresztezheti egymást ilyen közös pont nélkül. A közös töréspontok nem csak vízszintes, de magassági értelemben is ugyanoda kell, hogy essenek. Szabály továbbá az is, hogy két töréspont egy alakzaton belül nem eshet egymásra, nem lehetnek teljesen függőleges szakaszok.

A geometriai, topológiai vizsgálatot a vektoros állományok minden objektumára lefuttatjuk, minden rétegre azonos szabályok vonatkoznak. A program



1. ábra A topológiai ellenőrzés eredménye



2. ábra Csatlakozási hiba, közös töréspont hiánya

jól látható módon jelzi a hibás töréspontokat, hiányokat és a függőleges értelmű eltérés esetén annak mértékét is feliratozza. A folyamat által jelzett hibákat ezután javítjuk az állományban.

### **Attribútumadatok ellenőrzése**

A geometriai pontosság és a topológiai elvárások teljesülése még nem minden, az adatok attribútumainak is egyezniük kell a valósággal.

Az attribútumok vizuális ellenőrzését nagyban segítik például a szoftvereken belüli kartografálási lehetőségek. A szegélyeknek, burkolatoknak, egyéb vonalas elemeknek attribútumfüggő megjelenítést állíthatunk be, a pontszerű objektumokra rájuk jellemző cellát illeszthetünk. Ezekkel a lehetőségekkel a vizuális ellenőrzés, a hibák javítása jóval gyorsabbá és egyszerűbbé tehető.

A vizuális ellenőrzésen túl a kiértékelő szoftvereken belül az attribútumtáblák áttekintésével is tudjuk biztosítani az adatok jóságát. Ezek áttekintésekor a gyakorlott szem könnyen megtalálja az esetleges hiányokat, illetve a szoftver jelezni is tudja a hiányosan kitöltött sorokat.

## **Ellenőrző folyamatok**

Az elkészült és átnézett vektoros állományokat az adatbázisba való beillesztés előtt automata ellenőrző folyamattal is vizsgáljuk. Az FME szerveren futtatott, az általunk támasztott igényeknek megfelelően előállított ún. AutoQC folyamat átvizsgálja az állományt és jelzi az esetleges hibákat.

A folyamat számos olyan szempont alapján is vizsgálja a file-okat, amelyeket a szoftvereken belüli ellenőrző folyamatok nem vesznek figyelembe. Az AutoQC-n keresztül például ellenőrizni tudjuk a geometria és az attribútumok kapcsolatát is – vizsgálhatjuk, hogy a definiált rétegeken csak az azoknak megfelelő geometria szerepeljen (pl. pontszerűként definiált rétegen ne szerepeljen vonalas objektum). Segítségével biztosítani tudjuk az egyes objektumok, elsősorban a felületszerű elemek átfedési szabályainak való megfelelést. Azt is jelzi továbbá, ha két töréspont között túl kicsi, vagy túl nagy a távolság (utóbbival például kiszűrhetőek a „leesett”, véletlenül nulla értékű magassági adattal rendelkező töréspontok).

Az adott vektoros állomány adatbázisba való illesztésekor (az ún. import folyamat során) is futnak ellenőrzések, amelyek viszont már nem csak az adott állományt, hanem annak az adatbázissal való kompatibilitását is vizsgálják. Így kiszűrjük a duplikációkat és ellenőrizzük pl. az egyedi azonosítók globális egyediségét is. Bármely hiba felmerülésekor az import folyamat nem fut le, nem történik változás az adatbázisban.

Ahogy a többi ellenőrző folyamat, úgy sem az AutoQC, sem az import folyamat nem javítja az esetleges hibákat, csupán hibajegyzéket ad vissza. A jelzett hibákat minden esetben a kiértékelő kollégának kell javítania az általa szerkesztett állományban.

## **Kiegészítő ellenőrzések**

Az adott vektoros állományt az adatbázisba való importálás előtt nem csupán az a kolléga ellenőrzi, aki a digitalizálást végezte, hanem a kiértékelő csoport egy másik tagja is. A friss szem észreveszi azokat a hibákat is, amik esetleg átjutottak a korábbi ellenőrzések hálóján.

Az adott, változáskövetett helyszínt az adatok publikálása után a KAPU felületen is átnézzük, ellenőrizve azt, hogy megjelenítés is megfelelő-e – például nincsenek-e jelentős kitakarások a kartografált táblaképek között. Az így talált esetleges hibákat is rögtön javítjuk.

A konzisztencia és a megfelelő adatminőség biztosítása érdekében bizonyos időközönként a teljes adatbázis is átesik egy-egy logikai vagy geometriai ellenőrzésen. Az így felderített hibák is mihamarabb javításra kerülnek.

### **Amikor a hiba valójában nem hiba**

A különböző nyilvántartási, illetve változáskövetési feladatok néha más és más kiegészítő szabályok betartását igénylik a kiértékelés, digitalizálás során. Előfordul, hogy az ellenőrző folyamatok nem tudnak lépést tartani a szerkesztési szabályok ezen változásaival, a különböző igényekkel.

Ilyen esetekben van, hogy a hiba, amelyet jeleznek, valójában nem hiba, nem igényel javítást – az állomány megfelel a felé támasztott igényeknek. Az ilyen fals hibák kiszűrése, felismerése a szerkesztést végző kolléga feladata – mint ahogyan az ő felelőssége az is, hogy a fals hibák között ne vesszenek el az igaziak.

### **Konklúzió**

A KARESZ / KAPU rendszerrel a célunk az, hogy pontos és naprakész adatokat szolgáltatassunk számos felhasználónk számára. Az általunk kezelt nagy mennyiségű adat között azonban óhatatlanul előfordulnak hibák – hiszen tökéletes adatbázis nem létezik.

Minden ellenőrzéssel, legyen az emberi vagy automata folyamat, arra törekszünk, hogy a lehető legkevesebb legyen ezekből – hogy azoknak, akik megbíznak bennünk és adataink minőségében, ne kelljen csalódnium.

### **Felhasznált irodalom**

INTERNET 1 – <https://www.budapestkozut.hu/informatikai-igazgatosag/nyilvantartas-es-adatszolgaltatas/>



# Térinformatikai alapú szántóföldi stabilitás- és kockázatelemzés

Nagy Richárd<sup>1</sup> – Szurofka Laura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> tudományos munkatárs, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Kutatási és Fejlesztési Központ, nagy.richard@uni-eszterhazy.hu

<sup>2</sup> hallgatói munkatárs, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Kutatási és Fejlesztési Központ, szurofka.laura@std.uni-eszterhazy.hu

**Absztrakt:** A mezőgazdasági termelés értékelésében a hozam továbbra is meghatározó mutató, ugyanakkor a klímaváltozás, a növekvő biztosítási kockázatok és az ESG-alapú elvárások korában egyre nagyobb jelentőséget kap a termelés stabilitása és kiszámíthatósága. Jelen kutatás célja olyan távérzékelés-alapú módszertan kidolgozása és tesztelése volt, amely szántóföldi parcellák térbeli és időbeli stabilitását objektív, összehasonlítható módon képes jellemezni. A vizsgálat során Sentinel-2 műholdas idősorokból származtatott NDRE index alapján számítottuk ki az abszolút stabilitás (ABS) és relatív stabilitás (REL) mutatókat, majd ezek bivariáns kombinációjával értelmeztük a parcellák stabilitási viselkedését. Az eredmények rámutatnak arra, hogy a térbeli homogenitás és az időbeli következetesség együttes vizsgálata új dimenziót nyit a termőhelyi minőség és a kockázati profil meghatározásában, amely közvetlenül alkalmazható gazdálkodási, biztosítási és nemesítési döntéstámogatásban.

## Bevezetés

A globális mezőgazdaság egyre inkább olyan kihívásokkal szembesül, amelyek túlmutatnak a hagyományos termelési optimalizáláson. A klímaváltozás következtében növekvő időjárási szélsőségek, a termelési kockázatok növekedése, valamint a fenntarthatósági és ESG-elvárások erősödése szükségessé teszik a termelési rendszerek újragondolását. A hozam, mint elsődleges indikátor önmagában nem elegendő a termelési rendszerek megbízhatóságának és kockázatának értékelésére (RAY ET AL. 2015).

A mezőgazdasági rendszerek stabilitásának vizsgálata régóta jelen van az agrártudományban, különösen a hozamstabilitási elemzések területén (EBERHART – RUSSELL 1966). Ugyanakkor ezek a megközelítések jellemzően kísérleti környezetre épülnek és korlátozottan alkalmazhatók üzemi léptékben. A távérzékelés fejlődése lehetővé tette, hogy a növényállomány állapotát nagy térbeli és időbeli felbontásban kövessük nyomon, így új lehetőségek nyíltak a termőhelyi és menedzsmenthatások integrált vizsgálatára (XUE – SU 2017).

A jelen kutatás egy olyan szemléletet képvisel, amely a mezőgazdasági táblát, mint komplex rendszer működését helyezi a középpontba. A termőhely, a menedzsment és az időjárás együttesen határozza meg a növényállomány viselkedését, amely távérzékelési adatokon keresztül mérhető és számszerűsíthető.

Ebben a keretben a stabilitás nem csupán egy statisztikai jellemző, hanem a termelés kiszámíthatóságának és biztosíthatóságának alapja.

A kutatás alapfeltevése szerint a stabilitás két kulcskomponensre bontható: térbeli homogenitásra (abszolút stabilitás) és időbeli következetességre (relatív stabilitás). Ez a két változó együtt vizsgálva lehetővé teszi a parcellák komplex kockázati profiljának meghatározását, amely túlmutat a hagyományos hozamközpontú megközelítéseken.

## **Anyag és módszer**

A vizsgálat egy olyan szántóföldi mintaterületen került elvégzésre, amely kifejezetten alkalmas a stabilitási elemzések validálására. A területet jelentős heterogenitás jellemzi mind talajtani, mind topográfiai, mind pedig vízgazdálkodási szempontból. A parcellák között megtalálhatók kiváló adottságú, homogén területek, valamint erősen heterogén, belvízfoltokkal vagy termőképességi korlátokkal terhelt táblák is.

A mintaterület további sajátossága, hogy több gazdálkodó eltérő művelési gyakorlata is jelen van, ami lehetőséget biztosít a menedzsmenthatások indirekt vizsgálatára. Ez a komplexitás különösen értékessé teszi a vizsgálati környezetet, mivel valós üzemi viszonyokat reprezentál, és nem kontrollált kísérleti feltételeket.

Az elemzés alapját a Sentinel-2 műholdcsalád által biztosított multispektrális felvételek képezték. A NIR tartományt is tartalmazó spektrális információk lehetővé tették az NDRE index számítását, amely érzékeny a növényállomány klorofilltartalmára és állapotára (BOIARSKII – HASEGAWA 2019), valamint magas vegetációs aktivitás mellett is jó statisztikai alapú elkülönítést tesz lehetővé.

Az időbeli lefedettség biztosítása érdekében több vegetációs időszakból származó felvétel került feldolgozásra. A felvételek előfeldolgozása során atmoszferikus korrekció, felhőszűrés és geometriai illesztés történt, biztosítva az adatok összehasonlíthatóságát.

A parcellák határain belül zonális statisztikák kerültek számításra, amelyek az egyes időpontokhoz tartozó átlag- és szórásértékeket tartalmazták. Ezek az alapadatok szolgálták a stabilitási mutatók számításának kiindulópontjával.

Az abszolút stabilitás (ABS) a parcellán belüli térbeli variabilitás mérésére szolgál. A mutató alapját az egyes időpontok NDRE értékeinek szórása képezi, amely a növényállomány homogenitását tükrözi. A magas szórás heterogén, míg az alacsony szórás homogén állapotot jelez.

A relatív stabilitás (REL) ezzel szemben az időbeli következetességet írja le. A mutató képzése során az időponti stabilitási értékek aggregálásával egy olyan indikátor került kialakításra, amely kifejezi, hogy egy-egy mezőgazdasági tábla mennyire reagál következetesen a változó környezeti feltételekre.

A különböző skálájú mutatók összehasonlíthatóságát standardizálással biztosítottuk, amely során a teljes mintaterület átlagát és szórását vettük alapul.

Ez lehetővé tette, hogy a parcellák relatív pozíciója egy egységes skálán értelmezhető legyen.

A stabilitás komplex értelmezése érdekében az ABS és REL mutatók bivariáns kombinációja került alkalmazásra. A két változó három-három kategóriába sorolásával egy 3×3-as mátrix jött létre, amely kilenc különböző stabilitási típust definiál. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a parcellák ne csupán egyetlen dimenzió mentén kerüljenek értékelésre, hanem egy többdimenziós döntési térben helyezkedjenek el.

## **Eredmények**

A vizsgálat eredményei rámutattak arra, hogy a parcellák stabilitási viselkedése jelentős heterogenitást mutat. Az abszolút stabilitás alapján azonosíthatók voltak azok a területek, ahol a növényállomány térben egységes, valamint azok, ahol jelentős belső variabilitás figyelhető meg. Ez utóbbi esetekben a térképi megjelenítés lehetővé tette a problémás zónák lokalizálását, amelyek hagyományos módszerekkel nehezen azonosíthatók.

A relatív stabilitás elemzése során kiderült, hogy a parcellák időbeli viselkedése sem egységes. Egyes területek következetesen hasonló mintázatot mutattak, míg mások jelentős ingadozást. Ez a különbség közvetlenül kapcsolódik a termelés kockázatához és kiszámíthatóságához.

A bivariáns elemzés eredményei különösen fontosak. Az ABS és REL kombinációja révén világosan elkülöníthetők azok a parcellák, amelyek mind térben, mind időben stabilak és így alacsony kockázatú termelési egységeknek tekinthetők. Ezzel szemben az alacsony stabilitású parcellák magas kockázatot hordoznak és célzott beavatkozást igényelnek.

Az eredmények azt is megmutatták, hogy a térbeli és időbeli stabilitás nem feltétlenül jár együtt. Ez alátámasztja azt a hipotézist, hogy a stabilitás többdimenziós fogalom, amelynek komplex értelmezése szükséges a megalapozott döntéshozatalhoz.

## **Konklúzió**

A kutatás rávilágított arra, hogy a mezőgazdasági parcellák értékelésében a stabilitás kulcsfontosságú dimenzió, amely túlmutat a hagyományos hozamalapú megközelítéseken. Az abszolút és relatív stabilitás együttes vizsgálata lehetővé teszi a termőhelyek objektív, összehasonlítható és döntéstámogató értékelését.

A bemutatott módszertan egy olyan innovatív megközelítést képvisel, amely a távérzékelési adatokra építve képes a termelési rendszerek komplex viselkedésének kvantifikálására. Ez különösen fontos a klímaváltozás korában, ahol a termelés stabilitása és kiszámíthatósága egyre nagyobb értéket képvisel.

A rendszer gyakorlati alkalmazhatósága széleskörű: támogatja a gazdálkodói döntéshozatalt, alapot ad a biztosítási kockázatértékeléshez, valamint új lehetőségeket

nyit a növénynevelés számára az üzemi környezetben történő viselkedésvizsgálat terén.

Összességében a kutatás hozzájárul egy olyan integrált agrármonitoring rendszer kialakításához, amely a stabilitást és a kockázatot helyezi a középpontba és ezzel új perspektívát nyit a mezőgazdasági rendszerek értékelésében.

## **Irodalomjegyzék**

- BOIARSKII, B. – HIDEO, H. (2019): Comparison of NDVI and NDRE indices to detect differences in vegetation and chlorophyll content. *J. Mech. Contin. Math. Sci.*, 4: 20–29.
- EBERHART, S. A. – RUSSELL, W. A. (1966): Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40.
- RAY, D. K. – GERBER, J. S. – MACDONALD, G. K. – WEST, P. C. (2015): Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989.
- XUE, J. – SU, B. (2017): Significant remote sensing vegetation indices: A review. *Journal of Sensors*, 1–17.

# Térinformatikai modellalkotás városi mintaterületek fenntarthatósági szempontú elemzéséhez

Paprika Angelika Bora<sup>1</sup> – Pődör Andrea<sup>2</sup>

<sup>1</sup> földmérő, borapaprika@gmail.com

<sup>2</sup> egyetemi docens, Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet, podor.andrea@amk.uni-obuda.hu

**Abstract:** Az alábbi cikkben a városi fenntarthatóság komplex vizsgálatát végeztük el térinformatikai módszerek alkalmazásával. A kutatás során New York két eltérő adottságokkal rendelkező mintaterületét, Bronx és Queens városrészeket elemeztük, különös tekintettel a beépítettség, a zöldfelületek aránya, a légszennyezettség és a városi hősziget-hatás közötti összefüggésekre.

Az elemzés során több forrásból származó vektoros és raszteres téradatokat dolgoztunk fel, majd ezek alapján összehasonlítható mutatókat képeztünk, valamint korrelációs vizsgálatokkal vizsgáltuk az egyes tényezők közötti kapcsolatokat. Az eredmények alapján jól látható, hogy a nagyobb beépítettség magasabb környezeti terheléssel jár, míg a zöldfelületek jelenléte kedvező hatást gyakorol mind a légszennyezettségre, mind a városi hősziget-hatásra.

## Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb figyelmet kap a környezetünk védelme és a fenntarthatóság, hiszen ha csak a mindennapi életet megnézzük, egyre elterjedtebb, hogy újrahasznosítható üvegeket használjunk, szelektíven gyűjtsük a szemetet, vagy éppen autó helyett gyalog, biciklivel vagy tömegközlekedési eszközökkel járunk dolgozni. Egy trendi és felkapott dologgá vált az, hogy a környezetünket védjük és fejlesszük. Észrevehető, hogy a várostervezésben is egyre nagyobb szerepe van a fenntartható megoldásoknak, a városi területek zöldítésének is.

A városfejlesztésben a térinformatikai rendszerek lehetővé teszik, hogy különböző komponensek együttes hatását vizsgáljuk. Egyszerre több réteget is megjeleníthetünk egymásra vetítve, és az övezetek, átfedések, valamint egyéb modellszerkesztő eszközök segítségével különféle feltételek alapján szűkíthetjük az adatbázist.

A 21. században a világ népességének közel fele él jelenleg városokban, metropoliszokban, így egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni a városokban felmerülő különböző környezeti problémákra, mint például a hősziget hatás, a zöldfelületek csökkenése, valamint a légszennyezettség. A városfejlesztés fontos szempontja a fenntarthatóság és az előbb említett környezeti kihívások elleni küzdelem. Számos kutatás készült már ezen témákban és világszerte egyre több ország kapcsolódik a klímavédelmi küzdelmekhez. A legfőbb klímavédelmi küzdelmek közé sorolható a hősziget hatás csökkentése.

Azon városi területeken, ahol nagy koncentrációban vannak jelen épületek, utak, járdák, nagyobb mennyiségben nyelik el a napfényt és több hőt tartanak meg, ami azt eredményezi, hogy a parkos, fásítottabb területekhez képest a hőmérséklet magasabb lesz. A hőszigetek képesek bármilyen feltételek mellett létrejönni, akár nappal, éjszaka, kisebb vagy nagyobb méretű területeken, évszaktól függetlenül, valamint bármilyen éghajlaton. Ezen jelenség legfőbb okozói közé tartozik a zöldfelületek arányának csökkenése. A természetes környezet, mint a fák, vízfelületek, zöldfelületek azzal, hogy árnyékot adnak, és a vízfelületek párolognak nagyban segítik környezet lehűlését. Ezzel szemben a városban található anyagok, mint a beton, aszfalt és ebből készített elemek, mint az utak, épületek, parkolók, jobban elnyelik a hőt és tovább meg is tartják: nyáron akár 50-60°C-ra is felmelegszik a járda egyes településeken. A hőszigeteket két nagy csoportba osztjuk, a felületi hőszigetek, és az atmoszférikus hőszigetek. A felületi hősziget alakul ki az urbanizált felületek, mint az utak, tetők nagyobb hőt nyelnek el, az atmoszférikus hősziget pedig a városi területek melegebb levegőjéből alakulnak ki (SANTAMOURIS 2020; BOUJELBENE ET AL. 2023).

A hőszigetek ellen továbbá hosszútávú jó megoldás a zöldfelületek növelése. Kutatások kimutatták, hogy azon területeken, ahol a városban parkok és zöldfelületek vannak, akár 1.6°C-kal is alacsonyabb a hőmérséklet, mint az olyan területeken, ahol nincsenek jelen fák és bokrok. A zöldfelületeknek emellett rengeteg más előnnyel is rendelkeznek, ilyen például, hogy csökkentik az üvegházhatást, javítják a levegő minőségét, mivel a szálló porok megtapadnak a leveleiken és a kibocsátott széndioxidot a fotoszintézis során oxigénné alakítják (BARRY ET AL. 2019; MIHALAKAKOUE ET AL. 2023).

A kutatás során teszteltük, hogy bizonyos elemek fejlesztése esetén milyen mértékkel javulhatna a minta a városrész. Összehasonlítottuk a jelenlegi légszennyezettség mértékét a lehetséges fejlesztés utáni adatokkal, hogy milyen hatással van a zöldfelületek növelésének aránya a levegő minőségére, valamint, hogy a zöldterületek milyen mértékben képesek csökkenteni a városon belüli felmelegedést.

A szakirodalom vizsgálata alapján a következő kutatási kérdéseket fogalmaztuk meg:

- A fenntartható fejlesztések milyen mértékű változásokat eredményeznének az elmaradottabb fejlesztésre szoruló városrészen?
- A két városrész között melyek a legfőbb különbségek, és ezek fenntarthatósági szempontból hogyan vannak jelen?

## **Anyag és módszer**

### ***Mintaterületek***

Olyan mintaterületet kerestünk, ahol az adatok ingyenesen és jó minőségben elérhetőek, így esett a választásunk New York két városrészére, Queens-re és Bronx-ra.

A probléma, hogy Bronx városrészben a légszennyezettség mértéke kiemelkedően magas a nagy mennyiségű ipari és gyártelepek miatt, ami a hőszigetek kialakulását is eredményezi, hiszen a burkolt területek aránya magas, a közlekedés és gyárak miatt a levegőbe nagy mennyiségű szén-dioxid és más káros gáz kerül. Végül ezen területen a parkok és zöldfelületek aránya is alacsonyabb, így szeretnénk ezen problémákra olyan megoldási lehetőségeket tesztelni, ami a városrész színvonalán javítana. A kutatás során szeretnénk összevetni a két városrész közötti legfőbb eltéréseket és megvizsgálni, hogy milyen ötleteket adhat a fejlesztés során a fejlettebb városrész.

### ***Adatbázisok***

A kutatás során New York városára vonatkozó nyílt vektoros és raszteres téradatokat használtunk, többek között a városi zöldfelületek, vízfelületek, úthálózat és épületkontúrok adatbázisait, amelyek a hivatalos források shapefile-alapú rétegeiből származnak. Az elemzéshez bevontuk továbbá a kisebb területi egységekre bontott népességi adatokat, amelyek a lakosság szám és demográfiai jellemzők vizsgálatát tették lehetővé. Környezeti hatások értékeléséhez az ArcGIS Pro online adatbázisából származó PM2.5 légszennyezettségi poligonadatokat, valamint a 2025-ös városi hősziget-anomáliákat bemutató raszteres réteget alkalmaztuk.

### ***Feldolgozás***

A feldolgozási folyamat során az egyes bemeneti adatokat egységes elemzési alapra alakítottuk. A teljes New York városára kiterjedő vektoros rétegeket (utak, épületek, zöld- és vízfelületek, népesség) clip művelettel Bronx és Queens területére szűkítettük, majd egységes koordináta-rendszerbe transzformáltuk. Az online forrásból származó városi hősziget rasztert először osztályoztuk 5 kategóriát létrehozva, majd raszter-vektor konverzióval poligonossá alakítottuk, míg az úthálózatnál az attribútumok alapján változó méretű buffereket hoztunk létre a beépítettség számításához. Az így előkészített rétegekből területi összesítéssel és mezőszámítással százalékos mutatók (beépítettség, zöldfelületi arány, hősziget- és légszennyezettségi értékek) készültek, amelyek végül egy közös, elemzésre alkalmas adatbázisba kerültek összevonásra. Ezt követően az egyes elemek közötti viszony vizsgálatára korrelációs vizsgálatokat végeztünk.

### **Eredmények**

Az eredmények összegzése alapján mindkét városrész esetében jól kirajzolódnak a vizsgált változók közötti kapcsolatok, amelyek megerősítik a városi fenntarthatósággal kapcsolatos szakirodalmi megállapításokat. Bronxban a beépített területek és a zöldfelületek aránya között mérsékelten negatív korrelációk figyelhetők meg ( $r = -0,44$ ), míg a beépítettség és a légszennyezettség között erősebb pozitív korrelációk jelentkeznek ( $r = 0,64$ ). A beépítettség és a városi hősziget-hatás kapcsolatai szintén pozitívak ( $r = 0,44$ ), miközben a zöldfelületek mind

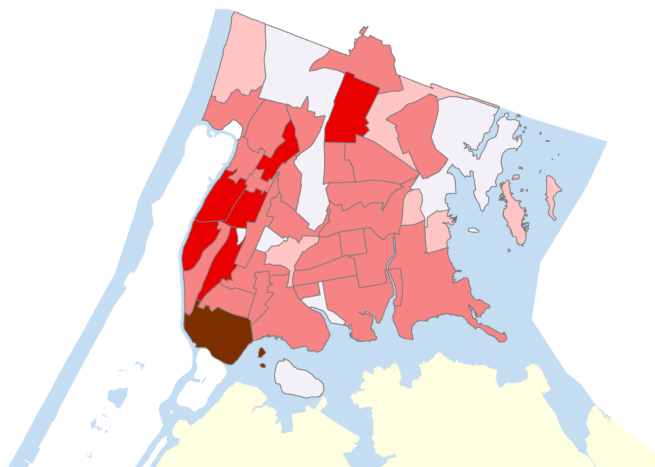
a légszennyezettséggel ( $r = -0,20$ ), mind a hősziget-hatással ( $r = -0,18$ ) gyengémérsékelt negatív összefüggéseket mutatnak. A légszennyezettség és a hősziget-hatás között gyenge pozitív kapcsolatok azonosíthatók ( $r = 0,26$ ).

Queens városrészben hasonló irányú, de több esetben erősebb kapcsolatok voltak kimutathatók. A beépített területek és a zöldfelületek közötti korrelációk mérsékelt erősek és negatívak ( $r = -0,53$ ), míg a beépítettség és a légszennyezettség közötti kapcsolatok kifejezetten erősek és pozitívak ( $r = 0,68$ ). A beépített területek és a városi hősziget-hatás között szintén pozitív korreláció jelentkezik ( $r = 0,50$ ). A zöldfelületek a légszennyezettséggel ( $r = -0,29$ ) és a hősziget-hatással ( $r = -0,32$ ) egyaránt mérsékelt negatív összefüggéseket mutatnak, míg a légszennyezettség és a hősziget-hatás között itt is csak gyenge pozitív kapcsolatok figyelhetők meg ( $r = 0,23$ ).

Összességében a korrelációs értékek mindkét városrészben azt igazolják, hogy a nagyobb beépítettség magasabb környezeti terheléssel jár, míg a zöldfelületek jelenléte mérséklő hatással bír a légszennyezettségre és a városi hősziget-hatásra. A fenntarthatósági százalékok eredményei alapján Bronxban összességében alacsonyabb, Queensben pedig magasabb fenntarthatósági értékek figyelhetők meg, ami jól tükrözi a két városrész eltérő térszerkezeti és környezeti adottságait.

### ***Lehetséges fejlesztés elemzése***

A kapott eredmények alapján Bronx legkritikusabb területeit elemezve olyan számítást végeztünk, amely a fenntarthatósági mutatók mellett az adott területeken élő lakosság nagyságát is figyelembe veszi annak érdekében, hogy meghatározzuk a fejlesztések sorrendiségét. Ennek során a vizsgált városrészekben lakó népesség százalékos arányát kiszámítottuk, majd ezt az értéket a fenntarthatósági százalékkal együttesen felhasználva létrehoztuk a fenntarthatósági kockázati indexet (*1. ábra*).



*1. ábra A fenntarthatósági kockázati index aránya a vizsgált területen*

A megfelelő vizuális beállítások után jól láthatóvá vált, hogy Bronx területén a leginkább fejlesztésre szoruló városrészek Mott Haven és Port Morris, ahol egyszerre jelentkezik alacsony fenntarthatósági teljesítmény és magas lakosságszám.

Ezekre a területekre elsősorban a társasházak és panellakások jellemzőek, az itt élő közösségek jellemzően alacsonyabb jövedelmi helyzetűek, valamint jelentős arányban élnek afroamerikai és latin-amerikai lakosok is. Megítélésünk szerint a fejlesztések egyik legfontosabb pillérét a lapostetős épületekhez kapcsolódó zöldtetők és közösségi tetőkertek kialakítása jelenti. Ezek nemcsak a zöldfelületek arányát növelik, hanem hozzájárulnak a városi hősziget-hatás mérsékléséhez és a légszennyezettség csökkentéséhez is, mivel a növényzet oxigéntermelő képessége ellensúlyozza a közlekedésből és az ipari tevékenységekből származó szennyező anyagokat. Emellett a tetőkertek kialakítása javítja a helyi közösségek közötti kapcsolatrendszert, növeli az önellátási lehetőségeket – például zöldségek és fűszernövények termesztésével –, csökkenti a csapadékvíz-elvezetési terhelést, valamint elősegíti a biodiverzitás növekedését a városi környezetben. Mindezek összességében jelentős pozitív hatást gyakorolnak a városi fenntarthatóságra és az itt élők életminőségére.

A fenntarthatóság fejlesztésére természetesen többféle megoldás is rendelkezésre áll, mint például a hagyományos útburkolatok környezetbarátabb, kevésbé hőtároló anyagokra történő cseréje, a parkolók esetében gyephézagos burkolatok alkalmazása, illetve az útszegélyek mentén fasorok telepítése. A jelenlegi vizsgálati eredményeink alapján azonban úgy látjuk, hogy a legnagyobb és leggyorsabban realizálható hatást a tetőkertek létesítése eredményezheti.

A két vizsgált városrész összehasonlítása során megállapítható, hogy Bronx fenntarthatósági szempontból több mint 10%-kal rosszabb eredményt mutat, mint Queens, ezért ezen a területen a célzott fejlesztések kiemelten indokoltak. A súlyozott prioritási vizsgálat során nemcsak a környezeti állapotot, hanem az érintett lakosság számát is figyelembe vettük annak érdekében, hogy a tervezett beavatkozások minél több ember életminőségét javítsák.

A kutatás zárásaként egy fejlesztési scenáriót dolgoztunk ki Bronx legkritikusabb területére, Mott Haven és Port Morris városrészekre vonatkozóan. A vizsgálatok alapján kezdetben 25 olyan épületet jelöltünk ki, amelyek lapostetős kialakításuk miatt alkalmasak zöldtetők kialakítására és amelyek jellemzően a nagy forgalmú közlekedési útvonalak közelében helyezkednek el. A kijelölt 25 poligon teljes területe 13 709,46 m<sup>2</sup>, ami az érintett területen mintegy 0,35%-os új zöldfelületet jelent. Ennek hatására a zöldfelületek aránya 7,73%-ról 8,09%-ra nőne, míg a fenntarthatósági index 9,93%-ról 10,02%-ra emelkedne.

Ezek az eredmények egy kezdeti, kisléptékű fejlesztési scenárió lehetőségeit mutatják be és jól érzékeltetik, hogy már viszonylag alacsony számú épületen megvalósított zöldtetők is mérhető pozitív változást eredményezhetnek. A vizsgálat során feltett kutatási kérdésekre válaszolva megállapítható, hogy a fenntartható fejlesztések már rövid távon is kedvező irányú elmozdulást hoznak az elmaradottabb

városrészekben, valamint hogy Bronx és Queens közötti legfőbb különbségek elsősorban a beépítettség mértékében és a zöldfelületek eloszlásában ragadhatók meg, amelyek közvetlenül meghatározzák a városrészek fenntarthatósági teljesítményét.

## **Konklúzió**

A kutatás során végzett komplex térinformatikai elemzések egyértelműen igazolták, hogy a városi fenntarthatóság szintje szoros összefüggésben áll a beépítettség mértékével, a zöldfelületek arányával, a légszennyezettséggel és a városi hősziget-hatással. A Bronx és Queens városrészek összehasonlító vizsgálata rávilágított arra, hogy azonos módszertan alkalmazása mellett is jelentős eltérések mutatkoznak a fenntarthatósági eredményekben, amelyek elsősorban a városszerkezeti különbségekből fakadnak. Queens kedvezőbb értékei a kertvárosias jellegnek, az alacsonyabb beépítettségnek és az egyenletesebben eloszló zöldfelületeknek köszönhetők, míg Bronx esetében a sűrű beépítés, a magas környezeti terhelés és az alacsony zöldfelületi arány kedvezőtlenebb fenntarthatósági helyzetet eredményeznek. A korrelációs elemzések mindkét városrészben megerősítették, hogy a beépített területek növekedése együtt jár a légszennyezettség és a városi hősziget-hatás erősödésével, míg a zöldfelületek jelenléte mérséklő hatást gyakorol ezekre a negatív környezeti folyamatokra, ami alátámasztja a zöldinfrastruktúra fejlesztésének kiemelt jelentőségét.

A kutatás egyik legfontosabb hozzáadott értéke a fenntarthatósági kockázati index alkalmazása, amely a fenntarthatósági mutatókat a lakosság térbeli eloszlásával súlyozva tette lehetővé a fejlesztési prioritások egyértelmű kijelölését. Ennek eredményeként azonosíthatóvá vált, hogy Bronx déli területein, különösen Mott Haven és Port Morris városrészekben a beavatkozások egyszerre indokoltak környezeti és társadalmi szempontból. A kidolgozott fejlesztési scenárió – amely elsősorban a lapostetős épületeken megvalósítható zöldtetők létesítésére épül – jól szemlélteti, hogy már kisebb léptékű beavatkozások is mérhető pozitív változásokat eredményezhetnek a zöldfelületek arányában és a fenntarthatósági index értékében. Összességében a kutatás igazolta a térinformatikai módszerek hatékonyságát a városi fenntarthatóság komplex értékelésében, valamint rávilágított arra, hogy Bronx esetében a célzott fejlesztések mielőbbi megkezdése, míg Queens esetében a meglévő kedvezőbb állapot megőrzése és finomhangolt fejlesztése jelenti a jövőbeni irányt.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnénk köszönetünket kifejezni a UNIGIS Hungary-nak a technikai háttér biztosításáért.

## Felhasznált irodalom

- BARY ŁA, A. K. – A.Z. BUS – A.A. KARCZMARCZYK – J. WITKOWSKA-DOBREV (2019): Surface temperature analysis of conventional roof and different use forms of the green roof. *Scientific Review: Engineering & Environmental Sciences*, 28(4):632–640.
- BOUJELBENE, M. – I. BOUKHOLDA – T. GUESMI – M.B AMARA – N. KHALILPOOR (2023): Solar reflection and effect of roof surfaces material characteristics in heat island mitigation: toward green building and urban sustainability in Ha'il, Saudi Arabia. *International Journal of LowCarbon Technologies*, 18: 1039–1047.
- MIHALAKAKOU, G. – M. SOULIOTIS – M. PAPADAKI – P. MENOUNOUS – P DIMOPOULOS – D. KOLOKOTSA – J.A. PARAVANTIS – A. TSANGRASSOULIS – G. PANARAS – E. GIANNAKOPOULOS – S. PAPAETHIMIOU (2023): Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180: 113306.
- SANTAMOURIS, M. (2020): Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207: 109482.



# Geomorfológiai veszélyek feltárása Eger belvárosában, térinformatikai elemzések egy egri mintaterület alapján

Pólik Mihály Bekény<sup>1</sup> – Dobos Anna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> egyetemi TDK-hallgató, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK FKI, Táj kutatások – Természetvédelem Tehetségműhely, Eger, polikbekeny2004@gmail.com

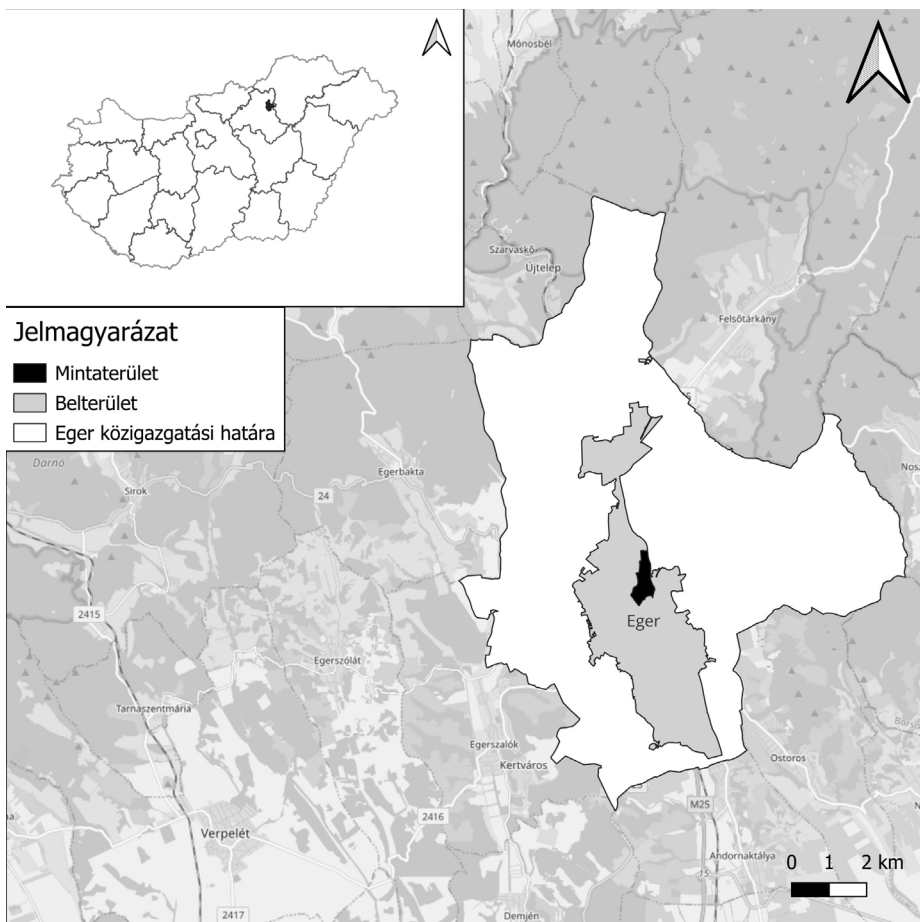
<sup>2</sup> egyetemi docens, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, TTK FKI, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék, Eger, dobos.anna@uni-eszterhazy.hu

**Absztrakt:** Jelen tanulmányunk célja, Eger város egy kiválasztott mintaterületén megfigyelhető épületkárok detektálása, különös tekintettel a talajvízhez és a geomorfológiai folyamatokhoz köthető károokra. A kutatás során terepi felmérést végeztünk és dokumentáltuk az épületeken megfigyelhető károsodási formákat. A terepi vizsgálat előtt térinformatikai módszerekkel beazonosítottuk a potenciálisan veszélyeztetett területeket. A térképi eredményt a terepi adatokkal validáltuk, így összevetettük a modell alapján kijelölt potenciális kockázatot a valóságban tapasztalt károsodásokkal. Így ez a módszer lehetővé tette a térinformatikai elemzés pontosságának ellenőrzését, valamint a valós kockázati területek pontosabb lehatárolását. A kutatás eredményei hangsúlyozzák a természetföldrajzi tényezők szerepét az épített környezet állapotának alakulásában, valamint alapot nyújtanak a jövőbeni megelőzési és beavatkozási stratégiák kidolgozásához.

## Bevezetés

A népességnövekedéssel párhuzamosan a beépített területek aránya is folyamatosan nő, ami egyenes arányban növeli a természeti kockázatoknak való kitettségünket. Napjainkban a társadalom egyre sérülékenyebbé válik a környezeti veszélyekkel szemben, ahogy az emberi tevékenység egyre drasztikusabban formálja át a különböző szférákat. A jövőbeli veszélyhelyzetekre való felkészülés alapja a lokális adottságok pontos felmérése és a folyamatok tudományos elemzése.

Eger térségében a történelmi források már a korábbi évszázadokból is rendszeresen beszámolnak árvizekről, csuszamlásokról és heves esőzésekről. A város történetének egyik legpusztítóbb eseménye az 1925. január 31-i földrengés volt, amely 5,0-s magnitúdójával és VII-VIII-as intenzitásával súlyos károkat okozott a felépítményekben. A természetes folyamatok mellett Egerben kiemelt figyelmet kell fordítani az antropogén veszélyforrásokra is: a belváros és a vár alatt húzódó, kiterjedt történelmi pincerendszer pontos kiterjedése sok helyen ma sem ismert, így a járatok beszakadásának kockázata állandó biztonsági tényezőt jelent (FÖLDESSY 2011).



1. ábra A mintaterület elhelyezkedése (az alaptérkép forrása: INTERNET1, 2026)

## Anyag és módszer

### *Mintaterület*

A vizsgált mintaterületünk a Bükk-vidék délnyugati szélén, a Bükkalja területén (KOC SIS ET AL. 2024), Eger megyei jogú város (T = 92,24 km<sup>2</sup>, népessége 48 686 fő) keleti területére esik (1. ábra). A mintaterületünk 0,5 km<sup>2</sup> területű, dombvidéki jellegű táj, az Eger-patak völgyéhez kapcsolódó teraszokkal, mellékvölgyekkel és lejtőkkel tagolt sűrűn beépített felszín.

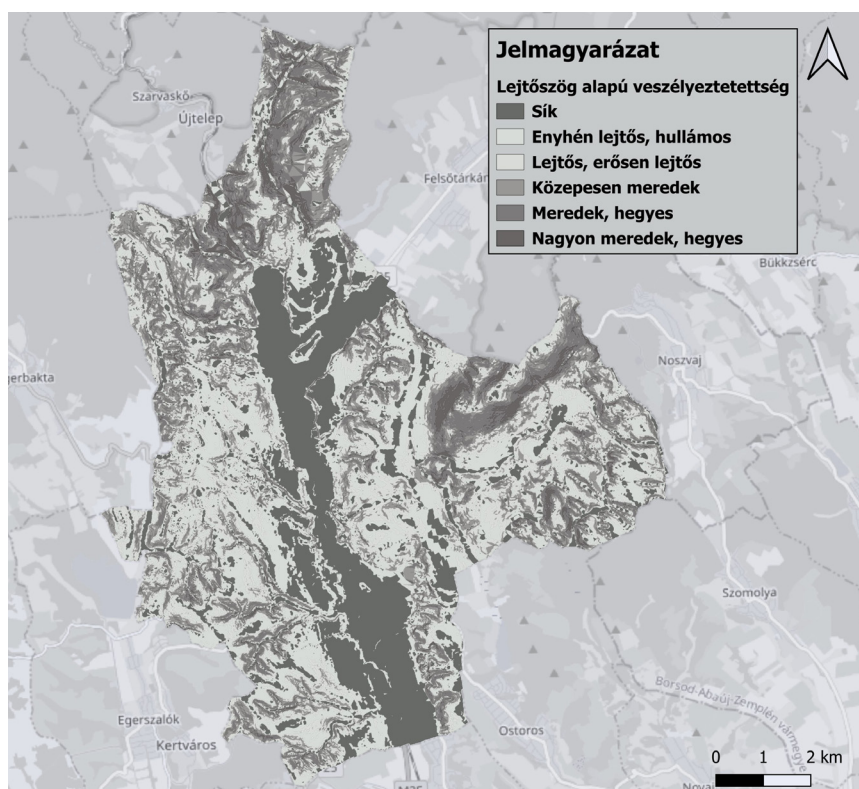
### *Kutatási módszer*

A kutatás módszertana térinformatikai és terepi vizsgálatok kombinációján alapult. A munka első fázisa térinformatikai elemzések elkészítése volt. A QGIS 3.44.0-Solothurn verzióját használtuk a kutatás során. A vizsgálatokhoz elkészítésre került a mintaterület digitális magasság modellje (digital elevation model,

továbbiakban: DEM), amit a Lechner Tudásközponttól megigényelt 1:10000 EOV térképek digitalizált szintvonalalaiból állítottunk össze TIN interpoláció segítségével. A DEM-ből készítettünk egy lejtőkategória térképet, aminek osztályozását a nemzetközi szakirodalom jellemzően 10 fokoskénti bontásban kategorizál (DHAKAL ET AL. 2000; SARKAR – KANUNGO 2004), de mi a terepi adottságokat figyelembe véve a következő minősítéssel osztályoztuk (1. táblázat, 2. ábra):

1. táblázat A lejtőmeredekség (fok) minősítése (Várallyay Gy.és Fórizs J-né; Novák T. J. 2013, 21. oldal alapján)

	lejtőmeredekség	erózióveszély
<3°	sík	nincs
3-7°	enyhén lejtős, hullámos	kicsi, közepes
7-10°	lejtős, erősen lejtős	közepes, nagy
10-14°	közepesen meredek	közepes, nagy
14-24°	meredek, hegyes	nagy
>24°	nagyon meredek, hegyes	nagyon nagy



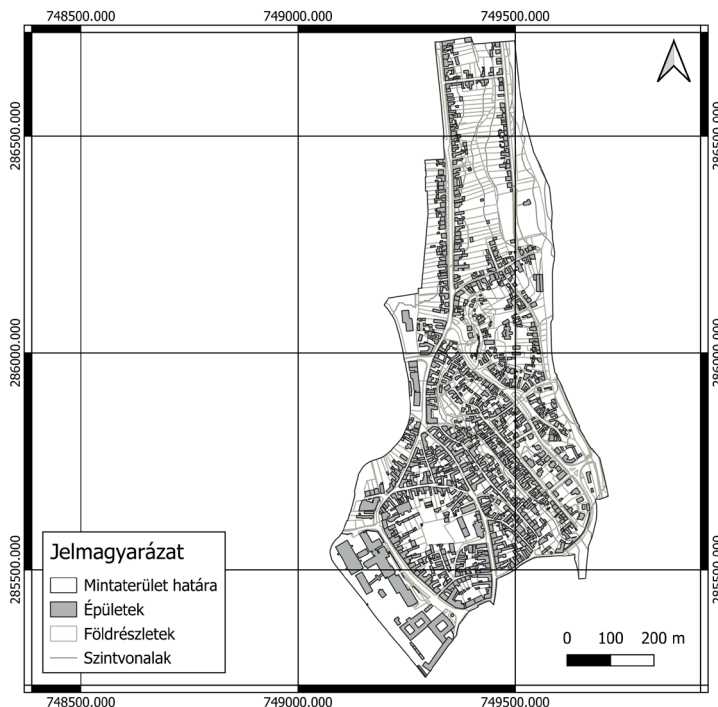
2. ábra Eger lejtőszög alapú veszélyeztetettségi térképe (az alaptérkép forrása: INTERNET1, 2026)

Raszteranalízis segítségével az ingatlankataszterben szereplő épületeket kategóriákba minősítettük, ami alapján felmértük a potenciálisan erózióveszélyes épületeket. A talajerózió a csapadékvíz felszíni talajpusztító tevékenysége, amely elsősorban ott alakul ki, ahol a csapadékként intenzitás meghaladja a talaj vízelnyelő képességének és a párolgásnak az összegét (PAPP 2011). A folyamat mértékét döntően befolyásolja a csapadék mennyisége és hevedése, a lejtő meredeksége, hossza és alakja, a talaj fizikai tulajdonságai, valamint a felszíni növényborítottság (PAPP 2011; BOROS 2014).

A lejtőszög alapú veszélyeztetettségi térkép mellett még készítettünk egy talajvízszint mélység alapú kockázati térképet is, mert a mintaterületen jelentős épületkárokat okoz a magas talajvízszint. Itt az egeri viszonyokhoz létrehoztunk egy saját minősítést (2. táblázat), ami négy kategóriára bontja a kockázati szinteket.

2. táblázat Talajvízszint mélységén alapuló kockázat

talajvízszint mélysége a felszín alatt	kockázat
0-2 m	magas
2-5 m	közepes
5-10 m	enyhe
talajvízmentes terület	nincs



3. ábra A mintaterület ingatlankatasztere

A talajvíz térképet a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága által üzemeltetett digitális térképszerver WMS (Web Map Service) szolgáltatásaként értük el és QGIS-ben WMS réteggént használtuk fel, amiből TIF formátummá alakítás után raszteranalízissel kategorizáltuk a mintaterület épületállományát (3. ábra).

## Eredmények

### *Lejtőszög alapú veszélyeztetettség*

Az elkészült lejtőszög térképből (2. ábra) raszteranalízissel előállított ingatlanveszélyeztetettségi térképet statisztikai összegzéssel elemeztük. Az eredmények alapján a területen elhelyezkedő 1285 darab épület közül 542 darab egyáltalán nem veszélyeztetett és 296 darab esik a kicsi kockázati minősítésbe (3. táblázat). A vizsgált területen az épületek többsége nem, vagy csak kis mértékben veszélyeztetett.

A terepi felvételezés és a térinformatikai elemzés alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a mintaterületen a meredek lejtőviszonyok ellenére a talajvízszint mélysége lesz domináns veszélyforrás.

### *Talajvízszint mélysége alapú veszélyeztetettség*

A talajvíz kockázatát vizsgáló térképből szintén statisztikai összegzéssel elemeztük az adatokat. A területen nagy számban jelenik meg az elemzés szerint a veszélyeztetettség (4. táblázat). A mintaterületet az Eger-patak holocén ártere (BALOGH ET AL. 1973) határolja nyugatról, aminek a közelében magas kockázatot mértünk az elemzéssel, a magas talajvízállás miatt. A magasabban fekvő területeken is nagy kockázatot mértünk, ami a geológiai adottságoknak (GYALOG – SÍKHEGYI 2005) köszönhető.

3. táblázat A potenciálisan erózióveszélyes épületek száma

erózióveszély	érintett épületek száma
nagyon nagy	78 épület
nagy	145 épület
mérsékelten nagy	98 épület
közepes	126 épület
kicsi	296 épület
nincs	542 épület

4. táblázat A potenciálisan talajvíz mélysége által veszélyeztetett épületek száma

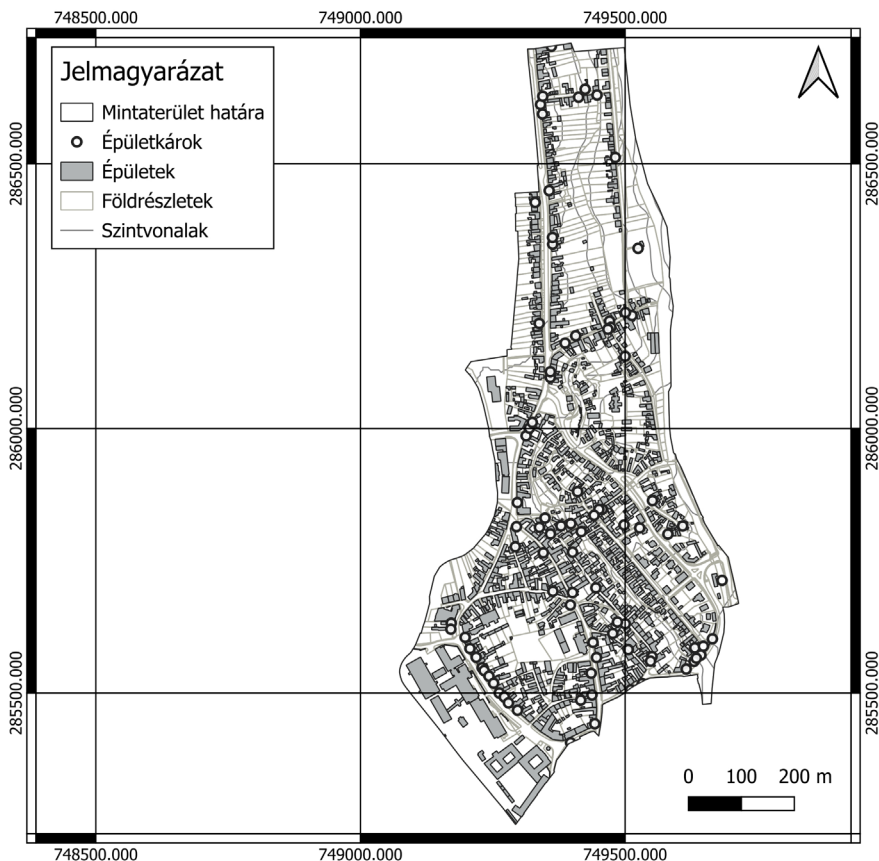
kockázat	érintett épületek száma
magas	223 épület
közepes	409 épület
enyhe	514 épület
nincs	56 épület

## Terepi felvételezés

A terepi felvételezés során 88 esetben figyeltünk meg épületkárokat (4. ábra). Jellemzően talajvíz okozta károkat találtunk. Az ártér közelében a salétromosodás az épületek többségét érintette. Az erózió okozta károk nem számottevőek. A károkat főként a térinformatikai elemzéssel előre meghatározott helyeken találtunk.

## Konklúzió

A térinformatikai elemzés alkalmazása az épületkárok vizsgálatában jelentős előnyökkel jár. Egyrészt lehetővé teszi a károsodások térbeli mintázatának és összefüggéseinek átfogó vizsgálatát, így azonosíthatók azok a területek, ahol a geomorfológiai és geológiai adottságok, a lejtésviszonyok vagy a felszínközeli vízmozgások kedveznek a károsodások kialakulásának. Másrészt a QGIS-szel készült térképek segítik a potenciálisan veszélyeztetett zónák előzetes kijelölését, ami



4. ábra A mintaterületen felvételezett épületkárok

hatékonyabbá teszi a terepi bejárásokat és a megfigyelések célzott gyűjtését. A terepi validálással kombinált térinformatikai módszerek így nemcsak a károk pontosabb lokalizálását teszik lehetővé, hanem alapot nyújtanak a kockázatértékeléshez, a prevenciós intézkedések tervezéséhez és a fenntartható beavatkozási stratégiák kidolgozásához is. Összességében a térinformatika integrálása a kutatásba gyorsabb, megbízhatóbb és átfogóbb elemzést biztosított, amely túlmutatott a hagyományos terepi vizsgálatok korlátain.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NTP-HHTDK-25-0053 pályázat (Tehetségfejlesztő program az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem TTK TDK műhelyeiben) keretében a Nemzeti Tehetség Program és a Kulturális és Innovációs Minisztérium támogatta.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS  
MINISZTERIUM



Nemzeti Tehetség  
Program

## Felhasznált irodalom

- BALOGH J. – HEVESI A. – JUHÁSZ Á. (1973): Felszínalaktani és lejtőállapot térkép. Eger-Belváros (M=1:10 000). In: Kleb B. (1978): Eger építésföldtani térképsorozata, (M=1:10 000). Központi Földtani Hivatal és Eger Város Tanácsa, Budapest, pp. 14.
- BOROS L. (2014): Talajerózió különböző talajadottságú, eltérő lejtésviszonyú és növényi borítottságú területeken. In: Jakab G. – Szalai Z. (szerk.): Talajpusztulás Térben és Időben, MTA CSFK FTI, Budapest, pp. 4–8.
- DHAKAL, A. S. – AMANDA, T. – ANIYA, M. (2000): Landslide hazard mapping and its elevation using GIS: An investigation of sampling schemes for grid-cell based quantitative method. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(8), pp. 981–989.
- FÖLDESSY J. (szerk.) (2011): Környezetföldtan (3. jav. kiad., 1. köt.). Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém.
- GYALOG L. – SÍKHEGYI F. (sorozatszerk.) (2005): Magyarország földtani térképe, M=1:100 000, A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- KOCSIS K. (főszerk.) (2024): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet (2., átdolgozott kiadás). HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest.
- NOVÁK T. J. (2013): Talajtani praktikum. Talajok terepi vizsgálata, leírása és osztályozása. Meridián Alapítvány, Debrecen.
- PAPP Z. (2011): A talaj és védelme. In: Földessy J. (szerk.): Környezetföldtan (3. jav. kiad., Környezetmérnöki Tudástár 1. kötet), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, pp. 210–224.
- SARKAR, S. – KANUNGO, D. (2004): An integrated Approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), pp. 617–625.

INTERNET 1 – <https://www.openstreetmap.hu/>. Letöltés: 2026 március



# A mezőgazdasági gyakorlatok fenntarthatóságának értékelése távérzékelési eszközökkel, az aszályreziliancia és a klímaváltozás hatásainak elemzése

Szurofka Laura<sup>1</sup> – Nagy Richárd<sup>2</sup>

<sup>1</sup> hallgatói munkatárs, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Kutatási és Fejlesztési Központ, szurofka.laura@std.uni-eszterhazy.hu

<sup>2</sup> tudományos munkatárs, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Kutatási és Fejlesztési Központ, nagy.richard@uni-eszterhazy.hu

**Absztrakt:** A kutatás Mezőkövesd térségének mezőgazdasági fenntarthatóságát és aszályrezilianciáját vizsgálja a 2020-2024-es időszakban távérzékelési eszközök segítségével. A kutatás célja a klímaváltozás hatásai által okozott környezeti stressz felmérése a többéves vegetációdinamikai monitoringon keresztül. A tanulmány Sentinel-2 műholdfelvételekre épül, amelyekből Normalizált Red Edge Index (NDRE) került számításra, kiegészítve a NASA POWER klimatikus adatsoraival. A tanulmány célja a különböző tájhasználati kategóriák lehatárolása, a vegetációs stressztűrés és teljesítmény elemzése, valamint a klimatikus szélsőségek és azok hatásainak a feltárása volt. A kutatás rámutatott a szélsőséges évek által okozott vegetációs stresszre és annak következményeire, valamint rávilágított a vegetáció stressztűrése és teljesítménye közötti összefüggésekre. A tanulmány hangsúlyozza az olyan fenntartható gazdálkodási gyakorlatok, mint a vízmegőrző precíziós technológiák szerepét a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban.

## Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a klímaváltozás és az általa egyre gyakoribbá váló aszályok intenzitása, amely az ökoszisztémák stabilitására és a mezőgazdasági termelésre egyaránt fenyegetést jelent. A FAO szerint Földünk felszínének közel a felét (44%) mezőgazdasági területek borítják, a klímaváltozás hatásai tehát az élelemtermelést is érintik, amely társadalmi és gazdasági problémákat vonhat maga után a jövőben. Az élőhelyek stabilitását és a biodiverzitást is fenyegeti a klímaváltozás, ugyanis az ökoszisztémák összeomlása nem csak a helyi élővilágot, de az embereket is fenyegeti. Egy ilyen esemény következtében fajok tűnnek el, ezzel együtt a szénmegkötést végző erdeink is, vízhiány és éhínség lépne fel, ezzel több millió ember veszítené el az otthonát és megélhetését, így nem csupán környezeti, hanem társadalmi és gazdasági krízis is bekövetkezne.

Mindenknek a mérséklésében és a megelőzésében a távérzékeléses monitoring kulcsfontosságú szerepet játszik. A távérzékelés lehetővé teszi azt, hogy nyomon lehessen követni a vegetációs aktivitást, biomasszatermelést, illetve a vegetáció stresszválaszainak térbeli és időbeli monitorozását (LILLESAND ET AL. 2015; SEGARRA ET AL. 2020), amely segítséget nyújt a sérülékeny területek azonosításában és a szükséges beavatkozások meghatározásában. Mindez párosítva a ma már könnyen hozzáférhető klimatikus adatokkal, legyenek azok helyi állomások által mértek,

vagy területre interpoláltak, lehetővé teszi azt, hogy a vegetáció teljesítménye és stressztűrése, valamint az évek klimatikus viszonyai közötti összefüggések segítségével akár idősoros elemzések is végezhetővé váljanak, amelyek olyan mintázatok adnak a vegetációról, amely segítségével stratégiák dolgozhatók ki a klímaváltozás hatásai által okozott környezeti stressz mérséklésére.

Jelen tanulmány célja az, hogy bemutassa a Sentinel-2 műholdfelvételekből számolt vegetációs indexek, ezen belül is a Normalizált Red Edge Index (NDRE) használhatóságát a vegetáció állapotának felmérésében. A kutatás Mezőkövesd térségét vizsgálta 2020-2024-es időintervallumban, mely során a terület tájhasználati kategóriák szerint klaszterezve lett, majd pedig minden évben elemeztük a vegetáció teljesítményét és stressztűrését. A kutatás célja egy olyan módszer kidolgozása, amely segítséget nyújthat a döntéshozóknak a problémás területek azonosításában és kezelésében, amely kulcsfontosságú a fenntartható mezőgazdaságban, valamint tájhasználatban. A fenntartható gazdálkodás segít megőrizni az élőhelyeket és termékeny területeket, míg a kritikus zónák kezelése segít a kockázatok mérséklésében és az adott területek stabilitásának növekedésében.

## **Anyag és módszer**

A műholdas adatok gyűjtése a Copernicus Open Access Hub felületén keresztül történt. A tanulmányhoz szükséges adatsorokhoz a Sentinel-2A műhold adatait használtuk a 2020-2024-es időszakra. Az adatgyűjtés során az öt éves időszak összes elérhető műholdképe letöltésre került, kiszűrve az olyan felvételeket, amelyek a felhőborítás meghaladta a 10%-ot, vagy felhőárnyék volt a képeken, ugyanis ezek torzítják a használt vegetációs indexek pontosságát.

A tanulmány során azért esett Mezőkövesdre a választás, mint vizsgálati terület, mert a térség tájhasználati képe igen heterogén, ugyanis a térségben található gyepek, erdők, nagy – és kisparcellás mezőgazdasági területek. Mindez fontos szerepet játszott a vizsgálati terület kiválasztásában, hiszen így összehasonlíthatóvá váltak a különböző tájhasználati formák.

Az adatfeldolgozáshoz QGIS 3.40.1 térinformatikai szoftvert használtunk, melyben legelső lépésként a különböző tájhasználati kategóriák lettek digitalizálva. Ehhez a MePAR adatbázist vettük segítségül, amely a mezőgazdasági művelés alatt álló területeket lehatárolja, így lehetővé vált, hogy a különböző mezőgazdasági táblák digitalizálhatóvá váljanak. A különböző táblák digitalizálása miatt később ezek a parcellák egymással is összehasonlíthatóvá váltak. Az adatfeldolgozás második lépése a műholdfelvételekből való NDRE számítás volt. Ezt a műveletet az összes felvétel időpontjára elvégeztük, amelyből később éves, illetve öt éves statisztikák készültek, melyekből kiszűrtük a 0,2 alatti NDRE értékeket. Az alapvető statisztikai műveleteket a QGIS „Zónastatisztika” eszközével, míg a haladó műveleteket Microsoft Excelben végeztük. A kapott statisztikai eredményeket ezután térképeken vizualizáltuk, melyek megmutatták a különböző területek stressztűrését és teljesítményét is.

Az eredmények további értékeléséhez és vizualizálásához bivariáns elemzést használtunk, ugyanis a területek elemzése önmagukban nem ad átfogó képet a hosszú távú stabilitásukról, hiszen a vegetáció átlagos állapota nem tükrözi a stresszhatásokra adott választ. A bivariáns elemzés lehetővé tette a stressztűrés és a teljesítmény együttes elemzését. A két mutató kategorizálva lett alacsony, közepes és magas szintekre, ezeknek a mutatóknak a keresztezésével pedig egy 3x3-as kódtábla lett létrehozva. A kialakított kilenc kategória elkülöníti a sérülékeny, instabil és kiemelkedő területeket. A különböző kategóriákat a vizsgálati területekhez a QGIS segítségével rendeltük hozzá, az eredmények térképen lettek vizualizálva. A vegetáció stressztűrése és teljesítménye átfogó képet ad a vegetáció klímarezilienciájáról és ökológiai stabilitásáról, így az elkészült térképek alkalmasak a térség különböző területeinek kategorizálására sérülékenység szerint.

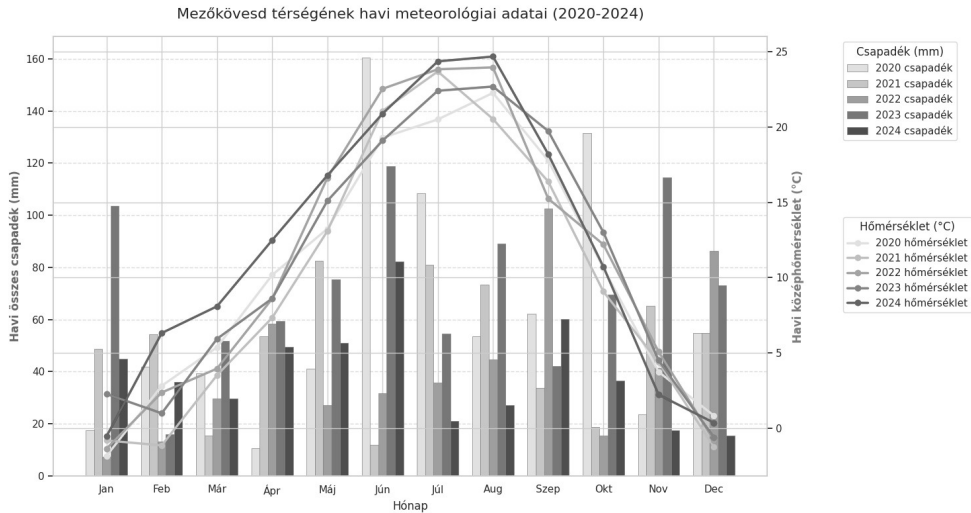
A tanulmányhoz szükséges klimatikus adatokhoz a NASA POWER felületén fértünk hozzá. Mivel a vizsgálati területen nem fértünk hozzá helyi mérőállomások adataihoz, így az interpolált adatok használatára esett a választás. A felületről a vizsgált 2020-2024-es időintervallum összes napjára letöltésre kerültek a napi átlaghőmérsékletet, napi maximum hőmérsékletet, napi minimum hőmérsékletet és a napi csapadékmennyiséget tartalmazó adatok. Ezekből a klimatikus adatokból éves, valamint ötéves adatsorok készültek, melyek megmutatták a vizsgált évek időjárási mintázatait, ebbe beleértve a szélsőségeket is, mint például az aszályokat. Az aszályos éveket a Pálfai-féle aszályindexszel (PAI) határoztuk meg. A klimatikus adatsorok később összehasonlításra kerültek a vegetációs adatsorok eredményeivel, összefüggést teremtve a klimatikus viszonyok által okozott stressz és a vegetáció stressztűrése és teljesítménye között.

A vegetációs és klimatikus eredményeket összevetettük, így a vegetációdinamika mintázataihoz már egy klimatikus háttér is társult, ami magyarázatot adott a vegetáció stresszválaszára.

## **Eredmények**

A vizsgált időszakban a vegetáció teljesítményét és stressztűrését az olyan klimatikus szélsőségek határozták meg, mint az aszályok és a hőhullámok. A műholdas adatokból nyert NDRE indexekből előállított adatsorok és a klimatikus adatok együttes elemzése lehetővé tette a vegetációdinamika térbeli és időbeli elemzését.

Az *1. ábrán* látható, hogy a klimatikus eredmények alapján a vizsgált időszak jelentős változékonyságot mutatott. A 2020-as év kedvező csapadék – és hőmérsékletviszonyai magas vegetációs aktivitást eredményeztek, amely referenciaként szolgált a további évek értékeléséhez. A 2022-es aszály következtében tartós csapadékhány alakult ki, ami tartósan magas nyári középhőmérséklettel párosult. Mindez a vegetáció állapotának drasztikus romlásához vezetett, amit jól tükrözött a biomassza termelés visszaesése is. A 2023-as év részleges regenerációt



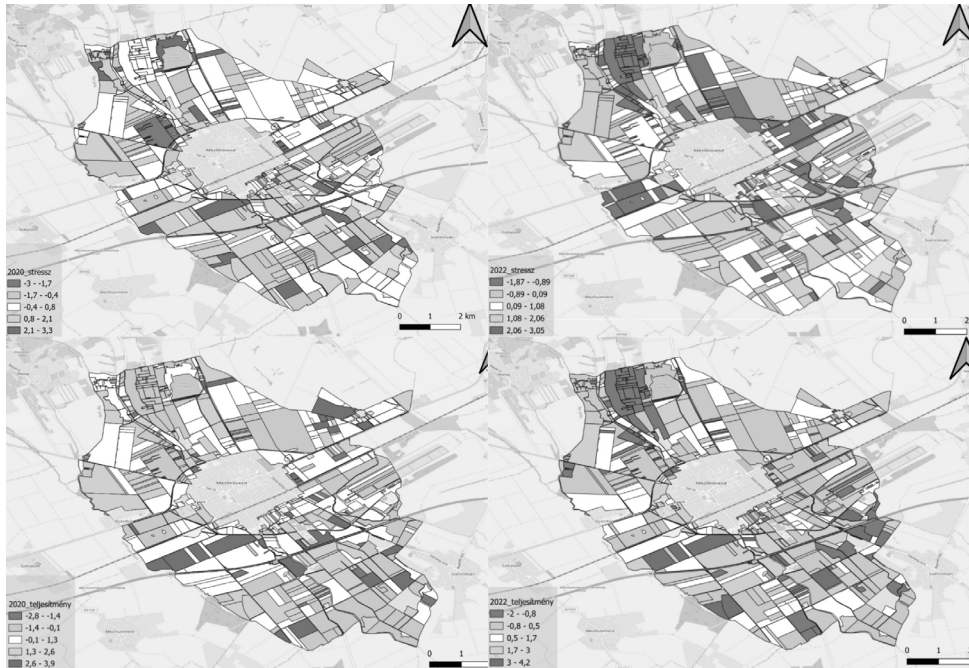
1. ábra A vizsgált időszak (2020-2024) éves csapadék – és hőmérséklet viszonyainak alakulása a NASA POWER adatai alapján

hozott, azonban a 2024-es év korai felmelegedése és a nyári csapadékhiány újból visszaesést okozott.

Az NDRE indexek vizsgálatával lehetővé vált teljesítményelemzés rámutatott arra, hogy a térség északi részén a vegetációnak magasabb a stressztűrése és a teljesítménye is, ami kedvező talajviszonyokra és jó vízmegtartó képességre utal. Ezek a területek még kedvezőtlen körülmények között is képesek voltak stabil biomasszatermelésre. Ezzel szemben a térség délkeleti részeire inkább az alacsony NDRE-értékek voltak a jellemzők, amelyek tartósan gyenge teljesítményre és kedvezőtlen termőhelyi adottságra utaltak. Az itt megfigyelhető negatív értékek valamilyen tartós, strukturális problémára utalnak, például a déli területekre jellemző belvízre, vagy rossz talajminőségre.

A stressztűrés vizsgálata feltárta azt, hogy a különböző tájhasználati kategóriák más-más módon reagálnak a környezeti stresszre. A szántóföldi területek mutatták a legnagyobb érzékenységet, ahol az NDRE idősorok ingadozása a klimatikus hatásokra való érzékenységet jól jelezte. A gyepek esetében mérsékelt kilengések voltak megfigyelhetők, míg az erdősávok esetében volt a legmagasabba a stabilitás. A magas stabilitás összefüggésben van a mélyebb gyökérszettel és az összetett ökológiai szerkezettel, ami lehetővé teszi a jobb adaptációs képességet.

A teljesítmény és a stressztűrés közötti kapcsolat feltárására alkalmazott bivariáns elemzés részletes képet adott a területek fenntarthatósági állapotáról. Az alacsony stressztűrés és teljesítmény kombinációja elsősorban az olyan problémás területeknél jelentkezett, ahol valamilyen termőhelyi strukturális probléma áll fent és ebből kifolyólag érzékenyebbek a klimatikus stresszre. A közepes teljesítményű, de alacsony stressztűrésű területek esetében erőteljes volt az évről-évre történő ingadozás, ami instabil biomasszatermelést eredményez. A magas teljesítményű, de alacsony stressztűrésű



2. ábra A stressztűrés és a teljesítmény alakulása kedvező (2020) és aszályos (2022) években



3. ábra A vegetáció teljesítmény és stressztűrés bivariáns elemzésének eredményei a vizsgálati területen az 5 éves adatok alapján

területek magas potenciállal rendelkeznek, azonban a környezeti stresszre érzékenyek. A legkedvezőbb kategóriát a magas teljesítményű és stressztűrési területek jelentették. Ezek a területek a szélsőséges körülmények ellenére is képesek voltak a magas biomasszaszint fenntartására, stabil ökológiai működést mutattak.

Összességében az eredmények azt igazolják, hogy a vizsgált térség tájhasználatára jelentős heterogenitást mutat mind teljesítmény, mind stressztűrési szempontjából. A klimatikus szélsőségek hatására a kisebb stabilitással rendelkező területek hevesen reagáltak, míg a stabilabb, kedvezőbb adottságokkal rendelkező területek képesek voltak bizonyos mértékű kompenzációra. Az eredmények hangsúlyozzák a tájszerkezeti diverzitás, valamint a vízmegőrző és adaptív gazdálkodási gyakorlatok kulcsszerepét a hosszútávú fenntarthatóság érdekében.

## **Konklúzió**

A kutatás eredményei megerősítették, hogy a Sentinel-2 műholdfelvételeire alapuló Normalizált Red Edge (NDRE) vegetációs index hatékonyan alkalmazható a vegetáció stressztűrésének és teljesítményének felmérésére. A tájhasználati kategóriák azonosítása és elkülönítése lehetővé tette azt, különböző területek fenntarthatósági kategóriákba való sorolását. Az elemzések egyértelművé tették, hogy a magas produktivitás nem minden esetben jár együtt a megfelelő stressztűréssel, ami hosszú távon fenntarthatósági kockázatot jelent.

A módszer lehetővé teszi a kockázatos területek feltérképezését, ami segít a döntéshozatalban és a szükséges beavatkozások meghatározásában egyaránt. A tanulmány rávilágított arra, hogy az ökológiai stabilitás megőrzéséhez szükséges a heterogén tájhasználat, illetve a fenntartható gazdálkodási gyakorlatok is kulcsfontosságúak a hosszú távú fenntarthatóságban.

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-25 kódszámú egyetemi kutatói ösztöndíj programjának A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

## **Felhasznált irodalom**

- LILLESAND, T. M. – KIEFER, R. W. – CHIPMAN, J. W. (2015): Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, New York.
- SEGARRA, J. – BUCHAILLOT, M. L. – ARAUS, J. L. – KEFAUVER, S. C. (2020): Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved opportunities and new challenges. *Agronomy*, 10(5), pp. 641–655.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025): Land, Inputs and Sustainability: Land Cover.

# 4D kataszterek lehetőségei Magyarországon

Utasi Zoltán

docens, Földrajz és Környezettudományi Intézet, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem,  
utazo74@gmail.com

**Absztrakt:** A magyarországi kataszteri és kapcsolódó nyilvántartások fejlesztésének egyik központi kérdése, hogy a jelenleg jellemzően kétdimenziós, részben elkülönült adatkezelés miként alakítható át olyan integrált rendszerre, amely a térbeli helyzet mellett az időbeli változásokat is következetesen kezeli. A nemzetközi szakirodalomban a 4D kataszter a 3D tér és az idő együttes kezelését jelenti, vagyis nem pusztán a felszín alatti és feletti objektumok geometriai leírását, hanem a változások nyomon követését, az állapotok visszakereshetőségét és a jogi, illetve fizikai terek kapcsolatának értelmezését is (DÖNER ET AL. 2011). A tanulmány célja annak bemutatása, hogy a szerző korábbi, integrált kataszteri adatbázisokra, adatharmonizációra, településrendezési elemzésekre és történeti térképek georeferálására irányuló kutatásai milyen módon illeszkednek a 4D kataszteri szemlélethez. A teljes körű, közvetlen 4D kataszter rövid távú bevezetése Magyarországon nem reális, ugyanakkor egy fokozatos, réteges átmenetű modell megvalósítható.

## Bevezetés

A kataszteri adatbázisok korszerűsítésének igénye Magyarországon régóta ismert (APAGYI – MIHÁLY 2005). A földrészlet-, épület-, közmű-, erdészeti és településrendezési nyilvántartások tartalmukban, szabványaikban és szervezeti háttérükben eltérő fejlődési pályát jártak be, ezért a köztük lévő kapcsolatok sok esetben ma is csak manuális összevetéssel tárhatók fel. A szerző korábbi munkái következetesen arra mutattak rá, hogy a jelenlegi rendszerek legfőbb hiányossága nem egyszerűen az adatok heterogenitása, hanem az, hogy ugyanazon objektum különböző rendszerekben eltérő topológiával, eltérő azonosítóval és eltérő attribútumkészlettel szerepel (UTASI 2020, 2023). Mindez nemcsak a mindennapi ügyintéztést lassítja, hanem az automatizált ellenőrzések és az összetett térbeli elemzések lehetőségét is korlátozza.

A nemzetközi szakirodalomban a 3D, illetve 4D kataszter koncepciója e problémák egy részére kínál választ. A 3D kataszter kérdése a 2000-es évek eleje óta kiemelt kutatási terület, elsősorban a társasházi egységek, föld alatti létesítmények és összetett tulajdoni helyzetek kezelése miatt (STOTER 2004; FIG 2010). A 4D megközelítés ezt egészíti ki az idődimenzióval: a korszerű kataszternek nemcsak a jogi és fizikai objektumok térbeli kiterjedését kell tudnia kezelni, hanem a változások időbeli lefolyását is (VAN OOSTEROM ET AL. 2006; DÖNER ET AL. 2011).

Jelen tanulmány célja annak bemutatása, hogy a 4D kataszter elmélete nem idegen a magyarországi kutatási és fejlesztési irányoktól. Bár a hazai szakirodalomban a „4D kataszter” kifejezés ritkán jelenik meg explicit módon, a szerző korábbi munkáiban megfogalmazott alapelvek – a megszünt állapotok tárolása, a változások nyomon követése, a közhiteles és valós állapot együttes kezelése, a rétegek közötti topológiai megfeleltetés, valamint a speciális, részben föld alatti objektumok integrálása – valójában a 4D kataszter hazai előfeltételeit rajzolják ki. A dolgot ennek megfelelően nem egy teljesen új rendszer leírására vállalkozik, hanem arra, hogy a már meglévő integrációs szemléletből vezesse le a 4D kataszter fokozatos magyarországi megvalósításának elvi modelljét.

### **Elméleti keret: a 4D kataszter értelmezése**

A 4D kataszter a 3D tér és az idő együttes kezelését jelenti. A nemzetközi szakirodalom szerint a kataszter hagyományos, 2D alapú megközelítése akkor válik elégtelenné, amikor a tulajdonjogok, használati jogok, korlátozások és műszaki objektumok elválnak a felszín egyszerű parcellafelosztásától (STOTER 2004; DÖNER ET AL. 2011). Ilyen helyzetet hoznak létre a felszín alatti közművek, a több szintben szerveződő épületek, a térszín felett átnyúló létesítmények, továbbá a természetes vagy jogi okból folyamatosan változó határok. A 4D szemlélet lényege tehát az, hogy a kataszter ne statikus állapotfotóként, hanem időben is lekérdezhető rendszerként működjön.

DÖNER és szerzőtársai (2011) hangsúlyozzák, hogy a 4D kataszterben külön kell választani a fizikai objektumot és a jogi teret. A közműhálózat például fizikai valóságként vonalas vagy térbeli objektum, jogi szempontból azonban egy ennél szélesebb vagy eltérő térbeli sáv, védőövezet vagy használati jogosultság is kapcsolódhat hozzá. E gondolat szorosan illeszkedik a Land Administration Domain Model logikájához, amely a jogokat, korlátozásokat és felelőségeket a térbeli egységekhez kapcsolja, és lehetővé teszi a különböző földügyi rendszerek összehasonlítható leírását (ISO 19152; LEMMEN ET AL. 2015). A hazai integrált kataszteri szemlélet szempontjából ennek az a jelentősége, hogy a különböző nyilvántartások nem egymás felett, hanem funkcionális kapcsolatban kell, hogy megjelenjenek.

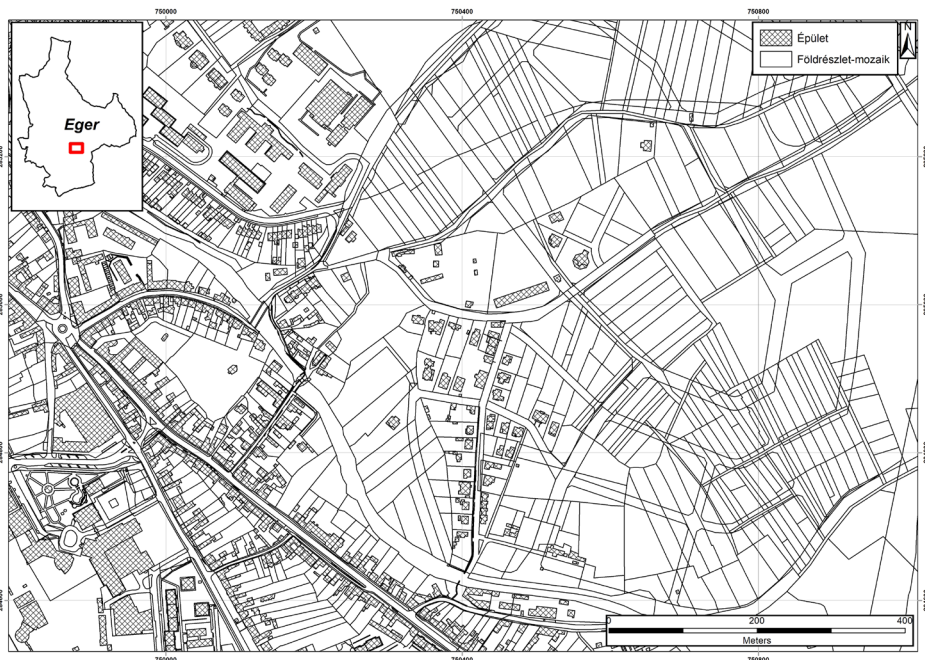
A 4D kataszter másik alapfogalma az időbeliség. A magyar gyakorlatban a változások dokumentálása jellemzően ügyiratszinten vagy állománycsere-szinten történik, miközben a térinformatikai feldolgozás gyakran csak az aktuális állapotot tartja meg. A szerző több tanulmányában hangsúlyozta, hogy ez szemléleti hiba: a megszünt helyrajzszámok, korábbi telekhatárok, elbontott épületek vagy átalakult övezeti határok is releváns információhordozók (UTASI 2020, 2023). Ebből következik, hogy a hazai integrált kataszteri adatmodell egyik kulcseleme a történetiség megőrzése, amely a 4D szemlélet közvetlen hazai megfelelőjének tekinthető.

## A hazai kiinduló állapot és az integráció szükségessége

A szerző szerint a hazai kataszteri rendszerek legfontosabb strukturális problémái négy csoportba sorolhatók. Az első a topológiai következetlenség: ugyanazon határvonal eltérően jelenhet meg az ingatlan- és erdészeti nyilvántartásban, vagy a topográfiai és kataszteri épületállományban (UTASI 2020, 2023). A második az attribútumok heterogenitása és az azonosítók széttagoltsága. A harmadik a valós és a közhiteles állapot eltérése. A negyedik a történeti változások hiányos vagy nehezen lekérdezhető kezelése. E négy problémakör együtt indokolja az integrált, változásérzékeny kataszteri adatmodell szükségességét.

Az integrált kataszteri koncepció e problémákra azt a megoldást javasolja, hogy az ingatlankataszter szolgáljon referencia-adatbázisként, és ehhez illeszkedjen minden további tartalom: erdészeti parcella, településrendezési övezet, közmű, speciális jogi korlátozás, valamint szükség esetén olyan külön nyilvántartások is, mint a pince- vagy temetőkataszter (PÁL – HAJDÚ 2022). A modell lényege a földrészletmozaikok képzése: a felületi réteg olyan legkisebb homogén egységekre bomlik, amelyek egyidejűleg hordozzák az összes releváns attribútumot (1. ábra). Ez a megközelítés már önmagában túlmutat a klasszikus 2D kataszteren, mert megteremti annak lehetőségét, hogy ugyanazon térbeli egység többféle jogi, használati és műszaki összefüggésben is elemezhető legyen.

A településrendezési vizsgálatok azt is megmutatták, hogy az integrált rendszer nem pusztán nyilvántartási célokra alkalmas. Eger példáján igazolható volt, hogy az



1. ábra Integrált 2D referencia-adatbázis az ingatlankataszterre építve

aktuális beépítési állapot és az előírt övezeti paraméterek közötti eltérés automatizáltan kimutatható, ami már impliciten tartalmazza az idődimenziót is, hiszen a mindenkori megengedett és megvalósult állapot összevetése csak akkor értelmezhető, ha a változások egymásutánisága és hatályossága visszakereshető (UTASI 2022). Ugyanez a logika alkalmazható a művelési ág változásának, az épületállomány módosulásának vagy a közművek nyomvonal-változásának követésére is.

#### **A 4D szemlélet magyarországi alkalmazási terei**

A 4D kataszter hazai bevezetésének legkézenfekvőbb területe a közműnyilvántartás. A szerző korábbi publikációi rámutatnak, hogy a közművek kezelése sokszor még mindig műszaki szemléletű: az attribútumok zászlózással, külön feliratokkal vagy nehezen kapcsolható módon jelennek meg, nem pedig valódi téradatbázis-objektumokként (UTASI 2023). A 4D kataszteri megközelítés ezzel szemben azt kívánja meg, hogy a közművek geometriája, tulajdonosi és kezelői viszonyai, védőövezetei, létesítési és megszüntetési időpontjai, valamint a változások története egységes rendszerben legyenek lekérdezhetők. A magyarországi környezetben ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy minden közműgeometria közvetlenül a kataszteri adatbázisba kerüljön; a nemzetközi minták alapján reálisabb egy hibrid megoldás, amelyben a fizikai hálózatot a szakrendszer tartja fenn, míg a kataszter a jogi térre, a hivatkozásokra és az időbeli állapotokra koncentrál (DÖNER ET AL. 2011).

Az épületek és speciális létesítmények terén a magyar ingatlankataszter reprezentációja sok esetben hiányos vagy leegyszerűsített. Különösen igaz ez a pincékre, amelyek gyakran csak külön, változó minőségű nyilvántartásokban érhetők el. Az integrált kataszteri gondolkodás ugyanakkor már ma is megteremti annak elvi lehetőségét, hogy ezek ne kiegészítő rajzi elemekként, hanem jogi és műszaki értelemben is értelmezett térbeli objektumokként jelenjenek meg (UTASI 2020, 2023). A hazai 3D kataszteri fejlesztésekre vonatkozó munkák ugyanezt az irányt erősítik: a magyar jogi környezetben a felszín alatti és feletti önálló ingatlanok nyilvántartásba vételének lehetősége megjelent, de gyakorlati, országos szintű rendszerszervezése még kezdeti stádiumban van (IVÁN 2012; IVÁN – OSSKÓ 2015).

A történeti téradatok integrálása a 4D kataszter további kiemelt alkalmazási területe. A Hajdúszoboszló archív térképeinek georeferálásával végzett kutatások arra utalnak, hogy a mai kataszteri referencia nemcsak az aktuális állapot kezelésére, hanem a múltbeli állapotok térbeli rekonstrukciójára is alkalmas keretet adhat (UTASI 2025). Ez a szemlélet különösen fontos ott, ahol a történeti telekszerkezet, épületállomány vagy földhasználat mai jogi és tervezési kérdésekkel is összefügg. A 4D kataszter tehát nem pusztán a jövő nyilvántartási formája, hanem a múltbeli állapotok szisztematikus, térben és időben egyaránt értelmezhető rekonstrukciójának eszköze is lehet.

A negyedik alkalmazási terület a döntéstámogatás. Az integrált adatbázisra épülő településrendezési elemzések a hatályba lépés és megszűnés időpontjának

hozzárendelésével visszamenőleg is értelmezni tudják a jogszerűséget, ami építésügyi, örökségvédelmi vagy birtokrendezési eljárásokban különösen értékes. Ugyanez érvényes lehet a speciális, nem teljes lefedettségű kataszterekre is. A temetőkataszter például tipikusan olyan részterület, ahol a sírhelyek időlegesen megváltott használata miatt az idődimenzió nem kiegészítő információ, hanem a nyilvántartás egyik alapvető eleme (PÁL – HAJDÚ 2022).

### **Javasolt modell a magyarországi 4D kataszter fokozatos kialakítására**

A hazai környezetben nem célszerű egyszerre egy teljes, minden objektumra kiterjedő 4D kataszteri rendszert célul kitűzni. Indokoltabb egy többlépcsős modell, amelynek első szintje az integrált 2D referencia-adatbázis létrehozása vagy megerősítése. Ebben az ingatlankataszter a geometriai és azonosítási alap, amelyhez minden további réteg kapcsolódik. A második szint a változáskezelés formalizálása: minden releváns objektumhoz – földrészlethez, épülethez, övezethez, közműszakaszhoz – létrehozási, módosítási és megszűnési időbélyeget kell rendelni, a megszűnt állapotok megőrzésével. A harmadik szint a kiválasztott objektumtípusok 3D kiterjesztése, elsősorban ott, ahol ez jogi vagy műszaki szükségszerűség: közművek, pincék, alagutak, többszintes társasházi egységek és különleges építmények. A negyedik szint a jogi és fizikai modellek összekapcsolása, vagyis annak biztosítása, hogy a kataszter ne csak a tulajdonjogi vagy használati tényeket, hanem az ezekhez tartozó valós műszaki objektumokat is értelmezhető kapcsolatban kezelje.

A javasolt modell a nemzetközi LADM-logikához illeszkedő, de a hazai gyakorlati igényekre szabott tér-idő egységek bevezetését feltételezi. E szemléletben ugyanazon objektum különböző időállapotai önállóan lekérdezhetők, miközben a köztük fennálló folytonosság is megőrizhető. A modell külön kezeli a közhiteles és a valós állapotot: nem egyik vagy másik „legyőzésére” törekszik, hanem mindkettő nyilvántartására, az eltérés okának és forrásának megjelölésével. E megoldás különösen fontos lehet a településrendezés, az épületnyilvántartás és a közművek esetében, ahol a hivatalos állapot és a terepi valóság között gyakran időleges eltérés áll fenn.

A modell erőssége, hogy nem igényel teljes szemléletváltást egyetlen lépésben. Illeszkedik a szerző korábbi integrációs javaslataihoz, és összhangban áll a digitális közigazgatási fejlesztések irányával is. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a technológiai feltételek megléte önmagában nem elegendő. Szükséges a szabványosítás, az adatgazdák közötti szervezeti együttműködés, az egységes azonosítórendszer, valamint a közhitelesség jogi értelmezésének újragondolása is. A 4D kataszter bevezetése így nem csupán informatikai projekt, hanem intézményi és módszertani reformfolyamat.

1. táblázat A 4D kataszter fokozatos bevezetésének javasolt lépcsői

Szint	Tartalom	Elsődleges adatforrás	Várható eredmény
I.	Integrált 2D referencia-adatbázis az ingatlankataszterre építve.	Ingatlankataszter, erdészet, településrendezés, közmű.	Egységes geometriai alap és javuló lekérdezhetőség.
II.	Időbélyegzett változáskezelés és a megszűnt állapotok tárolása.	Változási vázrajzok, hatósági döntések, archív állományok.	Visszakereshető jogi és térképi történetiség.
III.	Kiválasztott objektumtípusok 3D kiterjesztése	Közművek, pincék, többszintes építmények, speciális felmérések.	Összetett térhasználati helyzetek jobb kezelése.
IV.	Jogi és fizikai modellek összekapcsolása szabványos interfészekkel.	Kataszteri és szakrendszeri adatkapcsolatok.	Valódi 4D szemléletű, döntéstámogatásra is alkalmas rendszer.

## Következtetések

A 4D kataszter magyarországi lehetőségeinek vizsgálata alapján megállapítható, hogy a hazai fejlődési irányok és a szerző korábbi kutatási eredményei között erős koncepcionális kapcsolat van. Az integrált kataszteri adatbázis, a rétegek közötti topológiai és attribútum-kapcsolatok megteremtése, a megszűnt állapotok megőrzése, a közművek és speciális objektumok bevonása, valamint a történeti és aktuális állapotok együttes kezelése mind olyan elemek, amelyek a 4D kataszteri gondolkodás hazai alapját képezik.

A fő akadályt jelenleg nem a térinformatikai technológia hiánya jelenti, hanem a széttagolt szabványok, a nyilvántartások közötti felelősségi határok, az eltérő adatminőség és a közhitelesség intézményi kötöttsége. Mindez azonban nem ok arra, hogy a 4D katasztert pusztán elméleti jövőképnek tekintsük. Ellenkezőleg: a magyarországi környezetben éppen az a legreálisabb út, ha a már megkezdett integrációs törekvések tudatosan az idődimenzió és a 3D szemlélet irányába fejlődnek tovább. A tanulmány legfontosabb állítása tehát az, hogy Magyarországon a 4D kataszter bevezetése nem egyetlen, nagyszabású reformként, hanem a meglévő integrált kataszteri szemlélet következetes továbbfejlesztéseként képzelhető el.

## Irodalomjegyzék

- APAGYI G. – MIHÁLY SZ. (2005): A magyarországi kataszter jelene és fejlesztési irányai.
- DÖNER, F. – THOMPSON, R. – STOTER, J. – LEMMEN, C. – PLOEGER, H. – VAN OOSTEROM, P. – ZLATANOVA, S. (2011): 4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact – With a case study on utility networks. *Land Use Policy*, 28(1), pp. 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.04.002>
- FIG (2010): Best Practices 3D Cadastres. FIG Publication No. 53, International Federation of Surveyors, Copenhagen.

- IVÁN G. (2012): 3D Cadastre Developments in Hungary. FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6–10 May 2012.
- IVÁN, G. – ZALABA, P. – SZABÓ, G. (2012): Initial Design of a Hungarian 3D Cadastre. In: Proceedings of the 3rd International Workshop on 3D Cadastres, Shenzhen, pp. 273–288.
- IVÁN G. – OSSKÓ A. (2015): Towards 3D Land Registry in Hungary. FIG Working Week 2015, Sofia, Bulgaria, 17–21 May 2015.
- LEMMEN, C. – VAN OOSTEROM, P. – BENNETT, R. (2015): The Land Administration Domain Model. *Land Use Policy*, 49, pp. 535–545.
- PÁL M. – HAJDÚ E. (2022): Methodological Innovations for Establishing Cemetery Spatial Databases – A UAV-Based Workflow Helping Small Communities. *Remote Sensing*, 14(14), 3328. <https://doi.org/10.3390/rs14143328>
- STOTER, J. E. (2004): 3D Cadastre. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft.
- UTASI Z. (2020): Szakterületek és országok közötti adatszabványosítás lehetőségei a földrészlet- és épületkataszterben. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI., Debrecen.
- UTASI Z. (2022): Az integrált kataszter alkalmazási lehetőségei a településrendezésben. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XIII., Debrecen.
- UTASI Z. (2023): Integrált kataszterek. Tanulmány a Mika János születésnapjára, Eger.
- UTASI Z. (2025): Nagyméretarányú archív településtérképek georeferálása Hajdúszoboszló példáján. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XVI., Debrecen.
- VAN OOSTEROM, P. – PLOEGER, H. – STOTER, J. – THOMPSON, R. – LEMMEN, C. (2006): Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration. Proceedings XXIII FIG Congress, Munich.



# Oktatási intézmények zöldfelületi és mikroklimatikus adottságainak térképezése Debrecen példáján: Módszerek és kihívások

Bertalanné Balázs Boglárka<sup>1</sup> – Farkas Jenő Zsolt<sup>2</sup> – Abriha Dávid<sup>3</sup> –  
Csomós György<sup>4</sup>

<sup>1</sup> adjunktus, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Debreceni Egyetem,  
balazs.boglarka@science.unideb.hu

<sup>2</sup> tudományos főmunkatárs, Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, ELTE,  
farkas.jenozsolt@krtk.elte.hu

<sup>3</sup> adjunktus, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Debreceni Egyetem,  
abriha.david@science.unideb.hu

<sup>4</sup> egyetemi tanár, Építőmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem, csomos@eng.unideb.hu

**Absztrakt:** Kutásunkban 121 debreceni oktatási intézmény zöldfelületi és mikroklimatikus adottságait vizsgáltuk. A város szintű elemzés alapját 0,5 méteres felbontású WorldView-2 és Landsat 8-9 felvételek felhasználásával, a kiemelkedő (94,5%-os) pontosságú XGBoost felszínborítás-osztályozás, valamint a felszíni hőmérséklet (LST) számítása adta. A Kompozit Környezetminőségi Index (KKI) és a térbeli koncentrációt mérő Hoover-index mély strukturális egyenlőtlenségeket tártak fel. Míg az óvodák hálózata egyenletes, a középiskolák a sűrű belvárosi zónában koncentrálnak (1,26 m<sup>2</sup>/diák udvari zöldfelület). A szocialista lakótelepeken a kiterjedt növényzet ellenére a beépítési morfológia okozta „zöld paradoxon” miatt extrém magas (akár 44,2 °C) LST-értékeket is detektáltunk. A műholdképek emellett az udvarok burkolásából és a gumiborítások alkalmazásából fakadó intézményi maladaptációra is rávilágítottak. Eredményeink igazolják a térinformatikai adatintegráció szükségességét a klímaadaptív városfejlesztésben.

*Kulcsszavak:* oktatási intézmények, XGBoost, felszíni hőmérséklet (LST), városmorfológia, zöld paradoxon, Debrecen

## Bevezetés

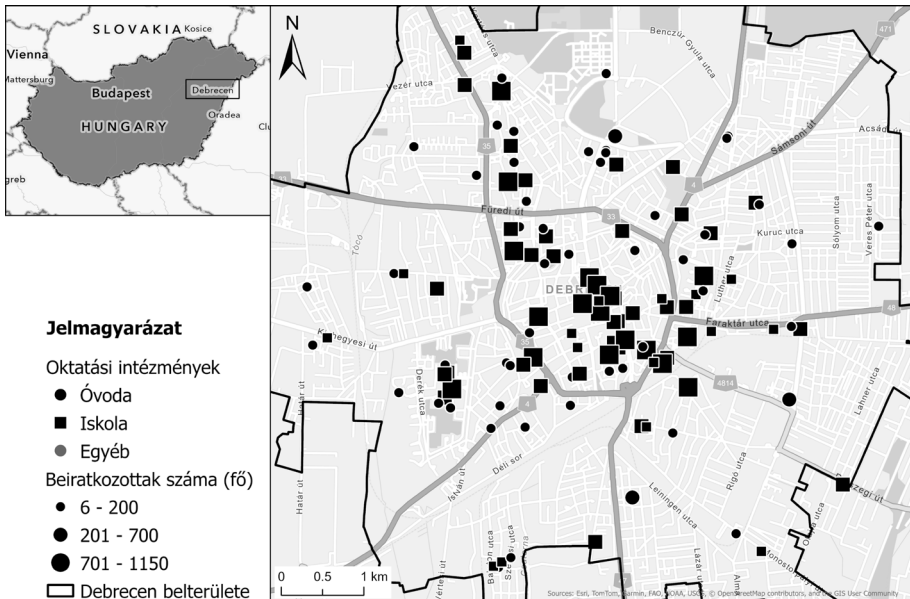
A globális klímaváltozás és a fokozódó urbanizáció együttes hatásaként a városi hősziget (Urban Heat Island – UHI) jelenség napjaink egyik legégetőbb környezeti kihívásává vált a sűrűn beépített településeken. A beépített területek arányának növekedése és a zöldinfrastruktúra visszaszorulása különösen hátrányosan érinti azokat a sérülékeny társadalmi csoportokat, mint például a gyermekeket és a serdülő korúakat, akik mindennapjaik jelentős részét az oktatási intézményekben és azok udvarain töltik. A szakirodalom egyértelműen igazolja, hogy a megfelelő mennyiségű és minőségű zöldfelülethez való hozzáférés nem csupán a hőstressz csökkentésében játszik kulcsszerepet, hanem elengedhetetlen a gyermekek fizikai, pszichológiai, kognitív és érzelmi fejlődéséhez (DADVAND ET AL. 2015; ISLAM – JOHNSTON – SLY 2020), valamint tanulmányi teljesítményéhez is (BROWNING – RIGOLON 2019). Jelen kutatás célja Debrecen 121 oktatási intézményének – köztük óvodák, általános iskolák és középiskolák – komplex zöldfelületi és mikroklimatikus

minősítése. A korábbi, lokális esettanulmányokra szorító vizsgálatokkal szemben jelen kutatás egy városszintű, integrált értékelési keretrendszert alkalmaz, amely együttesen elemzi az intézmények belső (udvari) és tágabb környezeti adottságait. Az elemzés során nagyfelbontású térbeli adatokat, WorldView-2 űrfelvételeket használtunk az iskolaudvarok növényzetének osztályozására. A felszíni hőmérséklet (Land Surface Temperature – LST) levezetéséhez Landsat-adatokat dolgoztunk fel, míg a térbeli eloszlás és koncentráció kvantifikálásához a Hoover-indexet (ROGERSON – PLANE 2013) alkalmaztuk. Jelen tanulmány az oktatási intézmények zöldfelületi és környezeti minőségének komplex értékelését célzó kutatássorozatunk (CSOMÓS ET AL. 2026) részét képezi. A munka elsődleges célja, hogy az intézményi környezetminőségi eredmények ismertetése mellett rávilágítson a heterogén térbeli felbontású, valamint eltérő idősíki távérzékelési adatbázisok felhasználásából eredő módszertani kihívásokra.

## Anyag és módszer

### Mintaterület

A kutatást Debrecen közigazgatási határain belüli intézményekre vonatkozóan végeztük el (1. ábra), ezen belül is a morfológiai alapon lehatárolt, egybefüggő, „kompakt” várossmagot vettük alapul, kizárva a térben elkülönülő, lazábban kapcsolódó beépített területeket. Ebben a városszövetben összesen 121 oktatási intézményt (óvodát, általános- és középiskolát) azonosítottunk, amelyek több mint 38 000 tanulót szolgálnak ki.



1. ábra Debrecen és a vizsgált oktatási intézmények

### ***Felhasznált adatok***

A térinformatikai modell felépítéséhez és a komplex környezeti minősítéshez több különböző forrásból származó, eltérő felbontású téradatbázist integráltunk.

(1) Az Oktatási Hivatal KIR-adatbázisa alapján leválogattuk az intézményeket, majd geokódoltuk őket. A telekhatárok és a rajtuk elhelyezkedő épületek kataszteri adatai alapján határoztuk meg az iskolaudvarok poligonjait és azok geometriai középpontjait.

(2) A mikroszintű, udvarokon belüli zöldfelületek arányának meghatározásához egy 2016. július 24-i, felhőmentes, nagyfelbontású, WorldView-2 (WV-2) multispektrális űrfelvételt használtunk. A 2 méteres térbeli felbontást ENVI/IDL 5.3 szoftverkörnyezetben végzett Gram-Schmidt-féle pan-sharpening eljárással (MAURER 2013) 0,5 méteresre javítottuk.

(3) Az intézmények 300 méteres környezetének elemzéséhez a Copernicus Land Monitoring Service által biztosított, 10 méteres felbontású CLCplus Backbone 2021 raszteres adatbázist alkalmaztuk. A közparkok adatait a NextGIS OpenStreetMap (OSM) POI poligon rétegéből nyertük ki, a WHO (2017) ajánlásainak megfelelően kizárólag a 0,5 hektárnál nagyobb kiterjedésű parkokat bevonva a vizsgálatba.

(4) A felszíni hőmérséklet térképezéséhez az U.S. Geological Survey (USGS) Landsat 8-9 (OLI/TIRS) Collection 2 Level-2 LST (Land Surface Temperature) termékét használtuk fel. A 30 méteres térbeli felbontású adatokból három 2024. júniusi időpont (június 7., 15. és 23., helyi idő szerint kb. 11:20) került kiválasztásra. A gyenge minőségű pixeleket a minőségellenőrzési sáv (QA) segítségével maszkoltuk.

### ***Alkalmazott módszerek***

A kutatás során alkalmazott geoinformatikai munkafolyamat két fő pillérre támaszkodott: (1) a nagyfelbontású űrfelvételek gépi tanulás alapú osztályozására, valamint (2) a termális műholdképekből származtatott felszíni hőmérséklet (LST) modellezésére. Az integrált elemzéseket automatizált térbeli statisztikai műveletekkel hajtottuk végre ArcGIS Pro és Python környezetben.

### ***A felszínborítás osztályozása***

Az iskolaudvarok mikroszintű zöldfelületi arányainak meghatározásához a 0,5 méteres felbontásra javított WorldView-2-t használtuk. A felszínborítás kinyerésére egy automatizált, Python-alapú kötegelt feldolgozási (batch processing) munkafolyamatot alakítottunk ki. A vegetációs és mesterséges burkolati kategóriák elkülönítéséhez az XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) algoritmust alkalmaztuk, amely decision tree mechanizmusával kiemelkedő teljesítményre képes a multispektrális sávok komplex mintázatainak felismerésében (CHEN – GUESTRIN 2016). A modell betanításához és

validálásához 5-szörös keresztvalidációt használtunk, a teljesítmény kiértékelését pedig osztályszintű metrikákkal, mint az F1-érték (SZABÓ ET AL. 2024) és az általános pontossággal igazoltuk.

### ***A felszíni hőmérséklet (LST) modellezése***

Az oktatási intézmények termális környezetminőségének vizsgálatához három időpontra töltöttünk le LST-adatot. A digitális értékek (DN) hőmérsékleti értékké történő transzformációját az USGS standard algoritmus alapján végeztük el:

$$LST = (DN \times 0,00341802) + 149$$

A képlettel kiszámított kelvin-értékeket a térbeli elemzésekhez Celsius-fokra konvertáltuk. A meteorológiai anomáliák minimalizálása érdekében három időpont hőmérsékleti értékeit átlagoltuk. A feldolgozás jelen fázisában a felszíni emisszivitás (FVC) korrekcióját nem alkalmaztuk, noha a szakirodalom egyértelműen rámutat, hogy az LSE-paraméterek jelentősen befolyásolják az LST-értékek számításának pontosságát (WANG ET AL. 2025).

### ***Térbeli indikátorok számítása***

A létrehozott zöldfelületi és termális rasztereken ArcGIS Pro ModelBuilder-környezetben automatizált zonális statisztikai vizsgálatokat végeztünk. Az elemzések kiterjedtek az iskolaudvarok belső területére és a geometriai középpontjuk köré vont 300 méteres pufferezónákra is. A térbeli eloszlás koncentrációjának mérésére a Hoover-indexet (ROGERSON – PLANE 2013) ( $H$ ) használtuk:

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |E_i - A_i| \quad (1)$$

ahol  $E_i$  az adott zónában található intézmények aránya,  $A_i$  pedig a városon belüli morfológiai terület (beépítés) aránya.

Végezetül a különböző dimenziójú mutatókat (zöldfelületi arányok, parkok közelsége és az LST) egy Kompozit Környezetminőségi Indikátorra (KKI) vontuk össze minimum-maximum normalizációs eljárással. Az LST értékeket fordítottan skáláztuk, megteremtve az intézmények objektív rangsorolásának lehetőségét.

## **Eredmények**

Az iskolaudvarok nagyfelbontású (0,5 m) műholdképein végzett osztályozás kiemelkedő predikciós teljesítményt nyújtott. A modell az ötszörös keresztvalidáció során 94,5%-os általános pontosságot (Overall Accuracy) ért el (*1. táblázat*). A modell alacsony varianciáját és osztályozásának robusztusságát a magas osztályszintű F1-értékek is egyértelműen igazolták.

1. táblázat A WV-2 felvétel osztályozási pontossága

Kategóriák	Felhasználói pontosság (UA)	Előállítói pontosság (PA)	F1-érték
Fás terület	0.976	0.910	0.942
Alacsony növényzet	0.898	0.952	0.924
Nem vegetáció	0.964	0.976	0.970
<b>Általános pontosság</b>	<b>0.945</b>	<b>0.945</b>	<b>0.945</b>

### *Térbeli eloszlás és környezeti diszparitások*

A geoinformatikai elemzés és a KKI-mutatók eredményei rávilágítottak, hogy a debreceni diákok környezeti expozíciója jelentős térbeli egyenlőtlenségeket mutat. Míg az óvodák elhelyezkedése a városszövetben viszonylag egyenletes ( $H=0,361$ ), a tanulók 43,5%-át befogadó középiskolák extrém térbeli koncentrációt mutatnak ( $H=0,660$ ), elsősorban a sűrű beépítésű, történelmi belvárosra korlátozódva.

A térbeli statisztikák alapján két markáns morfológiai mintázat, valamint egy lokális probléma emelhető ki:

(1) A belváros szorításában: a történelmi magban a középiskolák rendkívül kis alapterületű telkekre szorulnak, ahol az egy diákra jutó udvari zöldfelület mindössze 1,26 m<sup>2</sup>. A magas beépítési sűrűség és a felszín alatti közműhálózat miatt a zöldinfrastruktúra horizontális bővítése technikai és pénzügyi akadályokba ütközik. Bár ezen intézmények megközelíthetősége kiváló, a burkolt felszínek túlsúlya miatt a diákok fokozottan ki vannak téve a városi hősziget (UHI) hatásainak.

(2) A lakótelepek "zöld paradoxona": a modernista elvek alapján épült szocialista lakótelepeken az intézmények kiterjedt zöldfelületekkel rendelkeznek (átlagosan 43,3%-os borítottság). A termális adatok ugyanakkor mégis itt mutatták ki a legmagasabb átlagos felszíni hőmérsékletet, a maximumérték pedig egy intézménynél elérte a 44,2 °C-ot. A paradoxon a 3D-s városszövetével magyarázható: a magas betonpanelek alkotta „városi kanyonok” csapdába ejtik a hőt. Emellett a panelházak és a lapostetők hatalmas hőtároló kapacitása (termikus tömege) miatt a nappal elnyelt energiát a burkolatok folyamatosan visszasugározzák, így a kiterjedt 2D-s vegetáció ellenére is drasztikusan rontják a lokális mikroklímát.

(3) Kontraproduktív mikroszintű beavatkozások: a nagyfelbontású úrfelvételek értelmezése olyan intézményi szintű átalakításokat azonosított, amelyek a szándékokkal ellentétes mikroklimatikus hatást váltottak ki. A korábban permeábilis zöldfelületek aszfaltozott parkolókká alakítása, valamint a játszótereken a természetes talaj hőt elnyelő, szintetikus gumi biztonsági burkolatokra történő cseréje lokálisan nagymértékben megemelte az LST-értékeket az udvarokon belül.

## ***Módszertani kihívások***

A komplex városszintű térinformatikai elemzés rávilágított a különböző felbontású és forrású adatbázisok fúziójának korlátaira. A legfőbb kihívást az eltérő térbeli skálák (a 0,5 méteres WV-2 szemben a 30 méteres Landsat termális adatokkal) összehangolása jelentette, különösen a rendkívül kisméretű, heterogén borítottságú belvárosi iskolaudvarok vizsgálatakor.

A jelenlegi munkafolyamat egyik legfontosabb fejlesztendő területe a felszíni hőmérséklet (LST) számításának finomítása. A felhasznált Landsat Level-2 adatok feldolgozásakor a felszíni emisszivitást (Land Surface Emissivity – LSE) nem vettük figyelembe. A jövőben a módszertant érdemes finomítani a növényzetborítottság arányán (Fractional Vegetation Cover – FVC) alapuló emisszivitás-korrektúra beépítésével. A szakirodalom egyértelműen rámutat, hogy az LSE-paraméterek beemelése – a modell fizikai jellemzőinek pontosításával – jelentősen csökkenti a hőtérképezés és az LST visszanyerés (retrieval) bizonytalanságát (WANG ET AL. 2025). Továbbá, mivel a műholdas LST a felszín sugárzási hőmérsékletét méri, az csupán közelítő értéke a diákok által ténylegesen érzékelt humán hőkomfortnak, amelyet a légáramlás és a páratartalom is erősen befolyásol. A távérzékelési adatok validálásához és a precízebb mikroklimatikus modellezéshez elengedhetetlen az adatok *in situ* meteorológiai mérésekkel történő összevetése. Ennek leghatékonyabb módja egyedi, mikrokontroller-alapú (pl. Raspberry Pi) alacsony költségvetésű IoT-szenzorhálózatok telepítése magukra az iskolaudvarokra, amely lehetővé tenné a műholdas és a felszínközeli adatok nagyfelbontású, valós idejű integrációját.

## **Összegzés**

A bemutatott geoinformatikai munkafolyamat objektív keretrendszer biztosít a városi zöldinfrastruktúra intézményi szintű vizsgálatához. Eredményeink rávilágítanak arra, hogy a magasabb tanulói létszám gyakran rosszabb minőségű környezettel párosul, és az oktatási intézmények mikroklimatikus rehabilitációját nem lehet a tágabb városmorfológiai kontextus (mint például a lakótelepi kanyonhatás vagy a belvárosi térhiány) ismerete nélkül elvégezni. A feltárt térbeli egyenlőtlenségek és a maladaptációs mintázatok feloldásához a jövőben a klímaadaptív építészeti megoldások és a geoinformatikai döntéstámogató rendszerek szorosabb integrációjára van szükség.

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta (NKFIH K142121 számú projekt).

## Felhasznált irodalom

- BROWNING, M. H. E. M. – RIGOLON, A. (2019): School Green Space and Its Impact on Academic Performance: A Systematic Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 429.
- CHEN, T. – GUESTRIN, C. (2016): XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 785–794.
- CSOMÓS, G. – BERTALAN-BALÁZS, B. – FARKAS, J. Z. (2026): Investigating the Green and Thermal Environmental Quality of Educational Institutions in an Urban Planning Context: A Debrecen Case Study. *Buildings*, 16, 836.
- DADVAND, P. – NIEUWENHUIJSEN, M. J. – ESNAOLA, M. – FORNS, J. – BASAGAÑA, X. – ALVAREZ-PEDREROL, M. – RIVAS, I. – LÓPEZ-VICENTE, M. – DE CASTRO PASCUAL, M. – SU, J. – JERRETT, M. – QUEROL, X. – SUNYER, J. (2015): Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 7937–7942.
- ISLAM, M. Z. – JOHNSTON, J. – SLY, P. D. (2020): Green space and early childhood development: a systematic review. *Reviews on Environmental Health*, 35, 189–200.
- MAURER, T. (2013): How to pan-sharpen images using the Gram-Schmidt pan-sharpen method - a recipe. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W1, 239–244.
- ROGERSON, P. A. – PLANE, D. A. (2013): The Hoover Index of Population Concentration and the Demographic Components of Change: An Article in Memory of Andy Isserman. *International Regional Science Review*, 36, 97–114.
- SZABÓ, S. – HOLB, I. J. – ABRIHA-MOLNÁR, V. É. – SZATMÁRI, G. – SINGH, S. K. – ABRIHA, D. (2024): Classification Assessment Tool: A program to measure the uncertainty of classification models in terms of class-level metrics. *Applied Soft Computing*, 155, 111468.
- WANG, L. – YUE, P. – YANG, Y. – SHA, S. – HU, D. – REN, X. – WANG, X. – HAN, H. – JIANG, X. (2025): Land Surface Condition-Driven Emissivity Variation and Its Impact on Diurnal Land Surface Temperature Retrieval Uncertainty. *Remote Sensing*, 17, 2353.
- WHO (2017): Urban green space interventions and health; a review of impacts and effectiveness. WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark.



# Földrészlet alapú talajnedvesség-változás vizsgálat automatizált OPTRAM modell és terepi mérések alapján

Gubucz Gábor Máttyás<sup>1</sup> – Barta Károly<sup>2</sup> – Kovács Ferenc<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD hallgató, Szegedi Tudományegyetem, Természet- és Környezetföldrajz Tanszék, gubucz.gabor.matyas@stud.u-szeged.hu

<sup>2</sup> Egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem, Természet- és Környezetföldrajz Tanszék, barta@geo.u-szeged.hu

<sup>3</sup> Egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem, Természet- és Környezetföldrajz Tanszék, kovacs@geo.u-szeged.hu

**Absztrakt:** A felszíni talajnedvesség táblán belüli változékonysága fontos információt adhat a növényállomány fejlődéséről és a vízellátottsági különbségekről. Célul tűztük ki, hogy egy mintaparcellán, három reprezentatív Sentinel-2 műholdkép felvételezési időpontban, OPTRAM modell alapján értékelve összehasonlítjuk az eltérő növényfejlődési és vízellátottsági szakaszokat. A modell szerinti NDVI-STR térben meghatározott száraz és nedves élek alapján relatív felszíni talajnedvességi térképeket készítettünk, amelyeket három állandó TEROS10 mérőpont és kiegészítő FieldScout TDR 350 mobil terepi mérések alapján értelmeztünk. Az eredményekben az OPTRAM szerinti talajnedvesség értékek a korrekció nélkül idősoros értelmezésre érzékenyek, ugyanakkor egy-egy időponton belül alkalmasak a relatív szárazabb és nedvesebb táblarészek érték-alapú elkülönítésére.

## Bevezetés

A mezőgazdasági területeken belüli talajnedvesség különbségek térbeli feltárása kiemelt jelentőségű a precíziós növénytermesztésben, mivel a vízellátottság befolyásolja a növény kelését, fejlődését, a stressztünetek kialakulását és a terméskülönbségek térbeli mintázatát. A hagyományos terepi mérés pontos információt ad a mintavételi pontokra, de sűrű térbeli lefedettség mellett idő- és munkaigényes. A műholdas távérzékelés ezzel szemben egy-egy táblára kiterjedő, szisztematikus térbeli, rövid hullámú-infravörös hullámhosszban történő megfigyelést biztosít, ezért alkalmas lehet a vízellátottság térbeli mintázatainak gyors azonosítására. A talajnedvesség becslése ugyanakkor több bizonytalansági tényezővel terhelt, ezért a terepi mérések, a környezeti háttér adatok és a távérzékelés információk együttes használata fontos (BLANKA-VÉGI ET AL. 2025).

Sentinel-2 felvételek szabadon, ingyenesen elérhető, széles körben alkalmazhatók távérzékelésen alapuló mezőgazdasági monitoring vizsgálatokhoz (INTERNET1). A rövidhullámú infravörös tartomány a talaj és a növényzet víztartalmára érzékeny, ezért alkalmas lehet a felszíni nedvességi viszonyok optikai távérzékelésen alapuló becslésére (SADEGHI ET AL. 2015). A különböző műholdas talajnedvességtermékek és becslési eljárások összehasonlítása arra is rámutat, hogy az eltérő térbeli felbontású és módszertani alapú adatkészletek eredményei jelentősen különbözhetnek, ezért lokális terepi ellenőrzés nélkül mezőgazdasági táblaszintű értelmezésük korlátozott

lehet (PATAKI ET AL. 2024). A talajnedvesség optikai becsléséhez az Optical Trapezoid Model (OPTRAM) módszer a rövidhullámú infravörös reflektanciából számított STR mutatót használja, és a normalizált vegetációs index (NDVI) –STR térben értelmezi a pixelek eloszlását.

Az OPTRAM előnye, hogy termális sáv nélkül is alkalmazható, ezért Sentinel-2 és Landsat 8/9 adatokkal is használható felszíni talajnedvesség becslésére (SADEGHI ET AL. 2017; AMBROSONE ET AL. 2020). Ugyanakkor a módszer érzékeny az NDVI–STR térben a száraz és nedves élek meghatározására, a felhő- és árnyékmazsk minőségére, a növényborítás gyors változására, a talajfelszín állapotára és a vizsgált terület heterogenitására. A legújabb OPTRAM-változatok is arra utalnak, hogy a modellparaméterezés és az élek kijelölése meghatározó a kapott nedvességi mintázat szempontjából (SADEGHI ET AL. 2023). A jelenlegi tapasztalatok alapján a módszer idősoros összehasonlítása korrekció nélkül nem minden esetben stabil, különösen dinamikusan fejlődő vegetáció esetén. Jelen tanulmány célja, hogy három kiválasztott időpontban miként jelennek meg a táblán belüli relatív talajnedvesség különbségek eltérő növényfejlődési szakaszokban.

## Anyag és módszer

A vizsgálati terület Röszke közelében található, 6,79 ha nagyságú mezőgazdasági tábla (1. ábra). A táblán őszi búza (*Triticum aestivum*) termesztése folyt a 2026-ban, a vizsgált időszakban. A terület kiválasztását indokolta, hogy a táblán belül domborzati és előzetesen vizsgált talajtulajdonsági különbségek alapján várhatóan eltérő nedvességi zónák jelennek meg.



1. ábra A mintaterület és a feldolgozási terület elhelyezkedése

1. táblázat A kiértékelt Sentinel-2 felvételek és a vizsgálatban betöltött szerepük

Időpont	Fenológiai fázis	NDVI átlag	TEROS10 átlag (VWC%)
2026.03.11.	Bokrosodás	0,376	0,279
2026.04.18.	Intenzív szárbaindulás	0,596	0,244
2026.04.30.	Szárbaindulás vége, kalászosodás kezdete	0,599	0,183

A terepi kontroll talajnedvességi adatokat három, a táblán belül eltérő topográfiai helyzetű mérőponton telepített TEROS10 szenzor folyamatos mérései biztosították. A szenzoros idősorokat alkalmanként, Sentinel-2 felvételezési időpontokkal párhuzamosan FieldScout TDR 350 kézi talajnedvesség mérésekkel egészítettük ki, amelyeket keresztirányú szelvények mentén, a táblán belüli felszíni talajnedvesség térbeli különbségek azonosításának ellenőrzésére végeztünk. Az eredmények értelmezésére talajtani, laboratóriumi eredmények és digitális domborzatmodell is rendelkezésre álltak.

A vizsgálatához három Sentinel-2 felvételt választottunk ki. A kiválasztás fő szempontja a vizsgált tábla felhő- és árnyékmentes állapota, valamint az volt, hogy a felvételek eltérő növényfejlődési szakaszokat képviseljenek és nedvességi állapotokat reprezentáljanak. A 2026.03.11-i időpont a bokrosodás időszakához, a 2026.03.24-i időpont az intenzív fejlődés és szárbaindulás kezdetéhez, a 2026.04.30-i időpont pedig a szárbaszőkés vége és a kalászosodás kezdete körüli, erősebben kiszáradó állapothoz kapcsolódik (1. táblázat).

A Sentinel-2 L2A felszíni reflektancia adatokon kimaszkoltuk a felhős, felhőárnyékos, vízzel borított és egyéb hibás pixeleket. A feldolgozás során egy nagyobb, egybefüggő, mezőgazdasági felszíneket tartalmazó területről számítottuk az OPTRAM modell éleit (lásd. 1. ábrán: Feldolgozási terület), majd az így kapott paraméterekkel a vizsgált táblára generáltuk az eredményeket. A vörös és közeli infravörös sávból NDVI-t, a rövidhullámú infravörös sávból STR-t számítottunk.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

$$STR = \frac{(1 - \rho_{SWIR})^2}{2 \rho_{SWIR}} \quad (2)$$

ahol,

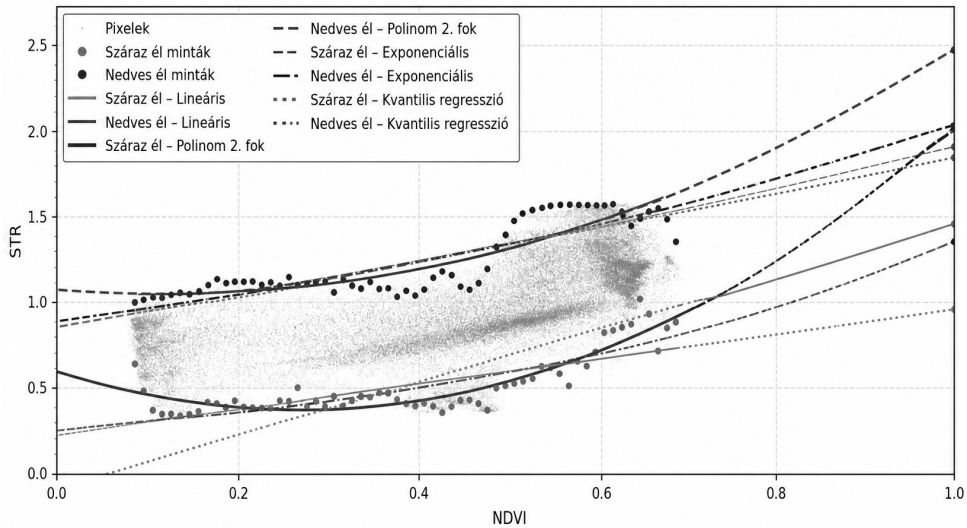
NDVI: a normalizált differenciált vegetációs index,

$\rho_{NIR}$ : a közeli infravörös tartomány reflektancia értéke,

$\rho_{Red}$ : a látható vörös tartomány reflektancia értéke,

STR: a transzformált rövidhullámú infravörös tartomány,

$\rho_{SWIR}$ : a rövidhullámú infravörös tartomány reflektancia értéke.



2. ábra NDVI–STR pontfelhő és a modellben alkalmazott élek; 2026. 04. 30. felvétel

Sentinel-2 esetében a vörös sávként a B4 (665 nm  $\pm$  30 nm), közeli infravörös sávként a B8 (842 nm  $\pm$  115 nm), rövidhullámú infravörös sávként a B12 (2190 nm  $\pm$  180 nm) sávot használtuk. A B4, B8 térbeli felbontása 10 m, míg a B12-nél ez 20 m, így az elemzés előtt a sávokat közös rácsra kellett illeszteni és felskálázni. A végleges feldolgozási felbontást 10 m-en rögzítettük, hogy az időpontok összehasonlíthatók legyenek.

Az OPTRAM számítás alapja az NDVI–STR pontfelhő. Minden kiválasztott időpontra külön pontdiagram készült, amelyben a pixelek eloszlása alapján meghatározható a száraz és nedves él (2. ábra). A száraz él az adott növényborítottsági állapot mellett relatíve alacsonyabb vízellátottságú felszíneket, a nedves perem pedig relatíve magasabb vízellátottságú felszíneket képvisel. A normalizált OPTRAM mutató a pixel helyzetét fejezi ki a két él tartománya között. Jelen tanulmányban a mutatót relatív indexként értelmezzük, tehát az alacsonyabb értékek szárazabb, a magasabb értékek nedvesebb táblarészeket jeleznek az adott időponton belül.

A száraz és nedves peremek meghatározására négy különböző illesztési eljárást alkalmaztunk. A kiindulási lépés minden esetben az volt, hogy az NDVI–STR ponthalmazt az NDVI értékek alapján 0,01 szélességű osztályközökre bontottuk. Ezt követően minden NDVI osztályban meghatároztuk az STR értékek alsó és felső percentilis 5%-ába tartozó pontokat. Az alsó 5%-ba eső pontok a száraz él, a felső 5%-ba eső pontok pedig a nedves él lehetséges támpontjaiként szerepeltek. Ezekre a perempontokra lineáris, másodfokú polinomiális, exponenciális, valamint kvantilis regressziós illesztést végeztünk. Az eltérő illesztési eljárások célja annak vizsgálata volt, hogy a peremvonalak alakja milyen mértékben befolyásolja az OPTRAM alapján számított relatív nedvességi mintázatot. Lineáris élllesztés esetén az OPTRAM-modell az alábbi formában írható fel:

$$W = \frac{i_d + S_d \times NDVI - STR}{i_d - i_w + (S_d - S_w) \times NDVI} \quad (3)$$

ahol,

W: az OPTRAM alapján számított relatív nedvességi mutató, dimenzió nélküli,

$i_d$ : a száraz él tengelymetszete,

$S_d$ : a száraz él meredeksége,

$i_w$ : a nedves él tengelymetszete,

$S_w$ : a nedves él meredeksége.

A nem lineáris módszerek esetében a száraz és nedves élek paramétereit nem a meredekség formájában, hanem az illesztett függvény együtthatóiként határoztuk meg.

## Eredmények

NDVI értékek alapján a három kiválasztott időpont jól elkülöníthető növényfejlődési és nedvességi állapotokat képvisel. A 2026.03.11-i időpontban az átlagos NDVI 0,376 volt, ezért az OPTRAM értelmezésében nagyobb szerepet kaphatott a talajfelszín nedvessége. A 2026.04.18-i időpontban az átlagos NDVI 0,596-ra emelkedett, ami az állomány intenzív fejlődését és az átmeneti vegetációs állapot végét. A 2026.04.30-i időpontban az átlagos NDVI 0,599 volt, miközben a TEROS10 átlag 0,183-ra csökkent, vagyis a fejlettebb állomány mellett már erősebb vízhiányos állapot jelentkezett (2. táblázat).

A terepi mérések alapján a három időpont között egyértelmű kiszáradási tendencia figyelhető meg. A TEROS10 mérések átlaga 0,279-ről 0,224-re, majd 0,183-ra csökkent. Ezzel párhuzamosan a táblán belüli különbség is növekedett: a három mérőpont közötti TEROS10 tartomány 2026.03.11-én 0,084, 2026.04.18-án 0,092, 2026.04.30-án pedig 0,125 volt. A FieldScout TDR 350 mobilmérések szintén jelentős táblán belüli eltéréseket mutattak (3. ábra).

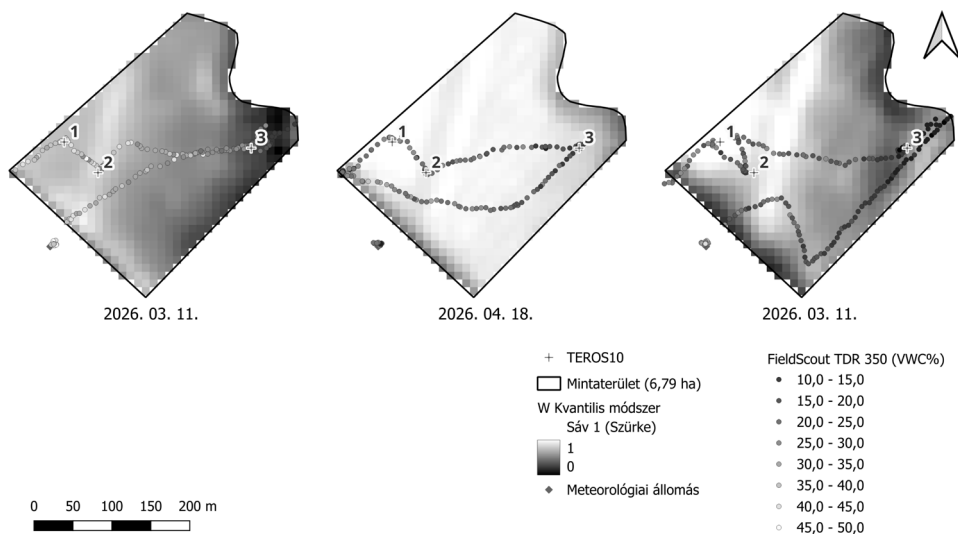
Az összes időpontot és mérőpontot együtt vizsgálva a nyers W értékek és a TEROS10 mérések közötti korreláció gyenge, az egyes élillesztési módszerektől függően  $r = 0,056-0,212$  között alakult. A FieldScout mérések esetében a kapcsolat erősebb, de továbbra is csak közepes:  $r = 0,451-0,625$ . Ezzel szemben, ha az értékeket időpontonként középértékhez viszonyítva, tehát táblán belüli relatív eltérésként értelmezzük, az OPTRAM és a terepi mérések kapcsolata jelentősen javul. Az időponton belül középértékhez igazított W értékek és a TEROS10 mérések közötti korreláció  $r = 0,867-0,901$ , a FieldScout mérések esetében  $r = 0,873-0,907$  között alakult. Ez igazolja, hogy az OPTRAM elsősorban a táblán belüli relatív nedvességi mintázat kimutatására alkalmas, nem az időpontok közötti abszolút talajnedvesség-változás közvetlen követésére.

2. táblázat A táblán belüli az NDVI, STR, TEROS10 és FieldScout TDR 350 mérések eloszlása mérőpontként és időpontonként

Mérőpont	Paraméter	2026.03.11.	2026.04.18.	2026.04.30.
1	exponenciális W	0,758	1,480	1,059
	lineáris W	0,757	1,470	1,066
	polinomiális W	0,848	1,466	1,055
	kvantilis W	0,741	1,102	1,066
	NDVI	0,320	0,572	0,575
	STR	0,880	1,622	1,479
	TEROS10	0,310	0,259	0,230
	FieldScout (VWC%)	21,866	24,642	22,760
2	exponenciális W	0,781	1,402	0,879
	lineáris W	0,782	1,400	0,897
	polinomiális W	0,834	1,406	0,856
	kvantilis W	0,811	1,022	0,849
	NDVI	0,388	0,619	0,607
	STR	0,896	1,624	1,367
	TEROS10	0,300	0,247	0,215
	FieldScout (VWC%)	25,419	24,332	19,521
3	exponenciális W	0,353	1,274	0,670
	lineáris W	0,360	1,269	0,697
	polinomiális W	0,400	1,270	0,637
	kvantilis W	0,274	0,931	0,589
	NDVI	0,420	0,597	0,615
	STR	0,733	1,520	1,217
	TEROS10	0,226	0,167	0,105
	FieldScout (VWC%)	15,181	14,534	12,244

A pontfelhők vizsgálata alapján az OPTRAM geometria minden kiválasztott időpontban értelmezhető, de az egyes időpontok száraz és nedves élei nem esnek teljesen egybe, így a módszer idősoros használata korrekció nélkül bizonytalan lehet. Különösen a fejlődő vagy heterogén borítású időpontokban az élek helyzete érzékenyen reagálhat arra, hogy a tágabb paraméterezési terület pixelei között ténylegesen megjelennek-e a száraz és nedves szélső állapotok. Emiatt a jelen elemzésben az OPTRAM értékeket nem közvetlen, kalibrált talajnedvességként, hanem időponton belüli relatív mutatóként értelmezzük.

Március 11. OPTRAM térképén a relatíve szárazabb foltok elsősorban a tábla északkeleti, magasabb térszínhez és vályogosabb foltokhoz kapcsolódó részén jelentek meg. A relatíve nedvesebb területek inkább a mélyebb vagy középmagas



3. ábra OPTRAM alapú relatív talajnedvességi térképek a vizsgált mezőgazdasági tábla területén három időpontban

fekvésű, kötöttebb talajú táblarészek irányában koncentráálódtak. A TEROS10 mérések szerint ekkor a 3. mérőpont volt a legszárazabb (0,226), és ehhez az OPTRAM változatokban is alacsonyabb W értékek kapcsolódtak, ami támogatja a táblán belüli relatív különbségek értelmezhetőségét.

Április 18-án az állomány fejlettebbé vált és teljes növényzáródás megtörtént. A TEROS10 átlaga 0,244-re csökkent, miközben a 3. mérőpont továbbra is egyértelműen szárazabb maradt (0,186). Az OPTRAM értékek az összes él illesztési változatban szintén a 3. mérőpontnál voltak alacsonyabbak, ezért a táblán belüli nedvességi gradiens ebben az átmeneti fenológiai állapotban is kimutatható volt. Ugyanakkor az OPTRAM értékek időpontok közötti abszolút szintje már nem értelmezhető közvetlen talajnedvesség-változásként, mert a növényborítás növekedése módosította az NDVI–STR kapcsolatot.

Április 30-án az NDVI már csak kismértékben változott a fejlett állományon belül, miközben a TEROS10 mérések a legerősebb kiszáradást jelezték. A három mérőpont TEROS10 értékei rendre 0,230, 0,215 és 0,105 voltak, vagyis a táblán belüli különbség ekkor volt a legnagyobb. Az OPTRAM változatokban a 3. mérőpont továbbra is alacsonyabb W értéket adott, ami a terepi mérésekkel összhangban a szárazabb táblarész fennmaradására utal.

Az OPTRAM különbségek értelmezésénél három korlátozó tényezőt kell kiemelni. Először, az OPTRAM száraz és nedves éleinek meghatározása időpontfüggő, ezért a különböző napokon számított indexek közvetlen összehasonlítása torzulhat. Másodsor, a növényfejlődési állapot megváltoztatja az NDVI–STR tér szerkezetét, így azonos OPTRAM érték eltérő fenológiai helyzetet képviselhet. Harmadszor,

a módszer táblán belüli relatív talajnedvességi különbségeket jól visszaadhatja, de az abszolút talajnedvesség-idősor becsléséhez további korrekcióra, terepi kalibrációra és az élparaméterezés stabilizálására van szükség.

## **Konklúzió**

A vizsgálat alapján az OPTRAM módszer három kiválasztott Sentinel-2 időpont esetében alkalmas a táblán belüli relatív nedvességi különbségek feltárására, különösen akkor, ha az eredményeket az adott növényfejlődési szakasz és a terepi mérési háttér kontextusában értelmezzük. A TEROS10 mérések alapján a 3. mérőpont mindhárom időpontban a szárazabb táblarészt képviselte, amit az OPTRAM változatok is visszaadtak. Ez a tulajdonság hasznos lehet a heterogén vízellátottságú foltok azonosításában, a terepi mintavétel tervezésében és a precíziós gazdálkodási döntések előkészítésében.

A módszer idősoros alkalmazása ugyanakkor korrekció nélkül nem problémamentes. Az egyes időpontok közötti eltérések nem kizárólag talajnedvesség-változást jelezhetnek, hanem a növényborítás változását és az állományfejlődést. Ezért a jelen megközelítésben az OPTRAM eredmények elsősorban időponton belüli relatív összehasonlításra használhatók.

Kutatási célunk az idősoros OPTRAM eredmények korrekciós lehetőségeinek vizsgálata. Ennek része az egységes vagy fenológiai szakaszonként kalibrált élparaméterezés, a terepi talajnedvesség-mérésekkel történő ellenőrzés, a talajtani és domborzati változók bevonása. A bemutatott három időpontos elemzés ezért előkészítő lépésként értelmezhető egy stabil idősoros OPTRAM módszertan felé.

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a Szegedi Tudományegyetem Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program (EKÖP) keretein belül valósult meg a Kulturális és Innovációs Minisztérium által a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap finanszírozásában.

## **Felhasznált irodalom**

- AMBROSONE M. – MATESE A. – DI GENNARO S. F. – GIOLI B. – TUDOROIU M. – GENESIO L. – MIGLIETTA F. – BARONTI S. – MAIENZA A. – UNGARO F. (2020): Retrieving Soil Moisture in Rainfed and Irrigated Fields Using Sentinel-2 Observations and a Modified OPTRAM Approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 89, 102113.
- BABAEIAN E. – SADEGHI M. – FRANZ T. E. – JONES S. B. – TULLER M. (2018): Mapping Soil Moisture with the OPTical TRApesoid Model (OPTRAM) Based on Long-Term MODIS Observations. *Remote Sensing of Environment*, 211, pp. 425–440.

- BLANKA-VÉGI V. – TOBAK Z. – SIPOS GY. – BARTA K. – SZABÓ B. – VAN LEEUWEN B. (2025): Estimation of the Spatiotemporal Variability of Surface Soil Moisture Using Machine Learning Methods Integrating Satellite and Ground-based Soil Moisture and Environmental Data. *Water Resources Management*, 39, pp. 2317–2334.
- PATAKI A. – BERTALAN L. – PÁSZTOR L. – NAGY L. A. – ABRIHA D. – SZABÓ SZ. (2024): Globális talajnedvességadatok összehasonlító vizsgálata. In: Abriha-Molnár V. É. (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XV*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 225–230.
- SADEGHI M. – BABAEIAN E. – TULLER M. – JONES S. B. (2017): The Optical Trapezoid Model: A Novel Approach to Remote Sensing of Soil Moisture Applied to Sentinel-2 and Landsat-8 Observations. *Remote Sensing of Environment*, 198, pp. 52–68.
- SADEGHI M. – MOHAMADZADEH N. – LIANG L. – BANDARA U. – CALDAS M. M. – HATCH T. (2023): A New Variant of the Optical Trapezoid Model (OPTRAM) for Remote Sensing of Soil Moisture and Water Bodies. *Science of Remote Sensing*, 8, 100105.
- SADEGHI M. – JONES S. B. – PHILPOT W. D. (2015): A Linear Physically-Based Model for Remote Sensing of Soil Moisture Using Short Wave Infrared Bands. *Remote Sensing of Environment*, 164, pp. 66–76.

### **Internetes források**

- INTERNET1 – Copernicus Browser. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (2026. május. 05.)



# Erdőterületek fafaj alapú képosztályozása PRISMA hiperspektrális műholdfelvétel, valamint Google Satellite Embedding adatok felhasználásával

Kovács Lilla<sup>1</sup> – Négyesi Gábor<sup>2</sup> – Kovács Panni<sup>3</sup> – Abriha Dávid<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD hallgató, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, k.lilla36@outlook.hu

<sup>2</sup> egyetemi docens, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, negyesi.gabor@science.unideb.hu

<sup>3</sup> egyetemi hallgató, Debreceni Egyetem, kovacs.panni@science.unideb.hu

<sup>4</sup> egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, abriha.david@science.unideb.hu

**Abstract:** This study investigates the classification of five common tree species in the forest areas north of Debrecen, Hungary, using PRISMA hyperspectral satellite imagery and Google Satellite Embedding (GSE) data. We compared the performance of Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) machine learning algorithms to evaluate their effectiveness in species differentiation across both datasets. The classification results demonstrated that the GSE dataset significantly outperformed the PRISMA imagery, achieving an overall accuracy of approximately 99% with both algorithms, whereas PRISMA yielded 92.4% and 83.8% accuracies for RF and SVM, respectively. These findings indicate that the multi-temporal information integrated into the GSE data provides a substantial advantage for accurately classifying and mapping different tree species in forest environments.

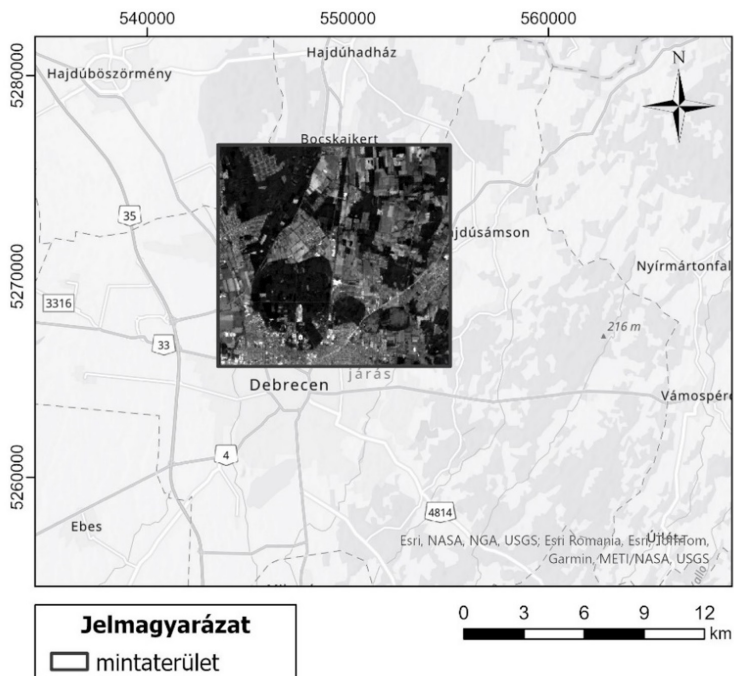
## Bevezetés

A távérzékelt adatok folyamatos bővülése és a technológia gyors fejlődése egyre szélesebb körű lehetőséget teremt azok mindennapi feladatokban történő alkalmazására. Felhasználásuk az erdőgazdálkodásban (YASIN ET AL. 2026), valamint a természetvédelem területén (BARON ET AL. 2018) is jelentős előrelépési lehetőséget nyújt a különböző fás- és lágyszárú növények azonosításában, térbeli elhelyezkedésük feltérképezésében, egészségi állapotuk energia- és időhatékony felmérésében.

Kutatásunk során a PRISMA hiperspektrális műholdfelvételt és a Google Satellite Embedding adatállományt vizsgáltuk a mintaterületen leggyakrabban előforduló fafajok azonosítása céljából. Random Forest és Support Vector Machine osztályozó algoritmusok eredményeit hasonlítottuk össze 5 különböző fafaj elkülönítése esetében.

## Anyag és módszer

A vizsgálathoz kijelölt mintaterület a Debrecentől északra elhelyezkedő erdőségeket foglalja magába (*1. ábra*). Túlnyomó részt ez a Debreceni Nagyerdő Természetvédelmi Területet jelenti. Az általunk kiválasztott, itt leggyakrabban



1. ábra A mintaterület elhelyezkedése

előforduló fafajok, amelyek az osztályozáshoz elégséges, homogén és egybefüggő erdőterületeket alkotnak a következők voltak: akác, kocsányos tölgy, erdeifenyő, vörös tölgy, hazai- és nemes nyár.

Az ellenőrzött osztályba soroláshoz szükséges tanító- és ellenőrző területek az Agrárminisztérium által üzemeltetett Magyarországi Erdészeti Webtérképe felületen közzétett Országos Erdőállomány Adattárból származó adatok alapján lettek kijelölve. Ezt az előzetes kijelölést részletes terepbejárás követte, melynek során applikációba (QField) rögzítettük a terepen észlelt fafajra vonatkozó eltéréseket, továbbá adatot vettünk fel az erdőrészlet faállományának egészségi állapotáról, elegyedés mértékéről, cserjeszint sűrűségéről.

A képosztályozásokat két különböző távérzékelt adatkészleten végeztük el: egy 2021 augusztusában készült PRISMA hiperspektrális műholdfelvételen, valamint a szintén 2021-es Google Satellite Embedding raszteren.

A PRISMA műholdfelvétel 240 db csatornán, 400–2505 nm hullámhossztartományban érzékel, megközelítőleg 12 nm-es spektrális és 30 m-es térbeli felbontással rendelkezik (VANGI ET AL. 2021).

A Google Satellite Embedding (GSE) egy mesterséges intelligencia által generált adathalmaz egyéves idősoros távérzékelt adatokból előállítva (BROWN ET AL. 2025). 64 db mesterségesen előállított sávot (vektort) tartalmaz, 10 m-es térbeli felbontással (1. táblázat). Az összehasonlíthatóság végett ezt szintén 30 m-es felbontásban töltöttük le és így dolgoztunk tovább vele.

1. táblázat Felhasznált távérzékelési adatok

Felvétel	Csatornák száma	Hullámhossz tartomány (nm)	Térbeli felbontás (m)	Felvételezés időpontja
PRISMA	240	400 – 2505	30	2021.08.16
Embedding	64	-	30	2021

Az osztályozást 5 kategória figyelembevételével végeztük el mind a GSE adatsor, mind a PRISMA műholdfelvétel esetében. Python környezetben dolgoztunk, a folyamathoz Random Forest (RF), illetve Support Vector Machine (SVM) osztályozó algoritmusokat használtunk. Az 5 elkülönített osztály az akác, a kocsányos tölgy, az erdeifenyő, a vörös tölgy, és a hazai- és nemes nyár összevont kategóriája voltak.

Az eredmények pontosságának ellenőrzése érdekében hibamátrixot állítottunk elő, amelyből általános pontosságot (Overall Accuracy; OA), előállítói pontosságot (Producer's Accuracy; PA) és felhasználói pontosságot (User's Accuracy; UA), valamint az előállítói- és a felhasználói pontosság harmonikus középértékét, az F1-értéket számítottuk ki (CONGALTON 1991).

## Eredmények

Az osztályozás általános pontossága a PRISMA műholdfelvétel esetében az RF osztályozó algoritmus használatával hozott jobb eredményt (2. táblázat): az OA értéke 92%, míg az SVM esetében a pontosság 84% körül alakult. A GSE adattal történő osztályozás során jobb eredményeket kaptunk: mindkét algoritmus esetében az általános pontosság értéke 99% körül alakult.

Az osztályokra vonatkozó F1-értékeket az osztályozó algoritmusok és a felvételek bontásában összegeztük (3. táblázat). A GSE adaton végzett osztályozás hasonlóan jó eredményeket mutat mindkét algoritmus esetében, kategóriától

2. táblázat Az osztályozások általános pontossága

	PRISMA	Embedding
<b>Random Forest</b>	92,41	98,98
<b>Support Vector Machine</b>	83,83	99,32

3. táblázat Az osztályozások F1-értéke kategóriánkénti bontásában

Osztályok	PRISMA		Embedding	
	RF	SVM	RF	SVM
<b>Kocsányos tölgy</b>	0,92	0,83	0,97	0,99
<b>Hazai nyár - nemes nyár</b>	0,90	0,89	1,00	0,98
<b>Vörös tölgy</b>	0,92	0,77	0,98	0,99
<b>Akác</b>	0,88	0,71	1,00	0,99
<b>Erdeifenyő</b>	0,99	1,00	1,00	1,00

függetlenül. A PRISMA adatok esetében ugyanakkor az osztályok többségében a Random Forest osztályozó nyújtott magasabb pontosságokat.

Az F1-értékeket nézve a fafajok közül az erdeifenyő különül el a legnagyobb mértékben mindkét algoritmus esetében, melynek oka a túlevél lombhullató fajoktól való spektrális eltéréssel magyarázható.

## **Konklúzió**

Összességében megállapíthatjuk, hogy a különböző fafajokból álló erdőterületek képosztályozással való elkülönítésére a Google Satellite Embedding adatállomány alkalmasabbnak bizonyult a PRISMA hiperspektrális műholdfelvételtől.

Mind a kategóriánkénti F1-érték, mind az általános pontosság értékeiből ezt a következtetést vonhattuk le. Mindez arra utal, hogy az egész éves, több forrásból származó információt integráló adatrepresentáció többlet-információt hordoz, amely kedvezően hat az osztályozás pontosságára.

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatást az NKFI ADVANCED 152950 projekt támogatta.

## **Felhasznált irodalom**

- BARON, J. – HILL, D. J. – ELMILIGI, H. (2018): Combining image processing and machine learning to identify invasive plants in high-resolution images. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 5099–5118.
- BROWN, C. F. – KAZMIERSKI, M. R. – PASQUARELLA, V. J. – RUCKLIDGE, W. J. – SAMSIKOVA, M. – ZHANG, C. – SHELHAMER, E. – LAHERA, E. – WILES, O. – ILYUSHCHENKO, S. – GORELICK, N. – ZHANG, L. L. – ALJ, S. – SCHECHTER, E. – ASKAY, S. – GUINAN, O. – MOORE, R. – BOUKOUVALAS, A. – KOHLI, P. (2025): AlphaEarth Foundations: An embedding field model for accurate and efficient global mapping from sparse label data. arXiv preprint arXiv:2507.22291. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.22291>
- CONGALTON, R. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46.
- VANGI, E. – D’AMICO, G. – FRANCINI, S. – GIANNETTI, F. – LASSERRE, B. – MARCHETTI, M. – CHIRICI, G. (2021): The New Hyperspectral Satellite PRISMA: Imagery for Forest Types Discrimination. *Sensors*, 21, 1182.
- YASIN, E. H. E. – KOREŇ, M. – CZIMBER, K. (2026): Machine Learning-Based Mapping of Dominant Tree Species in Dryland Forests Using Multi-Temporal and Multi-Source Data. *Remote Sensing*, 18, 1185.

# Investigation of the phenology of winter triticale using remote sensing data

Zoltán Túri<sup>1</sup> – József Barnabás Tóth<sup>2</sup> – Balázs Gáti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> assistant professor, University of Debrecen, Faculty of Science and Technology, Institute of Earth Sciences, Department of Physical Geography and Geoinformatics, turi.zoltan@science.unideb.hu

<sup>2</sup> assistant professor, University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences, Department of Agricultural Sciences and Environmental Management, toth.jozsef@nye.hu

<sup>3</sup> associate professor, University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences, Department of Transportation Sciences and Information Technology, gati.balazs@nye.hu

**Abstract:** In precision agriculture, remote sensing data with high spatial and temporal resolution play a key role in determining the current biophysical and biochemical status of crops. However, traditional field sampling methods are time-consuming and labour-intensive, and as they generally involve point sampling, they have limited spatial representativeness. The aim of this research is to conduct a comparative analysis of data generated by unmanned aerial systems and satellite remote sensing on an experimental land parcel cultivated with triticale under organic farming practices. We generated NDVI layers from super-high spatial resolution multispectral drone imagery and medium geometric resolution Sentinel-2 satellite imagery for the final two months of the triticale growing season, with a temporal resolution of approximately one week. The results show that the pixels of the vegetation index layers generated from the data of the two remote sensing systems have similar values in the period preceding harvest, whilst significant differences can be observed between them in earlier phenological phases. These differences can be partly attributed to the heterogeneity of site conditions (soil properties), the agricultural practices employed, and the differing remote sensing data acquisition technologies.

## Introduction

When planning and implementing arable farming technology, it is advisable to take into account site-specific field characteristics alongside a systems-based approach. The combined application of computer science, information technology, geoinformatics, remote sensing, global satellite positioning systems and other specialist fields enables the investigation of the heterogeneity of site conditions and landscape-forming factors (e.g. topography, soil) within agricultural fields. Satellite imagery, aerial photographs, spectral index layers, etc., produced from data collected using remote sensing technologies on arable land and the crops grown there, provide important information for farmers and other professionals, supporting precision farming activities.

In precision agriculture, the need arises at the parcel level or even below, for example, for mapping site-specific conditions, analysing the physiological state of crops, detecting damage caused by pathogens, or estimating yields (KOSZTYUNÉ KRAJNYÁK ET AL. 2024). Among remote sensing technologies, unmanned aerial systems (UAS) are capable of producing data with (super) high spatial and temporal

resolution, and, thanks to their low flight altitude, cloud-free data (which is particularly significant in the case of optical sensors). They thus offer cost-effective and rapid solutions for monitoring rapidly changing phenomena in space and time – e.g. the moisture and nutrient content of soil or crops – and for providing a basis for decision-making support for farmers (ATZBERGER 2013; GÁTI 2024).

The use of vegetation indices has become widespread in the study of biomass quantity and the biophysical and biochemical characteristics of plants (e.g. water or heat stress, nutrient deficiency, pest infestation) (ABDURAHMANOV ET AL. 2024). The best known of these is the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), but the Leaf Area Index (LAI) also plays an important role in the analysis of remote sensing imagery of agricultural areas (STELTZER – WELKER 2006). In the relevant literature (XUE – SU 2017; RADOGLU-GRAMMATIKIS ET AL. 2020), numerous other plant indices – e.g. the Enhanced Vegetation Index (EVI), the Green Normalised Difference Vegetation Index (GNDVI) or the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) – are also used in the investigation of the spatial patterns of crop components.

The aim of this study was to conduct a comparative analysis of spectral index layers derived from aerial photographs taken at approximately the same time during different phenological phases of the triticale crop using a near-surface aerial remote sensing system, and from Sentinel-2 satellite imagery covering the study area.

## Materials and methods

The study area is situated in the Lőszös-Nyírség microregion of the Nyírség region, within the administrative boundaries of the settlement of Nyírtelek in Szabolcs-Szatmár-Bereg County (*Figure 1*). In terms of site conditions, it belongs to a plain landscape type on unconsolidated deposits, along river, often in low floodplain position, with chernozem soil (CSORBA ET AL. 2018). The gently undulating surface of the study area, at an altitude of around 110 metres above sea level, is covered by sandy loam soils with a higher humus content, formed on sandy loess parent material. On the 5-hectare arable land experimental parcel, winter triticale has been grown under organic farming practices since the 2022 growing season, and the parcel has been divided into smaller sampling units for the experiments (KOSZTYUNÉ KRAJNYÁK ET AL. 2024).

The multispectral aerial photographs were taken using a DJI Mavic 3M Enterprise drone at a flight altitude of 55–60 metres, with 80% side and 80% front overlap, in the UTM 34N (EPSG:32634) coordinate reference system, with a ground resolution of approximately 2.5 centimetres and a temporal resolution of nearly one week, between May 2025 and early July prior to harvest. To improve spatial accuracy, we used an Emlid Reach RS2+ RTK GNSS receiver, which, when connected to a nearby base station via the Centipede network, provided spatial accuracy of a few centimetres based on real-time corrections for the surveys. The aerial photographs were processed using Pix4Dmapper 4.8.0 and Pix4Dfields 2.6.2 software.



Figure 1. Location of the study area. The environment of the experimental land parcel is marked with a circle on the detailed map.

We downloaded cloud-free Sentinel-2 L2A satellite imagery, covering a study area with a spatial resolution of 10 metres/pixel, from the Copernicus Browser data system, also for the period between May and early July 2025.

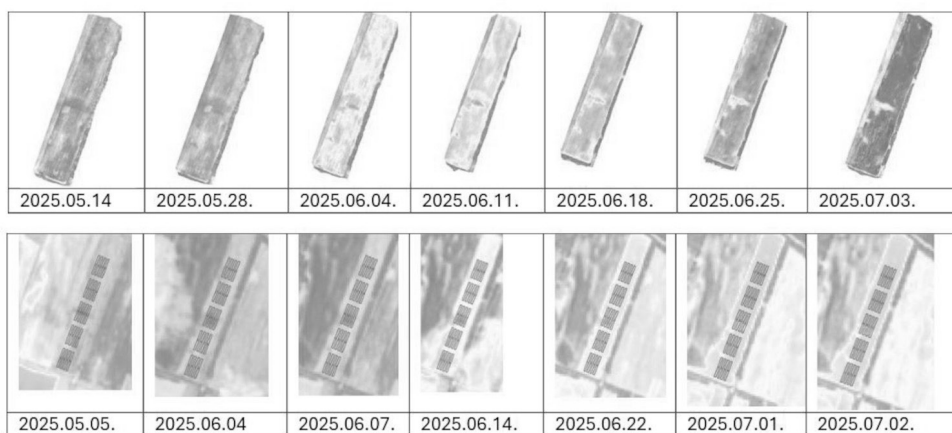
In addition to visible light, sensors that also record in the near-infrared wavelength range of the electromagnetic spectrum allow for the calculation of various spectral indices from remote sensing data; of these, we used the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) in the analysis. This index uses the red (600–720 nm) and near-infrared (720–1300 nm) bands to determine the photosynthetic activity and green biomass of vegetation (ROUSE ET AL. 1973). We performed the extraction of spectral index layers from satellite image, the resampling of NDVI layers derived from aerial photographs to a spatial resolution of 10 metres/pixel, and raster analysis (Raster Calculator) using the QGIS 3.40. (‘Bratislava’) geoinformatics software. In the analyses, we used the pixel values of the NDVI layers derived from Sentinel-2 satellite imagery as a reference and compared them with the pixel values of the spectral index layers created from the aerial photographs surveyed by drone.

## Results

Due to organic farming practices, no tillage strips are observable in the NDVI index layers; however, several zones with differing levels of vegetation activity can be identified on the experimental land parcel (*Figure 2*). These are caused by the varying spatial patterns of triticale plant cover and structure, as well as weed growth, which are related to the agronomic practices applied in the study area (soil preparation and sowing) and the heterogeneity of soil properties (e.g. texture, organic matter and moisture content).

In early May, triticale was in the phenological phase of stem elongation, followed by the booting, which resulted in the intensive growth of the crop's green biomass and, consequently, a rise in NDVI values. In the second half of the month, the crop reached its maximum green biomass during the inflorescence emergence, heading and flowering stages of plant development, which resulted in low maximum NDVI values due to extensive farming practices, unfavourable site conditions and a lack of rainfall. The spectral index layers derived from remote sensing data from early June show a decline in NDVI values (*Figure 2*), which is associated with the yellowing of the crop during the development of fruit and ripening stages, and a decrease in the moisture and chlorophyll content stored in the plant. This process continued until the triticale harvest on 7 July 2025. With the complete drying of the plants, the NDVI values reached their minimum; higher NDVI values were observed only in patches with higher weed cover.

During the comparative analysis, we observed systematic differences between the spectral index layers derived from aerial photographs of the experimental land parcel taken by drone and those derived from Sentinel-2 satellite imagery. In the



*Figure 2. NDVI index layers generated from aerial photographs of the experimental land parcel taken by drone (top row) and from Sentinel-2 satellite imagery (bottom row). In the images in the bottom row, the polygons represent the field sampling units.*

first half of the study period – around the peak of triticale’s vegetative activity – the pixel values of the satellite-based NDVI layers were on average 0.1 lower than those of the spectral index layers derived from aerial photographs. Although these differences diminished in the month prior to harvest, they did not disappear entirely. There are instances where the dates of acquisition for satellite imagery and aerial photographs taken by unmanned aerial vehicles differ (by up to a week). These temporal discrepancies cause uncertainty when comparing spectral index layers due to changes in the growth stages of triticale and environmental conditions.

## **Conclusions**

During the quantitative comparative analysis of NDVI index layers derived from drone aerial photographs and Sentinel-2 satellite images, we observed differences in the NDVI values of the pixels; however, these differences decreased during the phenological phases (ripening and senescence) prior to the triticale harvest in early July. Further analyses are required to determine what causes the greater differences in NDVI values during the earlier growth stages of triticale phenology.

Spectral index layers with a geometric resolution of a few centimetres, generated from photogrammetric point clouds collected by unmanned aerial vehicles/systems, can serve as input data to support the monitoring of the site-specific conditions of a given arable field, the biophysical and biochemical characteristics of the crops grown there (e.g. winter triticale), the planning of precision agricultural production technology phases, and decision support for farmers. When planning and implementing precision agricultural interventions, it is advisable to use satellite imagery with appropriate spatial and temporal resolution for comparative analyses, data validation and supplementary measurements, in addition to near-surface aerial remote sensing technologies that offer rapid and cost-effective solutions.

## **Acknowledgment**

The publication received support from project 2022-1.2.2-TÉT-IPARI-UZ-2022-00023, AL6222052520 "Supporting organic and conventional farming with Geospatial methods," funded by the NKFI (NRDI), Hungary and Innovative Development Agency, Uzbekistan.

## **Felhasznált irodalom**

- ABDURAHMANOV, Z. – ZARIFBOEV, D. – OYMATOV, R. – KOVÁCS, Z. – CSABAI, J. – SHIPING, Y. – KHAKBERDIEV, O. (2024): Leveraging Vegetation Indices and Random Forest for Soil Nutrient Monitoring in Winter Wheat. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 53, 3711–3721. <https://doi.org/10.1007/s12524-025-02198-9>
- ATZBERGER, C. (2013): Advances in remote sensing of agriculture: Context description,

existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing* 5 (2), 949-981. <https://doi.org/10.3390/rs5020949>

- CSORBA, P. – ÁDÁM, S. – BARTOS-ELEKES, Z. – BATA, T. – BEDE-FAZEKA, S. Á. – CZÚCZ, B. – CSIMA, P. – CSÜLLÖG, G. – FODOR, N. – FRISNYÁK, S. – HORVÁTH, G. – ILLÉS, G. – KISS, G. – KOCSIS, K. – KOLLÁNYI, L. – KONKOLY-GYURÓ, É. – LEPESI, N. – LÓCZY, D. – MALATINSZKY, Á. – MEZŐSI, G. – MOLNÁR, Z. – PÁSZTOR, L. – SOMODI, I. – SZEGEDI, S. – SZILASSI, P. – TAMÁS, L. – TIRÁSZI, Á. – VASVÁRI, M. (2018): Landscapes. In Kocsis, K. (ed.): National Atlas of Hungary – Natural environment. Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Geographical Institute. pp. 279–286.
- GÁTI, B. (2024): Comparison of vegetation indices obtained by drone and satellite. *E3S Web of Conferences*, 590, 01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202459001008>
- KOSZTYUNÉ KRAJNÁK, E. – SZABÓ, B. – KOVÁCS, Z. – MAKSZIM GYÖRGYNÉ NAGY, T. – GYÖRGYNÉ KOVÁCS, A. – CSABAI, J. – ABDURAHMANOV, I. – ABDURAKHMONOV, Z. (2024): The effect of fermented poultry manure on the yield and quality parameters of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) cultivated organic way on acidic sandy soil. *E3S Web of Conferences*, 590, 01009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202459001009>
- RADOGLOU-GRAMMATIKIS, P. – SARIGIANNIDIS, P. – LAGKAS, T. – MOSCHOLIOS, I. (2020): A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks* 172, 107148. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>
- ROUSE, J.W. – HAAS, R.H. – SCHELL, J.A. – DEERING, D.W. (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351 I. December 10–14, 1973, Washington, 309–317.
- STELTZER, H. – WELKER, J.M. (2006): Modeling the effect of photosynthetic vegetation properties on the NDVI–LAI relationship. *Ecology* 87 (11), 2765-2772.
- XUE, J. – SU, B. (2017): Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors* 2017, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

# Esri ArcGIS Platform: döntéstámogató térinformatikai megoldások

Vízhányó József

Solution Consultant, GDI, Technology Tools & Platforms, jozsef.vizhanyo@gdihu.hu

Az Esri képképző szoftvercsalád termékei közül az ArcGIS Image Analyst raszteradatok kezelésére és elemzésére; az ArcGIS Reality nagy pontosságú fotogrammetriára és 3D modellezésre; az ArcGIS Living Atlas of the World pedig globális műholdas és légi felvételekhez való azonnali hozzáférésre kínál megoldást. Ezek az eszközök lehetővé teszik a felhasználók számára a műholdas-, légi- és drónfelvételek adatainak feldolgozását, azok komplex térinformatikai elemzését.

Az előadás célja ezen szoftverek bemutatása, az alábbi példákon keresztül:

- Fotogrammetria az ArcGIS Platformon (ArcGIS Reality)
- Mesterséges intelligenciával támogatott elemzések: automatizált eszközök a változásészleléshez, objektumosztályozáshoz és mozgóképek elemzéséhez.
- Vizualizáció: 3D-s vizualizáció műholdas és légi felvételekhez
- Légi és űrfelvételek közvetlen elérése webszolgáltatásokon keresztül



# Evaluating Spectral, Terrain, and Textural Predictors in LULC Mapping Using SHAP and Tree-Based Classifiers

Lewis Mjomba Ndungu<sup>1</sup> – László Zentai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD student, Eötvös Loránd University (ELTE), Budapest, Hungary, Institute of Cartography and Geoinformatics, mjomba@student.elte.hu

<sup>2</sup> Professor emeritus (supervisor), Eötvös Loránd University (ELTE), Budapest, Hungary, Institute of Cartography and Geoinformatics, laszlo.zentai@elte.hu

**Abstract:** This paper assesses the predictive capacity of multi-source predictor variables on a heterogeneous landscape on the slopes of Mount Elgon using three tree-based models, namely, the random forest (RF), gradient tree boosting (GTB), and the Classification and regression trees (CART). A feature hypercube of 82 variables was derived from Landsat 9 OLI/TIRS spectral metrics (SM), spectral indices (SI), and GLCM texture metrics (TM), while terrain and hydro-geomorphological (TH) variables were obtained from SRTM and MERIT Hydro dataset. Measures such as Overall accuracy (OA), Kappa coefficient (K), mean F1-score (mF1), quantity disagreement (QD), and allocation disagreement (AD) were used in assessing classification accuracy, while feature importance was determined using SHapley Additive exPlanations (SHAP). RF achieved the highest accuracy (94.7% OA, 0.92 K, and 0.88 mF1), GTB had the least QD, meaning it's more accurate in estimating class proportions, although CART had the highest QD and AD with the lowest OA and K. SHAP results indicated that SM and SI were the most dominant predictors for class separability across all three classifiers. Collectively, these findings reveal the importance of integrating multiple spectral and terrain-based predictors and validate significance of SHAP in enhancing transparency and interpretability in LULC classification processes.

*Keywords:* Land Use Land Cover (LULC), SHapley Additive exPlanations (SHAP), Feature importance, Google Earth Engine (GEE), Mount Elgon Forest.

## Introduction

The contribution of input variables is important to enhance land use and land cover (LULC) classification models. Feature importance techniques assist in the determination of the most significant predictors and explain model behavior. Techniques such as Gini importance, Permutation importance, and SHapley Additive exPlanations (SHAP) can be used to rank influential variables (CHEN ET AL. 2023; SHANDU ET AL. 2026). For example, SHAP-based analysis demonstrated that features derived from built-up layers and spectral indices (SI) significantly influence classification outcomes, while proximity-based variables may contribute less to classifier performance (SHANDU ET AL. 2026; LUNDBERG ET AL. 2017). Such results demonstrate the increasing importance of feature interpretation in enhancing transparency and reliability of machine learning models in the mapping of LULC.

Topographic and morphological characteristics have been largely accepted to be good predictors in LULC classification since they describe the landscape structure and terrain conditions that modulate land cover patterns. Using the Google Earth

Engine (GEE) platform, several studies have demonstrated that terrain variables like elevation and slope often represent some of the most influential predictors. For example, AL SAIM – ALY (2025) discovered that elevation and slope were some of the most significant variables for RF model while using GEE. Likewise, AL-TAEI ET AL. (2023) observed slope to be the most significant variable among morphological, spectral and textual predictors through a Gini method. These results indicate that variables obtained due to terrain are useful in attaching context information to differentiate between LULC classes, especially in the heterogeneous landscapes.

SI derived from satellite images are also important in improving class separability in LULC analysis. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and Normalized Difference Water Index (NDWI) are vegetation and water indices that are extensively utilized to emphasize ecological and hydrological attributes of land surfaces. GODINHO ET AL. (2016) found the indices like EVI, Carotenoid reflectance index 1 (CRI1), Soil-adjusted total vegetation index (SATVI), and Normalized multi-band drought index (NMDI) to be important variables in differentiating land cover classes. Additionally, AL SAIM – ALY (2025) identified EVI and NDVI as the most influential features using SHAP analysis, Chen et al. (2023) highlighted NDVI and NDWI, while AL-TAEI ET AL. (2023) found MNDWI.

Spectral-based textural features also improve the classification accuracy, with NERY ET AL. (2019) illustrating the wide use of grey-level co-occurrence matrices (GLCM) across multiple machine learning classifiers. However, AKAR – GORMUS (2022) found that Gabor features extraction tool outperformed GLCM and Morphological Attribute Feature (MAP) when combined with RF and discrete wavelet transformation (DWT) for hyperspectral images. These texture-based variables include useful data on spatial structure that is in general useful in complex landscapes where spectral signatures might be used to aid in classification of land cover.

Overall, the latest works describe the need to incorporate multiple feature types, such as morphological variables, spectral bands and indices, and textural features, to better classify LULC. Integration of multi-source feature has shown superior classification accuracy compared to single-source datasets (KAVZOGLU – BILUCAN 2023; ROMANO ET AL. 2025; SHANDU ET AL. 2026). Based on these developments, this paper analyses the SHAP feature importance and accuracy of three tree-based classifiers, including Random Forest (RF), Gradient Tree Boosting (GTB), and CART, and the role of various layers of features in classifications and mapping of LULC areas.

## **Methodology**

### ***Study Area***

The study area covers an extent of 20 km × 20 km (approximately 40,000 ha or 400 km<sup>2</sup>) located along the slopes of Mount Elgon (*Fig. 1*). This transboundary

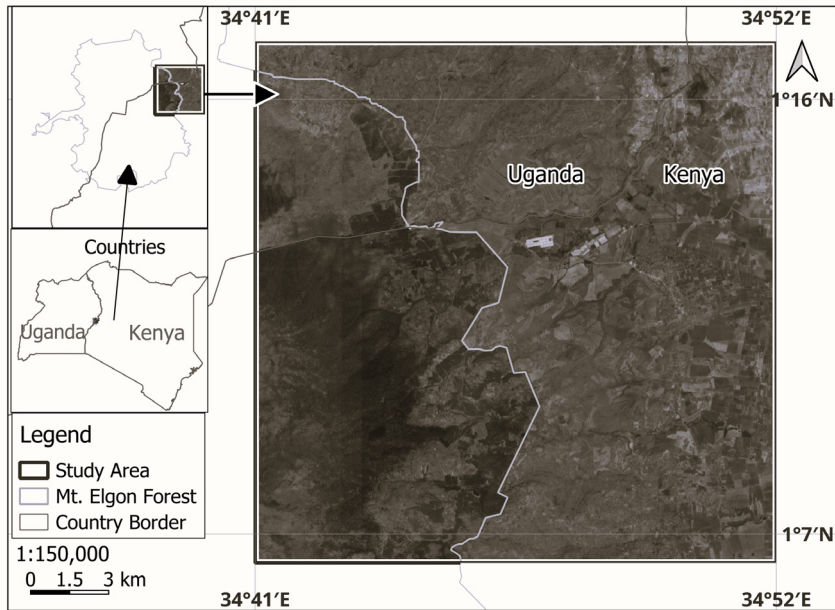


Figure 1. Study area

forest ecosystem is situated in the border of Kenya and Uganda with the area of interest is situated in Suam region. The landscape is very heterogeneous with a sharp contrast between the preserved forestlands with agricultural land, urban settlements, and riparian strip of the Suam River. The elevation is about 1700 m to 3300 m above sea level. The area is geographically close to the equator between 1.06°N–1.16°N latitude and 34.40°E–34.51°E longitude.

### ***Data acquisition and analysis***

The Landsat 9 OLI/TIRS Surface Reflectance Tier 1 dataset for the year 2025 between January 1<sup>st</sup> and December 31<sup>st</sup> was used to produce a cloud-free medium-composite satellite image using GEE in-built functions. An 82-variable feature hypercube composed of 30 spectral metric (SM) bands from Landsat 9, 40 SI calculated from Landsat 9 bands, 6 Texture metric (TM) bands derived from GLCM, and 6 Terrain and hydro-geomorphology (TH) bands from the (from SRTM DEM) and MERIT Hydro dataset, were used to enhance the classification performance of all the five classifiers (*Appendix*). The training dataset was generated using a consensus method between ESA WorldCover and Google Dynamic World products as illustrated in *Table 1*.

A 70-30% training and validation split was applied on RF, GTB, and CART classifiers for accuracy assessments including OA, K, mean F1-Score (mF1), QD, and AD within GEE. SHAP feature importance analysis was employed in Python across the classifiers. Feature importance figures were visualized using python. This methodology is illustrated in *Fig. 2*.

Table 1. Description of LULC classes and the training data samples

LULC Class	Description	Training Samples
Forest (FO)	Area covered by trees (<2 m)	700
Grassland (GR)	Includes grassland and shrublands with trees	100
Cropland (CR)	All agricultural areas	700
Bareland (BA)	Vegetation cover Areas (> 10%)	28
Water (WA)	Areas with water bodies	35
Built-up (BU)	All areas that are built-up	100
<i>Total Samples</i>		<i>1,663</i>

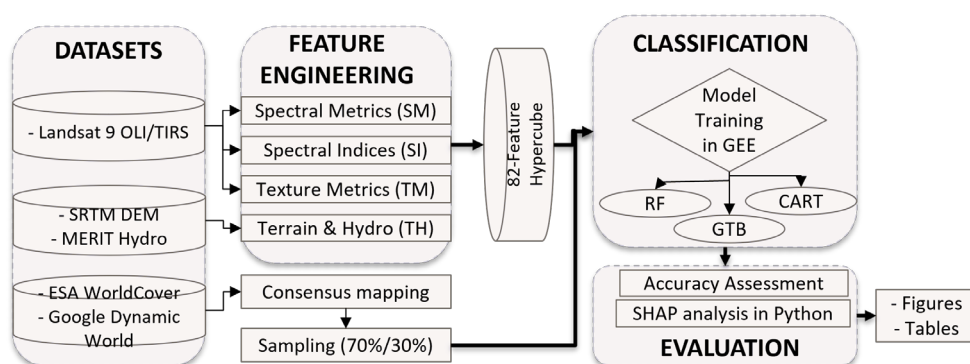


Figure 2. Methodology flow

### Data Availability

The complete set of computational resources is publicly hosted in the project’s GitHub repository (<https://github.com/lewismjomba/Suam-LULC-SHAP-Analysis-2025>) and released under the MIT License.

## Results and discussion

### Classification accuracy

The comparative performance analysis of RF, GTB, and CART is indicated in Table 2. RF’s superior performance is shown by an OA, K, and an mF1 of 94.7%, 0.92, and 0.88 respectively. GTB’s accuracy is very close to RF, whereas CART shows a considerable difference from the two ensemble classifiers. These findings highlight that ensemble methods achieve stronger accuracy compared to single decision trees.

Measures of disagreement give additional information on classification differences. QD shows errors in inaccurate class proportion estimates, while AD reveals spatial misallocation of validation pixels. GTB provided the best total proportions estimate for LULC classes (2.0%, QD). On the contrary, CART achieved

Table 2. Classifiers' Accuracy and Disagreement Metrics

Classifier	OA (%)	K	mF1	QD (%)	AD (%)
RF	94.7	0.92	0.88	2.7	2.7
GTB	94.3	0.91	0.87	2.0	3.7
CART	91.6	0.87	0.79	2.9	5.5

the highest QD (2.9%) and AD (5.5%) indicating that it struggled with quantity mismatch and spatial allocations, respectively. RF showed a balanced performance, with equal QD and AD values, suggesting an equal distribution in quantity and spatial allocation errors.

### SHAP Feature Importance analysis

SHAP provides a ranking of features importance while giving the contributions of each class feature using a game-theoretic approach (KAVZOGLU – BILUCAN 2023; LUNDBERG ET AL. 2017; SHANDU ET AL. 2026). Fig. 3 shows the top 10 features derived from SHAP analysis for RF, GTB, and CART and how they learn from the high dimensional feature stack to differentiate the LULC classes. This shows how they respond to spectral variability and imbalances within the classes.

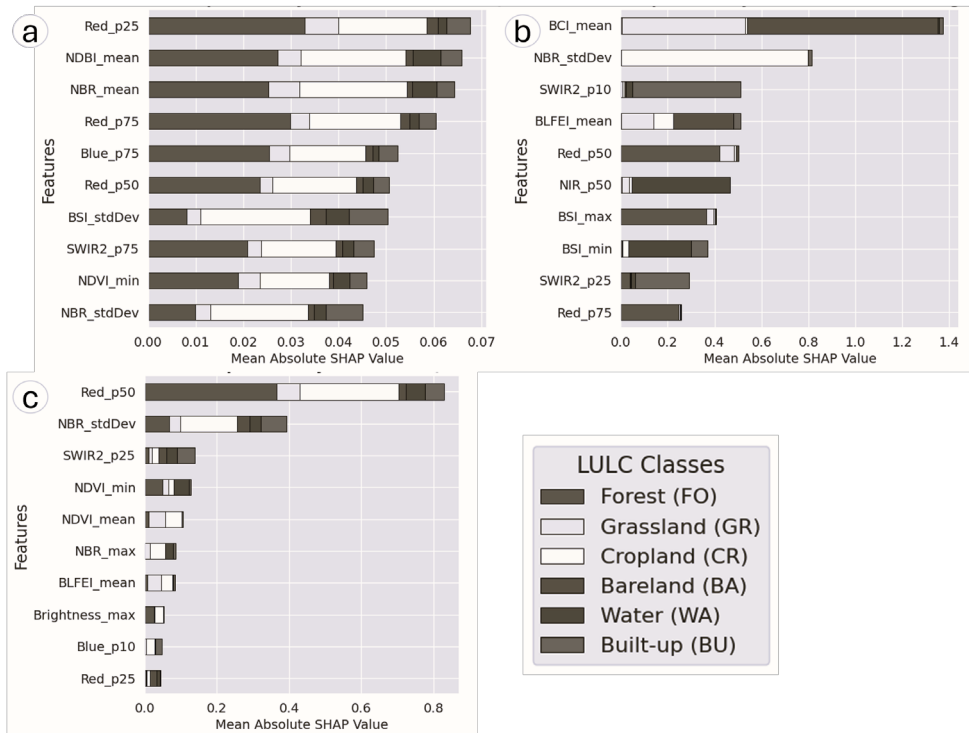


Figure 3. Top 10 features from SHAP analysis for a) RF, b) GTB, and c) CART

Spectral bands and SI were more balanced by RF classifier in comparison to GTB and CART. In comparison, the red band (p25), biophysical composition Index (BCI) mean, and the red band (p50) were the top contributing features for RF, GTB, and CART respectively. RF heavily utilized the red band (p25, p75), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) mean, Normalized Burn Ratio (NBR) mean, and blue band (p75) to differentiate between the LULC classes though more effective on forest and cropland classes. GTB used the BCI\_mean for grassland and bareland identification, while NBR\_stdDev, Short-wave infrared (SWIR), and red band (p50) were used to identify cropland, built-up, and forest respectively. For CART the red band (p50) and NBR\_stdDev were highly utilized in comparison to other band features for identification of the classes reflecting the limitations of single decision tree.

***SHAP importance by feature category***

Varying average SHAP values between classifiers indicate differences in model behavior (Fig. 4a). GTB has the highest total SHAP value of 0.359 indicating its dependence on complex interaction of features. RF also exhibits a moderate dependence on the predictor set (0.051), whereas CART is relatively higher value (0.075) reflecting its reliance on a few dominant features rather than a balanced distribution.

The aggregation of SHAP values represents a definite ranking in the predictive power of various categories of features adopted by the classification model (Fig. 4b). For prediction and identification of LULC classes the three classifiers relied heavily on SI with a global SHAP average of 0.065, followed by SM (0.064), then TH (0.032), whereas TM was not utilized. The close value of SI and SM is an indication that they are key in summarizing biophysical states such as vegetation condition, surface

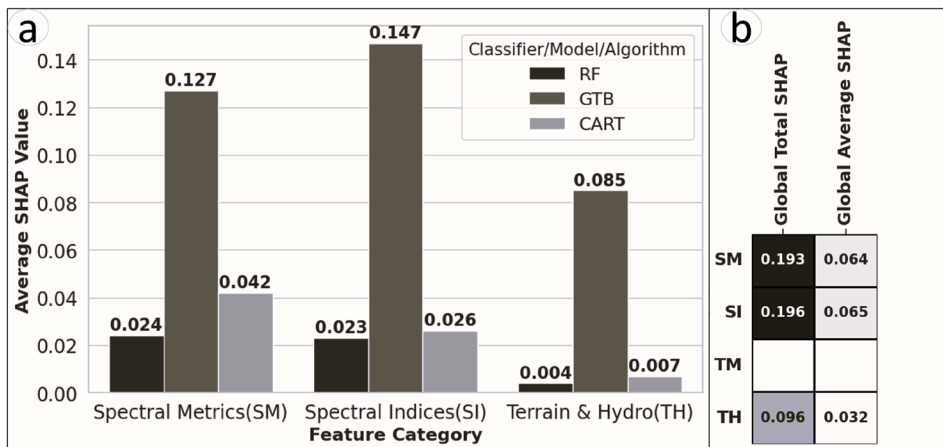


Figure 4. a) Comparison of average SHAP importance by feature category; b) Global SHAP Importance Summary. Abbreviations are Spectral Metrics (SM), Spectral Indices (SI), Texture Metrics (TM), and Terrain and Hydro (TH)

moisture and soil exposure for class separability. On the other hand, TH low average SHAP value suggests its secondary explanatory power through adding topographic and drainage-related landscape controls into the classification. Generally, the SHAP analysis confirms that spectral predictors are central in classification explanatory structure, terrain variables do add auxiliary information, while texture measures do not have a significant impact.

## Conclusions

This study shows that integration of multi-source features improves LULC classification in complex tropical mountainous landscapes. RF and GTB, which are ensemble classifiers, outperformed CART, a single-tree model, by leveraging more interactions in the predictor space, resulting in higher overall accuracy and lower error rates. Moreover, CART showed higher AD and QD errors, suggesting its single tree limitation in handling high-dimensional data.

The SHAP analysis confirms that SM and SI are the most influential features by providing rich biophysical information for distinguishing the LULC classes. Terrain variables provide complementary contextual information, whereas texture metrics were not used in the prediction. These findings highlight the significance of feature character and model interpretation in advancing accurate and credible LULC mapping.

## References

- AKAR O. – GORMUS E. T. (2022): Land use/land cover mapping from airborne hyperspectral images with machine learning algorithms and contextual information. *Geographical Bulletins (Geocarto International)*, 37(14), pp. 3963–3990.
- AL SAIM A. – ALY M. (2025): Enhancing tree species mapping in Arkansas' forests through machine learning and satellite data fusion: A Google Earth Engine-based approach. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 9(1), p. 220.
- AL-TAEI A. I. – ALESHEIKH A. A. – BOLOORANI A. D. (2023): Land Use/Land Cover Change Analysis Using Multi-Temporal Remote Sensing Data: A Case Study of Tigris and Euphrates Rivers Basin. *Land*, 12(5), p. 1101.
- CHEN H. – YANG L. – WU Q. (2023): Enhancing Land Cover Mapping and Monitoring: An Interactive and Explainable Machine Learning Approach Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 15(18), p. 4585.
- GODINHO S. – GUIOMAR N. – GIL A. (2016): Using a stochastic gradient boosting algorithm to analyse the effectiveness of Landsat 8 data for montado land cover mapping: Application in southern Portugal. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 49, pp. 151–162.
- KAVZOGLU T. – BILUCAN F. (2023): Effects of auxiliary and ancillary data on LULC classification in a heterogeneous environment using optimized random forest algorithm. *Earth Science Informatics*, 16(1), pp. 415–435.

LUNDBERG S. M. – ALLEN P. G. – LEE S.-I. (2017): A unified approach to interpreting model predictions. arXiv preprint, arXiv:1705.07874.

NERY T. – SADLER R. – AULESTIA M. S. – WHITE B. – POLYAKOV M. (2019): Discriminating native and plantation forests in a Landsat time-series for land use policy design. *International Journal of Remote Sensing*, 40(11), pp. 4059–4082.

ROMANO G. – RICCI G. F. – GENTILE F. (2025): Effectiveness evaluation of combining SAR and multiple optical data on land cover mapping of a fragmented landscape in a cloud computing platform. *Frontiers in Remote Sensing*, 6, p. 1535418.

SHANDU I. D. – XULU S. – GEBRESLASIE M. (2026): Enhancing land cover classification in the heterogeneous landscape by integrating auxiliary data with Sentinel-2 imagery using the random forest algorithm. *Frontiers in Remote Sensing*, 6, p. 1697897.

*Appendix: Feature Hypercube Composition (82 Bands) for LULC Classification*

<b>Feature Category</b>	<b>Base Variables</b>	<b>Source Dataset</b>	<b>Statistical Transformations</b>	<b>Total Bands</b>
Spectral Metrics (SM)	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2	Landsat 9 OLI/ TIRS	Percentiles: P10, P25, P50, P75, P90	30
Spectral Indices (SI)	NDVI, NDBI, NDWI, MNDWI, NDSI, NBR, BSI, Brightness, BCI, BLFEI	Landsat 9 OLI/ TIRS	Min, Max, Mean, StdDev (4 stats × 10 indices)	40
Texture Metrics (TM)	Near-Infrared (NIR)	Landsat 9 OLI/ TIRS	GLCM (3×3 kernel): Variance, Contrast, Dissimilarity, Entropy, Correlation, inverse difference moment (IDM)/ homogeneity	6
Terrain & Hydro (TH)	Elevation, Slope, Aspect, TPI, HAND, TWI	SRTM DEM / MERIT Hydro	Topographic Derivations	6
<b>TOTAL</b>				<b>82</b>

*Abbreviations: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Normalized Difference Built-up Index (NDBI); Normalized Difference Water Index (NDWI); Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI); Normalized Difference Snow Index (NDSI); Normalized Burn Ratio (NBR); Bare Soil Index (BSI); Biophysical Composition Index (BCI); Bare Land Feature Extraction Index (BLFEI); Short-wave infrared (SWIR); Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM); Height Above Nearest Drainage (HAND); Topographic Position Index (TPI); Topographic Wetness Index (TWI); Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); Digital Elevation Model (DEM); Multi-Error-Removed Improved-Terrain DEM (MERIT).*

# MELLÉKLETEK

## CHCNAV

**PRECIZITÁS.  
INNOVÁCIÓ.  
MEGBÍZHATÓSÁG.**

### RÓLUNK

A CHC Navigation a földmérési és térképezési eszközök egyik leggyorsabban fejlődő gyártója. Európai központunk 2016 óta Budapesten működik. Nagy pontosságú GNSS, LiDAR és drónos megoldásokat kínálunk a földmérés, építőipar, mezőgazdaság és vízügyi felmérések területén. Célunk megbízható, innovatív és költség hatékony technológiák biztosítása, amelyek növelik a terepi munka hatékonyságát és pontosságát.



### MEGOLDÁSAINK

- GNSS
- MOBIL TÉRKÉPEZÉS
- GÉPVEZÉRLÉS
- MEDERFELMÉRÉS



+36 20 393 3149



[www.chcnav.com](http://www.chcnav.com)



1097 Budapest  
Gubacsi út 6  
Office Campus A épület



**HM ZRÍNYI**  
GEOINFORMÁCIÓS ÉS TOBORZÁSTÁMOGATÓ  
KÖZHASZNÚ NONPROFIT KORLÁTOLT FELELŐSÉGŰ TÁRSASÁG



**TECHNOLÓGIA | MINŐSÉG | SZAKÉRTELEM**

A HM Zrínyi Nonprofit Kft. a Honvédelmi Minisztérium irányítása alatt álló társaságként stabil szakmai alapokra épít, valamint elkötelezett az innovatív gondolkodás és a folyamatos fejlődés iránt. NATO-minősítéssel, ISO-tanúsítvánnyal és hazánkban egyedülálló képességekkel állunk megrendelőink rendelkezésére.

#### **GEOINFORMÁCIÓ ÉS LÉGIKÉPESSÉG-FEJLESZTÉSI TEVÉKENYSÉGÜNK**

országosan egyedülálló módon lefedi a teljes védelmi célú térképészeti vertikumot. Az általunk létrehozott térinformatikai adatbázisok és az ezekből előállított térképi állományok közvetlenül támogatják a Magyar Honvédség, valamint a teljes védelmi szektor operatív és stratégiai feladatainak ellátását.

#### **TEVÉKENYSÉGÜNK:**

- légi (repülőgépes és pilóta nélküli légi járműves) adatgyűjtés
- geodéziai és topográfiai munkák
- térinformatikai és kartográfiai feldolgozás

#### **ORSZÁGOS SZINTEN EGYEDÜLÁLLÓ TÁVÉRZÉKELÉSI PLATFORM**

- távérzékelésre kialakított Diamond DA62 MPP típusú repülőgép
- nagyformátumú digitális kamera
- nagyteljesítményű lézerszkennerek

**HMZRINYI.HU | INFO@HMZRINYI.HU**



# SZPONZOROK ÉS KIÁLLÍTÓK

