



GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA

2026 / 1
LXXVIII. ÉVFOLYAM



A Balaton nívófelületének modellje

Új pillér és irányzöhenger a Gellért-hegyen

Ghoutok állapotának ellenőrzése Algériában SVM modell segítségével

A lovasberényi Szűzvár felmérése és modellezése

Márton Gyárfás-émlékplakett 2026. évi adományozása

Rendezvények

Nekrológ

Műszerismertetés





**Minősített elektronikus aláírás
MFTTT tagoknak
29.750 Forint
1 év, korlátlan aláírás**

Miért használjak FlintSign elektronikus aláírást?

A **FlintSign.hu** megoldása lehetővé teszi, hogy földmérőként:

- online, gyorsan igényelj aláírást (akár 15 percen belül),
- megfelelj a törvényi előírásoknak,
- az aláírás rendkívül egyszerű, egy letisztult WEB alapú alkalmazással vagy mobiltelefonnal

elvégezhető,

- csokorba fűzve egyszerre tudsz fényképeket, térképeket, dokumentumokat,

praktikusan

bármilyen file-t aláírni,

- dokumentumaidat biztonságosan tárold, és egyszerűen továbbítsd az ügyfeleknek

vagy

hivataloknak.

Ahhoz, hogy megfelelj az új előírásoknak, **elkerüld az ügyintézési akadályokat**, és

jogszerűen folytathasd a munkádat az E-ING bevezetését követően, **elkerülhetetlenné**

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



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

SZERKESZTŐSÉG/EDITORIAL OFFICE:

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

FŐSZERKESZTŐ/EDITOR-IN-CHIEF:

Dr. Földváry Lóránt

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG/EDITORIAL BOARD:

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

**SZERKESZTŐI TANÁCSADÓ TESTÜLET/
EDITORIAL ADVISORY BOARD:**

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

OLVASÓSZERKESZTŐK/PROOF-READERS:

Ambrus Bence, Hegyesi Dóra

**TECHNIKAI SZERKESZTŐ, TÖRDELŐ/
TECHNICAL-EDITOR:** Pongrácz Dániel

KIADJA/PUBLISHER:

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

**FELELŐS KIADÓ/RESPONSIBLE FOR
PUBLISHING:** Dobai Tibor

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

SOKSZOROSÍTTJA/PRINTING:

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

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



Tartalom

<i>GILÁNYI Gibárt, MOLNÁR Gábor Péter : A Balaton nívófelületének modellje - Eötvös Loránd mérései alapján</i>	» 4
<i>BUSICS György, ÉGETŐ Csaba, RÓZSA Szabolcs, TÓTH Zoltán: Új pillér és irányzöhenger a Gellért-hegyen</i>	» 17
<i>Nabil MEGA, Akram Mohamed SEDDIKI, Abdelmonem MILOUDI, Nadjet ZAIR: Monitoring the Health Status of Ghouts in El Oued Region (Southeast Algeria) Using Support Vector Machine Models</i>	» 24
<i>TARSOLY Péter, NAGY Petra, KOVÁCS Ágnes: A lovasberényi Szűzvár felmérése és modellezése</i>	» 36
<hr/>	
Márton Gyárfás-emlékplakett 2026. évi adományozása	» 45
Rendezvények	» 45
Műszerismertetés	» 52
Nekrológ	» 55

Contents

<i>Model of the niveau surface of Lake Balaton based on measurements of Loránd Eötvös (Gibárt GILÁNYI, Gábor Péter MOLNÁR)</i>	» 4
<i>New pillar and geodetic beacon on the Gellért Hill (György BUSICS, Csaba ÉGETŐ, Szabolcs RÓZSA, Zoltán TÓTH)</i>	» 17
<i>Monitoring the Health Status of Ghouts in El Oued Region (Southeast Algeria) Using Support Vector Machine Models (Nabil MEGA, Akram Mohamed SEDDIKI, Abdelmonem MILOUDI, Nadjet ZAIR)</i>	» 24
<i>Mapping and modelling Szűzvár in Lovasberény (Péter TARSOLY, Petra NAGY, Ágnes KOVÁCS)</i>	» 36
<hr/>	
Awarding of the Márton Gyárfás Memorial Plaque in 2026	» 45
Events	» 45
Instrument review	» 52
Obituary	» 55

Címlapon: A Citadella keleti udvara. Előtérben a főalappont, a burkolatban a Gellért-hegyi meridián jelölésével, háttérben az új pillér és henger, valamint a Szabadság-szobor.

On the Cover Page: The eastern courtyard of the Citadel. In the foreground is the main base point, in the pavement marked with the Gellért Hill meridian, in the background the new pillar and cylinder mark, as well as the Liberty Statue.

A Balaton nívófelületének modellje – Eötvös Loránd mérései alapján

GILÁNYI Gibárt¹, MOLNÁR Gábor Péter²

¹Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola

²Óbudai Egyetem, Alba Regia Kar, Geoinformatikai Intézet

E-mail: gilanyi.gibart@stud.uni-obuda.hu

[DOI: 10.30921/GK.78.2026.1.1](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.1.1)

Absztrakt

Eötvös a torziósingával végzett méréseket bemutató publikációban a nehézségi potenciált másodfokú Taylor-sorfejtéssel modellezi, és bemutatja, hogy a nehézségi potenciál második deriváltjai (pontosabban azok bizonyos kombinációi) közvetlenül mérhetők a műszerével. A szerzők továbbfejlesztették Eötvös nehézségi potenciálmodelljét magasabb fokú tagok bevonásával a Taylor-sorba, felhasználva a nehézségi potenciál magasabb rendű deriváltjait (együtthatóit) és a topocentrikus derékszögű koordináták magasabb hatványait. Ezen eljárás alkalmazása lehetővé tette a nehézségi potenciálmodell kiterjesztését egy mezoskálájú területre, ezáltal nagyobb számú torziósingamérés bevonását a modellezésbe. Annak érdekében, hogy a nehézségi potenciál kielégítse a Laplace-Poisson-egyenletet, kényszerfeltételeket kell alkalmazni a modell paramétereire. A továbbfejlesztett potenciálmodell paramétereinek (együtthatóinak) becslése az Eötvös és munkatársai által 1901 telén, a Balaton jegén végzett torziósingamérések felhasználásával történt. A modell együtthatóit a (torziós ingával) mért és a számított nehézségi potenciál második deriváltjai közötti különbségek négyzetösszegének minimalizálásával becsültük.

Az eredményül kapott nehézségi erőteret – Eötvös munkáihoz hasonlóan – kétféle térképen mutatjuk be. Az egyik térképtípus szintvonalakkal jeleníti meg a helyi geoidundulációt, amelyen a szintfelület görbületének jellemzésére az Eötvös által definiált, mért és számított „horizontális irányítóképesség” értékeit is feltüntettük. A második típus az izogammatérkép, amely a szintfelületen érvényesülő nehézségi gyorsulást mutatja. A levezetett modell jellemzi a nehézségi potenciált a mérésekkel lefedett területen, az azon kívüli területeken azonban váratlan viselkedést mutat és hamis anomáliákat generál. A területre vonatkozó korábbi geoidmodellek is tartalmaztak torziósinga-adatokat; ezzel szemben eredményeink egy szűkebb területre vonatkozó, részletesebb nehézségi potenciálmodellt szolgáltatnak.

Abstract

In the publication presenting measurements with the torsion balance, Eötvös models the gravity potential using a second-degree Taylor series expansion and demonstrates that the second derivatives of the gravity potential (or specifically certain combinations of them) are directly measurable with his instrument. The authors improved Eötvös' gravity potential model by incorporating higher-degree terms into the Taylor series expansion, utilizing higher-order derivatives (coefficients) and higher powers of topocentric Cartesian coordinates. This application allowed the extension of the gravity potential model to a mesoscale area, encompassing a larger number of torsion balance measurements. To ensure the gravity potential satisfies the Laplace-Poisson equation, constraints must be applied to the model parameters. The estimation of the parameters (coefficients) for the improved potential model was conducted using torsion balance measurements by Eötvös and his colleagues on the ice of Lake Balaton in the winter of 1901. The coefficients were determined by minimizing the sum of squares of the differences between the measured (by torsion balance) and calculated second derivatives of gravity potential.

The resulting gravity potential field is presented on two types of map, similarly to Eötvös' work. One map type displays local geoid undulation with contour lines, also indicating the values of the measured and calculated Horizontal Directing Tendency, defined by Eötvös to characterize the curvature of the level surface. The second type is the isogamma map, which shows the gravity acceleration on the level surface. The derived model characterizes the gravity potential for the region where measurements were taken, yet it behaves unexpectedly and generates artifacts (false anomalies) beyond this area. Earlier geoid models for this region included torsion balance data; in contrast, our results provide a more detailed gravity potential model over a more confined area.

1. Bevezetés

1.1. A globális gravitációs elméletek fejlődése

Az újkorban a Föld alakjának egyre pontosabb megismerését a természeti jelenségeket leíró elmélet (a fizika és matematika) valamint a gyakorlatban rendelkezésre álló mérési technikák kölcsönös egymásra hatása és fejlődése tette lehetővé.

Newton (1687) gravitációs erőtörvényéből kiindulva Laplace (1825) igazolta, hogy a newtoni gravitációs gyorsulás (ami a tér minden pontjában egy vektor) egy skalárfüggvény – nevezetesen a potenciál – gradienseként állítható elő. Későbbi eredményei a nevét viselő Laplace-egyenlet megfogalmazásához vezettek, amely kimondja, hogy tömegmentes térrészben a potenciálfüggvény második parciális deriváltjainak összege zérus.

A földi ellipszoid méretének meghatározására szolgáló, a különböző kontinenseken végzett csillagászati mérések és háromszögelések eltérő ellipszoidparamétereket eredményeztek, és ezen ellentmondások tisztázásának igénye vezetett a geoid fogalmának bevezetéséhez (Listing, 1872). A geoid kapcsolja össze a geodéziát és a geofizikát: a geoid egy olyan felület, ahol a nehézségi potenciál értéke állandó. A geoidnak az ellipszoidtól való függőleges eltéréseinek helyről helyre történő meghatározása vált a geodézia legfőbb kihívásává a 19. század második fele óta.

A geoid fizikai módszerekkel történő meghatározásának alapját Stokes (1849) vezette le, a módszer a felszíni nehézségi gyorsulásoknak egy magfüggvény (ún. kernel-függvény) szerinti integrálását igényli a teljes Földfelszínre kiterjedően egyetlen kijelölt pont geoidundulációjának levezetéséhez. A felszíni nehézségi gyorsulás mérések ritka és egyenetlen térbeli eloszlása miatt a gyakorlati alkalmazás azonban sokáig kivitelezhetetlennek tűnt. A XX. század első felében Vening Meinesz (1925) innovációja, a tengeralattjárókon alkalmazott kettős inga lehetővé tette a tengereken történő gyorsulásmérést, a rugós graviméterek elterjedése felgyorsította a szárazföldi adatgyűjtést (LaCoste & Romberg, 1941). Ezen adatok felhasználásával, a Stokes-integrál konvolúcióval történő numerikus közelítése révén születtek meg az első regionális geoidtérképek Zhongolovich (1952) és Heiskanen (1957) munkája nyomán.

A geoidunduláció geodéziái mérésekkel történő meghatározásához Helmert (1910) alternatív megközelítést javasolt: a függővonal-elhajlások egy menetvonal menti integrálását, vagyis a csillagászati szintezést. Bár ez a klasszikus geodéziái eljárásokon (háromszögelésen és csillagászati helymeghatározáson) alapuló módszer rendkívül munkaigényesnek ígérkezett, pontosabb eredményekkel kecsegtetett.

1906-ban, Eötvös torziós ingával elért eredményeinek megismerése után Helmert felismerte, hogy az ingamérések

felhasználhatók a potenciálfelület görbületeinek meghatározására, amelyek közvetlen kapcsolatban állnak a geoidundulációval (Helmert, 1910). Az egyre növekvő számú ingamérés ellenére sem valósulhatott meg ez az elképzelés (Haalck, 1950), mivel még a 20. század közepén is hiányzott a megfelelő matematikai modell és a szükséges számítási kapacitás.

A geoid matematikai modellje a Laplace-egyenlet gömbi koordinátákban történő megoldásából származó gömbfüggvény-sorfejtés, amely növekvő fokú és rendű együtthatók és magfüggvények szorzatainak összegéből áll. A modell alkalmazására Jeffreys (1929) átfogó tanulmánya mutatott példát, ahol az alacsony fokszámú együtthatókat felszíni mérésekből becsülték. A modellben rejlő lehetőségek akkor teljesebben ki, amikor Buchar (1958) úttörő módon műholdpálya-megfigyelésekből vezette le a gömbfüggvény-együtthatókat. A műholdas pályamegfigyelések váltak az együtthatók meghatározásának elsődleges forrásává, majd a műholdas és földi gravitációs adatok Cook (1958) általi egyesítése teremtette meg a geoidmodellek pontosításának standard módszertanát, elérve a 360-as fokszámot (pl. EGM96 (Lemoine et al., 1998)). A mérés technika fejlődése, különösen a GOCE műhold gravitációs gradiométerek alkalmazása Jaggi és társai (2010) révén az EGM2008 modellben (Pavlis et al., 2012) a sorfejtés már a 2160-as fokszámig terjed. Bár az együtthatók száma a technika jelenlegi csúcspontját jelenti, regionális alkalmazásokhoz – például a terepi geodéziában és a GNSS mérésekben szükséges geoidmagasságok meghatározásához – még ez a pontosság sem mindig elegendő.

1.2. Magyarországi geoidmodellek

Mivel még a 2160-as fokszámú globális geoidmodellek sem biztosítják a terepi geodézia számára szükséges térbeli felbontást – nevezetesen a GNSS-alapú ellipszoidi magasságok szintezett magassággá történő átszámítását –, regionális geoidmodellek és geoidundulációs adatbázisok fejlesztésére volt szükség. Ezek a modellek univerzális módszertanok helyi földi adatokra történő adaptálásával jöttek létre, döntően regionális, vagy nemzeti igényeket kielégítve.

A regionális geoidmodellek szerkesztési módszertanának fejlődése jól követhető az adott felmérési területen alkalmazott modellek történeti alakulásán keresztül. Magyarország korai regionális geoidmodelljét Kenyeres (1993) dolgozta ki, szintezési és GPS mérési adatokat kombinálva a nagyfrekvenciás tagok számítására. A magyarországi kvázigeoid-modellt gravitációs adatok, GPS/szintezés és függővonal-elhajlások integrálásával, a legkisebb négyzetek kollokációs (LSC) módszerének alkalmazásával állították elő (Tóth & Szűcs, 2011) (Moritz, 1980).

A Magyarországon rendelkezésre álló nagy mennyiségű torziósinga-mérés számos kutatót ösztönzött arra, hogy a meglévő módszertanokat ezen adatokra is alkalmazzák (Szafián et al., 2006). A regionális nehézségi potenciálfüggvényt Dobróka (2008) geofizikai inverziós technikák segítségével rekonstruálta, míg Völgyesi (2012) (2015) a nehézségi erő függőleges

gradiensét határozta meg egy kijelölt teszterületen a torziósingamérések sorfejtéses modelljével. A kollokációs módszer és egyéb analitikus technikák torziósinga-adatokra történő alkalmazása vezetett a HGTUB2007 magyarországi geoidmodell megalkotásához (Tóth, 2009).

A gömbfüggvény-reprezentáció egyszerűsítésén alapuló alternatív módszereket – mint a Schmidt-féle gömbi bázisfüggvényeket alkalmazó modell (Schmidt et al., 2007) vagy a Bölling és Grafarend (2005) által továbbfejlesztett ellipszoidi spektrális modell – Tóth (2003) alkalmazta torziósinga-adatokra egy peremérték-feladatra fókuszáló megközelítésben. Továbbá a felfelé/lefelé folytatás módszere tette lehetővé a GOCE műhold gravitációs gradiens méréseinek integrálását a regionális geoidmodellekbe (Tóth et al., 2006).

1.3. Kutatási terület: a Balaton

A Balaton összehangolt tudományos vizsgálatát a Magyar Földrajzi Társaság Balaton Bizottsága kezdeményezte 1891-ben. A kutatók részletesen feltárták a tó és környezetének földtani, fizikai, kémiai és biológiai jellemzőit. Eredményeiket a Lóczy Lajos (1911) által szerkesztett „A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei” című monográfiában foglalták össze magyar és német nyelven.

A tudományos program kezdetén, 1901 telén Eötvös Loránd torziósinga-méréseket végzett a tó jegén (Eötvös, 1908). A jégpáncél biztosította, hogy a mérések egy egységes nivófelületen történjenek. A partoktól távol eső pontokon a topográfiai hatások elhanyagolhatóak voltak, így az észlelt anomáliák kizárólag a felszín alatti sűrűségváltozásoknak voltak tulajdoníthatók.

1941-ben, egy szénhidrogén-kutatási program keretében végzett kiterjedt geofizikai kampány során újabb torziósinga-mérésekre került sor (Raul, 1941), amelyek megerősítették Eötvös feltételezését a Balaton alatt húzódó, északkelet–délnyugati irányú eltemetett hátságáról.

A Balaton légi lézerszkennelése (LiDAR) során végzett kutatás bizonyította, hogy a tó vízfelszíne a helyi geoid egy szegmensének tekinthető. A szkennelési adatok pontos feldolgozásához elengedhetetlen volt az ETRS89 vonatkoztatási rendszerhez viszonyított geoidunduláció figyelembevétele (Zlinszky et al., 2014) az az így kapott geoidszegmens jó egyezést mutatott a HGTUB2007 regionális geoidmodellel (Tóth, 2009).

2. Módszerek

2.1. A Laplace–Poisson-egyenlet Descartes-féle koordinátákkal

A Laplace-egyenlet egy olyan parciális differenciálegyenlet, amely számos fizikai jelenséget modellez; többek között a nehézségi potenciált leíró egyenletként szolgál.

Laplace megvizsgálta a newtoni tömegvonzás törvényét, a $\mathbf{g} \sim -1/r^2$ formában leírt erőtvényt. Ez kimondja, hogy a koordináta-rendszer origójába elhelyezett tömeg által keltett gravitációs gyorsulás a tér egy adott pontjában úgy írható le, mint egy olyan vektor, aminek iránya az adott pontból a koordináta-rendszer origója fele mutat, és nagysága arányos a pontnak az origótól mért távolsága négyzetének a reciprokával.

Laplace ezt a térerősségvektort vizsgálva észrevette, hogy a térerősségvektor a tér bármelyik pontjában előállítható úgy, mint egy skalárfüggvénynek a térkoordináták szerinti parciális deriváltjaiból képzett vektor. Ezt a skalárfüggvényt potenciálnak nevezzük, amelyet a gravitációs potenciál esetén V -vel jelöljük. (Ádám et al., 2013)

Egy másik észrevételt is tett: ennek a skalárfüggvénynek a Descartes féle térkoordináták szerinti második deriváltjainak összege nulla minden olyan pontban, ahol nem találhatóak tömegek. Ennek az utóbbi összefüggésnek a kifejezése a Laplace differenciálegyenlet:

$$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right) = 0 \quad (1)$$

Ezt a megállapítást később Poisson egészítette ki azzal, hogy ahol tömegek vannak jelen, ott az egyenlet jobb oldalán egy, az anyag sűrűségét (ρ) tartalmazó tag jelenne meg. A Földön a nehézségi erő a newtoni gravitációs erő és a Föld forgása által okozott centrifugális erő összege. A Föld felszínén (a levegőben, a tömegeken kívül) a W -vel jelölt nehézségi potenciálra (Ádám et al., 2013) vonatkozó Poisson-egyenlet a következő:

$$\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2}\right) = 2\omega^2, \quad (2)$$

ahol ω a Föld forgási szögsebessége.

2.2. A nehézségi potenciál Taylor-sorfejtése

Ahhoz, hogy a nehézségi potenciált egy felszíni pontban, Descartes-féle koordinátákban Taylor-sorba fejtsük, rögzítenünk kell egy helyi topocentrikus koordináta-rendszert. Ebben a rendszerben az x tengely kelet felé, az y tengely csillagászati észak felé, a z tengely pedig felfelé (a helyi függőleges irányába) mutat, a koordináta-rendszer origója pedig a referenciapontunkban helyezkedik el. A 3. egyenlet mutatja be a nehézségi erőtér potenciáljának Taylor-sorfejtéses alakját.

A 3. egyenletben a potenciál parciális deriváltjai a referenciapontbeli értékek. A Taylor-sorfejtés nullad fokú tagja, U_0 , a koordináta-rendszer origójában érvényes potenciálérték. Az elsőfokú tagokat a negatív nehézségi gyorsulásvektor komponensei ($-\mathbf{g}$) és a helyvektor ($\mathbf{r} = [x, y, z]$) komponenseinek szorzata alkotja. A másodfokú tagok – amint azt később látni fogjuk – az Eötvös-tenzor elemei megszorozva a helyvektor koordinátáinak második hatványaival.

$$\begin{aligned}
 W(x, y, z) = & W_0 + \\
 & + \left(\frac{\partial W}{\partial x} \cdot x + \frac{\partial W}{\partial y} \cdot y + \frac{\partial W}{\partial z} \cdot z \right) + \\
 & + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \cdot x^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \cdot y^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \cdot z^2 + 2 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \cdot xy + 2 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} \cdot xz + 2 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} \cdot yz \right) + \\
 & + \frac{1}{6} \left(\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \cdot x^3 + \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} \cdot y^3 + \frac{\partial^3 W}{\partial z^3} \cdot z^3 + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} \cdot x^2 y + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} \cdot x^2 z + \right. \\
 & \left. + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial x} \cdot y^2 x + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} \cdot y^2 z + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial x} \cdot z^2 x + 3 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial y} \cdot z^2 y + 6 \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial z} \cdot xyz \right) + O(4, \dots, \infty) \quad (3)
 \end{aligned}$$

A harmad- és magasabb fokú tagoknak nincs külön elnevezésük. Amint látható, a tagok száma a fokszám emelkedésével növekszik (lásd az 1. táblázatot). Az $O(4, \dots, \infty)$ tag a Taylor-sor magasabb fokú tagjait jelöli.

2.3. A Laplace–Poisson-egyenlet kielégítése

Ennek a Taylor-sorfejtésnek azonban van egy sajátos hátránya a széles körben alkalmazott gömbharmonikus sorfejtéshez képest: a sorfejtés tagjai alapesetben nem elégítik ki a Laplace–Poisson-egyenletet. A gravitációs potenciál gömbharmonikus sorfejtésének felírása során nem lép fel ez a probléma, mert az a Laplace-egyenlet gömbkoordinátákban történő megoldásán alapul, és a gömbharmonikus sorfejtés bázisfüggvényei már magukban kielégítik a Laplace-egyenletet.

Annak vizsgálatára, hogy milyen feltételeknek kell teljesülniük ahhoz, hogy a Taylor-sorfejtés a Laplace–Poisson-egyenlet megoldása legyen, helyettesítsük be a Taylor-sor tagjait a Laplace-egyenletbe!

Alkalmazzuk a Laplace-operátort, vagyis a koordináták szerinti kétszeres deriválást a Taylor-sor minden fokára! A nulladfokú tagok második deriváltjai zérus értékűek, mivel ezen tagok nem tartalmazzák a helykoordinátákat. Hasonlóképpen, a Laplace-operátort az elsőfokú tagokra alkalmazva az eredmény szintén nulla. A Laplace-operátort a másodfokú tagokra alkalmazva azt találjuk, hogy mivel a deriváltak a helykoordináták második hatványával vannak szorozva, két deriválás után a helykoordináták kiesnek az egyenletből, ami összevetve a Laplace-Poisson (2.) egyenlettel – látható, hogy pontosan $2\omega^2$.

A Laplace-operátort a harmadfokú tagokra alkalmazva a következőt kapjuk:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} x + \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} y + \frac{\partial^3 W}{\partial z^3} z + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} y + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} z + \\
 & + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial x} x + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} z + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial x} x + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial y} y \quad (4)
 \end{aligned}$$

A tagokat a helyvektor koordinátái szerint csoportosítva:

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial x} + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial x} \right) x + \left(\frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial y} \right) y + \\
 & + \left(\frac{\partial^3 W}{\partial z^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} \right) z \quad (5)
 \end{aligned}$$

Mivel a Laplace-Poisson (2) egyenlet jobb oldala a másodfokú taggal már teljesült, a harmadfokú (és minden további magasabb fokú) tagokra alkalmazott Laplace-operátor eredményének nullának kell lennie. Ez csak akkor teljesül, ha a 5. egyenlet eredménye az origó környezetében helyfüggetlenül nulla, azaz a helykoordinátákkal szorzott együtthatók értéke nulla. Ez három kényszerfeltételt vezet be:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial x} + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial x} = 0 \\
 & \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 W}{\partial z^2 \partial y} = 0 \quad (6) \\
 & \frac{\partial^3 W}{\partial z^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^2 \partial z} = 0
 \end{aligned}$$

Hasonlóképpen, a negyedfokú tagok esetében, a Laplace-operátor alkalmazása során az egyes tagok rendre $x^2, y^2, z^2, xy, xz, yz$ tényezőkkel szorozódnak. Ezeket összevonva, az ezen tagokhoz tartozó együtthatók kombinációjának nullának kell lennie, így 6 kényszerfeltételt kell alkalmazni.

Minden magasabb fokú tag esetében, a Laplace-operátor alkalmazása és a tagok helyvektor-komponenseinek hatványai szerinti összevonása után az együtthatók kombinációjának nullát kell adnia. Ezeket az eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

Táblázat 1.: A Taylor-sorfejtés egyes fokszámához tartozó tagok-, a kényszerfeltételek- és a független együtthatók száma

Fokszám	Tagok száma	Kényszerfeltételek	Független együtthatók
0	1	0	1
1	3	0	3
2	6	1	5
3	10	3	7
4	15	6	9
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
n	$\frac{1}{2}n^2 + \frac{3}{2}n + 1$	$\frac{n(n-1)}{2}$	$2n + 1$

Megjegyzendő, hogy az 1. táblázatban a független együtthatók száma megegyezik a Laplace-egyenlet gömbkoordinátákban felírt megoldásának azonos fokszámú együtthatóinak számával.

2.4. Az Eötvös-féle torziós inga

Eötvös a számításai során a nehézségi potenciál Taylor-sorfejtésében csak a másodrendű tagokig ment el (Eötvös, 1911). A nehézségi potenciál második deriváltjai egy mátrixba helyezhetők, amelyet Eötvös-tenzornak nevezünk.

Az Eötvös-tenzor egy szimmetrikus tenzor, aminek 6 független eleme van.

$$E = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} & \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} & \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Az Eötvös-inga egy érzékeny torziós szálon felfüggesztett könnyű rúdból áll, amelynek két végén azonos tömegek helyezkednek el. Az egyik tömeg az ingakaron helyezkedik el, a másik viszont ettől valamivel mélyebben. Ha a torziós ingát magára hagyjuk, a nehézségi erőter forgatónyomatékokat gyakorol az ingatestre, ami a torziós szál elcsavarodását okozza; az elfordulás szögértéke egy skálán olvasható le (Eötvös, 1908).

A forgatónyomatékok leíró egyenletben az Eötvös-tenzor elemei (illetve bizonyos elemek különbségei) szerepelnek. Ebből adódóan, az Eötvös-inga lehetővé teszi négy mennyiség meghatározását: az Eötvös-tenzor három elemének $(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}, \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z}, \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z})$, valamint a főátló két eleme különbségének $(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2})$ megmérését.

Mivel a torziós szál torziómentes, nyugalmi helyzete nem ismert, összesen öt ismeretlent kellett kiszámítani, amihez öt leolvasásra volt szükség. Ezt úgy érték el, hogy minden mérési ponton az inga rúdját öt különböző irányba (egymástól 72°-ra) forgatták el, majd megvárták a lengések csillapodását (kb. egy óra), és ezután végezték el a leolvasást.

2.5. Eötvös Loránd inga-méréseinek grafikus ábrázolása

Eötvös elemezte a mátrixelemek jelentését, és két szemléletes mennyiséget vezetett be az eredmények vizualizálására.

- Horizontális gradiens: A nehézségi gyorsulás (g) vízszintes irányban tapasztalható legnagyobb változásának mértékéeként definiáljuk. A horizontális gradiensvektor komponensei megegyeznek két mért mennyiséggel: $(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z})$ és $(\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z})$. Ezek a mennyiségek a térképen a mérési pontból kiinduló vektor komponenseiként ábrázolhatók, amelyek a szintfelület mentén a nehézségi gyorsulás növekedésének irányába mutatnak. A vízszintes gradiensadatokból származtatott gradiens-térképeket (1. ábra) a

geofizikai kutatásokban antiklinálisok lehatárolására használták.

$$|\nabla g| = \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z}; \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} \right] \quad (8)$$

- Horizontális irányítóképesség (R): A szintfelület differenciális görbületéből származó erő, amelyet Eötvös horizontális irányítóképességnek nevezett el. A horizontális irányítóképesség a maximális és a minimális görbület különbségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata, amely két mért mennyiség felhasználásával a következő módon számítható ki:

$$R = g \cdot \left(\frac{1}{r_{min}} - \frac{1}{r_{max}} \right) = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)^2} + 4 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \quad (9)$$

A horizontális irányítóképesség a legnagyobb görbület (vagyis a legkisebb görbületi sugár) irányába mutat. Ez az irány az északtól számított α azimuttszöggel fejezhető ki, amely a következő egyenlettel számítható:

$$\tan 2\alpha = \frac{-2 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}}{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)} \quad (10)$$

3. Adatok

3.1. Eötvös mérései

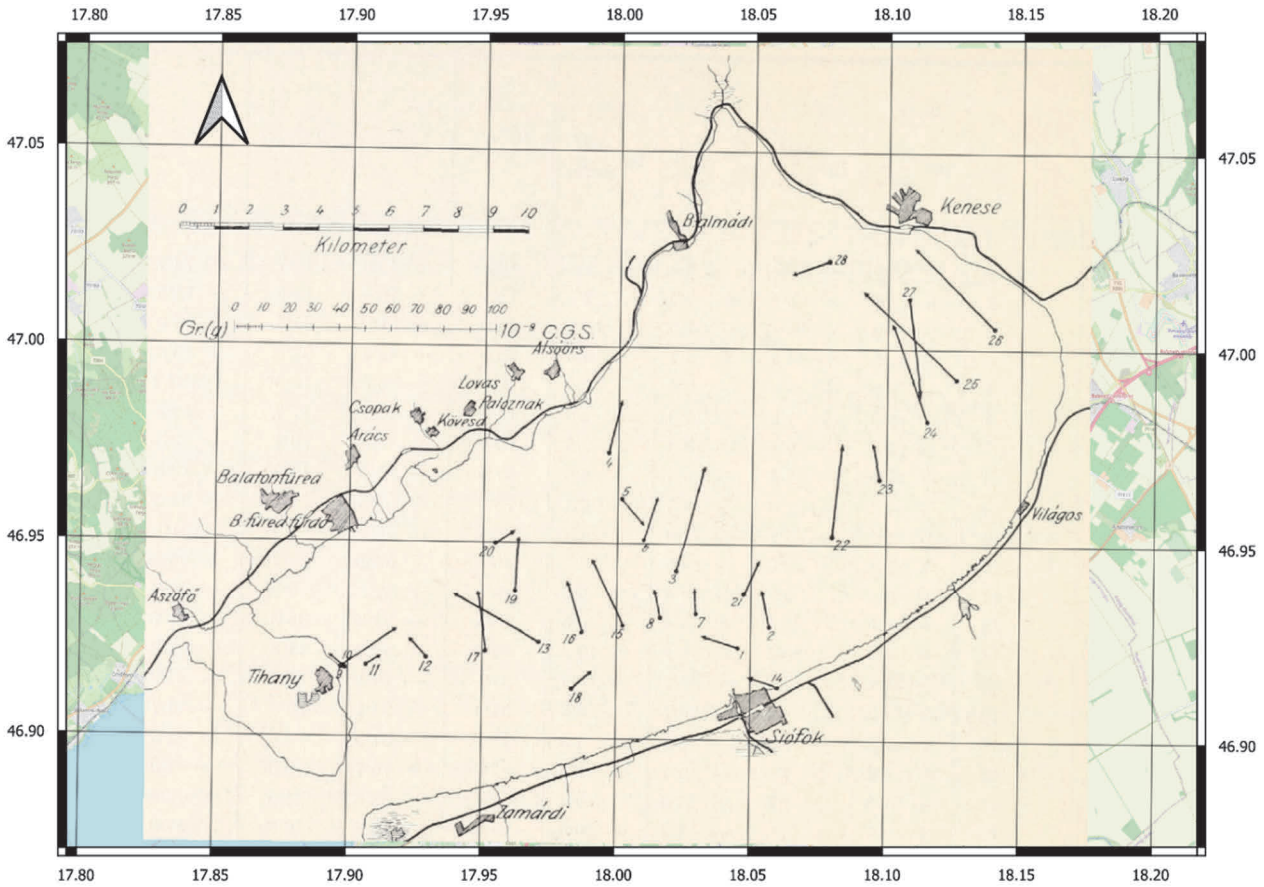
Eötvös Loránd, Lóczy Lajos, Cholnoky Jenő, Kövesligethy Radó, Harkányi Béla, Pekár Dezső és Steiner Lajos 1901 és 1903 telén tesztelték az Eötvös-féle torziós inga terepi alkalmazhatóságát a Balaton sík jégfelületén. Összesen 28 mérést végeztek a Balaton északkeleti medencéjében 1901 telén, és további 12 mérést a délnyugati medencében 1903-ban.

A mérési pontok helyét az előző állomástól láncolva történő távolságméréssel, valamint korabeli topográfiai térképeken végzett grafikus hátrametszéssel határozták meg (Eötvös, 1911; Eötvös, 1908). A mérőállomások földrajzi koordinátáit is publikálták, amik az adott korban elérhető 1:75000 méretarányú katonai térképek ellipszoidi koordinátái. Ezeket a szélességi és hosszúsági koordinátákat WGS84 rendszerbe transzformáltuk. (Molnár & Timár, 2009). A becslött abszolút pozicionálási pontosság körülbelül 100 méter, bár az állomások közötti relatív hiba várhatóan 50 méter alatt marad.

Az egyes mérési pontokon az északi irányt mágneses tájolóval határozták meg, és az első leolvasáshoz az ingát a mágneses észak irányába állították. A feldolgozás során a mért értékeket a 7°30'-es mágneses deklinációval (mágneses elhajlással) korrigálták a valódi északi irány meghatározásához (Selényi, 1953).

A jegyzőkönyveket és a mért adatokat táblázatosan is közzé publikációból (Eötvös, 1908), a kifejlesztett elméleti modell bemutatásához a „7”-es mérési pont körüli méréseket

választottuk ki, ahol két szelvény keresztezi egymást (lásd az 1. és 2. ábrákat).



1. ábra: Eötvös ábrája az 1901 évi mérésekből a nehézségi erő horizontális gradiensének meghatározott értékeit mutatja a Balaton északkeleti medencéjében (Eötvös, 1908). A számok a mérési pontok sorszámát jelölik; a gradiensvektor azt az irányt jelzi, amerre a nehézségi gyorsulás növekszik a szintfelületen.

4. Eredmények

4.1. Inverzios algoritmus

A nehézségi potenciál Taylor-sorfejtése – a Laplace–Poisson-egyenlet teljesülését biztosító kényszerfeltételekkel kiegészítve – lehetővé teszi a nehézségi potenciál regionális léptékű modellezését; ezt a továbbiakban modellnek nevezzük, a 3. egyenletben szereplő deriváltakat a modell paramétereinek hívjuk.

A Taylor-sorfejtésen alapuló modell paramétereinek becsléséhez a következő feltételezésekkel élünk, és az alábbi lépések vezetnek el a modellparaméterek meghatározásához.

A topocentrikus koordináta-rendszer kezdőpontja (origója) tetszőleges lehet, a gyakorlatban azonban célszerű egy olyan pontot választani, amelyet torziósinga mérési pontok vesznek körül. Ez a pont lesz a Descartes-féle modellkoordináta-rendszer kezdőpontja. A koordináta-rendszer kezdőpontjára vonatkozóan kiszámítjuk a WGS84 ellipszoidi koordinátákat is. A modellben felhasznált Eötvös-inga mérési pontokra vonatkozóan a

vízszintes derékszögű koordinátákat a rendszer kezdőpontjához viszonyítva számítjuk ki; ezek a modellkoordináta-rendszerbeli koordináták.

A modell bizonyos paramétereit rögzítjük. Az U_0 potenciál értékét nullának vesszük, a nehézségi gyorsulásvektornak pedig csak a g_z komponense különbözik nullától, ezt pedig a modellkoordináta-rendszer kezdőpontjához tartozó, a WGS84 ellipszoidon számolt normál nehézségi gyorsulás értéknek vesszük:

$$U(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \cdot \left(1 - \sum_{n=1}^N \left(\frac{a}{r} \right)^{2n} J_{2n} P_{2n}(\sin(\theta)) \right) + \frac{1}{2} \omega^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2(\theta) \quad (11)$$

ahol r , θ és λ gömbkoordináták, a az ellipszoid fél nagytengelye, G a gravitációs állandó, M a Föld tömege, J_{2n} az együtthatók, P_{2n} az asszociált Legendre-függvények, ω pedig a Föld forgási szögsebessége.

A modell kezdeti paramétereit, vagyis a választott koordináta-rendszer kezdőpontjára vonatkozó második deriváltakat a WGS84 ellipszoid és a normál erőter modellje segítségével határozzuk meg. Az így kapott második deriváltak gyakorlatilag az ellipszoidi Eötvös-tenzor elemei. A számításhoz a WGS84

nehézségi modell állandóit (11. egyenlet) használtuk, $N = 3$, vagyis $2n = 6$ fokszámig közelítve. Ezeket az értékeket tekintjük a modellparaméterek kezdeti értékeinek. Minden más,

magasabb fokú együtthatót nullának tekintünk. Ezeket az együtthatókat egy ismeretlenből álló tömbbe, x_0 -ba rendezzük, ahol a 0 alsó index a kezdeti értékeket jelöli.



2. ábra: Eötvös ábrája az 1901. évi mérésekből meghatározott horizontális irányítóképesség értékeit mutatja a Balaton északkeleti medencéjében (Eötvös, 1908). A grafikus ábrázoláshoz a horizontális irányítóképesség szakaszok hosszát a 9. egyenlettel, a szakaszok irányát pedig a 10. egyenlettel lehet kiszámolni.

A funkcionális modell a modell (ismeretlen) paraméterei és a modellből számított mennyiségek közötti matematikai kapcsolat; ezek a mennyiségek közvetlenül összehasonlíthatók a torziós inga méréseivel. Ehhez először meg kell határozni a mérési pontoknak a modellkoordináta-rendszerbeli koordinátáit. A mérési pontok vízszintes modellkoordinátái (x és y) adottak, ezekhez kiszámítjuk az egyes mérési pontok függőleges modellkoordinátáit (z), mivel a Taylor-sorfejtés valódi Descartes-féle topocentrikus koordinátákat igényel. A jégfelületen azonos magasságban lévő mérési pontok a Föld görbülete miatt a modellkoordináta-rendszer kezdőpontjának vízszintes síkja alatt helyezkednek el. Ezt a függőleges távolságot a modell aktuális paramétereivel számítjuk: iterációval keressük meg az i -edik állomás azon (z) értékét, ahol a számított potenciál megegyezik a modellkoordináta-rendszer kezdőpontjának potenciáljával. Természetesen a modellparaméterek frissítésekor a számítást minden mérési pontra újra el kell végezni.

Ahhoz, hogy a mérési helyen a potenciál második deriváltjainak a modellből kiszámolt értékeit össze tudjuk hasonlítani az Eötvös-inga mérésekből kapott értékekkel, szükségünk lesz a modellkoordináta-rendszer és az i -edik mérési pont helyi

koordináta-rendszere közötti transzformációt leíró R_i mátrixra. A Föld görbülete miatt a mérési pont helyi vízszintes síkja a modellkoordináta-rendszerhez képest megdől. A potenciál modell felhasználásával és a potenciál első deriváltjának kiszámításával az i -edik mérési ponton megkapjuk a helyi függőleges vektor komponenseit a modellkoordináta-rendszerben. Ez a vektor helyi érintő sík normálvektora. A mérési pont vízszintes koordinátáiból kiszámítjuk a meridiánkonvergenciát, a koordináta-rendszer origójára vonatkoztatva, azaz a koordináta-rendszer kezdőpontjában és a mérési ponton érvényes valódi északi irányok közötti szöveget. Ezen értékek felhasználásával előállítjuk az R_i forgatási mátrixokat minden mérési pontra (Iliffe, 1987).

Ezután tudjuk kiszámolni a modell második deriváltjait a mérési pont helyi koordináta-rendszerében. Ehhez először kiszámítjuk a modell második deriváltjait a mérési pontokon (a modellkoordináta-rendszerben). Ez a számítás analitikusan elvégezhető a 3. egyenlet alapján. Ezek a második deriváltak alkotják a számított Eötvös-tenzor elemeit. A mérési pont helyi koordináta-rendszerébe történő transzformáció a következő:

$$E_i^{local} = R_i^T E_i^{model} R_i \quad (12)$$

ahol E_i^{model} az i -edik mérési ponton számított Eötvös-tenzor, R_i a forgatási mátrix, E_i^{local} pedig az i -edik mérési pont helyi koordináta-rendszerében érvényes Eötvös-tenzor.

A mérési pont lokális koordináta-rendszerében számolt Eötvös-tenzorból képezzük a mérésekkel összehasonlítható négy mennyiséget $(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y})$, $(\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z})$, $(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z})$, és $(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2})$.

Ezek a mennyiségek a közvetítőegyenletek megoldásai, amik a paramétereknek, vagyis a modellben szereplő magasabb deriváltaknak a (nemlineáris) függvényei.

A modellparaméterek becslése során azt tapasztaltuk, hogy a megoldás stabilizálása érdekében szimulált mérésekre van szükség. Ez minden mérési pont esetében az Eötvös-tenzor $(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2})$ eleme, amit az adott mérési pontra számított WGS84 normál modellből számítottunk.

Célunk a modell együtthatóinak becslése. Mivel rendelkezünk az együtthatók kezdeti értékeivel x_0 , olyan x javításokat keresünk, amelyeket a kezdeti paraméterekhez hozzáadva megkapjuk a modellparaméterek javított értékeit.

A tisztatag vektor (J) a mért (plusz egy szimulált) Eötvös-inga mérések vektorának (L) és az egyes mérési pontokra számított mennyiségeknek a különbségéből áll. (Ez utóbbi értékeket szintén vektorba rendezzük):

Az A alakmátrix a funkcionális modell által számított mennyiségek modell-együtthatók szerinti parciális deriváltjait tartalmazza, amit analitikus módon tudunk előállítani. Esetünkben, mivel a mérések pontosságáról nem áll rendelkezésre előzetes információ, minden méréshez egyenlő, egységnyi súlyt rendeltünk, így a P mátrix egységmátrix.

A legkisebb négyzetek módszere szerint a célfüggvényt, vagyis az eltérések súlyozott négyzetösszegét minimalizálni kell a paraméterek javításainak függvényében ($v^T P v := \min$). Esetünkben, mivel az ismeretlen paraméterekre kényszerfeltételek vonatkoznak, a legkisebb négyzetes becslés a Lagrange-multiplikátorok módszerével végezhető el, vagyis a paraméterek javításai (x) mellett a korrelátákat (k) is kiszámítjuk.

A paraméterek javításainak (x) meghatározása után ezeket hozzáadjuk a paraméterek kezdeti értékeihez (x_0). A teljes folyamatot addig ismétljük, amíg a javítások abszolút értéke egy előre meghatározott kis ϵ érték alá nem csökken, ez a gyakorlatban két iteráció elvégzését jelentette.

4.2. Lokális potenciálmodell

Az ismertetett módszert Eötvös méréseire alkalmazva meghatároztuk a 4. fokú lokális Taylor-sorfejtésű modell együtthatóit. A modellt két különböző mérési sűrűség mellett vizsgáltuk az 10 km \times 10 km-es területen: először az összes rendelkezésre álló (16 darab), majd egy ritkított, felezett (8 darab) mérési-pont adatrendszer felhasználásával.

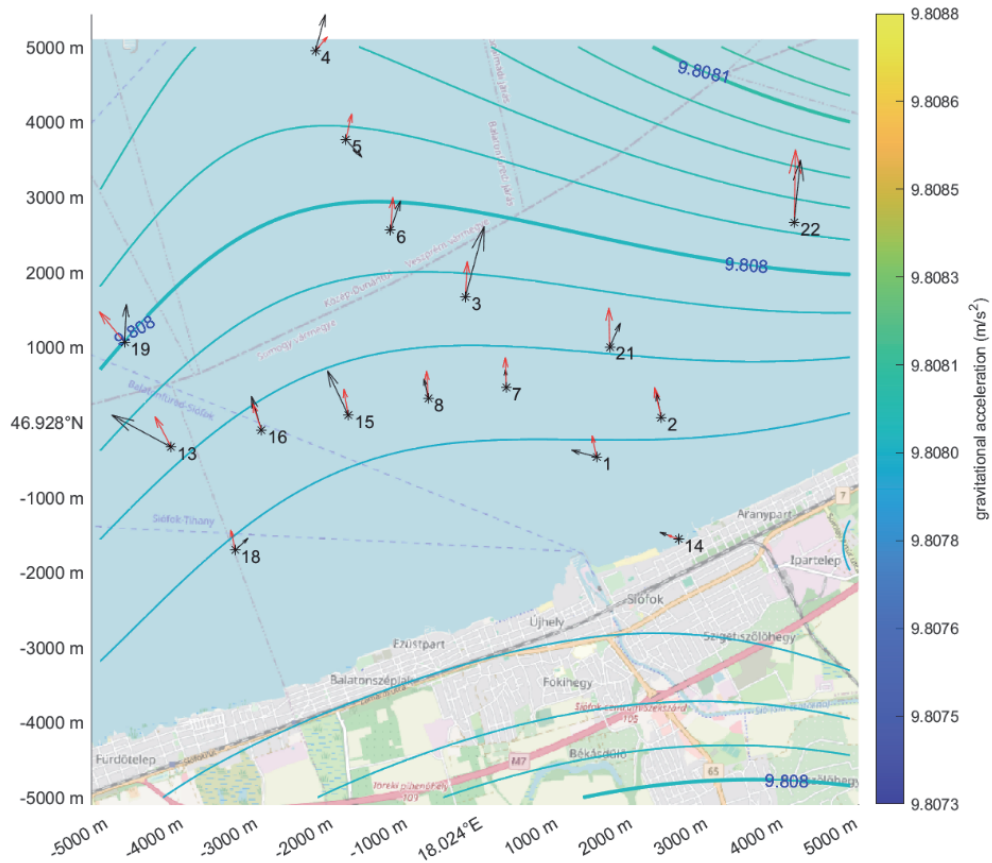
A nehézségi potenciál a modellkoordináta-rendszer origója környezetében a 3. egyenlettel számítható ki. A szintfelületet tehát azok a pontok definiálják, amelyeknek koordinátáit az egyenletbe beírva a koordináta-rendszer kezdőpontjában előírt 0 potenciálértéket kapjuk meg.

Eredményeink szemléltetése érdekében Eötvös térképeirez hasonló térképeket készítettünk. A megjelenített mennyiségeknek (horizontális gradiens és horizontális irányítóképesség) mind a modellből számított, mind pedig az adott mérési helyre vonatkozó értékét is ábrázoltuk a térképeken.

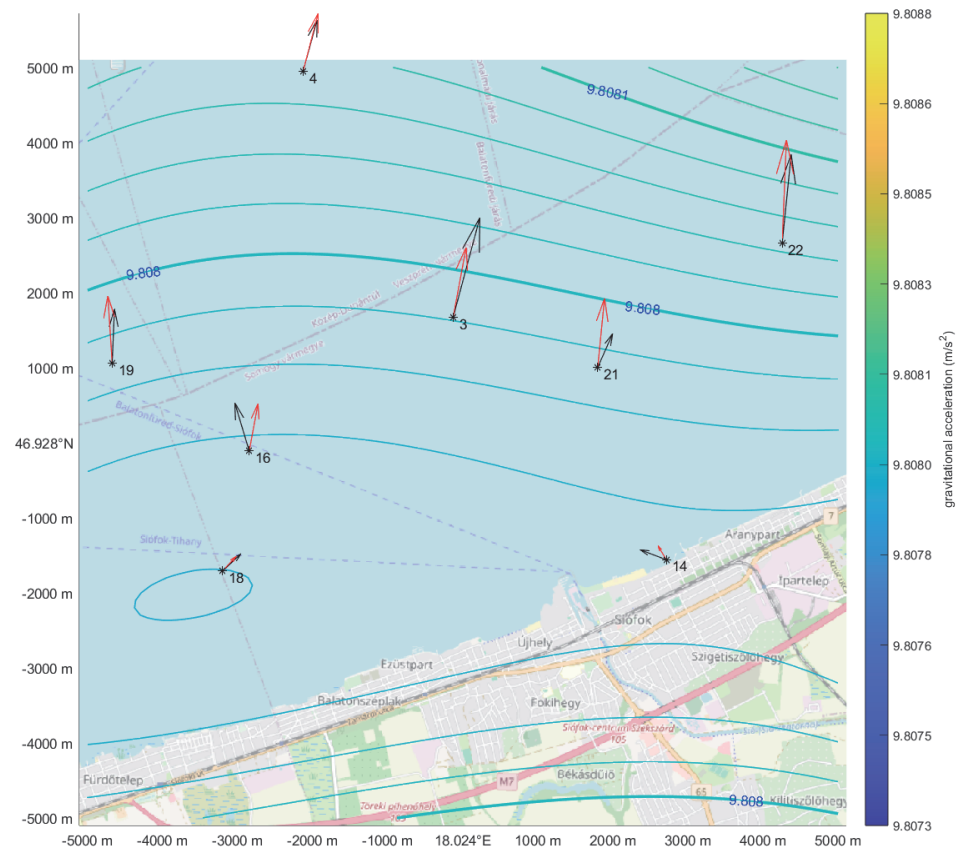
4.2.1. Horizontális gradienstérkép

A 3. és 4. ábrán a mért és a számított horizontális nehézségi gradiensek láthatók. A gradiensvektorok mellett a térképen az azonos nehézségi gyorsulást jelző szintvonalak, az úgynevezett izogammák is megjelennek. Az izovonalakat a következő módon származtatjuk a modellből: először a modell vízszintes (x és y) koordinátapárjához meghatározzuk azt a z koordinátát, ahol a potenciál értéke megegyezik a modellkoordináta-rendszer kezdőpontjának potenciáljával. A következő lépésben a modellből analitikusan meghatározzuk a 3D koordináta-hoz tartozó nehézségi gyorsulásvektort, majd kiszámítjuk a vektor nagyságát, és ezt szintvonalas térképként ábrázoljuk. A mérési helyeken számított nehézségi gradiensek – a várakozásoknak megfelelően – merőlegesek a nehézségi gyorsulás szintvonalaira.

- 16 pontos modell (3. ábra): A sűrűbb adathálózat alkalmazásával a modell részletgazdagabb, jobban leköveti a nehézségi tér helyi anomáliáit. Az izogammák lefutása tükrözi a mérési pontok közötti finomabb változásokat.
- 8 pontos modell (4. ábra): A felhasznált mérési pontok számának felezésével az eredmény trendszerűbb lesz. A modell a nagyobb léptékű trendeket továbbra is jól jelzi, de a lokális hatások elmosódnak.



3. ábra: A negyedfokú Taylor-polinomos megoldásból számolt horizontális nehézségi gradiens sűrű mérési hálózat (16 pont) alkalmazásával (piros), összehasonlítva Eötvös méréseivel (fekete). A szintvonalak a nehézségi gyorsulás izovonalait jelölik a szintfelületen m/s^2 egységben.

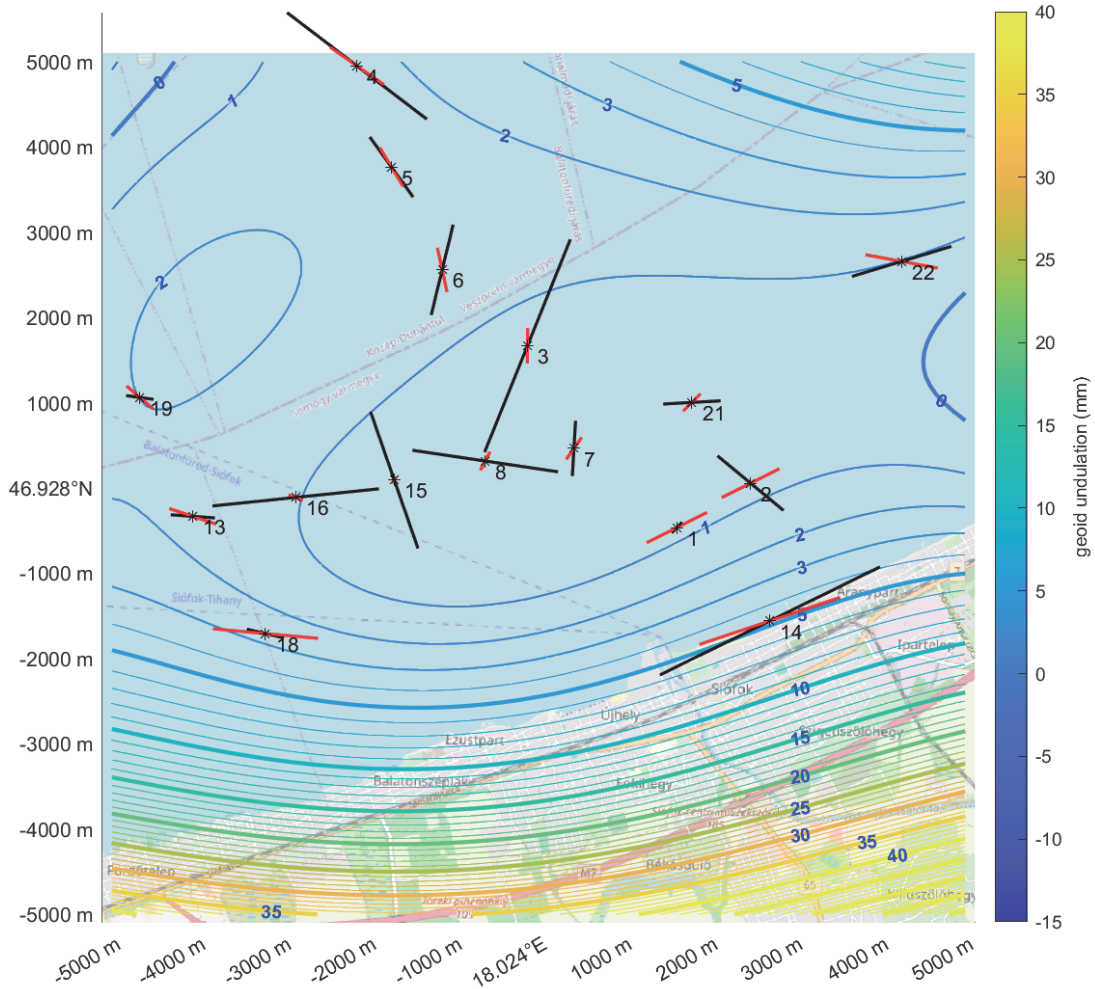


4. ábra: A negyedfokú Taylor-polinomos megoldásból számolt horizontális nehézségi gradiens ritkított mérési hálózat (8 pont) alkalmazásával (piros), összehasonlítva Eötvös méréseivel (fekete), valamint a nehézségi gyorsulás izovonalai a szintfelületen, m/s^2 egységben.

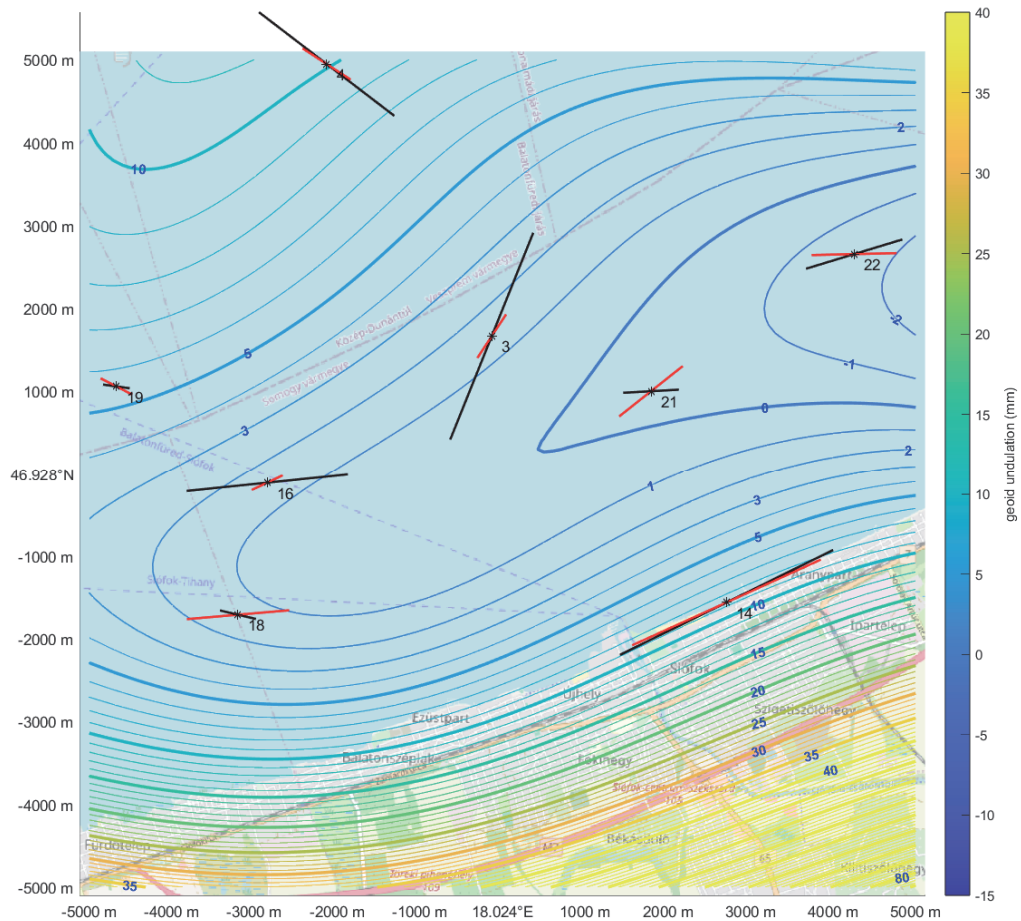
4.2.2. Horizontális irányítóképesség és geoidunduláció térkép

Az 5. és 6. ábra a horizontális irányítóképességet és a lokális nehézségi potenciáladatokból származtatott geoidundulációt szemlélteti. A szintvonalak a lokális szintfelületnek a helyileg illesztett ellipszoidtól való függőleges eltéréseit mutatják milliméterben. A számítások alapjául a WGS84 ellipszoid szolgált, amelyet helyileg a „7”-es mérési pont melletti pont, pontosan 46.928 N, 18. 24 E koordináta vízszintes síkjához igazítottunk. A meridián- és harántirányú görbület meghatározásához a „7”-es mérési pont mellett kijelölt pont WGS84 dátumhoz tartozó ellipszoidi koordinátáit használtuk. A horizontális irányítóképességet szemléltető szakaszok iránya valójában a minimális görbületnek, azaz a legnagyobb görbületi sugárnak megfelelő irányt jelzi (Eötvös, 1908).

- 16 pontos modell (5. ábra): A sűrűbb mintavételezés és a magasabb fokszámú Descartes-féle leírás eredményeként a térkép részletgazdagabb képet ad a nehézségi erőter lokális anomáliáiról. Mivel több feltételnek (több mérési pontnak) kell megfelelni, a számított szintfelület követni tudja a rövid hullámhosszú változásokat is. Ez a modell pontosabban mutatja meg a tömegkoncentrációk okozta lokális domborulatokat a szintfelületen, ahol a geoid az ellipszoid fölé emelkedik.
- 8 pontos modell (6. ábra): Alacsonyabb fokszámú vagy ritkább adatsor esetén a számított szintfelület csak a hosszú hullámhosszú, globális tendenciákat mutatja meg, a lokális hatásoktól mentes lesz. Ez a leegyszerűsített forma jól szemlélteti a nehézségi erőter általános trendjeit, de elveszíti a finomabb struktúrákat, amelyeket a 16 pontos változat még detektálni tudott.



5. ábra: A helyi geoidunduláció és a horizontális irányítóképesség mennyiségei sűrű mérési hálózat (16 pont) esetén. A szintvonalak a kapott lokális szintfelület függőleges eltérését mutatják a helyileg illesztett ellipszoidhoz képest, milliméterben. A modell a negyedfokú Taylor-polinomos megoldás szimulált eredménye (piros), összehasonlítva Eötvös méréseivel (fekete).



6. ábra: A helyi geoidunduláció és a horizontális irányítóképesség mennyiségei ritkított mérési hálózat (8 pont) esetén. A szintvonalak a lokális szintfelület függőleges eltérést mutatják a helyileg illesztett WGS84 ellipszoidtól, milliméterben. A modell a negyedfokú Taylor-polinomos megoldás szimulált eredménye (piros), összehasonlítva Eötvös méréseivel (fekete).

5. Diskusszió

A kifejlesztett negyedfokú polinommodell összesen 35 paraméterrel írja le a potenciálfüggvényt. A kényszerfeltételek és rögzített értékek figyelembevételével összesen 21 meghatározandó együtthatót becsültünk. A paraméterbecslés numerikus stabilitását a korrelációs mátrix átlagos korrelációjával számszerűsítettük. A 8 mérési pontot felhasználó modell esetén ez a mutató 0,476, míg a 16 pontos adathálózatnál jelentősen kedvezőbb, 0,208-as érték lett. Ez a jelentős csökkenés igazolja, hogy a túlhatározottság mértékének növelése hatékonyan javítja a paraméterek szétválaszthatóságát, biztosítva az inverziós eljárás megbízhatóságát és numerikus stabilitását.

Bár a térképek a teljes 10 km × 10 km-es területet lefedik, a polinomfüggvények extrapolációs tulajdonságai miatt a mérési területen kívüli részekben a modell viselkedése bizonytalan, és ott nem kívánt szélsőséges geoidunduláció-értékek jelenhetnek meg. Megfigyelhető, hogy a torzióingamérések számának növelésével a kapott szintfelület részletesebb lesz, míg az adatok ritkítása (8 pont) természetes szűrőként működik, trendszerűbb potenciáletteret eredményez.

A lokális modell kiterjesztése egy szélesebb regionális modellre a Taylor-sorfejtésű modell fokszámának növelésével lehetséges. A magas fokszámú polinomfüggvények kiszámíthatatlan viselkedése miatt azonban ez a megközelítés nem javasolt. Alternatív megoldásként ajánlott stratégia a jövőben az alacsonyabb fokszámú modellek integrálása, amelyek mindegyike a mérések egy részalalmazatát fedik le. Ennek egyik módja egy ésszerű méretű rács meghatározása, amelynek minden cellája egy alacsony fokú polinommodell nehézségi potenciálját képviselő paraméterkészletet tartalmaz. Ezen modellek illesztésével biztosítható a potenciál és deriváltjainak folytonossága a ráccsellák határain. Egy másik stratégia a szabálytalan háromszögháló (TIN) alkalmazása lehet, ahol a mérési pontok a háromszögek csúcspontjain helyezkednek el. Ebben az elrendezésben a másod- vagy harmadfokú nehézségi modell paraméterei minden háromszögön belül becsülhetők, biztosítva a modellek illeszkedését a háromszögek határain.

A fejlesztés jövőbeli iránya a torzióingamérések mellett a mért nehézségi gyorsulás, a szintezett és a GNSS-alapú magasság különbségéből számított geoidunduláció, a stellárfotográfiával meghatározott függővonal-elhajlás mérések, illetve a teljes tenzor gradiometriai adatok integrálása a modellparaméterek becslésébe. Elméletileg ennek nincsen akadálya, mivel ezen

méréssel meghatározható mennyiségek mindegyikéhez származtatható közvetítő egyenlet a potenciálmodellből.

6. Konklúzió

A bemutatott, a nehézségi potenciál Taylor-sorfejtésén alapuló modell elméletileg megalapozott és minimális feltételezéseken alapul. A modell alkalmazásakor célunk magának a potenciálfüggvénynek, vagyis a Taylor-soros közelítésben szereplő együtthatóknak a meghatározása, biztosítva, hogy a kapott potenciálfüggvény kielégítse a Laplace-Poisson-egyenletet.

Megállapítottuk, hogy egy megfelelően megválasztott fokszámú modell képes részletesen leírni egy kisebb terület nehézségi potenciálját. A negyedfokú Taylor-modell vizsgálata során igazoltuk, hogy a mérési sűrűség alapvetően befolyásolja az eredményt: a nagyobb számú (16 pont) mérés bevonása részletgazdagabb, a helyi változásokat pontosabban követő modellt eredményez, míg a ritkább (8 pont) adathalmaz lokális részletektől mentes potenciálteret szolgáltat.

A létrehozott lokális modell a koordináta-rendszerünk kezdőpontja körüli nehézségi potenciált írja le, bár jelenlegi formájában a modell térbeli alkalmazhatósága nagyobb területet lefedő regionális skálán korlátozott.

Irodalomjegyzék

- Ádám, J., Biró, P., Völgyesi, L., & Tóth, Gy. (2013). *A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata*. Budapest: HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft. Kiadó.
- Bölling, K., & Grafarend, E. (2005). Ellipsoidal spectral properties of the Earth's gravitational potential and its first and second derivatives. *Journal of Geodesy*, 79, pp. 300-330. <https://doi.org/10.1007/s00190-005-0465-y>
- Buchar, E. (1958). Motion of the nodal line of the second Russian Earth satellite, and flattening of the Earth. *Nature*, 182, pp. 198-199. <https://doi.org/10.1038/182198b0>
- Cook, A. (1958). Determination of the Earth's Gravitational Potential from Observations on Sputnik 2 (1957beta). *Geophysical Journal International*, 1(4), pp. 341-345. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1958.tb05343.x>
- Dobróka, M., & Völgyesi, L. (2008). Inversion Reconstruction of Gravity Potential Based on Gravity Gradients. *Mathematical Geosciences*, 40, pp. 299-311. <https://doi.org/10.1007/s11004-007-9139-z>
- Eötvös, L. (1908). *A Balaton nívófelülete és azon a nehézség változásai*. Budapest: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I.Kötet, I.Rész, Geofizikai függelék.

- Eötvös, L. (1911). II. Sektion. Die Niveaulächen und die Gradienten der Schwerkraft am Balatonsee. In L. Lóczy (Ed.), *Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees*. Wien: Balaton-Ausschuss der ungarischen geographischen Gesellschaft.
- Haalck, H. (1950). *I. Die vollständige Bestimmung örtlicher gravimetrischer Störungfelder aus Drenwaagemessungen... II. Das physikalische Bildungsgesetz der Figur der Erde*. Berlin: Akademie-Verlag. <https://doi.org/10.1515/9783112730232>
- Heiskanen, W. (1957). The columbus geoid. *Eos Trans. AGU*, 38(6), pp. 841-848. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00841>
- Helmert, R. (1910). Methode von Baron Eötvös zur Messung zweiter Differentialquotienten des Schwerepotentials. In *Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften*. Leipzig: Teubner.
- Illiffe, J. (1987). Three dimensional adjustments in a local reference system. *Applied Geodesy* (pp. 247-267). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/BFb0010119>
- Jäggi, A., Peter, H., Meyer, U., Beutler, G., Visser, P., van den IJssel, J., . . . Heinze, M. (2010). GOCE Science Orbits and their Application to Gravity Field Recovery. *I*, p. 05.
- Jeffreys, H. (1929). *The Earth: its origin, history and physical constitution*. Cambridge: University Press.
- Kenyeres, A. (1993). Detailed Geoid Determination Using the Combination of Truncated Global Integrals and Geopotential Model. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng*, 37(2), pp. 91-108.
- LaCoste, L. B., & Romberg, A. (1941). *Patent No. US Patent no. 2,377,889*.
- Laplace, P. S. (1825). *Traité de mécanique céleste* (Vol. 5). Paris: Chez JBM Duprat.
- Lemoine, F., Kenyon, S., Factor, J., Trimmer, R., Pavlis, N., Chinn, D., . . . Olson, T. (1998). *The development of the joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96*. NASA, Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland.
- Listing, J. (1872). Über unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde. In *Nachrichten der K. Ges. des Wiss.* (p. 66). Göttingen: Deiterich.
- Lóczy, L. (1911). Resultate der Wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees. Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees. In *Balaton-Ausschuss der ungarischen geographischen Gesellschaft*. Wien: In Kommission von E. H'olzel.

- Molnár, G., & Timár, G. (2009). Mosaicking of the 1: 75 000 sheets of the Third Military Survey of the Habsburg Empire. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 44(1), pp. 115-120. <https://doi.org/10.1556/AGeod.44.2009.1.11>
- Moritz, H. (1980). Geodetic reference system 1980. *Bulletin géodésique*, 54(3), pp. 395-405. <https://doi.org/10.1007/BF02521480>
- Newton, I. (1687). *Philosophiae naturalis – Principia mathematica*. London: Pepys. <https://doi.org/10.5479/sil.52126.39088015628399>
- Pavlis, N., Holmes, S., Kenyon, S., & Factor, J. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.*, 117(B4). <https://doi.org/10.1029/2011JB008916>
- Raul, V. (1941). *Report on the torsion balance survey in the area between Lake Balaton, Lake Velence and the Danube*. Hungarian-American Oil Company (MAORT).
- Schmidt, M., Fengler, M., Mayer-Gürr, T., Eicker, A., Kusche, J., Sánchez, L., & Han, S.-C. (2007). Regional gravity modeling in terms of spherical base functions. *Journal of Geodesy*, 81, pp. 17-38. <https://doi.org/10.1007/s00190-006-0101-5>
- Selényi, P. (Ed.). (1953). *Roland Eötvös gesammelte Arbeiten*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Stokes, G. (1849). On the variation of gravity at the surface of the Earth. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, 8(5), pp. 672–695.
- Szafián, P., Timár, G., & Horváth, F. (2006). Régi adat nem vén adat: Az Eötvös-ingás mérési eredmények újraélesztéséről. *Magyar Geofizika*, 46(4), 146-151.
- Tóth, Gy. (2009). New combined geoid solution HGTUB2007 for Hungary. *International Association of Geodesy Symposia*, 405-412. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5_48
- Tóth, Gy. (2003). The Eotvos spherical horizontal gradiometric boundary value problem-gravity anomalies from gravity gradients of the torsion balance. *Gravity and Geoid 2002, 3rd Meeting of the IGGC*, (pp. 102-107).
- Tóth, Gy., & Szűcs, E. (2011). On the determination of a new combined EGM2008 based quasi-geoid model for Hungary. *Acta Geod. et Geophys. Hungarica*, 46(4), 417-430. <https://doi.org/10.1556/AGeod.46.2011.4.4>
- Tóth, Gy., Földváry, L., Tziavos, I., & Ádám, J. (2006). Upward/downward continuation of gravity gradients for precise geoid determination. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46(4), 417-430. <https://doi.org/10.1556/AGeod.46.2011.4.4>
- Vening Meinesz, F. (1925). The determination of gravity at sea in a submarine. *The Geographical Journal*, 65(6), pp. 501–514. <https://doi.org/10.2307/1782795>
- Völgyesi, L., Dobróka, M., & Ulmann, Z. (2012). Determination of vertical gradients of gravity by series expansion based inversion. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(2), 233-244. <https://doi.org/10.1556/AGeod.47.2012.2.11>
- Völgyesi, L., Tóth, Gy., Ulmann, Z., Égető, C., & Szűcs, E. (2015). Hungarian contribution to the research in gravimetry - IAG Commission 2. 18(1).
- Zhongolovich, I. (1952). The external gravity field of the Earth and the fundamental constants connected with it.
- Zlinszky, A., Timár, G., Weber, R., Székely, B., Briese, C., Ressel, C., & Pfeifer, N. (2014). Observation of a local gravity potential isosurface by airborne lidar of Lake Balaton, Hungary. *Solid Earth*, 5, pp. 355-369. <https://doi.org/10.5194/se-5-355-2014>



A Magyar Földmérők Arcképcsarnoka

szorozat IV. és V. kötete megvásárolható az MFTTT titkárságán.

A kötetek ára tagjaink részére 5000 Ft.

MFTTT Titkárság

Új pillér és irányzóhenger a Gellért-hegyen

BUSICS György¹, ÉGETŐ Csaba², RÓZSA Szabolcs², TÓTH Zoltán¹

¹Óbudai Egyetem, Alba Regia Kar, Geoinformatikai Intézet

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

E-mail: busics.gyorgy@amk.uni-obuda.hu; egeto.csaba@emk.bme.hu; rozsa.szabolcs@emk.bme.hu; toth.zoltan@amk.uni-obuda.hu

DOI: [10.30921/GK.78.2026.1.2](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.1.2)

Absztrakt

A Citadella felújítási munkái során – a Szabadság-szobor mögötti lépcsőfeljáró építése miatt – el kellett bontani azt az 1933-ban épített pillért (és a fölötte lévő hengert), amely Budapest önálló centrális háromszögelési hálózatának fontos műszer-álláspontja és irányzott pontja volt. Az új pillér és a különálló új henger koordinátáinak meghatározását mutatja be a cikk. Előírás volt, hogy a régi pillért is fel kell használni a számításhoz, ezért két ütemben történt a mérés, de egyben történt a mikrohálózat kiegyenlítése. A cikk végén bemutatjuk a főalappont megóvását célzó pontvédelmi megoldást és a főponton átmenő Gellért-hegyi meridián megjelenítését a burkolatban.

Abstract

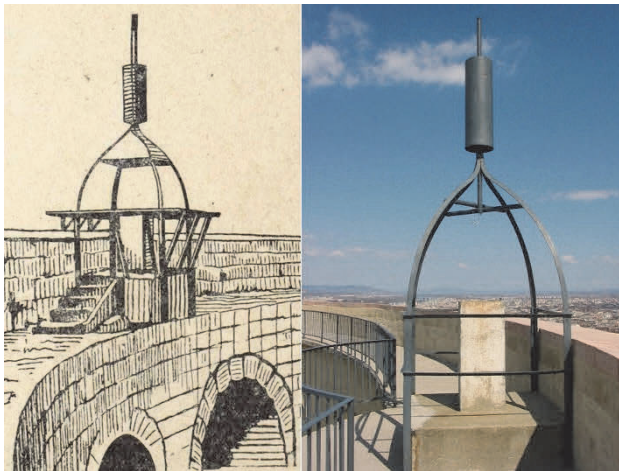
During the renovation of the Budapest Citadel, the pillar (and cylinder mark above) built in 1933 had to be demolished due to the construction of the staircase behind the Liberty Statue. This pillar had been an important reference point for Budapest's independent triangulation network. This article presents how we obtained the coordinates of the new pillar and the separate new cylinder mark. It was a requirement that the old pillar also be used for the calculation, so the measurement was carried out in two steps, but the micro-network was adjusted in one go. At the end of the article, we present the point protection solution aimed at preserving the main base point and the representation of the Gellért Hill meridian passing through this point in the pavement.

A „Szabadság Bástyája” elnevezésű Citadella-projekt keretében 2021 és 2026 között a Gellért-hegy tetején lévő egykori erőd teljes felújításon és funkcióváltáson ment keresztül, ami érintette a Citadella keleti udvarában lévő vízszintes geodéziai alappontokat is. Két pontról van szó (1. ábra). Az egyik pont a magyar geodéziában fontos szerepet betöltő „Gellérthegy” nevű háromszögelési pont, amelyet az 1815-ben felépült Gellért-hegyi csillagvizsgáló keleti tornyának pillére helyén 1934-ben (speciális módon) közel újraállandósítottak. EOVA pontszáma: 65-4011, történetét egy korábbi cikkben vázoltuk (Busics,

Molnár 2025). Ez a pont továbbra is megmarad, de pontvédelme, bemutatása a feladat. A másik alappont (2. ábra) az előző pont külpontja, egy pillér és fölötte egy irányzóhenger (mai pontszáma: 65-4011/1), amit azért építettek meg 1933-ban, hogy innen végezzék az irányméréseket Budapest új háromszögeléséhez, hiszen az anyapontról ez az erődfallal nem volt lehetséges. Mivel a pillér az építkezés miatt elbontásra volt ítélve, ennek pótlását a földmérési hatóság elrendelte. Erről az egyedi pontpótlásról és pontvédelemről szól írásunk, amelynek utolsó része a közvéleményt is érdekelheti.



1. ábra. A főpont és a külpont a felújítás előtt, 2020-ban. (forrás: www.facebook.com/citadella.aszabadsagbastyajaja)



2. ábra. A pillér 1934-es rajzon és 2018-as fotón.
(Rajz: Papp 1949; fotó: Busics Imre).

1. Előzmények, előkészítés

A Gellért-hegyi alappontok ügyében 2021-től kezdődően több egyeztetés volt az érintett felek között (az art1st design studio Kft. mint tervező, a ZÁÉV Építőipari Zrt. és a Market Építő Zrt. mint kivitelezők, a Citadella Nkft., a Várkapitányság NZrt., mint beruházók, Budapest Főváros Kormányhivatala Földhivatali Főosztálya, a Lechner Nonprofit Kft., az Atlasz Geodézia Kft., a Geo Zentral Kft. és e cikk szerzői). Mivel a tervek szerint lépcsőfeljáró épült a Szabadság-szobor felől a leendő közparkba, ezért a beruházó a 65-4011/1 pillér és észlelőhenger áthelyezését kérte.

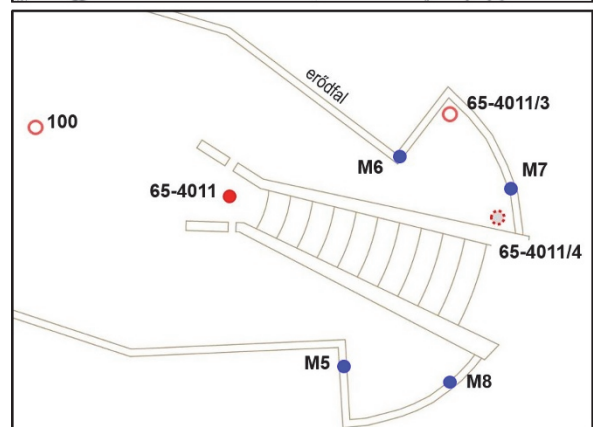
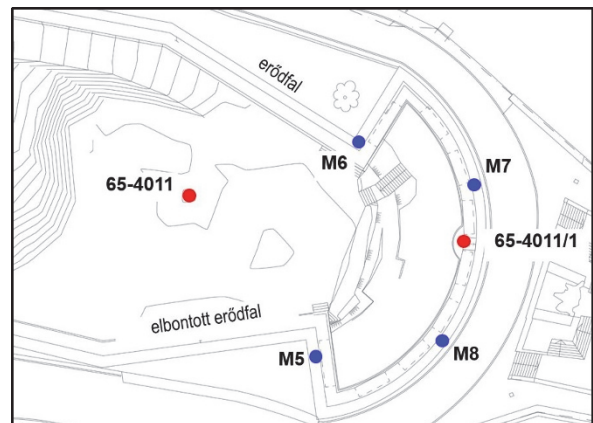


3. ábra. A Citadella észak-keleti udvara a földém és a lépcsősor építése előtt, 2023-ban. (Fotó: Busics Gy.)

A Lechner Nkft. LTK/11743-3/2021. számú végzésére támaszkodva Budapest Főváros Kormányhivatala (BFKH) Földhivatali Főosztálya 607749/1/2021. számú határozatában engedélyezte a pillér áthelyezését. Ebben a következő szerepel: „Az új alappontot és az új irányzóhengert irány- és távmérési módszerrel, hálózat-kiegyenlítéssel kell meghatározni az új alappont, a földalappont és esetleg egyéb segédpontok, valamint külső felsőrendű pontok felhasználásával. Az irányméréseket és a távolsgméréseket négy fordulóban, kényszerközpontosítással kell végrehajtani. A meghatározási tervet jóváhagyásra a Lechner Nonprofit Kft.-hez kell benyújtani. A régi alappontot

(pillért) addig kell sértetlenül megőrizni, amíg az új alappont létesítését követően a végleges meghatározás és az új alappont állami átvétele megtörténik.”

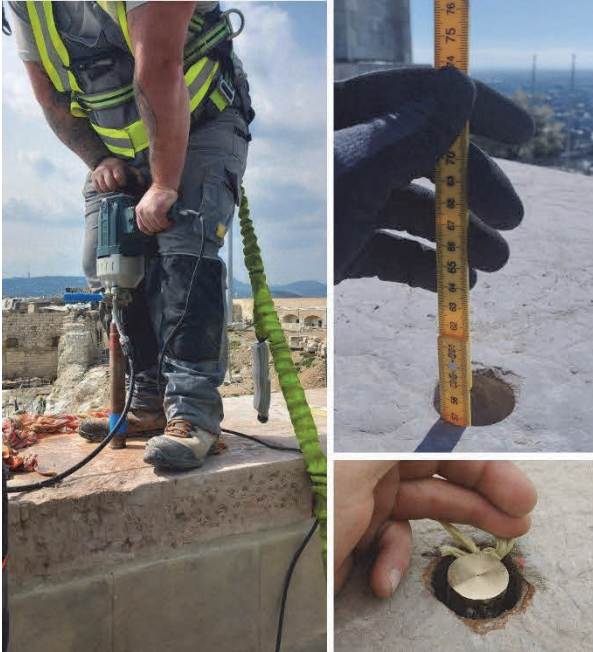
A tervek alapos áttanulmányozása után kiderült, hogy a határozat idézett utolsó mondata a gyakorlatban nem realizálható. A Citadella keleti, íves erőd falán belül ugyanis egy meredek, lejtős sziklafelület van, amit a tervek szerint egy vasbetonföldémmel fednek le, s ennek tetejére építik a parkot és a sétányokat (3. ábra). Ez a földém az erőd falra, az építendő feljáró lépcső támfalaira és oszlopokra fog támaszkodni, tehát a pillérelépítéssel meg kell várni ezek elkészültét, viszont a régi pillér a lépcső útjában van. A probléma megoldására egy két ütemben mérendő hálózatra tettünk javaslatot, ehhez geodéziai tervet készítettünk és egyeztetést kezdeményeztünk. Az egyeztetés eredményeként született meg a Lechner Nkft. LTK/3209-2/2023. számú szakmai véleménye alapján a BFKH Földhivatali Főosztálya 601780/2/2023. számú határozata, amely pontosította és kiegészítette az előző határozatokban foglaltakat. A pontáthelyezés tekintetében ebben a határozatban az szerepel, hogy az áthelyezést két mérési ütemben kell megvalósítani, továbbá előírták, hogy a 65-4011 számú EOVA alappont és 4 db mellvédfali segédpont mozdulatlanságát az erőd fal megbontását követő lépcsőépítési munkálatok befejezésével, GNSS eljárással vizsgálni kell, a BUTE referenciaállomás és a Sas-hegyi 65-3050 OGPSH keretpont felhasználásával.



4. ábra. A mikrohálózat pontjai (álláspontjai) az 1. ütemben (a régi pillér elbontása előtt, fent) és a 2. ütemben (az új pillér megépülte után, lent).

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a főpont körül, a mellvédfalon állandósított (M-mel jelölt) segédpontokkal egy mikrohálózatot kell létesíteni, amit mérőállomással, és statikus GNSS technológiával is, két időpontban meg kell mérni (4. ábra). A

mellvédfali pontjelnek szerepe kettős: egyrészt a mikrohálózat két időpontú hagyományos mérése között kapcsolópontként szolgálnak, másrészt mozgásvizsgálati pontok is. Mindkét típusú mérés alapfeltétele volt az M5, M6, M7, M8-cal jelölt mellvédfali segédpontok állandósítása, amelyre 2023. áprilisában került sor. Ekkorra már restaurálták az erődfal ezen részét és kicserélték a tardosi vörösmész-kő fedköveket újakra.



5. ábra. A fedőkö átúrása és mélységének ellenőrzése az M jelű pontjelhez.

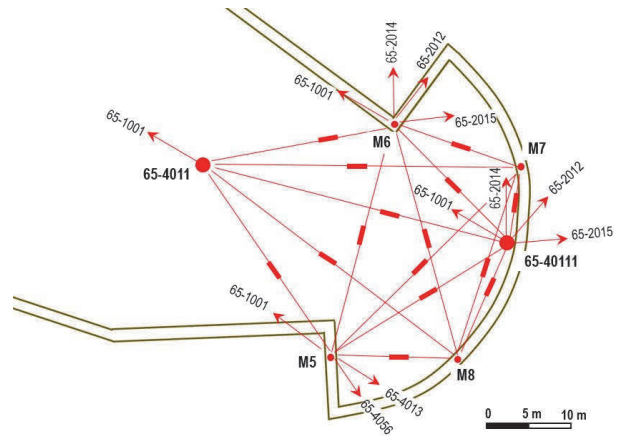
Az M jelű pontjel egy 500 mm hosszú, 30 mm átmérőjű acélból készült rúd, bronz fejezettel, tetején 2 mm mélységű furattal. A pontjel a 15 cm vastag rózsaszín fedőkö teljes átúrásával, mélyen az erődfalba került beépítésre (5. ábra). Mozdulatlanságát tömítőragasztó biztosítja, amely a felső részen tartósan rugalmas, UV álló.

Az előkészítés része volt az alapadatok (pontleírások, törzskönyvek) beszerzése, amit a Lechner Nkft. Alaphálózati és Államhatárügyi Osztályától kaptunk meg. Az előkészítés során 2023. februárjában helyszíneltek a Citadellán lévő két alappontot és keresőforduló mérésével meggyőződünk az innen mérhető irányokról. A távoli irányzott pontok az EOVA magaspontjai (templomtornyok nagyrészt), ezek 7-12 km távolságra vannak a Citadellától. Ismeretes, hogy Budapesten az EOVA-nak csak harmadrendű pontjai vannak, illetve egy, a harmadrendű hálózatból levezetett elsőrendű pont (65-1001, János-hegy). Az irányméréseket olyan időpontra kellett tervezni, amikor pára vagy köd nem hiúsítja meg ezen távoli pontok láthatóságát.

2. A hálózat mérése a régi pillér elbontása előtt (1. ütem)

A hálózat alpmérésére 2023. április 21-én került sor. Hat állásponton (65-4011, 65-4011/1, M5, M6, M7, M8) mértünk Leica TS15i mérőállomással (iránymérési középhibája 1", távmérési középhibája 1mm+1,5 ppm), ATR irányzással. A mérés négy fordulóban történt az előkészített meghatározási terv szerint (6. ábra). Irányzott jelként minden ponton Leica körprizmát használtunk. A főponton műszerállványon optikai

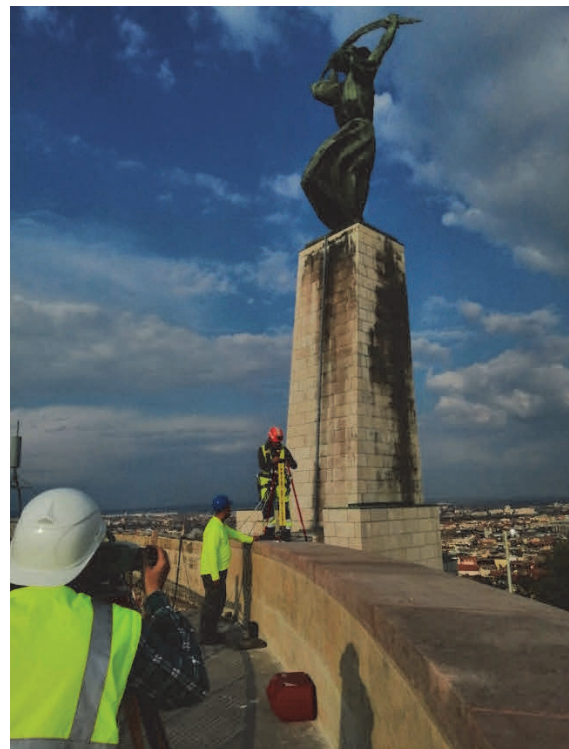
vetítővel, a pilléren illetve a mellvédfalon pillérállványokon történt a pontraállítás (7. ábra).



6. ábra. Az első ütemben mért hálózat meghatározási terve.



7. ábra. Pillérállvány felállítás az M6 ponton.



8. ábra. Jelmagasság szintezése az M8 pontnál.

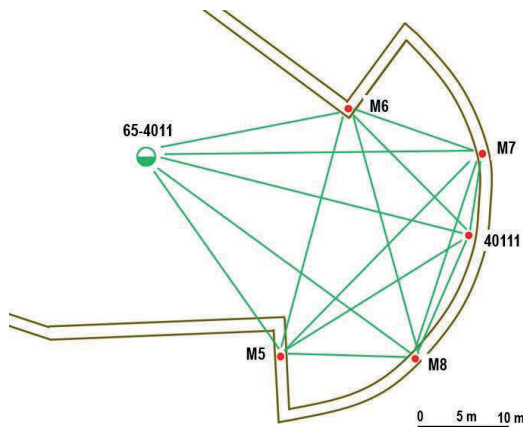


9. ábra. Szintezőléccel felállítása egy M mellvédponton.

A magassági értelemben felhasznált irányok (trigonometriai úton mért magasságkülönbségek) a magassági meghatározási terven láthatók (10. ábra). Az esetleges durva hibák, elazonosítások érdekében elvégeztük a mérések előzetes feldolgozását.

3. A hálózat mérése és számítása az új pillér megépítése után (2. ütem)

2025 nyarán helyszínelést tartottunk, amikor is kiderült, hogy a mikrohálózat északi és déli pontjai a magas pengefal miatt nem látszódnak össze. Ezt úgy lehetett feloldani, hogy egy (100-as pontszámmal jelölt) újabb segédpontot (vesztett pontot) jelöltünk ki, ahonnan mind a főpont, mind az összes mellvédfali pont látszik (4., 11. ábra).

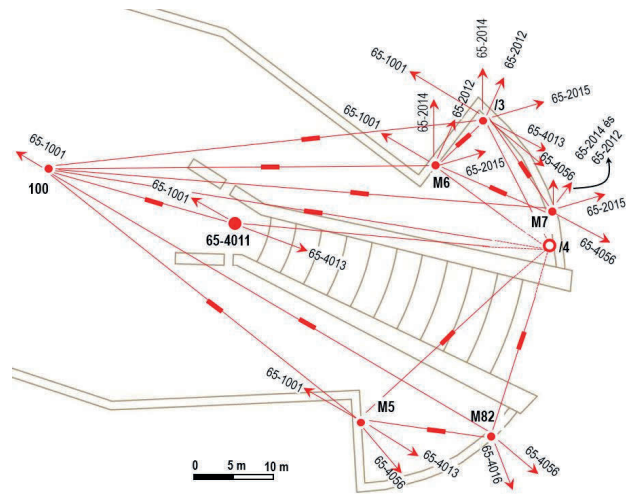


10. ábra. Magassági meghatározási terv – 1. ütem.

A hálózat második mérésére 2025. október 8-án került sor. Az első ütem öt álláspontja (65-4011, M5, M6, M7, M8) most kiegészült az új pillérrel (65-4011/3) és a 100-as jelű vesztett ponttal, az irányzandó pontok (új pontok) közé bekerült az új henger (65-4011/4). Először a műszer- és jelmagasságok szabatos meghatározásához szükséges szintezést végeztük el Leica DNA03 szintezővel. A pillérmél és a mellvédpontonon (álláspontként) előbb a pontjel magasságát mértük a látsíktól gömbsarus 1 méteres vonalkódos léccel, majd pedig (a pillérállvány, műszertalp, középrész felállítását követően) a prizmat (később antennát) tartó középrész magasságát, a két érték különbségéből képezve a jelmagasságot. A pillértalpak lábait most is gyorsan kötő gipszel rögzítettük az erődfal fedlapjához. A főpontonál előbb mini (4 mm-es) gömbsarut helyeztünk a köré, arra állítva a 2 m-es szintezőléceket; a szintezést követően optikai vetítővel pontraálltunk, majd a középrész magasságát szinteztük.

Ezen előkészítés után indult az irány- és távmérés a Leica TS15i mérőállomással az új meghatározási terv szerint (11. ábra). A mérés most is (mint az első ütemben) négy fordulóban történt. A

főponton – az elbontott erődfal helyén keletkezett nyíláson át – lehetőség adódott egy korábban nem mért irány (65-4013) mérésére. Az új irányzóhenger mindegyik álláspontból irányozható volt: a henger felső részéből kiálló rúd tetejére mértünk irányt, zenitszöget és néhány ponttól távolságot is, prizma nélküli módban (rendszerint az utolsó fordulóban). A főpont három, korábban állandósított őrscsapjára is mértünk a főponton két fordulóban irányt és távolságot. Az azonos típusú Leica prizmákra végzett mérést a műszer automatikusan (ATR irányzással) végezte mindkét távcsőállásban. A mérőállomással az első ütemben is és a második ütemben is minden állásponton ugyanaz a személy, Dr. Égető Csaba mért, aki alpinechnikai vizsgáival is rendelkezik (12. ábra). Az egyes álláspontokról a második ütemben mért irányok és távolságok áttekintését szolgálja a vízszintes meghatározási terv (11. ábra), a magassági értelemben felhasznált irányokét pedig a magassági meghatározási terv (13. ábra).



11. ábra. A 2. ütemben mért hálózat meghatározási terve.



12. ábra. Mérőállomás egy mellvédponton.

A véglegesnek tekintett számítás előtt több próbafuttatást végeztünk, hogy kiszűrjük az esetleges elírásokat, téves irányzásokat. Javítottuk a henger rúdja mért távolságot a sugár (és a magassági szögnek megfelelő korrekció) értékével. A prizma nélküli távmérési mód gyengébb pontossága miatt végül a hengerre mért távolságokból csak hármat használtunk fel, nevezetesen a 100, M5 és M8 álláspontokon mértetket.

Az első és második ütemben mért hálózatok számítására a következő elvi lehetőségeket vázoljuk (Busics, Csepregi 1992).

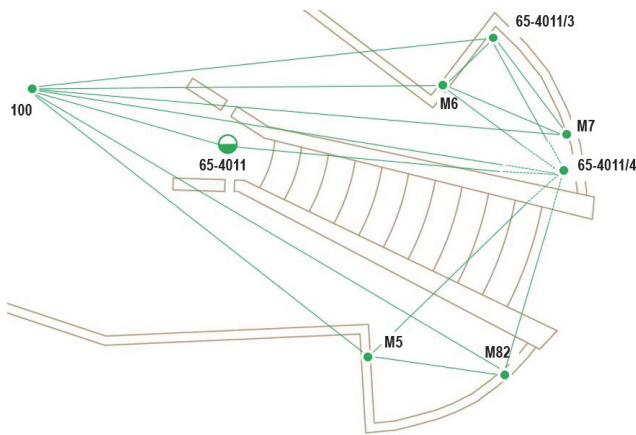
1. Külön-külön egyenlítjük ki a két időpontban mért hálózatot. Ekkor a mellvédpontokra is két-két koordinátapárt kapunk, ami az esetleges elmozdulások elemzésére adna lehetőséget. A feladatunk szempontjából azonban ez nem opció,

mert így értelmetlenné válna az első ütemben végzett mérés, amit gyakorlatilag nem használnánk fel.

2. Az első ütemben végzett mérés kiegyenlítéséből kapott mellvédhali koordinátákat a második ütemű mérés számításakor adott értékek tekintjük. Ekkor hallgatólágoosan feltételezzük, hogy ugyanazon álláspontokról végeztük méréseinket, más szóval: az álláspontok mozdulatlanok. Ha ez a feltétel teljesülne is, hátrányos, hogy az M pontokon végzett irányméréseket csak tájékozásra használjuk, az itt végzett távméréseket pedig ignoráljuk, pedig ezek az adatok is lehetnének meghatározó mérések.

3. A két ütemben végzett méréseinket egyesítjük, egyetlen mérési jegyzőkönyvbe fűzzük össze, együtt visszük a közös számításba. A kiegyenlítésnél kétféleképpen járhatunk el. Első esetben feltételezzük, hogy a közös álláspontjaink (estünkben az M jelű vizsgálati pontok) mozdulatlanok a két epocha között. Ez a számításnál azt jelenti, hogy az álláspontokat ugyanazon pontszámmal jelöljük. Előnye ennek a megoldásnak a 2. pontban szereplővel szemben, hogy az M pontok koordinátái számításában mindkét időpontú összes mérés részt vesz. Hátránya a megoldásnak, hogy ha elmozdultak volna a pontok, akkor nagy (a hibahatárt meghaladó) irány- és távolságtérések keletkeznek. A második esetben ezért feltételezzük, hogy az összes álláspont (esetünkben az M jelű vizsgálati pont) elmozdult, amit úgy veszünk figyelembe, hogy az álláspontnak más-más pontszámot adunk az első és második epochában.

4. Az előző pontban vázolt eljárásban közties megoldás is lehetséges: valamilyen vizsgálattal valószínűsítjük az elmozdult álláspontokat és csak ezeknek adunk más-más pontszámot. A Citadella mikrohálózatnál is ezt követtük: a próbaftuttatások során és a GNSS mozgásvizsgálatnál az derült ki, hogy az M8 pont mozdulhatott el, így ennek a pontszámát a második ütemben M82-re változtattuk.



13. ábra. Magassági meghatározási terv – 2. ütem.

A véglegesnek elfogadott számításnál tehát az egyesített mérési jegyzőkönyv volt az egyik kiinduló adat (bemenő mérési fájl). Ebben minden pont eredeti pontszámával szerepel, kivéve az M8 pontot, amelynek a második ütem méréseinél M82-re változott a pontszáma. A másik bemenő adat az adott pontok koordináta-jegyzéke, amit a pontleírások alapján mm élességgel adtunk meg. Ebben a hálózatnak a Citadellán lévő mindkét pontja (65-4011, 65-4011/1) adott pontként szerepel, így megfelelünk annak az elvárásnak, hogy a régi pillér is részt vesz a meghatározásban. A távolságokat EOVSíkra redukáltuk (átlagos x koordináta: 238000 méter; átlagos magasság: 234 méter). A súlyozáshoz előzetes értéként 2 másodperces iránymérési és 1 mm-es távmérési középhibát vettünk fel. A koordinátákat mm élességgel írtuk ki. Az új pontok koordináta-középhibái és hibaellipszis-méretei (egy pont kivételével) kerekítve 1 milliméteresek. A kivételes pont az M82, itt a hibaellipszis fél

nagy tengelye 2 mm-es. Az összes távolságtérés maximuma 3 milliméter. Ilyen értékű például a két közeli adott pont, a főpont (65-4011) és a régi pillér (65-4011/1) között mért és számított távolság eltérése is. A vízszintes kiegyenlítést követően elvégeztük a trigonometriai magassági hálózat kiegyenlítését. A magassági hálózat egyetlen pontra (a főpont pontleíráson szereplő Balti magasságára) támaszkodik. Az új pontok magassága 0,1-0,2 mm-es középhibával volt meghatározható, a javítások zöme nem éri el az 1 mm-t, csak kivételesen érik el a 3 mm-t (minden kivételes eset a hengerre végzett irányzásnál fordult elő).

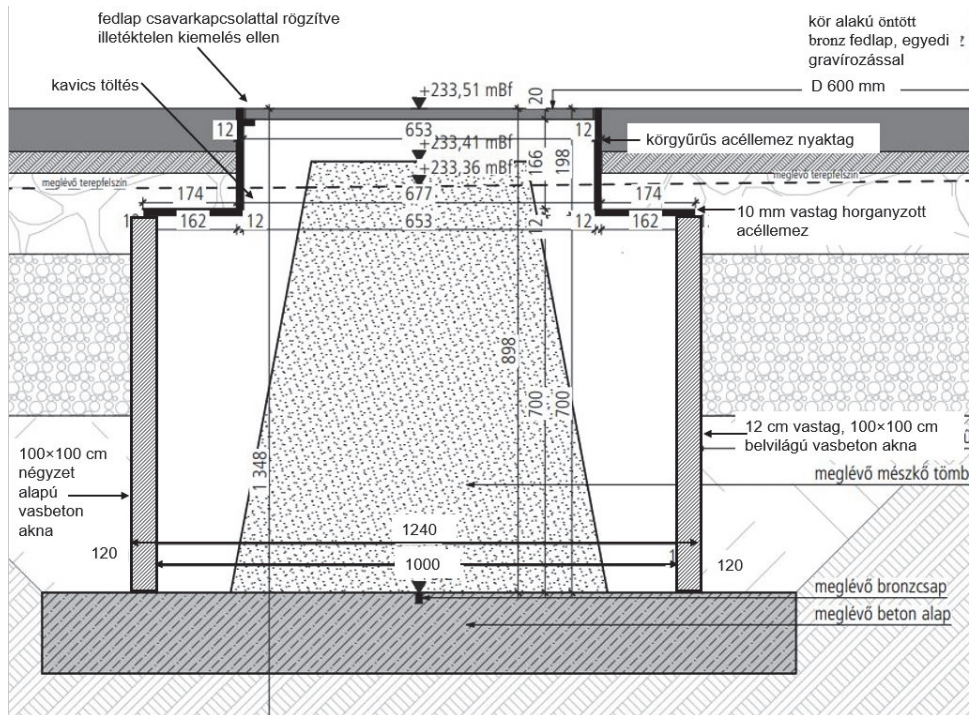
4. Az új pontjelekről és dokumentálásukról

2025 nyarán épült meg az új pillér és irányzöhenger a keleti udvar északi részén (14. ábra). A pillér az északi erődfalra és a lépcsősor északi támfalára (valamint oszlopokra) támaszkodó vasbeton födémhez töcsavarokkal csatlakozik. A 42 cm átmérőjű előregyártott hengeres vasbeton pillér magassága a járószinttől 113 cm. A pillér tetején 30 cm átmérőjű öntött bronzlapp van központi furattal, gravírozással. A felirat szövege: ORSZÁGOS GEODÉZIAI FŐALAPPONT KÜLPONTJA 2025. A mellvédfal és a pillér között elférnek a turisták és élvezhetik a kilátást.



14. ábra. A pillér és a henger 2025 októberi drónfotón. (Fotó: Geo Zentral Kft.)

Ugyancsak a vasbeton-födémbe épített tartócsavarokhoz csatlakozik talplemezzel az 5,42 méter hosszúságú, 17 cm átmérőjű rozsdamentes fém tartórúdra szerelt irányzöhenger. Magának a hengernek a mérete ugyanolyan, mint az eredeti volt, 80 cm magas és 32 cm átmérőjű, felső részben fehér, alsó felében szürke színű. Tetején egy 40 cm magasságú és 4,2 cm átmérőjű fémrúd teszi lehetővé a közeli irányzást. A fémrúd tetejének magassága a járószint felett 4,5 méter.



15. ábra. A főpont pontvédelme (metszet).

Mivel a Citadella burkolatépítési és kertészeti munkái csak 2025 őszén fejeződtek be, ekkor lehetett elkészíteni az újonnan meghatározott alappontok helyszínrajzát és pontleírását. Nemcsak az új pillérről és hengerről készült pontleírás, hanem az őrcsapokról is, mivel ezek ún. koordinátás őrcsapok (felhasználhatók például szabad álláspont meghatározáshoz). Új pontleírást készítettünk a 65-4011 főpontról is, mint vízszintes alappontról és mint OGPSH pontról is, mert a pont környezete és pontvédelme megváltozott.

Hogyan néz ki ez a pontvédelem? A főpont köré először egy 1×1 méteres belső méretű négyzetes alapú 70 cm magas aknákat építettek 12 cm vastag előregyártott vasbeton lapokból (15. ábra). Erre támaszkodik az 1 cm vastagságú horganyzott acéllemez, 60 cm-es körátmérőjű acéllemez nyakkal. Ezt zárja le az egyedi gravírozású öntött bronz fedlap a járószinten. A bronz fedlapot csavarkapcsolattal rögzítik az illetéktelen kiemelést megelőzendő. A fedlapra gravírozott Magyarország-térképen kör jelöli a Gellért-hegyet, amin a két koordinátatengely megy keresztül, az x-tengely meridián-irányú. A felirat szövege: ORSZÁGOS GEODÉZIAI FŐALAPPONT. A meridián iránya folytatódik a mészkő járólapokon kialakított vajatba ragasztott ónlemezzel jelölve. A nagyközönség, a látogatók, a Szabadság-szobor mögötti lépcsőn felsétálva, ezzel a bronzlappal és meridián-jelöléssel fognak találkozni (16., 17. ábra).

5. A GNSS hálózat méréséről és feldolgozásáról

A GNSS alappontmérésre 2023. április 19-én, a főpont OGPSH hálózatba kapcsolásával egyidejűleg, illetve azt folytatva került sor (Busics és társai 2025). Hat darab azonos típusú GNSS vevő (Topcon NET G3 vevő CR-G5 körgyűrűs antennával) mért szinkronban a 65-3050, 65-4011 továbbá az M5, M6, M7, M8

ponthelyeken. A mérés időtartama (a tervezett 3 óra helyett) 6 óra volt.

A második ütem GNSS mérésére 2025. október 8-án került sor, a mikrohálózat irány- és távmérését követően, 3 órás időtartamban. Ugyanazon műszerállvány, illetve pillérállvány középrészében helyeztük el a GNSS antennát, ahol előzőleg a mérőállomás, illetve prizma volt. Ugyanazt a Topcon NET G3 vevőt és CR-G5 körgyűrűs antennát használtuk ugyanazon állásponton, mint az első ütemben. A két referenciapont most is a sas-hegyi OGPSH keretponton volt (réz adapterrel) és a BUTE permanens állomás. Az új pillér (65-4011/3) is bevonásra került a második ütemű GNSS hálózatba.



16. ábra. A fedlap a meridián-vonallal.

A két időpontú GNSS mérések feldolgozását a Leica Infinity 3.0 verziójú szoftverrel végeztük. Az álláspontok közötti vektorokat a következő fontosabb beállítási paraméterek szerint számítottuk: precíz pályaadatok, NGS14 antenna-modellek, csak GPS mérések, 10° magassági kitarakási szög, Hopfield troposzféramodell, kétfrekvenciás mérésekből számított ionoszféra-modell. A Glonass méréseket azért ignoráltuk, mert

több esetben rontották az eredményt, illetve pályadataik hiányosak voltak. A vektorokat minden kombinációban számítottuk. A vektorok mindegyike fix megoldásként (a ciklustöbbsértelműség feloldásával) volt számítható.

A térbeli vektorokból álló hálózat kiegyenlítésénél adott (fix) pontnak a BUTE referenciaállomás ITRF2020 rendszerű koordinátáit vettük, milliméterre kerekített derékszögű koordinátákkal. Ezeket a koordinátákat PPP megoldásból kaptuk az október 8-i 24 órás mérés kiértékelésével. Abból a célból, hogy helyi (égtájak és magasság szerinti) rendszerben is értelmezhető legyenek a koordináta-változások, a geocentrikus koordinátákból topocentrikus koordinátákat számítottunk egy közeli, fiktív pontra vonatkozóan. A topocentrikus koordináta-változásokat tekintve, vízszintes értelemben az M7 és M8 jelű mellvédpontnál tapasztalható a legnagyobb mértékű változás, lineárisan 2,9 mm illetve 3,0 mm, a többi vizsgálati pontnál a lineáris eltérés nem haladja meg az 1,5 mm-t.

6. Összefoglalás

Az egykori Gellérthegy főalappont (65-4011) külpontja, a Citadella keleti végében 1933-ban létesített pillér (65-4011/1) mind a főváros 1933-35. évi önálló háromszögelési hálózatában, mind később (az EOVA-ban és a metróépítésekénél) igen fontos műszerálláspont volt. Mivel ez a pont a lépcsőfeljáró miatt elpusztult, új pillér és irányzöhenger létesítését írták elő úgy, hogy a régi pillér is vegyen részt a meghatározásban. A feladatot mikrohálózat kialakításával, két ütemben (a régi pillér elbontása előtt, majd az új pillér megépülte után) végzett irány- és távmérésekkel oldottuk meg, a mérések egyben történő kiegyenlítésével.

Fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy nemcsak a főpont és az új külpont méltó megjelölése készült el öntött bronzlappal, hanem a Gellért-hegyi meridián vonala is látható a burkolatban. Úgy gondoljuk ezzel szakmánk szerepe is jobban „láthatóvá” válik a nagyközönség számára.



17. ábra. A főpont a meridiánnal, valamint a pillér és a henger nyugatról fotózva. (Fotó: Geo Zentral Kft.)

Köszönetnyilvánítás

A tényleges alappontpótlási munkát négyen végeztük, de a cikkben jelzett eredmény eléréséhez több szervezet és számos kolléga hathatós, baráti segítségére is szükség volt. Támogatásukért, segítő közreműködésükért ezúton fejezzük ki köszönetünket az alábbi cégeknek/szervezeteknek és munkatársaknak:

art1st design studio Kft. (*Kurusa Gergely, Szánthó Benedek, Taraczkó Dániel*); Atlasz Geodézia Kft. (*Fehér Szabolcs, Szentgyörgyvölgyi Pál*); Budapest Főváros Kormányhivatala, Földhivatali Főosztály, Földmérési Osztály (*Kiss István, Kocsis Balázs, Körblné Németh Éva*); Geo Zentral Kft. (*Kohonóczki András, Márton Szabolcs*); Lechner Nonprofit Kft., Ingatlan-nyilvántartási és Geodéziai Igazgatóság, Alaphálózati és Államhatárügyi Osztály (*Pálosi Imre, Sebők Tamás, Varga Felicián*); ZÁÉV Építőipari Zrt. (*Kromer Zoltán, Tanárki Tibor*).

Irodalomjegyzék

- Busics György, Csepregi Szabolcs (1992): Hálózati szemlélet a vízszintes alappontsűrítésben. *Geodézia és Kartográfia*, 1992/3. 157-166.
- Busics György, Égető Csaba, Rózsa Szabolcs, Tóth Zoltán (2025): OGPSH pont pótlása a Gellért-hegyen. *Geodézia és Kartográfia*, 2025/3. 4-10. <https://doi.org/10.30921/GK.77.2025.3.1>
- Busics György, Molnár Gábor (2025): A Gellért-hegyről és a Gellérthegyről. *Geodézia és Kartográfia*, 2025/2. 32-39. <https://doi.org/10.30921/GK.77.2025.2.4>
- Papp Gyula (1949): Budapest háromszögelése. *Geodézia és Kartográfia*, 1949/1-2. 1-14.

Monitoring the Health Status of Ghouts in El Oued Region (Southeast Algeria) Using Support Vector Machine Models

Nabil MEGA^{1*}, Akram Mohamed SEDDIKI², Abdelmonem MILOUDI¹, Nadjet ZAIR¹

¹LNTDL laboratory, Faculty of Technology, University of El Oued, PO Box 789, 39000, El Oued, Algeria.

²National Higher School of Geodetic Sciences and Space Techniques – Algerian Space Agency, PO Box 14, Arzew, Algeria.

E-mail: mega-nabil@univ-eloued.dz

[DOI: 10.30921/GK.78.2026.1.3](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.1.3)

Abstract

El Oued, located in the Souf region (southeastern Algeria), is characterized by its unique architecture and palm groves. These are cultivated in depressions excavated into the sandy soil to access the water table, thereby enabling date palm cultivation. These depressions, known as ‘Ghouts’, constitute an exceptional agricultural innovation. In 2011, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) recognized the Ghout system as a Globally Important Agricultural Heritage System (GIAHS) due to its profound historical, socio-economic, and cultural significance. However, this valuable agricultural heritage, essential for the livelihoods of the inhabitants, is currently threatened by various factors of degradation, including the rising or lowering of the water table, extreme climatic conditions, rural exodus, groundwater pollution, urban expansion, and more. This article examines the contribution of artificial intelligence to the monitoring of Ghout health status in the municipality of El Oued, employing the Support Vector Machine (SVM) model. The research focuses particularly on these agricultural systems that are currently threatened by severe degradation. The results reveal a steady decline in the Ghouts’ area, shrinking from 61.79 hectares in 2015 to 23.90 hectares by 2023. A significant degradation was observed between 2018 and 2019, with a loss of 17.65 hectares documented within a single year. The factors contributing to this degradation include climate change, increasing urbanization, and the evolution of agricultural practices that have altered the structure and function of these essential agricultural systems. Furthermore, this comprehensive analysis expands upon the initial findings by providing detailed SVM methodology documentation, enhancing uncertainty quantification, presenting a comparative analysis with alternative machine learning methods, and integrating a socio-economic analysis with policy implications and long-term monitoring recommendations for the GIAHS conservation.

1. Introduction

The use of Support Vector Machines (SVMs) in plant monitoring has several advantages, including their effectiveness for small datasets and their ability to handle complex nonlinear relationships (Savalkar & Patil, 2023). Indeed, SVMs are particularly suitable for small to medium-sized datasets, which is often the case in ecological studies where data acquisition can be expensive or difficult (Mountrakis et al., 2011). Thanks to kernel functions, SVMs can capture nonlinear relationships between plant traits and their health status, which is crucial in natural systems where interactions are rarely linear (Lodhi et al., 2000). SVMs are also robust to high-dimensional data, making them suitable for handling datasets where each plant sample is described by a large number of features, such as vegetation indices or spectral measurements (Huang et al., 2002). Additionally, SVM excels at binary classification tasks,

such as distinguishing between healthy and degraded vegetation (Boser et al., 1992). However, there are also limitations to using SVMs. SVM performance is highly dependent on the choice of parameters, such as kernel type and error penalty, often requiring cross-validation to optimize these parameters (Hsu et al., 2003). Furthermore, SVMs can be less intuitive to interpret than other models, and their scalability becomes a challenge when datasets are very large, as computational time increases quadratically with the number of samples (Burgess, 1998). For multi-class scenarios, although extensions of SVM exist, other models such as convolutional neural networks (CNNs), YOLO or random forests may be more appropriate (Girshick, 2015; Redmon et al., 2016; Ahangarha et al., 2021; Boser et al., 1992). In Algeria, the SVM model is used for crop classification and detection of agricultural areas from satellite images. Mountrakis et al. (2011) and Zheng et al. (2015) applied SVM to distinguish crop types, assess vegetation conditions, and monitor land use changes, particularly in

regions such as the Sahara where extreme climatic conditions make agriculture vulnerable. Azzouzi et al. (2017) used SVM for soil classification and detection of areas prone to desertification. By analyzing satellite images and climate data, SVM models can help predict risk areas and plan interventions to combat desert encroachment (Abdelhakim et al., 2024). Lin et al. (2006) modeled and predicted water levels in reservoirs, groundwater, and rivers. For example, SVM models can be used to predict water flow based on historical data and climate parameters, to improve water resource management (Jamshidzadeh et al., 2024). SVM is also used for health data analysis in Algeria. Guido et al. (2024) and Duraisamy et al. (2023) used SVM for epidemic prediction or medical image analysis. They classified medical images for the diagnosis of cardiovascular diseases, which is crucial in regions where access to medical experts is limited. The use of Support Vector Machines (SVM) in the study of palm grove health is an interesting area, especially in arid and semi-arid regions such as the El Oued region, where ecosystems play a crucial role. Zheng et al. (2021) successfully classified various health conditions of palm groves from satellite and aerial imagery through the application of vegetation indices, notably the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and other spectral characteristics. Their SVM model contributed to the identification of areas affected by diseases or environmental stresses. Zhang et al. (2022) conducted image classification based on the presence of disease symptoms, including Banana fusarium wilt or root rot, thereby facilitating proactive and targeted treatment management. Shaharum et al. (2020) employed SVM with spectral data and field measurements to model palm grove biomass and estimate productivity.

2. Materials and methods

2.1. Study area

The study area covers 77 km², representing the main commune of the Wilaya of El Oued, with a population of 169345 inhabitants, according to the 2018 census (PSD, 2018). The geographic coordinates of the study area lie between latitudes 33° 12' 01" - 33°13' 02"N, and longitudes 6° 40' 03" - 6°41' 02" E.

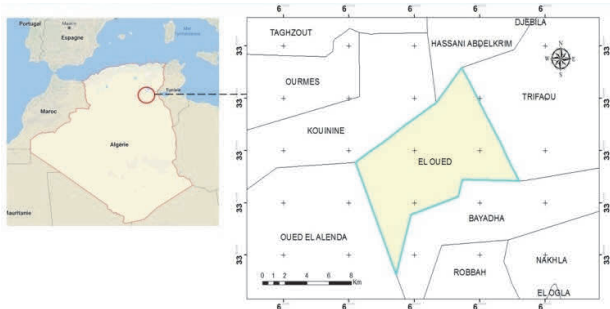


Figure 1 Study area.

The study area is bordered by the following communes (Fig. 1):

- Kouinine and HassaniAbdelkerim to the north;
- Oued El Alenda to the west;
- Bayadha to the south;
- Trifaoui to the east.

2.2. Geographic description

Based on previous research (Cornet, 1964; Voisin, 2004; Remini, 2006; Bensaâd, 2011; Zahi et al., 2011; Bouchahm et al., 2013; Miloudi & Remini, 2016; Remini & Souaci, 2019; Eid et al. 2024), it has been shown that the study area comprises three multi-layered geological formations that are considered permeable, and are alternated by other heterogeneous and impermeable formations. Within the study area, three aquifers have been identified, from top to bottom: an unconfined aquifer (phreatic), and two confined aquifers (terminal complex aquifer and intercalary continental aquifer). Climatic analysis confirms that the El Oued region has a hyper-arid climate, with an average annual precipitation of around 73.75 mm, and average annual temperatures being around 22.42 °C (NWS, 2018).

2.3. Universal heritage

In 2011, the Ghout was classified as a universal agricultural heritage site by the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. This was due to its historical, socio-economic, and cultural significance on a global scale (FAO, 2011). The Ghout, also known as the inverted pyramid, serves not only as an affective cultivation method, but also as a popular tourist destination for both domestic and international visitors. Its unique design showcasing the ingenuity of its creators, has allowed lush palm groves and food sources to thrive in harsh, arid Saharan environment. Additionally, the Ghout has facilitated the cultivation of a high-quality date variety known as "Baâli" (FAO, 2011; Betrouni, 2020).

2.4. Ghout architecture

Generally speaking, the main factors influencing the shape of Ghouts are the type of soil and the direction of the sand wind. Ghout shapes can be organized into three categories:

a) Circular Ghouts: This type of Ghout is found throughout the south-western Souf region (Mih Ouensa, Oued Turk, etc.). According to Bisson (1990) Kadri & Chaouche (2018), if the excavation depth exceeds 7 meters and the slope height exceeds 15 meters, the construction of a new chasm becomes impossible. The characteristics and conditions of the south-western Souf region are slightly different. The water table is 5 to 10 meters shallower, the sandy soils are not deeply encrusted, but the material is highly mobile and sensitive to all types of wind, which explains the presence of small driving dunes. Access to water is less of a problem than the management of wind flows (Fig. 2).

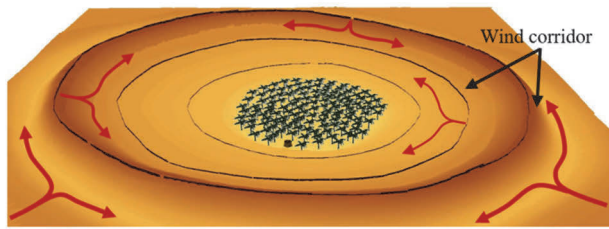


Figure 2 Circular Ghout (Miloudi & Remini, 2018).

b) Lying Ghouts: The Sufi devotes himself to the hoe, with the assistance of a donkey for transportation. He looks for very loose, sandy soils, free from gypsum encrustation, in order to excavate the site of his palm trees (Fig. 3). The sand is relatively homogeneous in the southern and southeastern parts of the region (El Oued, Nakhla, Robbah, etc.), where the crusts are thin and friable (Miloudi & Remini, 2018).

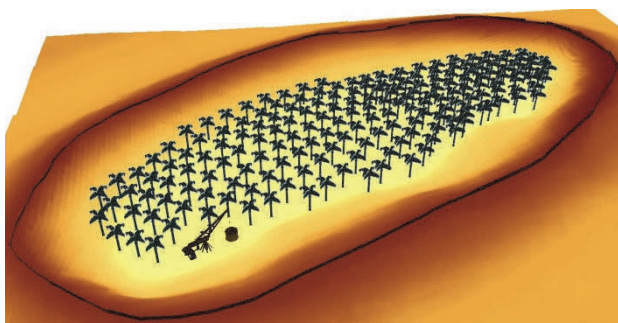


Figure 3 Elongated Ghout (Miloudi & Remini, 2018).

c) Rectangular Ghouts: This type of Ghout is found in the northern Souf region: Hassi Khalifa, Magrane, Hassani A-Kerim, Reguiba. They are more numerous than deep Ghouts, and probably have a brighter future, as they can be modernized. The landscapes of the northern half of the Souf are marked by shallow craters and escarpments, which are bright reddish (Fig. 4).



Figure 4 Rectangular Ghout (Miloudi & Remini, 2018).

Figure 5 is a photo taken in the municipality of Ourmes (El Oued region) showing palm trees in an advanced state of degradation, probably due to desertification, insufficient irrigation and the effects of climate change in the El Oued region (municipality of Ourmes, El Oued region). Drought and dwindling water resources, combined with potentially inappropriate agricultural practices, have led to the death of palm trees, which directly affects the local ecosystem (Lacheheb et al., 2025). In addition, the presence of visible waste on the ground also suggests pollution that contributes to the deterioration of environmental conditions. This situation

compromises agricultural production and the livelihoods of local populations dependent on date palm crops.

2.5. Methodology

The main objective of this research is to analyze the degradation of Ghouts in El Oued within the framework of remote sensing, utilizing Support Vector Machines (SVMs). This approach is based on the use of high-resolution satellite images, and SVMs are used for supervised classification of land cover changes over time.



Figure 5 A degraded Ghout.

2.5.1. Data acquisition and preparation

The satellite data used are from two main sources; the first is from the Copernicus Data Space Browser platform, containing Sentinel-2A images for the 2015–2024 period; the second is SPOT-5 images for the 2002–2010 period, available through the CNES REGARDS portal. These images correspond to the period of exceptionally low spatial resolution, which were selected to cover the study area of El Oued Ghouts.

2.5.2. Image processing

ENVI 5.3 commercial geospatial image processing software (Exelis Visual Information Solutions, USA) was used to conduct preprocessing, including georeferencing of the images. The images were segmented into regions of interest, and many of the multiple image layers were overlaid to form multispectral composites allowing the monitoring of the changes in vegetation cover and the water content of the Ghouts.

2.5.3. Selection of spectral indices

To evaluate vegetation cover and Ghouts water availability, several spectral indices were used, including the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which detects those with dense versus sparse vegetation. The NDWI (Normalized

Difference Water Index) was also calculated to monitor variations in soil water content showing areas where the water increased or decreased. Finally, the soil brightness index (BI), which is sensitive to salts and humidity, was used to characterize soil brightness to provide results on environmental changes in the Ghouts.

2.5.4. Supervised classification with SVM

SVM, a supervised learning algorithm, was used for supervised classification. It classifies the pixels in the satellite image into different categories based on the spectra signatures extracted from selected regions of interests (ROI). These ROIs, describing patterns representative of vegetation, sand, water, or urbanization were manually defined over the images. The SVM model was trained with a training dataset and validated with a test set to represent the predicted classification accuracy corresponding to change and no-change areas, between the images obtained in 2015 and 2024, respectively.

2.5.5. Validation and evaluation of results

In order to check and validate the results, the classifications of the processed images were compared with real data from the test set. The model was constructed using a training set, whilst the test set is then applied to evaluate its average out-of-sample performance for generalization and predicting classes well to unseen data. The results were analyzed using metrics including the confusion matrix, Cohen's kappa, and overall accuracy, which enabled the identification of classification errors and verified the performance of the SVM model in detecting environmental changes in the Ghouts of El Oued.

2.5.6. Change detection and time tracking

Using Thematic Change Workflow tool in ENVI 5.3, Ghouts were compared with satellite images for years 2015 and 2024 to perform change detection and temporal monitoring to develop the thematic change map. This allows for the visualization and identification of changes in the region, such as urban growth and the gradual disappearance of Ghouts. Simultaneously, monitoring the temporal evolution of the vegetation cover of Ghout areas using the NDVI index allowed quantifying their changes over time with precision, and exploring the environmental and socio-economic dynamics affecting territorial development through these traditional agrarian systems.

Figure 6 presents the methodology diagram for Ghout detection and analysis based on remote sensing and spatial analytics. The first stage is data preparation, which includes downloading and collecting satellite images (Sentinel-2A and SPOT-5) and describing them according to their spatial, spectral, and temporal resolutions. Next, a number of spectral indices were calculated, including NDVI, NDWI and BI, to analyze vegetation, water content, and soil brightness, with subsequent image classification based on these indices. In supervised classification (SVM), regions of interest ROIs are selected, a machine learning model SVM is trained to classify pixels, and the model's accuracy is evaluated using metrics such as confusion matrices. The last step, area tracking, is calculating NDVI in time, reclassifying the images to make Ghout areas standalone, exporting the results as shape files and calculating Ghout areas with spatial analysis tools in ArcGIS. This methodology monitors Ghout vegetation and water resource dynamics, which can present information for sustainable land management and conservation strategies.

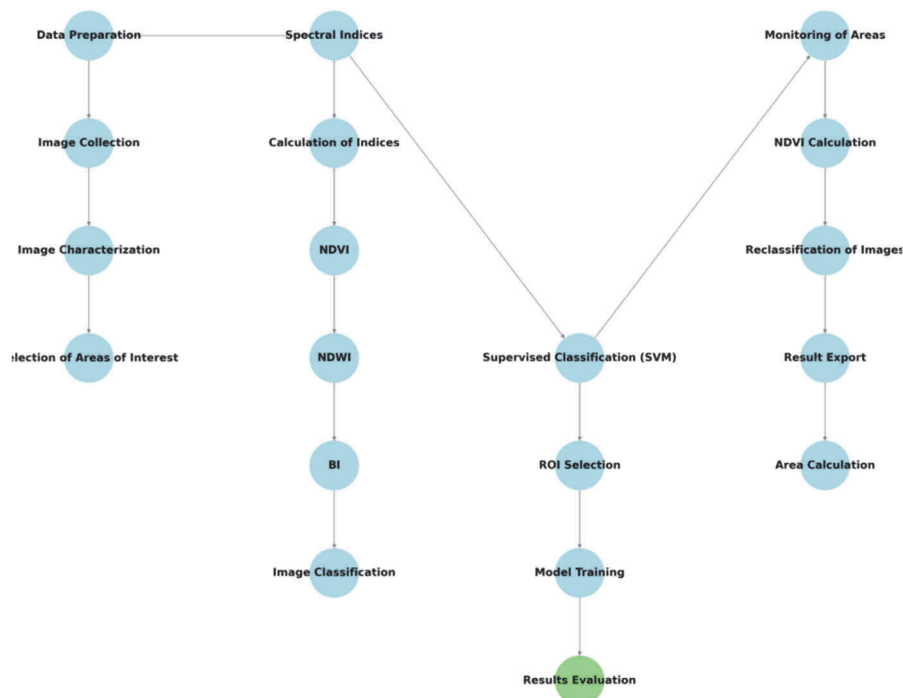


Figure 6 Approach to monitoring the health status of Ghouts

3. Results and Discussion

3.1. NDVI

The analysis of the evolution of Ghouts in the El Oued region, South-East of Algeria, over the period from 2015 to 2024, reveals a significant decrease in their areas. From Sentinel-2A and SPOT-5 satellite images and using processing and analysis tools such as ENVI 5.3 and ArcGIS 10.8, the areas of Ghouts were calculated annually after reclassification of NDVI, NDWI and BI indices. The NDVI map from 2024 (Fig. 7) reveals a

predominance of low values, represented by dark tones, in the study region. This pattern indicates a substantial reduction in vegetation cover when compared to 2002 data. While the NDVI of the year 2002 presented more extensive areas of high values in yellow, corresponding to a significant vegetation density in the Ghouts. Figure 7 reveals a significant decrease in these areas, with an expansion of dark tones (values close to 0 or negative). The area decreased from 61.79 hectares in 2015 to 23.90 hectares in 2023. The remaining high-NDVI areas in 2024 likely correspond to residual pockets of still-functional Ghouts or regions where conservation efforts have been implemented, though these areas remain significantly smaller than in 2002.

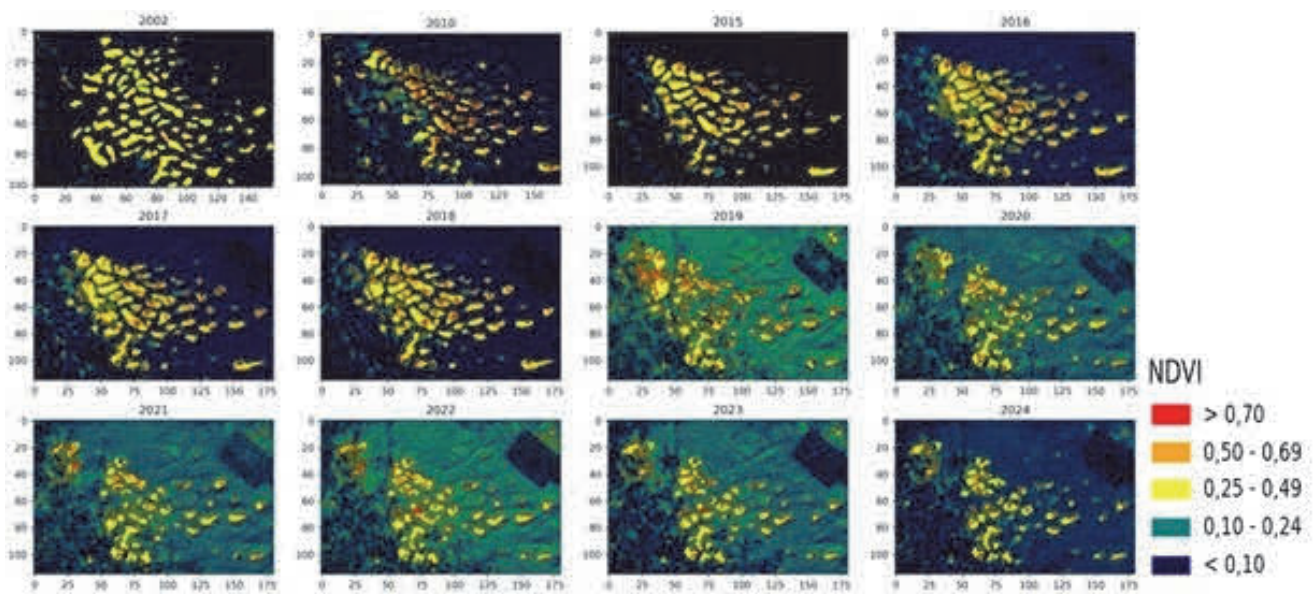


Figure 7 NDVI of Ghouts (from 2002 to 2024).

3.2. NDWI

The graph in Figure 8 illustrates the evolution of the NDVI vegetation index in the El Oued region, obtained from the *Google Earth Engine* (GEE) platform, between 2016 and 2024. There is a high variability in NDVI values, particularly between 2016 and 2020, with several peaks indicating periods of intense vegetation. However, from 2020 onwards, a general downward trend is noticeable, suggesting a gradual reduction in vegetation cover, possibly due to environmental factors such as drought or

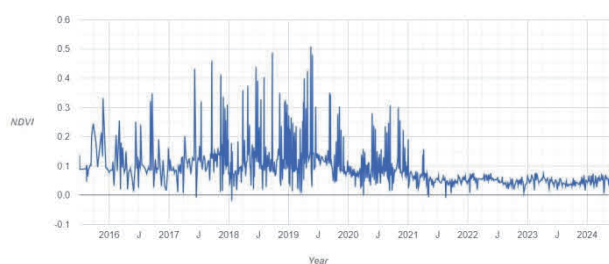


Figure 8 Evolution of NDVI (from 2016 to 2024) (Source: GEE).

changes in land use (Sietz et al., 2017). By 2024, NDVI values approach zero, indicating substantial vegetation degradation or loss in the region.

The 2019 NDWI map (Fig. 9) shows overall positive values, represented by light tones, indicating a marked presence of humidity in the Ghouts that year. This observation corresponds to the peak observed in the NDWI time curve (Fig. 10), which shows high humidity in 2019 compared to other years. A direct correlation between water availability and vegetation density was observed, indicating that the decline in NDVI values is closely linked to the reduction in NDWI. Areas of high NDWI values are likely associated with still-functional Ghouts, where access to groundwater remains sufficient to support vegetation. However, the spatial distribution of high values is heterogeneous, with concentrations in specific areas, which could reflect local variations in the depth of the water table or agricultural practices. In 2024, NDWI values drop considerably. Water degradation is observed, probably due to overexploitation of water resources and prolonged droughts after 2019.

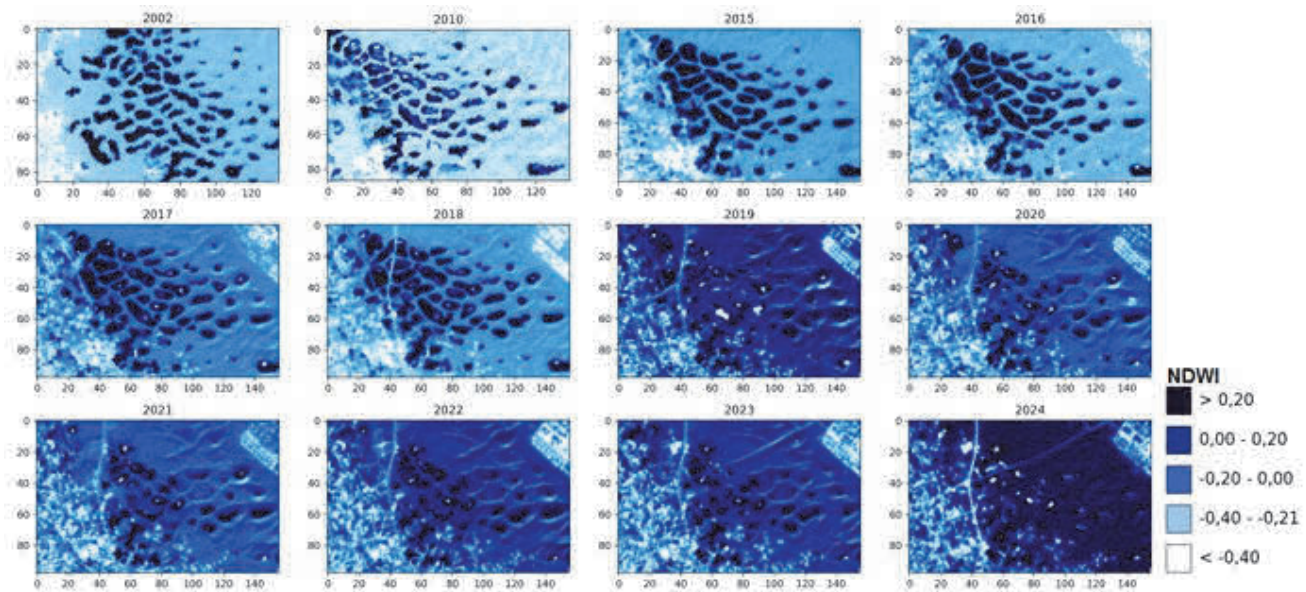


Figure 9 Evolution of the water index in the El Oued region (from 2002 to 2024).

The graph in Figure 10 shows the evolution of the NDWI water index, obtained from the *Google Earth Engine* (GEE) platform, between 2016 and 2024 in the El Oued region. The NDWI values vary significantly, regularly oscillating around the value of -0.20, with several marked peaks and troughs. These fluctuations could indicate seasonal variations in the presence of water in the region, perhaps related to rainfall or changes in agricultural or irrigation practices. Negative values dominate the observed period, indicating low water presence or prolonged periods of drought. However, it is possible to observe some periods of relatively high values, which indicate an increase in humidity or water in the region, probably after rainfall or periods of irrigation. This increase is also due to the upwelling that the region presents, which contributes to the temporary increase in humidity levels.

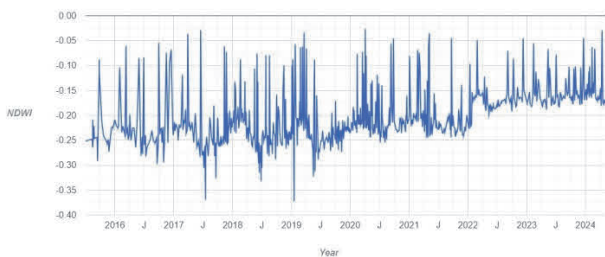


Figure 10 Evolution of the NDWI (from 2016 to 2024) (Source: GEE).

3.3. SVM Classification by indices

The brightness index (BI) is not discussed in this article. The supervised classification map presented in Figure 11 summarizes its evolution. Figure 11 illustrates the evolution of land use in El Oued between 2015 and 2024 by combining the spectral indices NDVI, NDWI and BI, calculated from Sentinel-2A and SPOT-5 data, in ENVI 5.3. Each index being assigned a distinct color to visualize the changes, revealing a notable reduction in vegetation cover (Ghouts). With extensive

green areas in 2015 (61.79 ha) against a marked decrease in 2024 (23.90 ha in 2024, Fig. 11), a parallel increase is seen in humidity (NDWI). Going from low values in 2015 (-0.24) to high in 2024 (-0.05, Figure 10). These changes reflect the impact of recurrent droughts, water scarcity and intense urbanization across the entire study region (Fig. 11). Although limitations such as spatial resolution and possible confounding (urban/wetlands) require validation, this multi-index analysis highlights the urgency of conservation strategies to preserve the Ghouts in the face of observed environmental degradation.

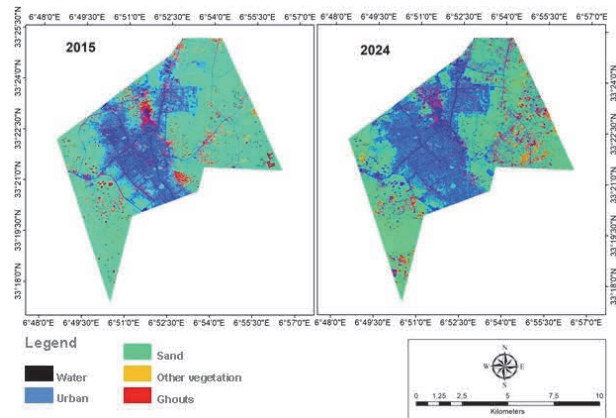


Figure 11 Change detection (SVM Classification by indices).

3.4. SVM Classification by region of interest (ROI)

The comparison of the 2015 and 2024 maps reveals significant changes in land use. In 2015, the Ghout areas (in green) are larger, corresponding to the still functional Ghouts, with a total area of 61.79 hectares (Fig. 12). On the other hand, in 2024 these areas have shrunk considerably (23.90 hectares), in favor

of urban areas (in gray) that are expanding towards the south and east. This indicates a dense and rapid urbanization in the region. Sandy areas (in yellow) also increase in 2024, indicating an alarming situation of recurrent droughts. The water lake (in blue) shows an increased presence in 2024, suggesting hydrological changes, perhaps related to salt accumulation or water stagnation in some areas after periods of drought. The results of this classification illustrate consistency with the results obtained in the sections above (4.1, 4.2 and 4.3). These results highlight the combined impact of urbanization and environmental degradation on the Ghouts. A marked conversion of agricultural land to urban or desert areas, highlighting the need for sustainable management to preserve these traditional agricultural systems.

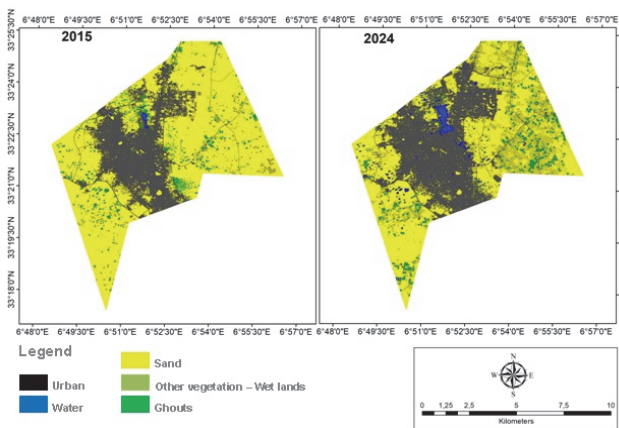


Figure 12 Change detection (SVM Classification by ROI).

3.5. Confusion matrix

Tables 1 and 2 present the confusion matrices of the supervised SVM classification, performed on both images of 2015 and 2024. For the 2015 image (Table 1), shows an overall accuracy of 98.87% (1314/1329 pixels correctly classified), which indicates a very high performance to identify land use classes such as vegetation (Ghouts), sand or urban areas, with only 15 misclassified pixels probably due to minor confusions between similar classes (e.g., sparse vegetation and sand). Regarding Table 2 (confusion matrix for the 2024 image), shows an overall accuracy of 89.77% (1650/1838 pixels correctly classified), indicating a slightly lower but still acceptable performance, reflecting changes in the distribution of classes (increase in urban and sandy areas, decrease in the Ghouts class). Tables 1 and 2 demonstrate overall good reliability for detecting changes in land use, although potential confoundments and the lack of details on specific classes limit more detailed analysis.

3.6. Mapping changes

Figure 13 illustrates land use transformations in the El Oued region between 2015 and 2024 using the Thematic Change

Workflow tool of the ENVI software. This tool compares supervised SVM classifications of the 2015 and 2024 images to identify areas of change and immutability. Mapping land use changes can likely reveal specific transitions, such as the conversion of vegetation areas (Ghouts) to urban or sandy areas (as shown in Figure 13, where urban areas in gray expand to the south and east, and sandy areas in yellow increase). A notable reduction in the areas of Ghouts can be observed (from 61.79 ha in 2015 to 23.90 ha in 2024, Table 3). An increase in water and humidity surfaces is seen (Fig. 13) due to hydrological changes. This mapping highlights environmental and socio-economic dynamics such as rapid urbanization, desertification and local water changes, although the lack of specific details on exact colors or classes in the text limits more precise interpretation, nevertheless highlighting the significant impact of these factors on the degradation of the Ghouts over time.

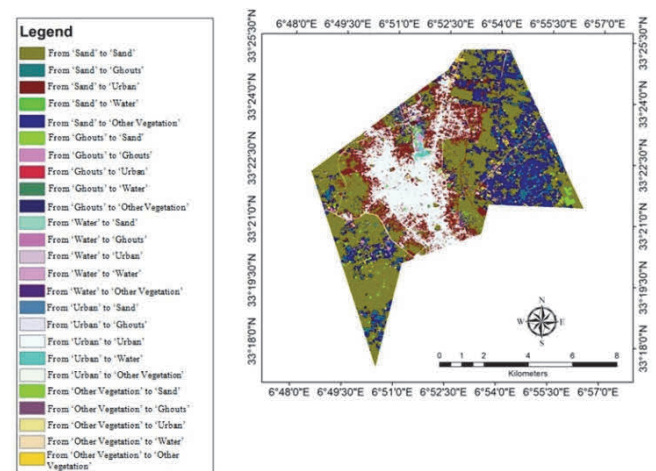


Figure 13 Change detection (SVM Classification by ROI).

3.7. Ghout Statistics

Table 3 shows the total annual areas of Ghouts in the commune of El Oued between 2015 and 2024. A gradual decrease can be seen from 61.79 ha in 2015 to 23.90 ha in 2024, i.e. a loss of 37.89 ha over nine years, with annual decreases ranging from -1.36 ha (2021-2022) to a marked drop of -17.65 ha between 2018 and 2019 (from 55.87 ha to 38.22 ha, i.e. a reduction of 31.6% in one year). This significant decline likely coincides with adverse climatic conditions such as prolonged droughts or overexploitation of groundwater (Mega & Khechana, 2021), as well as anthropogenic pressures such as urbanization (illustrated in Figure 13), while more moderate losses such as -2.05 ha (2015-2016) or -2.75 ha (2022-2023) suggest continued but less abrupt degradation. These results confirm the vulnerability of the Ghouts and the urgency of conservation strategies to counter this trend towards the gradual disappearance of traditional agricultural systems in the El Oued region.

Table 1. Confusion matrix result (supervised classification of 2015 data).

Ground Truth (Pixels)	(1314/1329)
Overall Accuracy:	98.87%
Kappa Coefficient:	0.9838

Ground Truth (Pixels)						
Class	Sand	Ghouts	Other vegetation	Water	Urban	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0
Sand	608	0	13	0	0	621
Ghouts	0	206	0	0	0	206
Other vegetation	2	0	214	0	0	216
Water	0	0	0	30	0	30
Urban	0	0	0	0	256	256
<i>Total</i>	<i>610</i>	<i>206</i>	<i>227</i>	<i>30</i>	<i>256</i>	<i>1329</i>

Ground Truth (Percentages)						
Class	Sand	Ghouts	Other vegetation	Water	Urban	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0.00
Sand	99.67	0	5.73	0	0	100.00
Ghouts	0	100	0	0	0	100.00
Other vegetation	0.33	0	94.27	0	0	100.00
Water	0	0	0	100	0	100.00
Urban	0	0	0	0	100	100.00
<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100.00</i>

Commission/Omission Error				
Class	Omission (%)	Commission (%)	Omission (Pixels)	Commission (Pixels)
Sand	2.09	1.33	13/621	2/610
Ghouts	0.00	0.00	0/206	0/206
Other vegetation	0.93	5.73	2/216	13/227
Water	0.00	0.00	0/30	0/30
Urban	0.00	0.00	0/256	0/256

Accuracy (Producer/User)				
Class	Producer Accuracy (%)	User Accuracy (%)	Producer Accuracy (Pixels)	User Accuracy (Pixels)
Sand	99.67	97.91	608/610	608/621
Ghouts	100.00	100.00	206/206	206/206
Other vegetation	94.27	99.07	214/227	214/216
Water	100.00	100.00	31/31	30/30
Urban	100.00	100.00	256/256	256/256

Table 2. Confusion matrix result (supervised classification of 2024 data).

Ground Truth (Pixels)	(1650/1838)
Overall Accuracy:	89.77%
Kappa Coefficient:	0.8397

Ground Truth (Pixels)

Class	Sand	Ghouts	Other vegetation	Water	Urban	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0
Sand	928	0	0	0	185	1113
Ghouts	0	89	0	0	0	89
Other vegetation	0	0	270	0	0	270
Water	0	0	0	297	0	297
Urban	3	0	0	0	66	69
Total	931	89	270	297	251	1838

Ground Truth (Percentages)

Class	Sand	Ghouts	Other vegetation	Water	Urban	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0.00
Sand	99.68	0	0	0	73.71	100.00
Ghouts	0	100	0	0	0	100.00
Other vegetation	0	0	100	0	0	100.00
Water	0	0	0	100	0	100.00
Urban	0.32	0	0	0	26.29	100.00
Total	100	100	100	100	100	100.00

Commission/Omission Error

Class	Omission (%)	Commission (%)	Omission (Pixels)	Commission (Pixels)
Sand	16.62	0.32	185/1113	3/931
Ghouts	1.00	1.00	0/89	0/89
Other vegetation	0.00	0.00	0/270	0/270
Water	0.00	1.00	0/297	1/297
Urban	4.35	73.71	3/69	185/251

Accuracy (Producer/User)

Class	Producer Accuracy (%)	User Accuracy (%)	Producer Accuracy (Pixels)	User Accuracy (Pixels)
Sand	99.68	83.38	928/931	928/1113
Ghouts	100.00	100.00	89/89	89/89
Other vegetation	100.00	100.00	270/270	270/270
Water	100.00	100.00	297/297	297/297
Urban	26.29	95.65	66/251	66/69

Table 3 Ghouts statistics (from 2015 to 2023).

Year	Total area (ha)	Annual decrease (ha)
2015	61.79	-
2016	59.73	-2.05
2017	57.82	-1.92
2018	55.87	-1.94
2019	38.22	-17.65
2020	30.51	-7.70
2021	28.01	-2.51
2022	26.65	-1.36
2023	23.90	-2.75

3.8. Discussion

The obtained results confirm the findings of many studies concerning the degeneration of classical agricultural systems spread throughout the Saharan area, particularly under the two-fold stress of climate change and anthropogenic pressures (Lu et al., 2004). The Ghout areas were decreasing mainly between 2018 and 2019, owing to multiple causes. Firstly, the rapid urbanization of the El Oued region, which is seen in the urban areas growth in the classification maps (Figures 11, 12 and 13), has resulted in the burial or abandonment of many Ghouts in favor of construction. This trend parallels Januel (2009), who reports the deleterious effect of urbanization on traditional oasis systems. Secondly, the downward trend in NDVI and NDWI indices after 2019 indicates a worsened environmental situation, namely less water supply thus smaller vegetation cover. These observations are in line with the work of Gorelick et al. (2017) who surveyed environmental trends in arid regions using Google Earth Engine with estimates of agriculture water, droughts, and groundwater overexploitation. However, because of the water depth (the water table) that in these Ghouts of El Oued, these crops are more sensitive to the aforementioned water variations. The high strength of the NDWI index from 2019 to 2024 indicates the rise of high humidity, likely influenced by agricultural activity, and the absence of the sanitation network (sustainable management of water resources). In conclusion, it was confirmed that the SVM method was effective for supervised classification for the detection of land change with an overall accuracy of 89.77%. Results fall in line with those obtained by Bruzzone and Prieto (2000), who exploited similar mechanisms to identify change within complex environments. However, some caveats are to be considered for example, confusion between urban areas and wetlands in NDWI images (Fig. 9), but it needs further visual verification in the field or through tools like Google Earth Pro. Ghouts provide important functions in mitigating desertification and maintaining regional biodiversity; and the results highlight the need to implement conservation measures to protect them. One possible solution to help mitigate these observed impacts is through the application of integrated water

resources management and the adherence and respect of traditional agricultural systems with urban planning policies to safeguard the Ghouts from unsustainable pressure in the El Oued region.

4. Conclusion

This research, which presents a comparative spatio-temporal purpose to monitor the health status of Ghouts in the El Oued region of southeastern Algeria, has managed to quantify and analyze temporal spatial changes between 2015 to 2023. Data generated through remote sensing methods were based on SVMs used in this methodology. The results revealed a significant decrease in the area of Ghouts, which measured 61.79 hectares in 2015 and 23.90 hectares in 2023, a more than 61% decrease within nine years. Many of these factors are also linked to the environmental impacts of climate change, including reduced water availability and longer drought seasons; anthropogenic pressures, such as urbanization and changes in agricultural practices; and a growing global population. The analysis of spectral indices like NDVI, NDWI and BI combined with supervised classification through SVM were potent tools to elucidate and diagnose these changes. Confirming the robustness of the adopted methodology has an overall accuracy of 89.77%. Nevertheless, the findings also demonstrate the susceptibility of Ghouts to climate and socio-economic pressures, indicating the necessity of immediate actions for their conservation. Overall, the research presented in this study is a vital contribution to the comprehension of the enormous dynamics impacting traditional agricultural systems across the Saharan region. These include the sustainable management of water and land resources, and the need for greater integration of traditional practices as components of regional development plans. Predictive models (Cortes & Vapnik, 1995; Gorelick et al., 2017) may now be applied to predict how Ghouts would evolve, and gauge how effective the conservation recommendations would be. However, the Ghout degradation detection in El Oued using SVMs methodology proposed holds some main advantages. It combines high-resolution satellite data (Sentinel-2A and SPOT-5) for broad and precise monitoring of impacted areas and enabling the monitoring of the evolution of Ghouts during several years. The use of SVMs for the classification of spectral data (NDVI, NDWI, BI) provides high accuracy for environmental change detection, along with the ability to predict areas prone to degradation. Not only is this a new, practical method for assessing long-term changes in an objective and repeatable manner, but the framework can be applied to other ecosystems as well. It therefore brings together the strength of remote sensing as well as Artificial Intelligence and spatial analysis to provide a faster, more reliable and proactive approach than the conventional methods hence supporting sustainable management of Ghouts and natural resources in vulnerable regions.

Acknowledgement

We would like to express our gratitude to the Directorate of Agricultural Services of the Wilaya of El Oued (DSA), for providing us with statistical and field data, which has been a significant support.

References

- Abdelhakim, D. – Harrou, F. – Sun, Y. et al. (2024). Explainable machine learning for enhancing predictive accuracy of cutting forces in hard turning processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 135, 939–961. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14470-2>
- Ahangarha, M. – Shah-Hosseini, R. & Saadatseresht, M. (2021). Deep learning-based change detection method for environmental change monitoring using Sentinel-2 datasets. *Environmental Sciences Proceedings*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.3390/IECG2020-08544>
- Azzouzi, S. A. – Vidal-Pantaleoni, A. & Bentounes, H. A. (2017). Desertification monitoring in Biskra, Algeria, with Landsat imagery by means of supervised classification and change detection methods. *IEEE Access*, 5, 9065–9072. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2700405>
- Bensaâd, A. (ed.) (2011). L'eau et ses enjeux au Sahara. Paris: Éditions Karthala., Collection Hommes et sociétés, pp. 242.
- Betrouni, M. (2020). Le patrimoine culturel algérien: Un conflit de temporalités. HAL. Available at <https://hal.science/hal-03112041>
- Bisson, J. (1990). Permanence d'une paysannerie au Sahara algérien: L'exemple des confins du Grand Erg Occidental. In V. Dollé & G. Toutain (Eds.), *Les systèmes agricoles oasiens*, 289–298. International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM). Available at om.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901504.pdf
- Boser, B. E. – Guyon, I. M. & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory*, 144–152. Association for Computing Machinery (ACM). <https://doi.org/10.1145/130385.130401>
- Bouchahm, N. – Chaib, W. – Drouiche, A. – Zahi, F. – Hamzaoui, W. – Salemkour, N. – Fekraoui, F. & Djabri, L. (2013). Characterization and mapping of upwelling sites in the Oued Righ region (Algerian Lower Sahara). *Algerian Journal of Arid Regions*, 13, 76–88.
- Bruzzone, L. & Prieto, D. F. (2000). Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3), 1171–1182. <https://doi.org/10.1109/36.843009>
- Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 121–167. <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>
- Cornet, A. (1964). Introduction to the hydrogeology of the Sahara, Algeria. *Journal of Physical Geography and Dynamic Geology*, 6(1), 5–72.
- Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Duraisamy, P. – Natarajan, Y., N. L. E. & Raja, J. P. (2023). A comprehensive comparison of machine learning algorithms for breast cancer prediction. In *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems*, pp. 1864–1869. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10113046>
- Eid, M. H. – Tamma, A. A. – Saeed, O. et al. (2024). Advanced approach combining integrated water quality index and potential toxic elements for environmental and health risk assessment supported by technical simulation in Oued Souf, Algeria. *Scientific Reports*, 14, 17805. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68854-1>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Ghout oasis system El Oued, Algeria* (Globally Important Agricultural Heritage Systems). Available at <https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/near-east-and-north-africa/ghout-system/en/>
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 1440–1448). <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.169>
- Gorelick, N. – Hancher, M. – Dixon, M. – Ilyushchenko, S. – Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guido, R. – Ferrisi, S. – Lofaro, D. & Conforti, D. (2024). An overview on the advancements of support vector machine models in healthcare applications: A review. *Information*, 15(4), 235. <https://doi.org/10.3390/info15040235>
- Hsu, C. W. – Chang, C. C. & Lin, C. J. (2003). A practical guide to support vector classification (Technical Report). Department of Computer Science, National Taiwan University. Available at <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>
- Huang, C. – Davis, L. S. & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 725–749. <https://doi.org/10.1080/01431160110040323>
- Jamshidzadeh, Z. – Ehteram, M. & Shabaniyan, H. (2024). Bidirectional long short-term memory–support vector machine: A new machine learning model for predicting water quality parameters. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102510. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102510>
- Januel, Y. (2009). In the context of a new agricultural dynamic, what are the advantages of the traditional Ghouts system compared to the evolved oasis system? FAO report. Available at <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1200081/>
- Kadri, S. R. & Chaouche, S. (2018). Groundwater rise in the Souf region: A threat to an oasis ecosystem. *Économie, Management et Avenir*. <https://doi.org/10.4000/emam.1554>
- Lacheheb, M. (2025). The impact of tropical cyclones on fishing boats from a global perspective. *Discover Geoscience* 3, 174. <https://doi.org/10.1007/s44288-025-00284-6>
- Lin, J. Y. – Cheng, C. T. & Chau, K. W. (2006). Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological*

- Sciences Journal, 51(4), 599–612. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.599>
- Lodhi, H. – Shawe-Taylor, J. – Cristianini, N. & Watkins, C. (2000). Text classification using string kernels. In T. Leen, T. Dietterich, & V. Tresp (Eds.), *Advances in neural information processing systems* (Vol. 13). MIT Press.
- Lu, D. – Mausel, P. – Brondizio, E. & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *Int. Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Mega, N. & Khechana, S. (2021). Groundwater quality assessment by analytic hierarchy process (GIS-based model) in Souf region (south-east of Algeria). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(6), 3459–3468. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03080-6>
- Miloudi, A. & Remini, B. (2016). Water potentiality of sustainable management challenges in the Oued Souf region, southeast Algeria. *International Journal of Energetica (IJECA)*, 1(1). <https://doi.org/10.47238/ije.ca.v1i1.7>
- Miloudi, A. & Remini, B. (2018). The Ghout of Souf: An original hydro-agricultural system. *Geoscience Engineering*, 64(3), 30–37. <https://doi.org/10.2478/gse-2018-0015>
- Mountrakis, G. – Im, J. & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>
- NWS - National Weather Service, NOAA, Department of Commerce (2018). *Annual climate summary 2018*. Available at <https://www.weather.gov/pub/climate2018AnnualSummaryWebstory>
- PSD - Planning and Statistics Directorate of El Oued, (2018), Algeria. *Statistical yearbook of the Wilaya of El Oued*.
- Redmon, J. – Divvala, S. – Girshick, R. & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779–788). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Remini, B. (2006). The disappearance of the Ghouts in the region of El Oued (Algeria). *Larhyss Journal*, 5, 49–62.
- Remini, B. & Souaci, B. E. (2019). The Souf: When drilling and pivot irrigation threaten the Ghout. *Larhyss Journal*, 36, 7–22.
- Savalkar, S. & Patil, N. (2023). Artificial intelligence in water resource management: The past, present and opportunities thereof. *EngrXiv*. <https://doi.org/10.31224/2817>
- Shaharum, N. S. N. – Shafri, H. Z. M. – Ghani, W. A. W. A. K. – Samsatli, S. – Al-Habshi, M. M. A. & Yusuf, B. (2020). Oil palm mapping of Peninsular Malaysia using Google Earth Engine and machine learning algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100287>
- Sietz, D. – Ordóñez, J. C. – Kok, M. T. J. et al. (2017). Nested archetypes of vulnerability in African drylands: Where lies potential for sustainable agricultural intensification? *Environmental Research Letters*, 12(9), 095006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa768b>
- Voisin, A. R. (2004). *The Souf: Monograph*. El Walid Editions, pp. 320.
- Zahi, F. – Drouiche, A. – Bouchahm, N. – Hamzaoui, W. – Chaib, W. & Djabri, L. (2011). The water upwelling in Oued Righ Valley: Inventory and characterization. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2(4), 445–450.
- Zhang, S. – Li, X. – Ba, Y. – Lyu, X. – Zhang, M. & Li, M. (2022). Banana Fusarium wilt disease detection by supervised and unsupervised methods from UAV-based multispectral imagery. *Remote Sensing*, 14(5), 1231. <https://doi.org/10.3390/rs14051231>
- Zheng, B. – Myint, S. W. – Thenkabail, P. S. – Aggarwal R. M. (2015). A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.002>
- Zheng, J. – Fu, H. – Li, W., et al. (2021). Growing status observation for oil palm trees using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 95–121. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>



A lovasberényi Szűzvár felmérése és modellezése

TARSOLY Péter¹, NAGY Petra², KOVÁCS Ágnes³

^{1,2}Óbudai Egyetem, Alba Regia Kar, Geoinformatikai Intézet

²Szent István Király Múzeum

³European Organization for Nuclear Research (CERN)

E-mail: tarsoly.peter@amk.uni-obuda.hu, ²nagy.petra0213@gmail.com, ³kovacs.agnes@szikm.hu

DOI: [10.30921/GK.78.2026.1.4](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.1.4)

Absztrakt

A lovasberényi Szűzvár területén végzett komplex felmérés során a hagyományos geodéziai eljárások (GNSS RTK) és a korszerű távérzékelési technológiák (légi LiDAR, SLAM-alapú lézerekkelés) integrációjával nagyfelbontású digitális domborzatmodellek (DDM) előállítására került sor. A különböző adatgyűjtési módszerek pontosságát összehasonlító statisztikai elemzéssel vizsgáltuk.

Az eltérések eloszlásvizsgálata során megállapítást nyert, hogy mind az RTK–SLAM, mind az RTK–LiDAR relációban az eltérések Gauss-féle normális eloszlást mutatnak. Az RTK–SLAM összevetés során pozitív irányú eltérések mutatkoztak, ami azt jelzi, hogy a GNSS RTK referenciamérések szisztematikusan magasabb tengerszint feletti magasságot (Z-értékeket) rögzítettek a SLAM-modellhez képest. Az eltérések térbeli eloszlása nem véletlenszerű szóródást mutat; szoros korrelációt mutatnak az egyes topográfiai egységekkel, a növényzettel sűrűn benőtt részekkel (északi sáncárok, gyilokjáró, várperem).

Összességében a vizsgálat megerősítette, hogy a különböző adatgyűjtési technológiák sajátos előnyökkel rendelkeznek: a légi LiDAR megbízható a nagy területű, sűrű növényzettel borított területeken, míg a SLAM a kisebb léptékű, részletgazdag, meredek szakaszok modellezésében jobban volt alkalmazható. A GNSS RTK mérések referenciapontként szolgáltak a technológiák összehasonlításához. A kombinált adatgyűjtési módszerek alkalmazása olyan térinformatikai adatbázist eredményez, amely alapvető fontosságú a komplex morfológiájú földvárak régészeti kutatása, dokumentálása és hosszú távú örökségvédelmi célú megőrzése szempontjából.

Abstract

During the complex survey of Szűzvár in Lovasberény, we combined classic geodetic measurements (GNSS RTK) with modern geodetic technologies (aerial LiDAR and SLAM laser scanning), which enabled us to produce several detailed digital terrain models. We examined the different accuracies of the various measurement methods using statistical evaluation, regarding height differences.

Based on the histograms, it can be clearly concluded that the differences between RTK–SLAM and RTK–LiDAR follow a normal distribution, which can also be clearly seen from their bell-shaped curves. In the case of RTK–SLAM, most of the deviations are positive, i.e., the GNSS RTK measurements showed higher values than the SLAM model. The differences are not randomly distributed but are linked to specific topographical units, such as the northern ditch, the walkway, and the edges of the castle.

Overall, the study confirmed that different data collection technologies have specific advantages: LiDAR is reliable in large areas covered with dense vegetation, while SLAM excels in modelling smaller scale, detailed, steep sections. GNSS RTK measurements served as a reference point for comparing the technologies. The combined application provides an opportunity for archaeological research to create more accurate, multi-layered geoinformation documentation, which can contribute to the long-term scientific and heritage preservation of earthworks, especially complex ones.

1. Bevezetés

A régészeti topográfia az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül a légi-régészeti és távérzékelési technológiák térnyerésének következtében (Czajlik, 2022). Magyarországon a földvárak kutatása hosszú múltra tekint vissza, kezdve a 19. századi felfedezésektől egészen a modern, térinformatikai és geofizikai mérésekig (Nováki, 1952, 1963; Terei et al., 2011;

Czajlik, 2004; Reményi et al., 2013). Fejér vármegyében kiemelten fontosak a középső bronzkori Vátya-kultúra földvárai, amelyek nemcsak a korszak településszerkezetéről, hanem annak társadalmi és gazdasági működéséről is értékes információkat nyújtanak (Szeverényi – Kulcsár, 2012; Dani et al., 2019).

A Velencei-hegység északi részén kimagasló Szűzvár egy különleges adottságú, a múlt titkait őrző panorámapont, amely

70 méter magas falaival természetes erődítményként uralja a tájat. Meredek falai védelmet nyújtanak, tetejéről kiváló kilátás nyílik a környező vidékre, így könnyen elképzelhető, hogy már az ősidőkben is ember által lakott terület lehetett. A térképeken Szűzvári-hegy néven szerepel, kb. 1 km hosszú, 200m széles, észak-északnyugat–dél-délkelet irányú, lapos tetejű domb, amely Székesfehérvártól 10 km-re északkeletre, Lovasberény közigazgatási területének délnyugati sarkán, Lovasberény-Pákozdi-Pátka települések határainak közelében található. A Szűzvárról szóló szakirodalomban “Pákozdi-Szűzvár” (Czajlik, 2004 p. 167) és “Pátka-Szűzvár” (Molnár, 2014) néven is megtaláljuk.

A Szűzvári-hegy földrajzi helyzete alapján a Velencei-hegységhez tartozik, a Velencei-hegység északnyugati sarkán fekszik. Közvetlenül az északi szélén húzódik a Lovasberényi-hát nevű kistáj, amelynek fő jellemzője a kiváló mezőgazdasági adottságú, löszös üledéken képződött mészlepedékes csernozjom talaj (Dövényi, 2010 p. 615.), északnyugati szomszédságában pedig a Zámolyi-medence található. A Szűzvári-hegy északi lábánál folyik a Rovákja-patak, egy 1929-ben kiadott térképen a Szűzvári-hegy északi felét mindkét oldalról vízfolyás veszi körbe.

(https://map.hugeo.hu/terkepekamultbol/velencei_to_1929)

A kiváló mezőgazdasági adottságú talaj ideális lehetett a bronzkori földművelés számára, a közeli Velencei-tó hallal, vízimadarakkal látta el a lakosságot, míg a Velencei-hegység alacsony lankáit borító erdők a vadászat, gyűjtögetés számára adtak lehetőséget. A Velencei-hegység szélén, stratégiailag fontos helyen a síkság fölé magasodó, vízzel körbevett Szűzvári-hegy ideális hely lehetett egy bronzkori törzsi központ számára.

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a Lovasberény–Szűzvár régészeti lelőhely felmérését és 3D modellezését. A terepi adatgyűjtés során többféle mérési technikát alkalmaztunk, többek között valós idejű GNSS felmérést, légi lézerszkennelt felmérést LiDAR technológiával, valamint SLAM-alapú kézi lézerszkennelést. A kutatás során e módszerek kombinált alkalmazásával nagy felbontású, háromdimenziós pontfelhőket és digitális domborzatmodelleket állítottunk elő. A felmérések eredményeinek összevetésével megbízhatóságuk értékelésére is sor került, és az eddig ismerteknél pontosabb adatokat tudunk szolgáltatni a földvár belső szerkezetéről, a védművek, árkok és sáncok elhelyezkedéséről. A székesfehérvári Szent István Király Múzeum régészeivel együttműködve végzett vizsgálatok nemcsak a földvár szerkezetének jobb megértését segítették elő, hanem hozzájárultak a bronzkori Vátya-kultúra településhálózatának pontosabb rekonstrukciójához is.

2. A lovasberényi Szűzvár felmérése

A középső bronzkor egyik meghatározó régészeti kultúrája a Vátya-kultúra volt, amely időben az i. e. 2000–1450 közötti időszakra tehető (Kiss et al., 2019. p.187.). A kultúra központi területe a mai Fejér vármegye volt, ahonnan fokozatosan terjedt

kelet és dél felé a Duna mentén, egészen a Duna–Tisza köze középső régiójáig. A Vátya-kultúra népessége alapvetően földműveléssel és állattartással foglalkozott, emellett pedig jelentős kereskedelmi tevékenységet is folytatott. A Vátya kultúra erődített településeit a 20. század végéig katonai jellegű földváraknak tartották, amelyek kettős erődítményt alkotva védelmezték volna a Vátya kultúra népét a halomsíros kultúra feltételezett támadásától (Bóna, 1975). Az ezredforduló környékén induló nagyfelületű ásatások eredményei azonban átalakították ezt a képet, az erődített településeket ma már inkább kisebb politikai egységek központjának és kézműves központoknak tartják (Szeverényi-Kulcsár, 2012 p. 293.).

A lovasberényi Szűzvár Fejér vármegye egyik legkorábban



1. ábra A 2025-ben talált bronzleletek

kutató bronzkori lelőhelye. 1897-ben Körösi József fedezte fel, aki urnasírokat tárt fel gróf Cziráky Antal (a terület tulajdonosa) engedélyével (Miske, 1898 p. 318.). Ezeket a leleteket gróf Cziráky Antal 1911-ben a Szent István Király Múzeumnak adományozta (Marosi, 1912 p. 16.). 1935-ben Brunner István végzett szondázó ásatást, amely során település-, és temetkezési nyomokat tárt fel. Brunner István 6 db kisebb szondát nyitott a Szűzvár területén elszórtan, az ő ásatási naplója és térképvázlatai a legfontosabb források, amelyek alapján a földvár részeit azonosítani tudtuk (Brunner, 1935). Nováki Gyula Terei György 1997-ben közösen végzett terepbejárásuk során azonban felvetették a középkori eredet lehetőségét, mivel a Szűzvár mérete és formája eltért a tipikus bronzkori földvárakétól – ez az értelmezés hosszú ideig irányadó maradt a szakirodalomban (Terei et al., 2011 p. 73.).

A Szent István Király Múzeum és az Óbudai Egyetem Alba Regia Kar Geoinformatikai Intézet együttműködésének köszönhetően 2024. június 21-én terepbejárás és fémkeresős kutatás zajlott le a Szűzváron (Kovács, 2024). A cél a lelőhely pontosabb megismerése és térképezése volt. A kutatás során előkerült tárgyak – többek között egy félhold alakú csüngő töredéke, egy gömbfejű tű, valamint jellegzetes bronzkori kerámiatöredékek – egyértelműen a Vátya-kultúrához köthetők. A magas aljnövényzet miatt a kutatás csak korlátozott területen tudott megvalósulni, így annak megismertlése szükségessé vált.

A terepi munkát 2025. január 19-én egy GNSS RTK alapú geodéziai felmérés követte, melynek során a földvár északi, központi részének jellegzetes domborzati pontjai kerültek rögzítésre, körülbelül 10 méteres szelvényközökkel. A téli

időszak előnye, hogy a korábbi sűrű aljnövényzet ekkorra már elszáradt, így a mérések zavartalanul elvégezhetőek voltak.

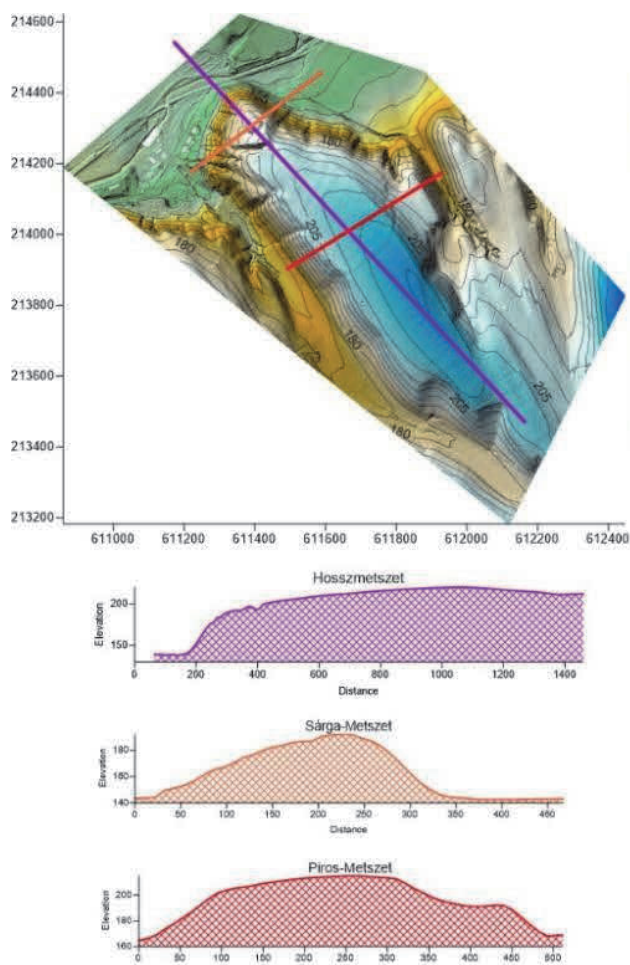
Ezt követően újabb terepi bejárás keretében, 2025. február 2-án SLAM technológiás kézi LiDAR lézerszkennelés történt az FJD Trion S1 és Trion P1 típusú eszközökkel. A felmérés a GNSS RTK-s méréssel megegyező területre koncentrált, és kiegészült a földvár északi központi részét elválasztó nagy árok részletes dokumentációjával is.

A fémkeresős terepbejárás 2025. február 19-én folytatódott, ezúttal kedvezőbb körülmények között. Az alacsony növényzetnek köszönhetően jelentősen nagyobb terület sikerült átvizsgálni. 15 darab régészeti korú fémlelet került elő. A leletek között szerepelt egy díszített nyakú, gömbfejű bronztű, félhold alakú csüngő, egy bronz laposbalta töredéke, valamint öt db kisméretű, szabálytalan alakú bronzdarab, a bronzöntés során megszilárdult öntecsek, amelyek a bronzöntés helyszíni bizonyítékai (1. ábra). Az öntecsek és a fémleletek alapján a Szűzváron is egy fémműves műhely működhetett. A 2024-2025-ben talált régészeti leletek a középső bronzkori Vatyá-kultúrához köthetők, megerősítik a földvár bronzkori datálását. Az 1897. évi ásatás anyagában található néhány kora bronzkorra és késő bronzkorra keltezhető kerámia is, ezek azonban kisszámú szórványleletek, a lelőhely leghosszabban és legintenzívebben lakott korszaka egyértelműen a középső bronzkor. Egyetlen középkori leletünk 1 db érem, ez alapján nem valószínű a jelentős középkori megtelepedés a lelőhelyen (Kovács, 2025).

3. Alkalmazott geodéziai mérési technológiák

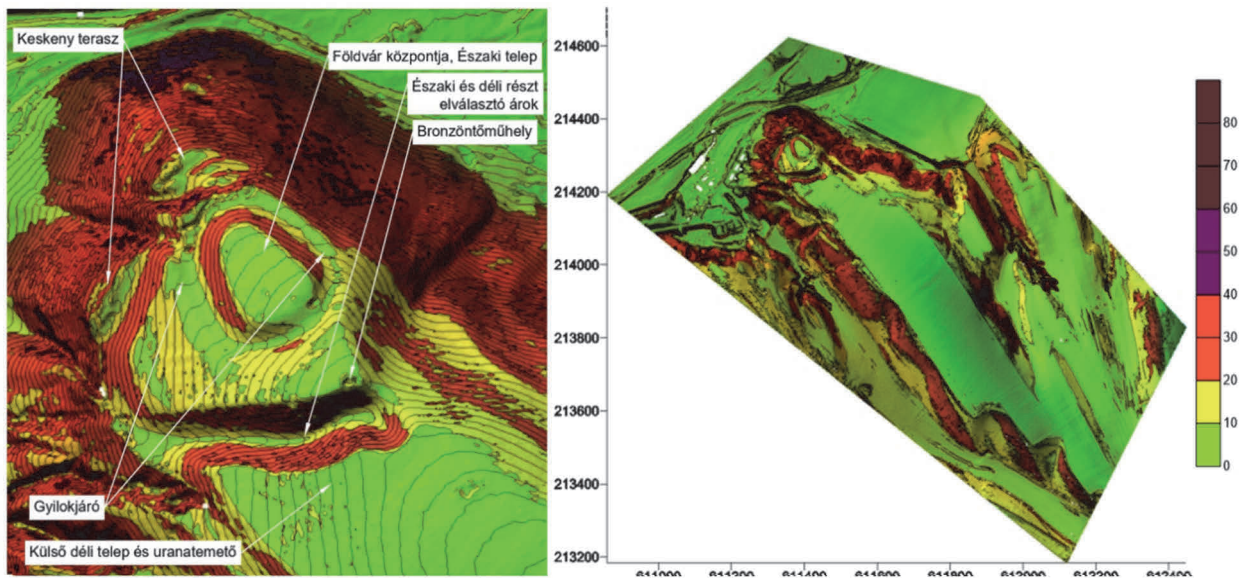
A régészeti lelőhely pontos kiterjesztéséhez és dokumentálásához különféle geodéziai felmérési technológiák alkalmazása vált szükségessé. A terepbejárásokat követően nyilvánvalóvá vált, hogy a lelőhely pontos kiterjedésének meghatározásához és topográfiai viszonyainak feltérképezéséhez a digitális domborzatmodell előállítás elengedhetetlen. A projekt kezdeti szakaszában hagyományos valós idejű kinematikus GNSS technológiával végeztünk helyszíni felmérést. Az RTK módszer előnye a valós idejű helymeghatározás és a centiméteres pontosság. A felméréshez Emlid Reach RX típusú GNSS vevőt használtuk. A mérések idején azonban az ionoszféra aktivitása kifejezetten magas volt, ami kedvezőtlenül befolyásolta a pozíciómeghatározás megbízhatóságát. Az ionoszféra hatásának folyamatos nyomon követésével láthatóvá vált, hogy a kora délelőtti órákban az ionoszféra hatásának maradék ellentmondásai meghaladták az 5 cm-t is.

A rendelkezésre álló idő és a felméréndő terület kiterjedése – mintegy 100 hektár – miatt ez az eljárás önmagában nem bizonyult elegendőnek. Az Envirosense Kft. szakmai támogatásával egy korábban készült teljes területet lefedő légi LiDAR felvételt kaptunk meg, amely osztályozott volt, megtisztítva a növényzettől. A felmérés 1x1 méteres felbontású, amely részletességében jól alkalmazható a digitális



2. ábra A LiDAR pontfelhő 3D domborzatmodellje és metszetei

domborzatmodell elkészítéséhez. Kiemelt előnye ennek a technológiának, hogy képes a növényzeten áthatva információt gyűjteni a talajfelszínről is. Így még sűrűn benőtt, erdős területeken is feltárhatóvá válnak a természetes és mesterséges domborzati formák. A jelen vizsgálatban is ez a tulajdonság tette a LiDAR technológiát nélkülözhetlenné, mivel a terület jelentős részét erdő borította, ami sok esetben nehezítette a hagyományos geodéziai mérési módszerek alkalmazását. A növényzettel fedett felszín pontos feltérképezése érdekében kézi lézerszkennelésre is sor került. A 3D Geosolution Kft. szakmai támogatásával SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technológiát alkalmaztunk. A mérési időszak ezen napján is jelentős ionoszférikus zavarás volt megfigyelhető. Biztonságosabbnak ítéltük meg egy saját bázisállomás felállítását, amely közvetlen és megbízható korrekciós adatokat szolgáltatott a Trion S1 és P1 szkennerekhez. A Szűzvár északi területét az FJD Trion S1 – FJD V1t szkennerek-GNSS kombinációval mértük fel, hátizsákként viselve, amely így a terepen történő szabad mozgást is lehetővé tette. S1 lézerszkennerek 16 szenzorra van felszerelve, 120 méteres hatótávolsággal rendelkeznek, és 0,8–2 cm relatív pontosságot biztosít. A terep egy másik részén – amelyet egy nagy árok választ el a fő lelőhelytől – az FJD Trion P1–FJD V1t kombinációval mértük fel. A P1 lézerszkennerek könnyű, vállra vehető szkennerek, ami 200 000 pontot képes rögzíteni



3. ábra A Szűzvár szerkezeti felépítése (Surfer 3D-Slope grid)

másodpercenként. A készülék 40 méteres hatótávolsággal rendelkezik, és 2 cm relatív pontosságot biztosít. A szkennerek valós idejű pontfelhő-megjelenítést kínálnak a Trion Scan alkalmazáson keresztül. A pontfelhő feldolgozása a Trion Model szoftverben történt.

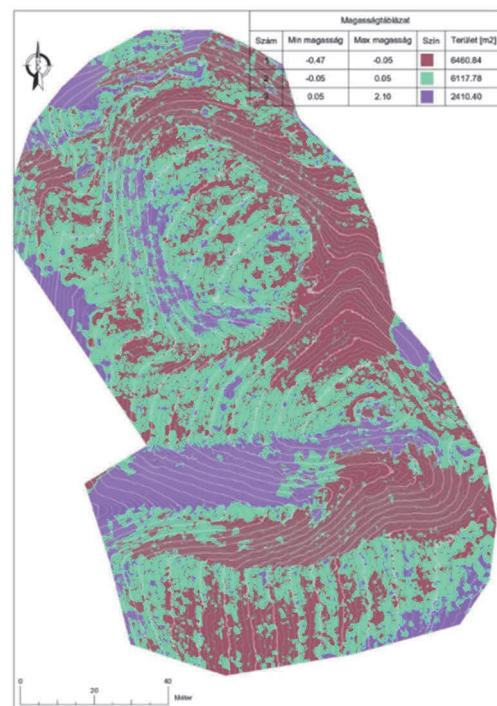
A C2C vizsgálat vizuális megjelenítése is alátámasztja az eltérések térbeli megoszlását. Például az északi árokszakasz részei kiemelkednek, ami arra utal, hogy itt nagyobb lokális eltérések léptek fel.

4. A digitális domborzatmodell elkészítése

A terepi adatok feldolgozásához és megjelenítéséhez a Surfer programot használtuk. A felmérés elemzéséhez hossz-, és keresztmetsvényeket is készítettünk, amelyek lehetővé tették a terep geometriájának részletes értelmezését (2. ábra). Első lépésként a LiDAR alapú pontfelhőt új vektoros réteggé importáltuk a QGIS programba, és az eszköztáron található "exportálás raszterbe" algoritmus segítségével a pontadatokat rácsos struktúrává alakítottuk. Az eredményt GeoTIFF formátumba exportáltuk, melyet közvetlenül be lehetett olvasni a Surferbe. A domborzatmodell elkészítése után elhelyeztük azokat a vonalakat, melyek mentén kereszt-, és hosszmetzeti diagramokat szeretnénk volna megjeleníteni. A Surfer automatikusan kirajzolta az adott szakaszon belüli magassági változásokat, lehetőséget adva a terep részletes vizsgálatára.

5. Pontosságvizsgálat a CloudCompare programmal

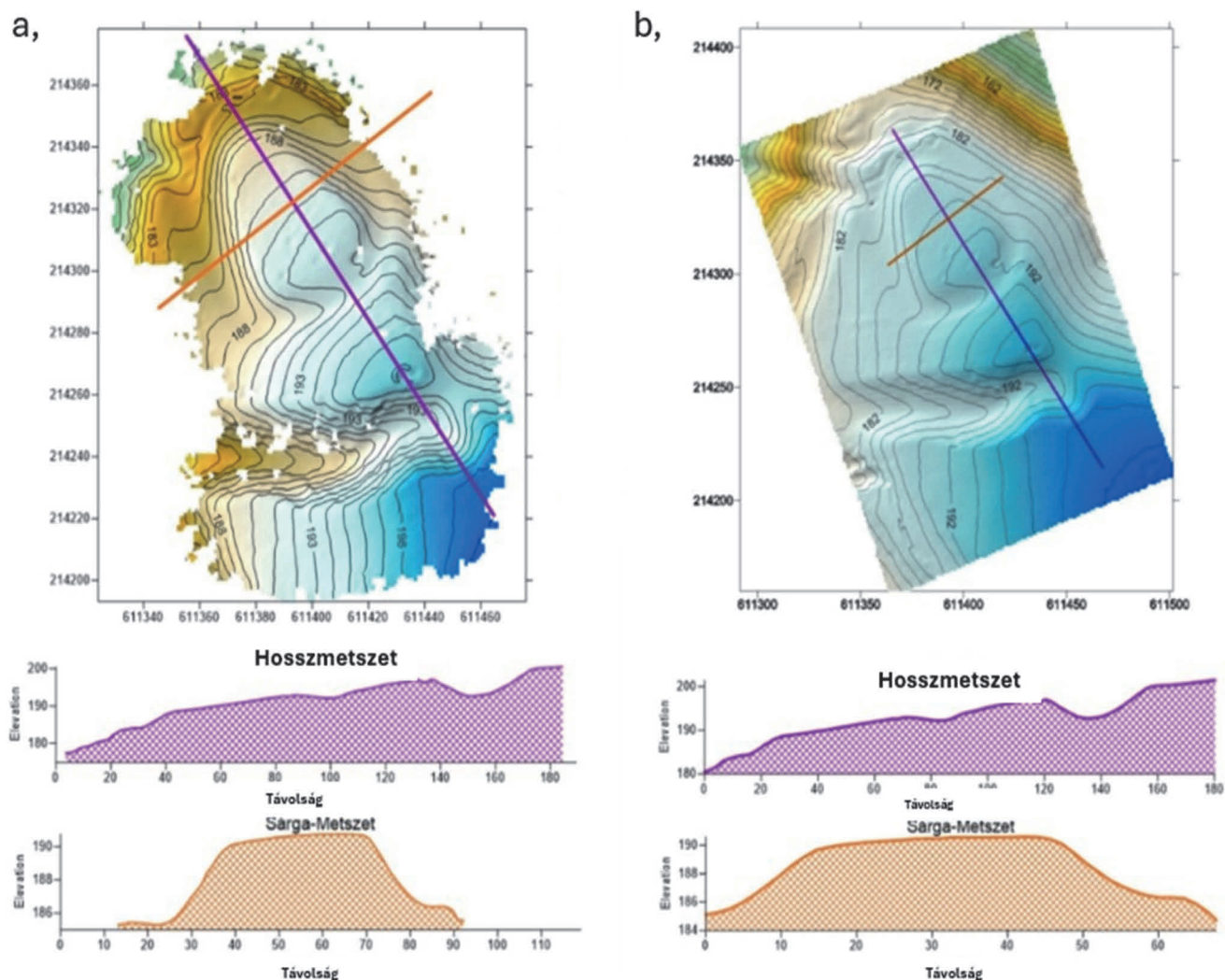
A különböző mérési technológiákkal (légi LiDAR, SLAM, RTK) gyűjtött 3D pontfelhők pontjai közötti eltérések meghatározására a CloudCompare nevű, nyílt forráskódú, háromdimenziós pontfelhő feldolgozó szoftvert használtuk. Az összehasonlítási műveletek során a program Cloud-to-Cloud Distance (C2C) eszközt alkalmaztuk. A Cloud-to-Cloud Distance algoritmus célja két tetszőleges pontfelhő közötti lokális eltérések kiszámítása.



4. ábra Magassági eltérések eloszlása százalékban LiDAR-SLAM felmérések között AutoCad Civil 3D-vel meghatározva

Ezek a különbségek elsősorban a sűrű bozótos növényzet, illetve a meredek, nehezen bejárható terepviszonyok következményei, ahol a GNSS alapú helymeghatározás pontossága csökkent, vagy a SLAM algoritmusok korlátozott pontossággal tudták rekonstruálni a felszínt. Hasonló jelenség figyelhető meg más szegmensekben is, ahol hirtelen magasságváltozások vagy sűrű aljnövényzet zavarta a mérést.

biztosítottak. Az északi és déli részt egy markáns árok választja el egymástól, amely a vár különböző használatú részeinek szétválasztására is szolgált. A vár északi központi része körül fut egy néhány méter széles vízszintes rész, amely funkcióját tekintve talán gyilokjáróként szolgálhatott. Kiemelt szerepet tölthetett be a vár védelmi rendszerében, hiszen jól belátható és ellenőrizhető útvonalat biztosított a várfalak mentén egy



5. ábra A SLAM (a) és LiDAR (b) pontfelhők domborzatmodelljei és metszetei Surfer-ben

6. Az eredmények értékelése

A 3. ábra alapján jól kirajzolódik a vár és környezetének funkcionális tagolódása. A földvár szerkezetét a geodéziai felmérések eredményei, a 2024-2025. évi terepbejárások és fémkeresős kutatások, valamint Brunner István 1935. évi ásatása alapján vázoltuk fel. Az északi oldalon található a földvár központja, amely a legmagasabban fekvő és legvédelemben részesült rész. Itt helyezkedhetett el a feltételezett bronzöntőműhely is, amely egykori létezését a terepmunka során talált régészeti leletek is alátámasztják. A műhely stratégiai elhelyezkedése nem véletlen, hiszen a domborzati viszonyok – meredek lejtők, szűk hozzáférés, például a keskeny terasz – természetes védelmet

esetleges támadás esetén. A Szűzvári-hegy jellegzetességei, a síkság fölé magasodó helyzete, meredek oldalai, a gyilokjáróként értelmezhető keskeny terasz látványosan kihangsúlyozzák a földvár katonai-védelmi jellegét. Ez azonban jelenleg csak feltételezés, amelyet nem támaszt alá ásatás. A középső bronzkor kulturális viszonyai között ezek a jellemzők egy törzsi központ erejének és hatalmának szimbolikus kifejezői is lehetnek konkrét katonai tartalom nélkül (Jaeger, 2016 p. 87).

A déli oldalon helyezkedik el a külső település és az urnatemető. Ezt a területet kelet és nyugat felől meredek falak határolják, északról az elválasztó árok, délről pedig egy természetes letörés zárja le. A plató teteje szinte teljesen sík, amit a lejtésmódel is jól szemléltet – ez a „kifutópálya-szerű” forma ideálissá tette a

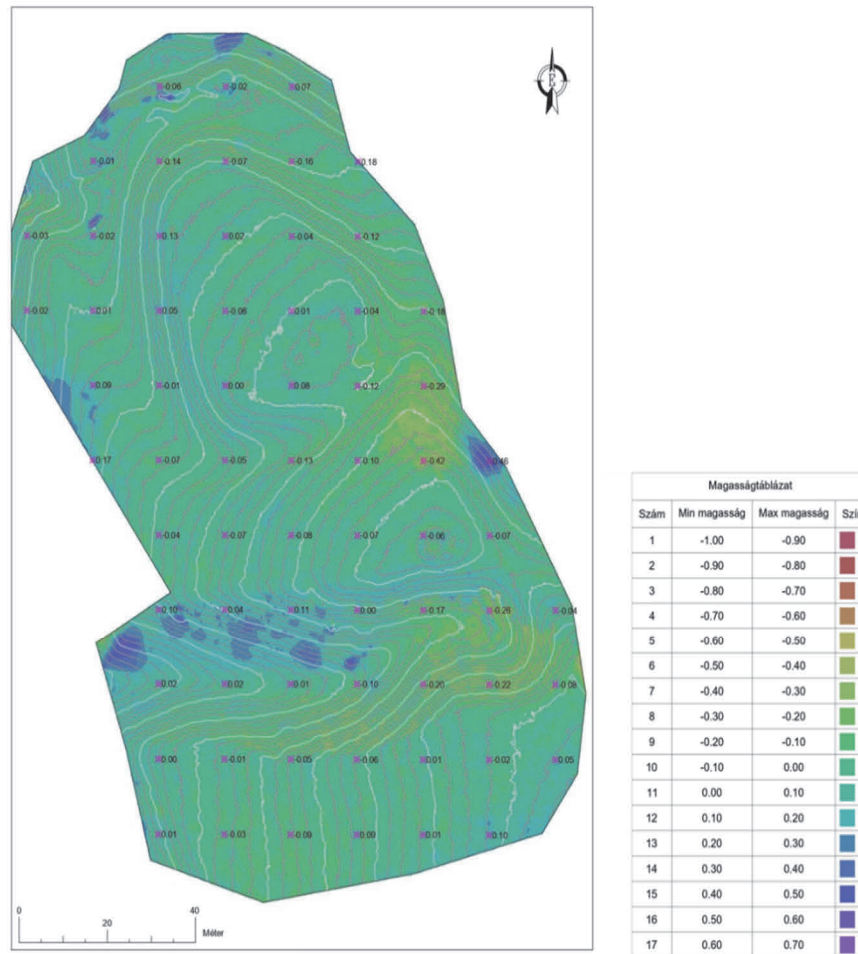
területet a mindennapi élethez szükséges tevékenységek, valamint a temetkezés számára.

Fontos megállapítás, hogy a Terei–Nováki (2011, p. 197.) által közölt felmérés csak a vár egy részét vizsgálta. A 2024-es és 2025-ös kutatások és azok során alkalmazott térképezési technológiák (pl. domborzati modellezés) alátámasztják, hogy a Szűzvár sokkal nagyobb területet foglalt el, mint korábban feltételezték. A 2024 - 2025. évi régészeti terepmunkák során 430 m hosszan találtunk bronzkori, a Vatya-kultúrához tartozó leleteket (Kovács, 2025).

A LiDAR, SLAM és GNSS RTK technikákkal végzett felmérések összehasonlítása a digitális domborzatmodellek (DDM) pontosságának értékelésére irányult. Az elemzés során a

LiDAR-SLAM mérések elemzése szerint az adatok 43,1%-a kisebb mint -5 cm eltérésű, további 40,8% -5 cm és $+5$ cm között marad, és csak 16,1% haladja meg az 5 cm-es pozitív eltérést. Vagyis a mért adatok túlnyomó többsége ± 5 cm hibahatáron belül van (4. ábra).

A LiDAR és SLAM technikákkal készült pontfelhőalapú digitális domborzatmodellek összehasonlítása során a hossz-, és keresztmetszeti profilok alapján is értékeltük a modellek részletességét és pontosságát (5. ábra). A sárga és lila metszsvonalak metszéspontjánál jól megfigyelhető az északi várrész kiemelkedő, tojás formájú magaslata. Ezt a részletet körülöleli a gyilokjáró. Mindkét modellben jól kirajzolódnak ezek a topográfiai elemek, azonban a SLAM modell profiljaiban határozottabban jelennek meg. Különösen igaz ez az elválasztó

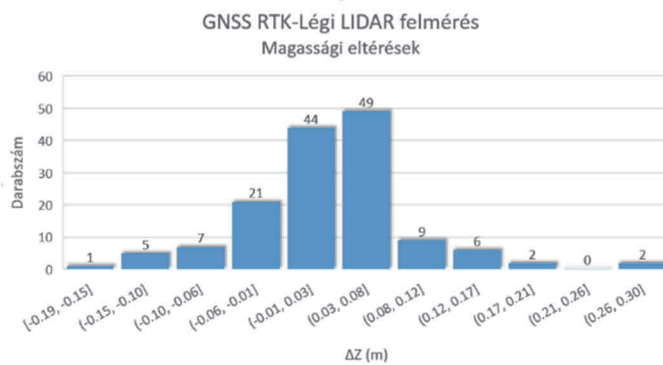
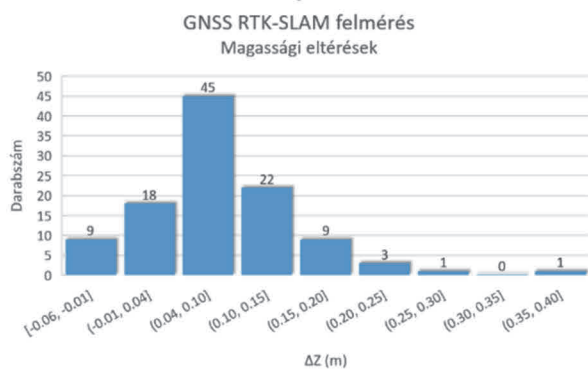


6. ábra SLAM és LiDAR magassági eltérések különbségfelülete

hisztogram százalékos formában mutatja be a különböző magassági eltérések gyakoriságát, míg a színezett térképek a vizsgált területen belül szemléltetik, hogy hol mely eltéréskategóriák fordulnak elő. Ezáltal a különböző módszerek megbízhatósága nemcsak statisztikai, hanem térbeli eloszlás alapján is összevethető.

A GNSS RTK–SLAM módszernél 53% az eltérések azon része, amely kisebb mint -5 cm, vagyis ebben az esetben a negatív eltérés dominál. A GNSS RTK–LiDAR összevetése alapján a ± 5 cm-en belüli értékek aránya a legmagasabb (37,9%). A

árok esetében, amely a vár északi és déli részét különíti el. A SLAM modellen ez a terepalakzat kontrasztosabb és jobban azonosítható. Ez arra utal, hogy bár a LiDAR részletesebb adatokat nyújt nagyobb területen, a SLAM eljárás bizonyos esetekben – különösen kisebb kiterjedésű, éleesebb változásoknál – nagyobb érzékenységgel adja vissza a domborzati változásokat. A különbség okait a felbontásában és érzékenységében kell keresnünk. A LiDAR modell 1×1 méteres raszterfelbontással készült, míg a SLAM rendszer a nagyobb adatsűrűség miatt részletgazdagabb felmérést tett lehetővé centiméteres pontossággal. Ennek megfelelően a SLAM a terep



7. ábra C2C eredmény GNSS RTK pontok - légi LiDAR és GNSS RTK - SLAM pontfelhő között

kiseb léptékű, meredekebb változásait – például a gyilokjáró és a nagy árok– élesekben, valóságghűbben jeleníti meg.

Az eltérések térbeli eloszlása tehát technológiai és topográfiai okokra vezethető vissza. A meredekebb részeken a SLAM pontosabb, részletgazdagabb képet nyújt, míg a vegetációval fedett részek esetében a LiDAR megbízhatóbb és részletesebb információkat szolgáltat.

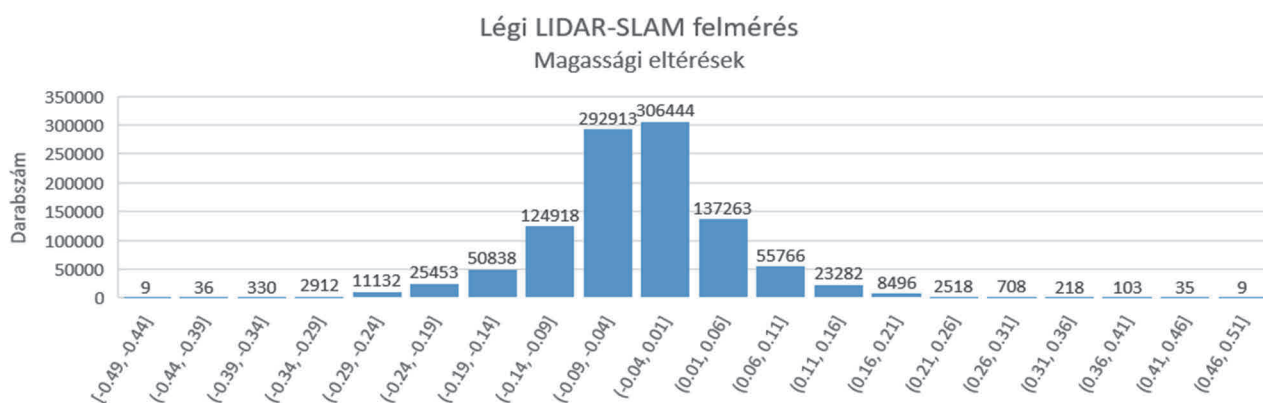
A LiDAR és SLAM domborzatmodellek összehasonlítása során magassági eltérések különbségfelülete is összehasonlításra került, amely önálló réteggént ábrázolja a két mérés közti magasságkülönbségeket (6. ábra).

A CloudCompare összehasonlítás alapján a GNSS RTK pontok és a SLAM pontfelhő közötti magassági eltérések egyértelműen normális eloszlást követnek (7. ábra). A hisztogram haranggörbe alakja ezt világosan mutatja, hogy az értékek nagy része egy szűk tartományon belül helyezkedik el, az eloszlás szimmetrikus, és csak kevés kiugró pont figyelhető meg a széleken. Az eltérések többsége pozitív tartományban mozog, ami azt jelzi, hogy a GNSS RTK pontok általában magasabban helyezkednek el, mint a SLAM-ből készült modell az adott helyeken.

A GNSS RTK és a légi LiDAR pontfelhő összehasonlításának eredménye szintén normális eloszlású értékeket mutat. A hisztogram itt is haranggörbe formát rajzol ki, az adatok eloszlása koncentrált és kiegyensúlyozott. Ebben az esetben az eltérések kisebb mértékűek, az RTK értékek alig néhány centiméterrel térnek el a LiDAR pontoktól, és a pozitív átlageltérés arra utal, hogy a terepmodell itt is némileg mélyebbre esik, mint az RTK mérések alapján számított pontok.

A C2C eredmény légi LiDAR és SLAM pontfelhő közötti kiértékelés adatai alapján a hisztogram jól követi a normális eloszlás mintázatát, azonban az eloszlás közepe enyhén negatív irányba tolódott, ami arra utal, hogy a SLAM modell gyakran mélyebb értékeket mutat, mint a LiDAR. Ez a negatív eltolódás a technológiák eltérő viselkedéséből fakadhat, a SLAM érzékenyebb lehet mozgási torzulásra vagy növényzet alatti felszín visszaverődésére, míg a LiDAR a vegetációs szűrést jobban leképezi (8. ábra).

Az Excel Adatelemzés menüpontja a magassági eltérések adataiból összegzi az egyes összehasonlítások alapvető statisztikai mérőszámait – például az átlagot, mediánt, módozt és szórast – amely lehetővé teszi a különböző technológiák közötti összehasonlítást (1. táblázat). A legvalószínűbb értékek alapján a LiDAR–SLAM modell közti eltérés módoza $-3,45$ cm, míg az RTK–SLAM párosnál $+4,6$ cm, az RTK–LiDAR-nál pedig $+5,2$ cm. Ez azt mutatja, hogy a SLAM modell jellemzően mélyebbre pozicionálja a terepet. A szórás értékei $6,6-7,8$ cm közé esnek, ami viszonylag egységes szórast jelent, tehát az eltérések stabilitása hasonló mindhárom összevetésnél. Ez arra utal, hogy egyik módszer sem mutat lényegesen nagyobb bizonytalanságot a másikhoz képest, és az eltérések rendszerszintűek, nem véletlenszerű szórásokból erednek. Azonban figyelembe kell venni az adott időszak ionoszférikus viszonyait is. A 2025. február 2-ára a délelőtti órákban az ionoszférikus zavarás elérte a $+0,15-0,18$ méteres értéket, ami jelentős eltérést okozhat különösen GNSS-alapú mérésekben. Mivel a SLAM rendszer valós idejű GNSS RTK korrekcióval dolgozik a pályaadatok pontosításához, lehetséges, hogy a kiugró ionoszféra aktivitás negatívan befolyásolta a



8. ábra C2C eredmény légi LiDAR és SLAM pontfelhő között

pozíciómeghatározást. Ez megmagyarázhatja, hogy a SLAM eredmények miért mutatnak mélyebb terepet a valóságnál.

Táblázat 1. C2C eredmények statisztikai mérőszámainak táblázata

Mérőszám	LiDAR-SLAM	RTK-LiDAR	RTK-SLAM
Elemek száma [db]	1 043 382	145	107
Átlag [m]	- 0.040	0.028	0.079
Medián [m]	-0.039	0.028	0.066
Módusz [m]	-0.035	0.052	0.046
Szórás [m]	±0.078	±0.066	±0.068
Minimum [m]	-0.470	- 0.138	-0.050
Maximum [m]	0.483	0.303	0.397
Tartomány [m]	0.953	0.441	0.447
Ferdeség	- 0.040	0.738	1.256
Csúcosság	1.530	3.365	3.981

7. Összefoglalás

A lovasberényi Szűzvár komplex felmérése során ötvöztük a klasszikus geodéziai méréseket (GNSS RTK) a modern geodéziai technológiákkal (légi LiDAR és SLAM lézerszkennelés), amely lehetővé tette több részletes digitális domborzatmodell (DDM) előállítását. A különböző mérési módszerek eltérő pontosságát statisztikai értékeléssel vizsgáltuk, különös tekintettel a magassági eltérésekre.

A hisztogramok alapján egyértelműen megállapítható, hogy az RTK-SLAM és RTK-LiDAR összevetések során az eltérések normális eloszlást követnek, ami haranggörbe alakjukból is jól kiolvasható. Az RTK-SLAM esetében az eltérések többsége pozitív irányú, azaz a GNSS RTK mérések magasabb értékeket mutattak, mint a SLAM modell. A különbségek nem véletlenszerűen oszlanak el, hanem egyes topográfiai egységekhez, például az északi árokhoz, a gyilokjáróhoz és a vár peremréseire köthetők.

Összességében a vizsgálat megerősítette, hogy a különböző adatgyűjtési technológiák sajátos előnyökkel rendelkeznek: a LiDAR megbízható a nagy területű, sűrű növényzettel borított területeken, míg a SLAM a kisebb léptékű, részletgazdag, meredek szakaszok modellezésében jeleskedik. A GNSS RTK mérések referenciapontként szolgáltak a technológiák összehasonlításához. A kombinált alkalmazás lehetőséget teremt a régészeti kutatások számára egy pontosabb, többretegű térinformatikai dokumentáció létrehozására, amely hosszú távon is hozzájárulhat a földvárak tudományos és örökségvédelmi célú megőrzéséhez – különösen az olyan összetett, domborzat által tagolt lelőhelyek esetében, mint amilyen a Szűzvár is.

Irodalomjegyzék

Bóna I. 1975. Die mittlere Bronzezeit Ungarns und ihre südöstlichen Beziehungen. Akadémiai Kiadó, Budapest

Czajlik Z. 2004. Légi régészeti kutatások Magyarországon 2002-ben. In: Kisfaludi Júlia (szerk.): Régészeti kutatások Magyarországon 2002. Budapest, 2004., pp. 161-169.

Czajlik Z. 2022. A terepi kirándulástól a domborzatmodellig. Bevezetés a régészeti topográfiába. Budapest, L'Harmattan Kiadó

Dani J., Fischl P.K., Kiss V., Kulcsár G., & Szeverényi V. 2019. Dividing space, dividing society: fortified settlements in the Carpathian Basin (c. 2300 - 1500 BC). In: Miller, H., Friedrich, S., Kübner, M., Stäuble, H. und Risch, R. (hrsg): Siedlungsarchäologie des Endneolithikums und der frühen Bronzezeit. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte, Halle. Band 20/2, Halle (Saale), pp. 851-868.

Dövényi Z. (szerk.) 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Intézet, Budapest

Halmi V., Bauer E. (2013): Codex Pátka. Pátkai Református Egyházközség, Pátka

Jaeger, M. 2016. Bronze Age Fortified Settlements in Central Europe. Bonn - Poznań

Kiss V., Csányi M., Dani J., Fischl P.K., Kulcsár G., & Szathmári I. 2019. Chronology of the Early and Middle Bronze Age in Hungary. New Results. Studia Hercynia XXIII 2/2019. pp. 173-197.

Kovács Á. 2024. Régészeti jelentés a Lovasberény – Szűzvár középső bronzkori földvár fémkeresős kutatásáról. Székesfehérvár, Szent István király Múzeum, Kézirat.

Kovács Á. 2025. Régészeti jelentés a Lovasberény – Szűzvár középső bronzkori földvár fémkeresős kutatásáról. Székesfehérvár, Szent István király Múzeum, Kézirat.

Marosi A. 1912. A Fejérvármegyei és Székesfehérvári Múzeum őskori gyűjteménye. Múzeumi és Könyvtári Értesítő 6. évf. pp. 14-19.

Miske K. 1898. Újabb leletek Lovasberényben. Archaeológiai Értesítő 18. évf. pp. 317-333.

Molnár J. (szerk) 2014. A Pátka-Szűzvár egykori fluorit- és ércelőfordulásunk újraértékelése. Miskolc, 2014.

Nováki Gy. 1952. Fejér megye őskori földvárjai. Archaeológiai Értesítő 79. évf. pp. 3-19.

Nováki Gy. 1963. A magyarországi földvárkutatás története. Régészeti füzetek II/12. Budapest, Magyar Nemzeti Múzeum kiadványa

Reményi L., Pető Á., Kenéz Á., & Baklanov Sz. 2013. Archaeological and pedological investigations at the fortified Bronze Age settlement of Perkáta - Forrás-dűlő. In: Czajlik Z. - Bődöcs A.: Aerial Archaeology and Remote Sensing from the Baltic to the Adriatic. ELTE, Budapest pp. 55-57.

Szeverényi V. - Kulcsár G. 2012. Middle Bronze Age Settlement and Society in Central Hungary. In: Jaeger, M., Czebreszuk, J., Fischl, K.P., (eds): Enclosed Space - Open Society. Contact and Exchange in the Context of Bronze Age Fortified Settlements in Central Europe. Poznań - Bonn pp. 287-351.

Terei Gy., Nováki Gy., Mráv Zs., Feld I., & Sárközy S. 2011. Fejér megye várai az őskortól a kuruc korig. Castrum Bene Egyesület - Civertan Bt., Budapest



e-Szignó földmérőknek

- ✓ Az E-ING rendszer gördülékeny használata
- ✓ Bármilyen fájl aláírása (képek, térképek, dokumentumok)
- ✓ Szakvélemények, jegyzőkönyvek, helyszínrajzok aláírása
- ✓ Teljes jogi megfelelés Magyarországon és az EU-ban
- ✓ Könnyű használat számítógépen és okostelefonon
- ✓ Korlátlan számú hiteles másolati példány
- ✓ Stabil hazai szolgáltató, több évtizedes szakmai tapasztalat
- ✓ **Éves előfizetés nettó 28 699 Ft-tól**

Készüljön fel az e-ING rendszer használatára az e-Szignóval!

Részletek és megrendelés: e-szigno.hu/foldmeroknek

MICROSEC
Bizalmat építünk

TOVÁBBI INFORMÁCIÓK
+36 1 505 4444 | info@e-szigno.hu
e-szigno.hu/foldmeroknek

Szemle

Márton Gyárfás-émlékplakett 2026. évi adományozása

Felhívás emléklakett várományos jelölésére

Az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) Földmérő Szakosztálya és a Magyar Földmérési Térképészeti és Távérzékelési Társaság (MFTTT) kereteiben az erdélyi és az anyaországi földmérő és térképész közösségek között hosszú évekre visszanyúló együttműködés alapján, és az együttműködés fontosságának kihangsúlyozása érdekében az EMT és az MFTTT közös szakmai emléklakettet alapított szakterületünk kiemelkedő egyénisége, az erdélyi és az anyaországi szakemberek közötti együttműködés támogatója, a székelly származású *Márton Gyárfás* professzor emlékére.



A *Márton Gyárfás-émlékplakett* minden évben egy anyaországi MFTTT tagnak és egy erdélyi EMT tagnak, egyszerre tehát két fő természetes személynek adományozható, akik kiemelkedő szakmai és szakmai-társadalmi tevékenységükkel az EMT és az MFTTT közötti együttműködést és az összmagyarság érdekeit szolgálták, kimagasló közösségépítő munkát végeztek a szakma és a magyarság összefogására.

Felhívjuk szíves figyelmüket arra, hogy az Emlékplakett adományozására az MFTTT és az EMT bármely tagja és testületi szerve indoklással ellátott és az adományozási szabállyal összhangban lévő javaslatot tehet konkrét személy kitüntetésére.

A Jelölőbizottság várja anyaországi szakemberre vonatkozó javaslatokat 2026. április 30-ig az „MFTTT Márton Gyárfás-émlékplakett Jelölőbizottság részére” címmel és „Javaslat a Márton Gyárfás-émlékplakett 2026. évi adományozására” megjelöléssel. A javaslat leadható az MFTTT Titkárságán, vagy postázható az 1111 Budapest, Budafoki út 59. postacímre, illetve az 1590 Budapest, Pf. 94. postafiók címre, vagy pedig elküldhető az mfttt.titkarsag@gmail.com e-mail címre.

Az MFTTT Alapszabályának 2. sz. melléklete a *Márton Gyárfás-émlékplakett* adományozási szabályzata, amely részletesen szabályozza az adományozás módját, körülményeit és szabályait. Az adományozási szabályzat az MFTTT honlap (www.mfttt.hu) dokumentumtárában az Alszabályzat 2. mellékletében olvasható, illetve az Alapszabály a Titkárságunkon is elérhető.

MFTTT Titkárság

Török Zsolt Győző lett az ICA Working Group on the History of Cartography munkacsoport vezetője

A Nemzetközi Térképészeti Társulás (ICA) korábbi kartográfiatörténeti bizottságainak folytatásaként, hosszas szervezés után, 2026-ban létrejött a ICA Working Group on the History of Cartography munkacsoport, amelynek vezetője **Török Zsolt Győző**, az ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet docense. Az új, nemzetközi munkacsoport szeretettel várja a térképek és a kartográfia története iránt érdeklődők jelentkezését, akik bővebb információt találnak weblapjukon: <https://history.icaci.org/>

Gratulálunk a tisztséghez!

MFTTT Titkárság

Rendezvények

Beszámoló az EOVS-50 konferenciáról

A Magyar Földmérési, Térképészeti és Térinformatikai Társaság 2026. január 15-én a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Oltay termében rendezte meg az EOVS-50 (Az Egységes Országos Vetületi rendszer elmúlt 50 éve) című konferenciáját.

1975. augusztus 11-én jelent meg a Mezőgazdasági és Élelmezéstudományi Minisztérium Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal (MÉM OFTH) által szolgálati használatra kiadott „Vetületi Szabályzat az egységes országos vetületi rendszer alkalmazására”. A szabályzat bevezetésére 1976-ban került sor.

Az EOVS rendszer az 1970-es évek földügyi reformjának egyik legfontosabb mérnöki műve volt.

A konferencián az elhangzott előadások a történeti visszatekintés mellett a napjainkban is felmerülő problémákkal és a jövőbeni megoldásokkal is foglalkoztak.

Rózsa Szabolcs (BME) lebilincselő előadásában a geodéziai dátumok fogalmának tisztázásával kezdődő – időnként a kérdéseire az AI által kreált humoros válaszok ismertetését is elénk táró – előadásában a vonatkoztatási rendszerek ismertetésén át jutott el a „csillagokig”, a Nemzetközi Égi Vonatkoztatási rendszer ismertetéséig.



Timár Gábor (ELTE TTK) vetülettani alapokból kiinduló előadásában az EOV megszületéséhez vezető folyamatokat, felmerülő kérdéseket, ill. a kor nagynevű szakembereinek a témában publikált vitáinak menetét ismertette. Sok humorral átszótt előadásában láthattuk az új, polgári célú vetület kiválasztásának rögzös útját, ill. a „végeredmény” paramétereit.

Virág Gábor (LTK KGO) előadásában a vízszintes alaphálózat történeti kialakulásával induló, majd a Gödöllői összehasonlító alapon bemutatásán átívelő prezentációjában ismertette meg minket a FAGH – HD72 érdekességeivel.

Kerkovits Krisztián (ELTE) a nagyvilágból gyűjtöttre csokorba a különböző régiókban, országokban alkalmazott vetületi rendszereket, ill. a rendszerek országonkénti sajátosságait, érdekességeit.



Laky Piroska (BME) és **Földváry Lóránt** (BME) előadásából az EOV előtt használt vetületi rendszerekről kaphattunk átfogó képet. A hallgatóságot is bevonó, játékosan interaktív előadásban a sztereografikus, ill. a hengervetületek érdekességeit ismerhettük meg, amely az új vetületi rendszer bevezetésének szükségességét tárgyaló, korabeli szakmai érvekre is rávilágított.



Mihály Szabolcs (FÖMI ny. főigazgató) bemutatta az EOV bevezetésének mintegy előzményeként, a régi alaphálózati és vetületi elemeket. Beszélt a kiváltó okokról, jogszabályi háttérrel. Összefoglalót láthattunk az EOV felhasználási területeiről, az elmúlt 50 év eredményeiről. Végezetül felvetette a kérdést a rendszer jövőbeni szükségességéről.



Molnár Gábor Péter (ÓE) „A térinformatika megtanulja az EOV-t...” című előadásában az EOV rendszer és a térinformatikai rendszerek kapcsolatát, ill. a térinformatikai rendszerekben történő definiáláshoz vezető utat mutatta be, kitérve a paraméterezések, transzformációk és a dátum problematikájára.

Takács Bence Géza (BME) a Franciaországban és Norvégiában használatos rendszerek ismertetésével induló előadásában felvázolta az ott használt vetületi rendszerek sajátosságait. Bemutatta az illető országok elhelyezkedéséből, alakjából, méretéből adódó nehézségeket, problémákat, ill. az alkalmazott megoldásokat. Röviden ismertette az EOV torzulási paramétereit. Végül kitért a Magyarországon használt vetületi rendszer megújításának lehetőségeire, problémáira.



Kecskeméti Máté (Geotrend Kft.) Kiindulásként szolt a mérnökgeodéziai feladatok végrehajtása során szükséges alaphálózatok kiépítésének, meghatározásának fontosságáról, ill. célokról, követelményekről. Valós munkákból származó saját tapasztalatokon, ill. alkalmazott gyakorlatokon keresztül mutatta be a vetületek kiválasztásának, a hálózatok vízszintes és magassági értelmű meghatározásának ill. az ellenőrzésnek a kérdésköreit, valamint a megoldásokat.



Tóth Sándortól (BME) a Vetületi Szabályzat k1 együtthatójának pontatlanságát, ill. ennek következményeit feltáró, részletes, precíz számításokkal tarkított előadást élvezhetett a hallgatóság. Az előadó vizsgálta a lehetséges okokat, következményeket. A számítások eredményeként megadta az együttható pontos értékét, ill. rávilágított a pontatlanságból származó, az EOVSíkkkoordinátákban kimutatható eltérésekre.

Busics Györgytől (ÓE) a Gellérthegy alappont részletes történetét bemutató, figyelemreméltó előadást élvezhettek a jelen lévők. Számos korabeli fotóval, illusztrációval színesített bemutatót láthattunk az alappont különböző vetületi rendszerekben betöltött szerepétől kiindulva az EOVA hálózati, ill. a budapesti centrális hálózati státuszáig. A ma már nem létező Gellérthegyi csillagda – mint geodéziai alappont – építésétől kezdve a 2025-ben áthelyezett (anno a Citadella mellvédjén állandósított) pillér történetén keresztül (melyről a tényleges hálózati mérések történtek 1933-ban) kaphattunk kimerítő információkat a legújabb létesítésű és meghatározású, a rendszer jelenlegi központjaként funkcionáló alappontokról. Végezetül

Bogdanich Imre földmérő, csillagász, matematikus (kinek emlékoszlopa ugyancsak a Gellérthegy alappontnál található – bár nem hiánytalanul) életéről, munkásságáról tudhattunk meg adatokat.



Virág Gábor (LTK KGO) mint előadó másodszor állt a pulpitushoz, hogy ezúttal a VITEL (Valós Idejű Transzformációs Eljárás) rendszer rejtelseibe vezesse be az érdeklődőket. A transzformációs problémák taglalásán túl kitért a lokális és a regionális transzformáció megoldásaira, a transzformáció ellentmondásaira. Ismertette az EHT történetét, számítási folyamatát. Betekintést nyerhettünk a VITEL transzformációs alapjaiba, jellemzőibe, pontossági paramétereibe. Rövid jövőképet láthattunk a továbbfejlesztésről, ill. az IMMA hálózat által kínált lehetőségekről.





A **Varga Norberttől** (LTK) elhangzott előadás csak a sorban volt utolsó, témáját tekintve – különösen az ortofotók és alkalmazhatóságuk tárgyában – szó szerint felpezsdítette, hozzászólásokra inspirálta a hallgatóságot. Bevezetésként a téma jogszabályi, vonatkozó szakmai utasítási alapjait ismerhették meg. Számos statisztikai adatot láthattunk az ingatlan-nyilvántartási térképek eredetéről, pontosságáról. A térképfelújítási és elhatárolási elvek és a térképek minősítési szempontjainak ismertetése után a felújítási lehetőségek eddigi eredményeivel zárult az előadás és a konferencia is.

A konferencián számos témát felölelő, érdekes előadást élvezhetett a hallgatóság. Az egész napos rendezvény sikerét jelzi az is, hogy az érdeklődők szinte teljes létszámban, türelemmel és figyelemmel követték és hallgatták az összes előadást.

Pálosi Imre

Beszámoló az MFTTT Topográfiai és Térinformatikai Szakosztályainak 2025. november 20-i üléséről

A 2025. évben, november 20-án került megrendezésre az MFTTT Topográfiai és Térinformatikai szakosztályai által szervezett „A topográfia korszerű megoldásai és fejlesztési irányai” előadás-sorozatának második ülése, melynek a szokásoknak megfelelően a BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék adott otthont. Az ülésen két előadást

hallgathattak meg a jelenlévők, majd ezt követően a szokásos kötetlen szakmai beszélgetésre került sor. Az ülés előadói, **Tatár Erzsébet** és **Hajdú Zsolt** a HM Zrínyi Nonprofit Kft., Távérzékelési és Geodéziai Igazgatóságának felmérő osztályáról érkeztek. Közös prezentációjuk címe a „Gyakorlótér térképek domborzatának aktualizálása” volt.

Az előadás első része az 1:10 000 méretarányú gyakorlótér-térképek készítésének, céljainak és a korábban készített különböző térképtípusok bemutatásával kezdődött. Szó esett a gyakorlótér-térképek készítésével kapcsolatos munkafolyamatokról, a kapcsolódó kialakított térinformatikai rendszerekről (katonai és topográfiai adatbázis). Szóba kerültek a terepi adatgyűjtés érdekességei is, a környezeti és a tereptárgyak felmérésének szempontrendszere, a terepi munkát segítő eszközök, ami a műszereket és térinformatikai szoftvereket is magába foglalta. Tipikus példák kerültek bemutatásra mind a topográfiai, mind a katonai térképi elemek adatbázisából, térképen történő megjelenéséről, kiegészítve a munkavégzés közben az előadók által készített fényképekkel. A második rész első felében a domborzatváltozás okait mutatta be az előadó, valamint beszélt a szintvonalak egyes típusairól, adatbázisban betöltött szerepéről (szintvonal-összekötő vonalak). Ismertette a szintvonalak aktualizálásának mérési módszereit, a felmérő osztály által készített munkákon keresztül. Az első bemutatott feladat egy 70 évvel ezelőtt aktívan működő bánya domborzatának újra felmérése volt, LiDAR és GNSS technológiával. Majd domborzat aktualizálási példaként, egy rekultivált szeméttelést ismerhettünk meg, ahol 13 éve még egy mély gödör volt, de ma már egy 5 méteres domb figyelhető meg. A területet GNSS technológiával mérték fel, majd a részletpontok generalizálásával került létrehozásra az új felszínforma. Szintén szó esett egy 50 évvel ezelőtti tórol, ami napjainkra már teljesen kiszáradt (Madarasi-tó), így az eddig víz alatt lévő területen a domborzat aktualizálását kellett elvégezni. A mederről UAS technológiával készültek légifelvételek, ezekből egy pontfelhő. Ennek osztályozása majd kiértékelése után álltak elő a levezetett és megjelenített szintvonalak a hiányos területeken. A különböző felmérési technológiák bemutatása mellett, a mért területek automatikus generalizálására is láthattunk példákat többféle térinformatikai programban (QGIS, ArcGIS). Az előadó ismertette a felmerült nehézségeket, illetve a különböző eljárások során fellépő hibákat és kezelésüket.

Az ülésen részt vettek a HM Zrínyi Nonprofit Kft, a Közút Zrt. munkatársai, BME-s kollégák és a térinformatika oktatásban részt vevő egyetemi hallgatók is. Nagy meglepetésre több középiskolás is jelen volt az egyik előadó ismerősének jóvoltából és még kérdéseket is tettek fel az előadóknak.

Az előadást követő kötetlen beszélgetés során az előadók válaszoltak a résztvevők kéréseire, megjegyzéseire. Alapvetően az előadásban vázolt szintvonal-generalizálási megoldásokkal kapcsolatos tapasztalatok és észrevételek kerültek előtérbe, de a középiskolások kérésére a polgári és katonai térképek közötti különbségekről is szó volt. A beszélgetés konklúziójaként megállapítottuk, hogy igen nagy kihívást jelent az elvárt térképi termékek előállítás, és ezzel párhuzamosan a kapcsolódó

kutatómunkák elvégzése, amelyek a későbbiekben hatékonyabbá tehetik a munkavégzést. Ebben nagy segítséget nyújthatnának azok az egyetemi hallgatók, akik egy-egy ilyen témakörben TDK dolgozathoz, vagy diplomatervezhez kapcsolódó kutatásokat végeznének közösen a katonai térképészet munkatársaival. A nyitottság, a megoldandó kérdések és témakörök adottak, „már csak” lelkes hallgatókra van szükség



Folytatva a hagyományokat 2026 tavaszán legalább egy újabb ülést szeretnénk szervezni. A továbbiakban is azon dolgozunk, hogy minél szélesebb körhöz jusson el az ülések híre és így érjünk el minél több potenciális előadót és érdeklődőt.

*Juhász Attila
elnök, MFTTT Topográfiai szakosztály*

Beszámoló a Kogutowicz Manó Földrajzi Olvasóklub megalakulásáról

A Magyar Földrajzi Társaság Térképészeti Szakosztálya különleges eseményt, olvasóklubot szervezett azzal a céllal, hogy új közösségi fórumot teremtsen a térképekhez kapcsolódó könyvek, szakmai és ismeretterjesztő művek közös olvasás-élményeinek megosztására. A „Kogutowicz Manó Földrajzi Olvasóklub” alakuló ülését 2026. március 11-én, 18:30-tól tartottuk ELTE Egyetemi Könyvtár és Levéltár gyönyörű, idén 150 éves főépületében. Köszönjük a könyvtár nagylelkű felajánlását, hogy a könyveket és térképeket, valamint az olvasást népszerűsítő rendezvényünknek rendszeresen helyet ad.



A program első részében **Török Zsolt Győző** szakosztály-elnök ismertette az olvasóklub céljait és működési kereteit. A negyedévente tervezett találkozók során egy-egy térképészeti vagy földrajzi témakört két különböző típusú könyv – egy tudományos mű és egy, a szélesebb közönség számára íródott, populárisabb mű – párhuzamos feldolgozásával kívánunk körüljárni, elősegítve ezzel a térképekről szóló társadalmi párbeszédet.

Az első alkalommal a klub névadóját bemutató, szokatlan műfajú, az életrajzt regényes fordulatokkal és ismeretterjesztéssel ötvöző kötetet mutattuk be. **Török Zsolt**

Győző ennek írójaként mesélt a közönségnek a „Kogutowicz – A boldog békeidők atlasza” (ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2025) című, új könyvének térképészeti és irodalmi érdekességeiről. Az est programja interaktív elemmel folytatódott: **Hegyesi Dóra** szakosztály-titkár szervezésében térképészeti tematikájú kincskeresést játszottunk a könyvtár tereiben. Az okostelefonos kaland feladatai a legendás térképész, *Kogutowicz Manó* nevéhez fűződő iskolai atlaszok térképeire és a könyvtári könyvekre épültek. A résztvevők száma meghaladta várakozásainkat, és örömmel láttuk, hogy az MFT és az MFTTT tagjai mellett nem szakemberek is sokan eljöttek, ami jelzi a térképekhez és a földrajzi gondolkodáshoz kapcsolódó kezdeményezésünk iránti szélesebb közönség érdeklődését.

Hegyesi Dóra és Török Zsolt Győző
MFT Térképészeti Szakosztály titkár és elnök

Beszámoló a „GNSS Under Attack” Workshopról

Tavaly szeptember 1-jén arról számolt be a Financial Times, hogy előző nap a Varsóból Plovdivba utazó **Ursula von der Leyen** repülőgépének nehézségei támadtak a leszállással, valószínűleg a GPS-jel zavarása miatt. Bár az Európai Bizottság elnöke végül rendben földet ért, és az információk ellentmondásosak arról, hogy a GPS-probléma mennyire volt súlyos – sőt, arra sincs bizonyíték, hogy valakik tényleg szándékosan zavarták volna a gép műszereit –, a történetek interpretációjából látszik, hogy egy ilyen incidens ma elég könnyen elképzelhető.

Mégpedig jogosan, a rendszer ugyanis kimondottan sérülékeny. Fenyegetik a blokkolási (*jamming*) és a jelhamisítási (*spoofing*) kísérletek is – derült ki **Bastiaan Ober**, az Integricom Hungary ügyvezetője előadásából, melyet a BME-n szervezett GNSS Under Attack című workshopon tartott.

Az eseményen több mint 50-en vettek részt, köztük fejlesztő cégek, egyetemek, valamint a magyar légtérben légiforgalmi szolgáltatásokat nyújtó Hungarocontrol és a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság képviselői. A többi előadást is a szakterület nemzetközileg elismert kutatói tartották, így **Philipp Berglez** (Technische Universität Graz), **Adrià Rovira**, **Jaume Sanz** (Universitat Politècnica de Catalunya), **Maarten Uijt de Haag** (Technische Universität Berlin) és **Rózsa Szabolcs**, a Műegyetem Építőmérnöki Karának dékánja.

A műholdas helymeghatározás lényege, hogy a vevő egyszerre több – ma már 30-40 – műhold jeleit veszi, a jelek vétele alapján számított távolságokból határozza meg a saját pozícióját az ismert helyzetű műholdakhoz képest. Az, hogy kritikus infrastruktúráról van szó, ma már nyilván senkinek sem újdonság. Majdnem 7 milliárd eszköz csatlakozik rá világszerte, egy sor fontos szolgáltatás, sőt kulcsfontosságú ágazatok függnek tőle.

Nem csak az okostelefonok: még az elektromos hálózatok is a műholdas jelekre támaszkodnak – magyarázta **Bastiaan Ober**. A London Economics tanácsadó cég 2021-ben kiszámolta, hogy a GPS egynapos leállása 1,4 milliárd font kárt okozna Nagy-Britanniában, egy hétnyi üzemzavar esetén pedig 7,6 milliárd fontra rúgna a veszteség.



Ráadásul mivel a hatékonysága és az általa biztosított kényelem nagyon megerősítette a bizalmat iránta, hajlamosak vagyunk objektív, tévedhetetlen tekintélyként kezelni a GPS-t. Ha téved, azt igazán meggyőzően teszi, ezért fordul elő, hogy egyes felhasználók akkor is hisznek neki, ha a fizikai valóság ellentmondani látszik. Holott, mint **Bastiaan Ober** rámutatott, a GNSS lehet pontatlan, elérhetetlen, megtévesztő – és támadható is.

A potenciális sebezhetőségek közül kétségkívül a legaggasztóbb, ha a műholdas navigáció az elektronikus hadviselés első frontjává válik. Nyilvánvaló, hogy nemcsak a háború sújtotta térségekben, hanem szinte bárhol a világon zavarják a GPS-jeleket, elsősorban a GPS-alapú flottakövetés akadályozása, illetve az útdíjak elkerülése céljából.

Philipp Berglez professzor bemutatott olyan, a szakirodalomban is publikált eseteket, amikor a GPS-vevők azt mutatták, hogy az adott környéken az összes hajó körbe-körbe megy. Egy ilyen manipuláció ráadásul viszonylag könnyen hozzáférhető eszközökkel megoldható, és a szükséges technikai tudás sem elérhetetlen. Az Európai Unió ezért cselekvési tervet készít a biztonsági fenyegetések kezelésére, beleértve további műholdak telepítését, az észlelési képességek javítását és a kritikus infrastruktúra ellenálló képességének növelését.

De hogyan lehet egyáltalán tesztelni az eszközöket mások veszélyeztetése nélkül? Nos, ilyen kísérleteket például elhagyatott norvégiai fjordok magas sziklafalainak árnyékában szoktak elvégezni – mondta **Takács Bence**, az Építőmérnöki Kar Általános és Felsőgeodézia Tanszékének docense. Hozzátette, van lehetőség laboratóriumi körülmények között végezhető tesztekre is, az ehhez szükséges szimulátort és jelgenerátort az **Emerson NI** munkatársai mutatták be. Az eszközök kifejlesztését az Európai Űrügynökség támogatta, ezért cégek, kutatóintézetek is használhatják.

forrás: <https://www.bme.hu/hirek/260224/bme-emk-gnss-gps-muholdas-helymeghatarozas-workshop>

Rendezvények - beharangozó

34. Vándorgyűlés

2026. július 23-24.

A neves elődök, elődszervezetek (Magyar Mérnök és Építész Egylet Földmérészeti Szakosztálya [1867] és a Magyar Földrajzi Társaság [1872] valamint a Magyar Fotogrammetriai Társaság [1929]) után 1956. április 20-án megalakult a Geodéziai és Kartográfiai Egyesület. Az egyesület jelenlegi nevét az 1990. évi közgyűlésen vette fel.



A fentiek alapján a Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság 2026-ban ünnepli megalakulásának 70. évfordulóját.

Az MFTTT – ezt a szép jubileumot is alapul véve – a 2026. évben ismét megrendezi Vándorgyűlését.

A Vándorgyűlés időpontja: 2026.07.23-25. Helyszíne: Baja, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar.

A Vándorgyűlés szervezése folyamatban van. A részletekről információt kaphat a tagság a honlapon keresztül.

Pálosi Imre

II. PCS Laser Day

2026. március 31.

Idén második alkalommal kerül megrendezésre a PCS Laser Day, a Digicart Kft rendezvénye, ahol a főszerep a pontfelhőké és a lézershaknereké. A tavalyi évben azokhoz igyekezett a rendezvény szólni, akik még csak most kezdenek bele a lézershaknellésbe, idén leginkább a versenypiaci résztvevőké a főszerep, hogy bemutassák, hogyan használják a PCS-t a saját feladataik elvégzésére.

A rendezvény paraméterei:

- Időpont: 2026.03.31
- Helyszín: Lurdy Ház Konferencia Központ (1097 Budapest, Könyves Kálmán krt. 12-15)
- Résztvételi díj: ingyenes
- Parkolás: A résztvevők számára a felszíni parkolóban ingyenes.

A rendezvényen korlátozott számban tudunk résztvevőket fogadni. Aki részt szeretne venni, kérjük, töltsse ki a regisztrációs form-ot itt: <https://forms.gle/gASzy58gdsqh8ma8A>

II. PCS Laser Day



Ha az elérhető helyek hamarabb betelnek, a regisztrációt hamarabb zárjuk.

MFTTT Titkárság

H-SPACE konferencia

2026. május 21-22.

Idén 9. alkalommal kerül megrendezésre a H-SPACE nemzetközi konferencia az űrtevékenységről (űrkutató, űrtechnológia, űrroktató) Budapesten, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Villamosmérnöki és Informatikai Karának szervezésében; partnerek: Magyar Asztronautikai Társaság (MANT), Magyar Innovációs Szövetség (MISZ), Space Generation Advisory Council (SGAC), Woman in Aerospace Europe (WIA-E).

H-SPACE

Az idei konferencia mottója "Space changes everything" ("Az űr mindent megváltoztat"). A konferencia főbb témái az űrtevékenység/űrkutató tudományos, technológiai, oktatási, politikai és gazdasági vonatkozásai. Lehetőséget nyújt továbbá az űrrrel kapcsolatos regionális tudományos, technológiai, oktatási és ismeretterjesztő tevékenységek bemutatására is. A konferencia hibrid rendezésű (személyes és online). A részvétel ingyenes. További információkért lásd: <http://space.bme.hu>

MFTTT Titkárság

MFTTT közgyűlés

2026. május 19.

Az MFTTT soron következő közgyűlésére előreláthatólag 2026. május 19-én kerül sor, helyszíne a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékén található Oltay terem (K épület, magasszint 26). A végleges időpont április elején lesz kihirdetve, melyről minden tagtársunkat körlevélben értesítjük, illetve a honlapunkon is közzétesszük.

MFTTT Titkárság

Műszerismertetés

AlfaGEO FALCON X kézi mobil térképező rendszer

Manapság megszokhattuk, sőt természetesnek vesszük, hogy már a tenyérnyi, belépőszintű GNSS vevők is rendelkeznek IMU-val, azaz olyan tehetetlenségi szenzorral, mely térbeli tengelyek mentén méri az antenna a dőlését, elfordulását, sodródását. Használatával levehetjük a figyelmünket a libelláról és az antenntartó bot függőleges tartásáról.

Ugyanakkor, aki járműre szerelhető mobil térképező rendszerekkel foglalkozik, talán ennél is jobban tudja értékelni, milyen jelentősége van egy 40-70 km/órás sebességgel, folyamatosan mozgó, kanyarodó, bukdácsoló, lassító-gyorsító járműben a varázsdoboznak, vagy pl. annak adatfrissítési rátájának.

Az MMS (avagy MLS) elsődleges, abszolút helymeghatározási eszköze a GNSS, melynek elégtelen jelvételekor (pl. szűk városi utcákban, alagutakban) az IMU – műszaki paramétereitől, minőségétől függő ideig – képes kiváltani a műholdas technológiát, azaz „tartani” képes a pozíciót.

Ugyanezen az elven működnek a piacon egyre-másra felbukkanó RTK GNSS-szel kombinált kézi SLAM rendszerek, melyek a belső terek egyszerű, georeferált felmérését ígérik. Jelen cikkünk tárgya is egy ilyen műszer, az AlfaGEO FALCON-X.



Volt szerencsém részt venni a Magyar Mérnöki Kamara FAP kiadványsorozatának 2025-ös, „Pontfelhők kiértékelése a mérnöki gyakorlatban” c. szakmai anyagának összeállításában. A szerzőtársakkal a kézi SLAM-ek kapcsán több soron is felhívtuk az olvasók figyelmét, hogy „mindent arra használjunk, amire való”, hiszen a piacon fellelhető ilyen eszközök nagyon széles ár- és minőségi skálán mozognak. Egy belépő szintű műszerből származó pontfelhőből pontos tervezési alaptérkép nem, vagy csak nagy kockázattal állítható elő.

A fentiek fényében futottam neki a következő műszertesztnek. A FALCON-X egy normál GPS kofferben érkezett, ami nem is

csoda. Maga a mérőegység ugyanis nem sokkal nagyobb, mint egy átlagos integrált RTK fejezet. A minden-a-boton antenna aljára ferdén van rögzítve egy LIVOX szkennerek egység. Ezzel a megoldással a már több cikkemben is bemutatott, erre a szkennertípusra jellemző vakkúp szerencsésen lefelé néz, tehát tengelye nem párhuzamos a haladási iránnyal. Így a hasznos szkennelési terület jobb geometriát mutat.

A műszerkorpuszon a szkenneregység alatt egy AR kitűző-, illetve attól balra és jobbra egy-egy SLAM kamera található, a pontfelhő RGB színezéséhez. Alján foglalnak helyet a különböző csatlakozók és slotok: LEMO, memóriakártya, nanoSIM, URH antenna, illetve USB-C. Ez utóbbin keresztül valósul meg a kábeles adatsere is, amihez egyébként csatlakoztatni kell a rúdakkut.



Telepből az alapsomagban mindjárt kettőt is találunk. Töltöttségüket gombnyomásra LED skálán ellenőrizhetjük. Egy töltéssel, aszerint, hogy milyen módon használjuk, három (SLAM), vagy nyolc (RTK GNSS) órát dolgozhatunk. A szkennerral átellenes oldalán a műszernek egy 1,3”-os mini színes LED kijelző lát el minket hasznos információkkal mérés közben.

A kombinált fejegység GNSS része hozza a manapság elvártakat: GPS/GLO/GAL/BDS/QZSS/IRNSS/SBAS jelvételek 1408 csatornán, integrált LTE és URH modem korrekció átvitelhez. Az ún. 4D IMU dőlési munkatartományja 0–120°, adatfrissítési frekvenciája tekintélyes, 400 Hz, melynek a cikk elején kifejtett GNSS kiváltáskor van nagy jelentősége.



A SLAM oldalt a már említett 40 csatornás LIVOX szkennerek képviseli. Ennek szkennelési sebessége a szokásos 200.000 pt/mp, hatótávolsága 40-70 m közé tehető. Nem szabad elfelejteni, hogy gyártója elsősorban önvezető járművek navigációjához fejlesztette ezt a letapogató egységet! Nyilván nem várható el tőle az, ami egy teljesítményében, pontosságában, ugyanakkor árában is többszörösét hozó forgófejes, sokcsatornás szkennertől.

A mérőrendszer kezeléséhez szabadon választhatunk Android operációs rendszerű telefonok, tabletek, phabletek közül. Vizsgálódásaimhoz egy Oukitel WP35-öt kaptam.

A vezérlés a már jól ismert FORGEO méRTÉK alkalmazással valósul meg. Persze, a FALCON-X használata esetében egy bővített verzióról beszélünk, mely el van látva a SLAM funkciókkal is.

Mérési módokból kettőt különböztethetünk meg. Az egyik a klasszikusnak tekinthető kézi SLAM, mikor észlelés közben nem történik abszolút értelmű helymeghatározás, csak sétálunk a szkennerekkel. Persze, ekkor is felkereshetünk GCP-eket (földi illesztőpontokat), majd az utófeldolgozáskor ezekhez koordinátákat rendelhetünk. Ilyenkor célszerű a szokásos talpat felszerelni a nyélakku alá és a keresztalakú jellel rámérgetni alappontjainkra.

Az izgalmasabb viszont a másik mérési módszer, mikor minden a-boton megoldásként RTK GNSS vevővel kombináljuk a SLAM-et. A rúdakkuk alján 5/8"-os furat található. Ebbe kell beletekerni a 1,8 m magasra kihúzott botot, és indulhat is az észlelés!

A mérőrendszer kezelése az említett méRTÉK szoftverrel tényleg gyerekjáték. Megfelelő körülmények között az RTK GNSS pillanatok alatt inicializál, a SLAM is frappánsan, gyorsan méréskészé válik. Szkennelés közben – melynek előrehaladását természetesen a kijelzőn pontfelhő formájában nyomon követhetjük – lehetőségünk van GNSS pontrögzítésre is, ilyenkor ezek a fejezetben (is) rögzülnek.

Azért azt nem szabad elfelejteni, hogy maga a SLAM 1,8 kg. Ez a tömeg az integrált GNSS fejezetek hajnalát idézi. Így kb. negyedóra után, szkennelés módban, folyamatosan kissé emelve tartva az antenna botot, a vezérlő kijelzőjét figyelve, egyenletes sebességgel sétálva bizony megérezzük a vállainkat!

A műszerteszt során GNSS módban felmértem számos, a pontfelhőben biztosan jól azonosítható felfestés sarkot. Ezeket tekintettem ellenőrzőpontoknak. Próbálkoztam erre a célra körakna-fedlap középpontokkal, illetve négyszögaknak sarkaival is, azonosításukkor több-kevesebb sikerrel.



Ezt követően különböző időpontokban végigszkenneltem a területet úgy, hogy a „hasznos munkaterület” mérete és alakja mindig más legyen, illetve az ellenőrző pontokból azokat vizsgáltam, ami rájuk esett. Volt egy viszonylag kompakt terület, illetve két hosszan elnyúló, vonalszerű. Persze, az ellenőrző pontok nem mindig ugyanúgy képződtek le a különálló pontfelhőkben.

Az irodai feldolgozás éppoly egyszerű, mint a terepi észlelés. Az AlphaStudio egy jól felépített alkalmazás, a pontfelhőket szépen rendereli. A SLAM-eknél megszokott néhány kattintás után megkezdődik az automatikus előfeldolgozás, RGB színezéssel, simítással, mozgó objektumok szűrésével stb. Van lehetőség az útvonal (trajektória) időbeli feldarabolására, így a nem túl sikeres részek elvileg akár kimetszhetők a mérésből.

Amennyiben aktív volt az RTK GNSS mérés, egy plusz funkció bekattintásával a feldolgozás végére EOV-rendszerbe kerül a pontfelhőnk.

El kell ismerni, szép, kifejezetten vékony (1-3 mm vastagságú) 3D-pontfelhők álltak elő a szoftverből.

Az 50×50 m-es területen a pontfelhőben leszűrt pontok ellenőrzése elképesztően jó eredményeket hozott.

A GNSS-szel bemért, illetve a pontfelhőben átzonosított 20 db ellenőrző pont koordináta-különbsége csak hét esetben ugrott 5 cm fölé, ott is vízszintes értelemben max. 7 cm-ig. Magasságilag

minden 5 cm-en belül volt, mindössze egy pont vágott ki 13 cm-re.

A második sorozat, amibe 12 db ellenőrző pontot vontam be, már kissé pontatlanabb, szubdeciméteres képet mutatott. Érdekes módon magasságilag egyik pont sem lógott 5 cm különbség fölé. Vízszintesen viszont már 6 db pont esetében szórtak a koordináta-eltérések 5 és 11 cm között.

A harmadik körben, ami egy hosszú útszakaszt reprezentált, már 30 pont szerepelt. Ebből 18 esetben voltak nagyobbak a hibák, mint az 5 cm-es küszöb, és bizony a magasságok is meglódtak. Itt már szubméteres problémákat (értsd: 45 cm) is találtam.

Az eredményeket vizsgálva, a mérési sorozatok szórása nagyon hektikusnak tűnik. Bizonyos pontok 2, 1 sőt 0 mm-es eltérést mutatnak, még a legpontatlanabb mérési ciklusban is. Így persze az eltérések átlaga sem mutat annyira rossz képet...

Természetesen, a leírt tesztelési módszer számos hibával terhelt, hiszen már az ellenőrző pontok RTK GNSS-szel való meghatározásában is feszül bizonytalanság. Aztán ott van a szkennelési pontatlanság (a LIVOX360 esetén ez 1σ -nál ≤ 2 cm 10 m-en), illetve a pontfelhő előfeldolgozó algoritmus, mely végrehajtja az újraillesztést, simítást, de igazán nem tudjuk, hogy mit és hogyan csinál.

Összességében elmondható, hogy a potenciál megvan a FALCON-X mérőrendszerben is a nagyobb pontosságú észleléshez.

Ugyanakkor megint csak az RTK GNSS-eknél megszokott FIX-álfIX problémával lehet párhuzamot vonni. Nehéz egyértelmű mérőszámot, vagy arányt mondani a bizonytalanságra, mikor hogyan teljesít a rendszer. Ami szerencsés, hogy a műszer integrált jellege miatt van lehetőség arra, hogy az éles munka közben a GNSS-szel is mérjünk ellenőrző pontokat. Így szemben a sima, abszolút pozíció nélküli SLAM-észlelésből származóval, itt az irodában van visszacsatolás az előfeldolgozott pontfelhőnk megfelelőségéről.

Ennek ismeretében pedig már a mérnöki felelősség körébe tartozik, mit kezdünk az eredményterméssel.

A mérőrendszer fontosabb műszaki információit az alábbi táblázatban foglaltam össze:

AlfaGEO FALCON X SLAM jellemzői	
Geodéziai RTK GNSS + SLAM	integrált mérőrendszer, méRTÉK szoftver vezérléssel
Csatornaszám	1408
Műholdrendszerek	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS, IRNSS, SBAS
L-Band	B2b (BDSPPP), E6B (HAS)
Beépített rádió	van
Beépített GSM modem	van
Dőlésérzékelés és kompenzátor	E-buborék, 400Hz-es 4D IMU-alapú kompenzátor
Belső memória	256 GB
Akkumulátor	2 db cserélhető nyélakku
Teszt során alkalmazott CORS	CORRIGO (4-es konstelláció)
Lézersatorna szám (SLAM)	40
Szkennelési hatótáv	0,1 m – 40 m @ 10% visszaverődés 0,1 m – 70 m @ 80% visszaverődés
Szkennelési sebesség	200 000 pt/mp
LIVOX mid360 pontosság	≤ 2 cm @ 10 m (1σ)
Por- és vízállóság	IP67
Méret	138 mm (\varnothing) × 301 mm (H)
Tömeg	1,8 kg
További hivatalos információ	FORGEO Kft. www.forgo.hu

Stenzel Sándor

földmérőmérnök, földrendező mérnök

www.gpstakarok.hu

A GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA SZERKESZTŐSÉGE VÁRJÁ TUDOMÁNYOS ÉS SZAKMAI CIKKEK, VALAMINT ISMERETTERJESZTŐ ÉS SZAKMAI ÉRDEKESSEGEKET BEMUTATÓ SZEMLECIKKEK KÉZIRATÁT.

ELÉRHETŐSÉGEINK:

E-MAIL: MFTTT.TITKARSAG@GMAIL.COM

WEB: [HTTPS://OJS.ELTE.HU/GEODEZIAESKARTOGRAFIA](https://ojs.elte.hu/geodeziaeskartografia)

KÉZIRATOKAT AZ INFORMÁCIÓ>BEKÜLDÉSEK MENÜPONT ALATT LEHET FELTÖLTENI.

MFTTT vezetősége

Nekrológ



Verő József (1933-2025)

2025. december 17-én, 92 éves korában elhunyt Verő József Széchenyi-díjas geofizikus kutató professzor, egyetemi tanár, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja.

1933-ban született Sopronban. Édesapja Verő József kohómérnök, akadémikus. 1975-ben lett a földtudomány (geofizika) doktora, 1995-ben az Akadémia levelező-, 2001-ben rendes tagja. Szakterületén belül elsősorban a geomágneses tér változásaival, a geomágneses pulzációkkal foglalkozott. 1957-től dolgozott az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben, kutató professzorként 2005-ben onnan ment nyugdíjba. Oktatott a Miskolci Egyetemen, illetve jogelődjénél, 1991-2003 között pedig a Nyugat-magyarországi Egyetem Fizika Intézetének professzora.

Kutatói pályája kezdetén részt vett a Nagycenki Geofizikai Observatórium (a mai HUN-REN FI Széchenyi István Geofizikai Observatórium) létrehozásában, az ott végzett mérések feldolgozási módszerének kialakításában. Ma ennek az observatóriumnak a pulzációs adataira egyedülállóan hosszú a világon, olyan vizsgálatokat tesz lehetővé, amelyek máshol nem lehetségesek, mint például a 11 éves naptevékenységi ciklus hatásának kimutatása a geomágneses pulzációkra. Hosszabb ideig foglalkozott a Föld belső szerkezetének vizsgálatára alkalmas magnetotellurikus mérések számítástechnikai problémáival, a mérések szervezésével, sok hazai és külföldi mérőexpedícióban vett részt, s az irányításával készült programcsomagot külföldi intézmények is átvették.

Az elsők között mutatta ki a geomágneses pulzációknak a bolygóközi tér egyes fizikai paramétereivel való kapcsolatát, bizonyítva ezzel, hogy a jeleket létrehozó hullámoknak a forrását a földi magnetoszférán kívül kell keresnünk. A bolygóközi mágnes tér erőssége és a pulzációk periódusa közötti kapcsolatnak általa meghatározott alakját nagyon sokan idézték és alkalmazták. Több alkalommal szervezett nemzetközi együttműködést észak-déli állomásláncok létrehozására, amelyeknek segítségével sikerült a földi mágnes térben terjedő magnetohidrodinamikus hullámok, a mágnes tér erővonalai mentén kialakuló rezonanciák számos tulajdonságát tisztázni. Erről a kérdéstről az illetékes nemzetközi szervezet 1985-ös konferenciájára áttekintő előadásra kérték fel. Ugyancsak áttekintő előadással szerepelt 1992-ben a williamsburgi Chapman-konferencián, amelynek anyagát Amerikában, monográfiában jelentették meg. Az 1999. augusztus 11-ei napfogyatkozás hatását csoportjával első alkalommal sikerült kimutatni a geomágneses pulzációkban. Összesen mintegy 230 tanulmánya jelent meg, ezekre gyakran hivatkoznak a vezető folyóiratokban is. Társszerzői között német, angol, finn, indiai, norvég, ausztrál, vietnami, orosz, bolgár, osztrák, japán szakemberek vannak.

Foglalkozott a geomágnesség régészeti alkalmazásával, több dunántúli és ausztriai vasolvasztó telep feltárásában vett részt.

Megindulása óta szerkesztője, 1996-tól 2008-ig főszerkesztője volt az Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica című folyóiratnak. Hosszabb ideig titkára volt az MTA Geofizikai Tudományos Bizottságának. Külföldi meghívással járt és előadást tartott Japánban, Németországban, Angliában, Ausztriában, a Szovjetunióban. Tevékenyen vett részt a Nemzetközi Geomágneses és Aeronómiai Asszociáció (IAGA) munkájában, egy időben mint nemzeti képviselő. 1962-ben és 1980-ban Akadémiai díjat kapott, tulajdonosa a Magyar Geofizikusok Egyesülete Eötvös Loránd- és Egyed László érmének, az MTESZ-díjnak, a Magyar Asztronautikai Társaság Fonó Albert-érmének (1994). 2003-ban a Köztársasági Érdemrend tisztikeresztjével, 2004-ben Széchenyi-díjjal tüntették ki. Ugyanebben az évben Sopron város díszpolgára lett, és megkapta az Akadémiai Kiadó nívódíját is.

Tagja volt többek között a Magyar Geofizikusok Egyesületének, a Magyar Asztronautikai Társaságnak, a Soproni Tudós Társaságnak, a Kitaibel Pál Természettudományi Asztaltársaságnak, a Professzorok Batthyány Körének, a Soproni Városszépítő Egyesületnek, a Bencés Diákszövetségnek, a Keresztény Értelmiségi Szövetségnek, a Magyar Bélyeggyűjtők Országos Szövetségének, a Perkovátz-Ház Baráti Köre Egyesületnek.

Nyugodjon békében!

forrás: <https://epss.hun-ren.hu/vero-jozsef-emlekere-1933-2025/>

GNSS UNDER ATTACK



**CAN WE STILL TRUST THE
GPS WE RELY ON EVERY DAY?**