

Hosszútávú GNSS-alapú szerkezetmonitoring megvalósítása a Nemzeti összetartozás hídján

TURÁK Bence¹, ÉGETŐ Csaba¹, RÓZSA Szabolcs¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

E-mail: turak.bence@emk.bme.hu

DOI: [10.30921/GK.78.2026.3.4](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.3.4)

Absztrakt

Jelen tanulmány a sátoraljaújhelyi Zemplén 723 – a Nemzeti Összetartozás hídján megvalósított, alacsony költségű GNSS-alapú szerkezetmonitoring rendszer kialakítását és alkalmazását ismerteti. A több mint 700 m hosszú, rugalmas gyalogoshíd vizsgálata során többfrekvenciás, többkonstellációs vevőkből álló szenzorhálózatot telepítettünk, amely valós időben, centiméter alatti pontossággal szolgáltatott adatokat. A statikus próbaterhelés során a GNSS és mérőállomásos mérések jó egyezést mutattak, a lehajlások különbsége jellemzően néhány milliméter volt. A három hónapos monitoring időszak kimutatta a hőmérséklet és szél hatására kialakuló jellegzetes alakváltozásokat. Idősorelemzéssel és wavelet-transzformációval a szerkezet domináns sajátfrekvenciái is azonosíthatók voltak. Az eredmények igazolták, hogy a GNSS-alapú monitoring hatékony eszköz a hidak hosszú távú megfigyelésében, különösen alacsony frekvenciájú mozgások detektálására.

Abstract

This paper presents the development and application of a low-cost GNSS-based structural monitoring system implemented on the National Unity Bridge (Zemplén 723) in Sátoraljaújhely, Hungary. The more than 700 m long, flexible pedestrian bridge was instrumented with a network of multi-frequency, multi-constellation GNSS receivers capable of providing real-time positioning with centimeter-level accuracy. During static load testing, GNSS-derived deflections showed strong agreement with total station measurements, with differences typically under a few millimeters. A three-month continuous monitoring period revealed characteristic structural responses driven primarily by temperature variations and wind effects. Time series analysis and wavelet transform techniques enabled the identification of dominant natural frequencies. The results demonstrate that GNSS-based monitoring is an effective tool for long-term bridge observation, particularly for detecting low-frequency structural vibrations.

1. Bevezetés

Sátoraljaújhely városának kiemelt turisztikai fejlesztései között, a Zemplén Kalandpark bővítésének keretében valósult meg a Szár-hegy és a Vár-hegy közötti több, mint 700 méter teljes hosszúságú gyalogos kötélhíd, Zemplén 723 – a Nemzeti Összetartozás hídjá (1. ábra). A híd a méreténél és kialakításánál fogva nemzetközi viszonylatban is különleges mérnöki létesítménynek tekinthető (Kövesdi és társai, 2025). A kivitelezési munkálatok 2023-ban kezdődtek meg, az elkészült szerkezet ünnepélyes átadására 2024. június 4-én került sor.

Az üzembe helyezést megelőzően a híd szerkezetén a vonatkozó előírásoknak megfelelő próbaterhelési vizsgálatokat végeztek,

amelyek kiterjedtek mind statikus, mind pedig a gyalogos forgalom által keltett dinamikus igénybevételekre. A próbaterhelés célja a szerkezet globális és lokális válaszainak meghatározása volt különböző terhelési esetek mellett.

A híd jelentős fesztávolsága, kis önsúlyú, rugalmas szerkezeti rendszere, valamint fokozott szélterhelésnek való kitettsége indokolta a tette egy ideiglenes monitoring rendszer kialakítását is. E rendszer elsődleges célja az volt, hogy valós üzemi körülmények között, in situ módon szolgáltatson adatokat a szerkezet viselkedéséről, különös tekintettel a környezeti és forgalmi hatásokra, így a hőmérsékletváltozásra, a szélhatásokra, illetve a gyalogosok gerjesztette dinamikus mozgások kimutatására.



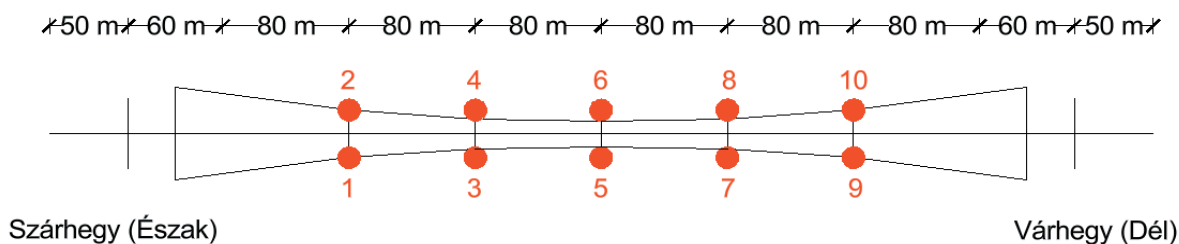
1. ábra A Nemzeti Összetartozás hídja

1. Geodéziai monitoring mérések

A híd méretéből és szerkezetéből adódóan a terheléspróba során is komoly kihívást jelentett a különböző teherállásokban kialakuló lehajlások meghatározása. A 700 métert meghaladó hossz és a stabil pályaszerkezet hiánya a hagyományos, optikai szintezésen alapuló geodéziai méréseket nem tették lehetővé. Így kétféle eljárással határoztuk meg a lehajlások mértékét. A híd közepéhez képest szimmetrikusan elhelyezett 5 kereszt-szelvényben műholdas helymeghatározó rendszerrel (GNSS) végzett mérésekkel végeztünk helymeghatározást. Ezen kívül a hídfőkhöz közelebbi szelvényekben hagyományos, mérőállomással is végeztünk méréseket a próbaterhelés idején, így az 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 és 10 pontokban mindkét rendszerrel történtek mérések (2. ábra).

Bár az irodalomban már számos szerző végzett GNSS-alapú deformációméréseket (Xue–Psimoulis, 2023; Yu és társai, 2020), az általunk végzett mérések a maguk nemében különlegesek, hiszen nemzetközi szinten is az elsők között végeztünk ilyen méréseket alacsony költségigényű GNSS vevőkkel. Az elmúlt években – főként az autonóm járművek és eszközök helymeghatározási igényeinek kielégítésére – számos GNSS chip gyártó dobott piacra olyan többfrekvenciás vevőket, amelyek valós időben 1-2 cm pontos helymeghatározásra képesek és az árak jelentősen alacsonyabbak a hagyományos geodéziai vevőkénél. Ilyen eszközöket találunk például a GNSS-

szel támogatott robotfűnyírókban is. A BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszéken már több éve használjuk ezeket a vevőket a kutatásainkhoz (Takács, 2025; Farkas és társai, 2024). Mozgó platformok hely-, és helyzetmeghatározásához fejlesztünk szenzorfüziós eljárásokat, amellyel az önvezető járművek vagy a mobil térképező rendszerek méréseit tesszük hatékonyabbá és robusztusabbá (Vanek és társai, 2023), építőipari munkagépek mozgásának nagy pontosságú megfigyelését vizsgáljuk (Felföldi, 2023), de sikerrel alkalmaztuk ezeket az eszközöket a Déli Összekötő Vasúti Híd (DÖVH) szerelési munkálatait támogató geodéziai monitoring mérések során is (Égető és társai, 2021). Az alacsony költségigényű vevők közös jellemzője, hogy általában egy nyomtatott áramkörű panelre integrálva vásárolhatók meg, így a felhasználók feladata a szenzor integrálása a mérőrendszerbe. Ennek megvalósításához gondoskodnunk kell a megfelelő tápellátásról, a GNSS korrekciók és a mérési adatok gyűjtéséről/továbbításáról, így a vevőket egy-egy Raspberry Pi 4 kártyaszámítógépre integráltuk. Az eszköz előnye, hogy egy teljes Linux operációs rendszert biztosít számunkra, így rendelkezésünkre állnak a PC-ken megszokott szolgáltatások (pl. TCP/IP alapú adatátvitel) és az eszköz programozása magas szintű programnyelvekkel is megvalósítható. A Nemzeti Összetartozás Hídján 10 u-blox F9P kétfrekvenciás, multi konstellációs GNSS vevőből álló szenzorrendszert telepítettünk oly módon, hogy a kiválasztott 5 kereszt-szelvény mindkét oldalán egy-egy antennát és vevőt helyeztünk el. A vevőket páronként egy-egy dobozba helyeztük el (3. ábra).

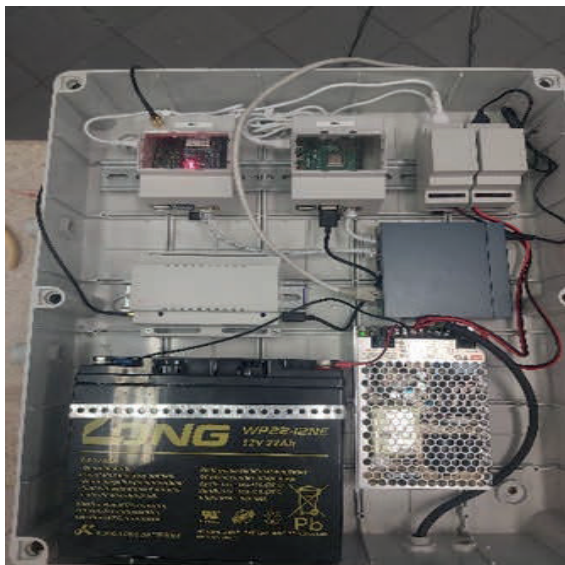


2. ábra A lehajlásmérési pontok helyei

A vevők mind a négy globális helymeghatározó rendszer – az amerikai GPS, az orosz GLONASS, az európai Galileo és a kínai

Beidou – jeleit felhasználták a helymeghatározáshoz. A cm pontos valós idejű eredmények eléréséhez azonban nem

elegendő a mozgásvizsgálati pontokra telepíteni GNSS vevőket, hanem egy fixen telepített referencia vevőre is szükségünk van. Mivel a híd alakváltozásai jellemzően vertikális értelműek és a műholdas helymeghatározó eljárások éppen a magasságok meghatározásában teljesítenek gyengébben, emiatt különösen



3. ábra GNSS szenzor és sematikus ábrája

A valós idejű kinematikus GNSS mérések (RTK) pontossága a gyártói specifikációk szerint $1\text{ cm} + 1\text{ ppm}$ a bázisvonal hosszától függően mind vízszintes, mind pedig magassági értelemben. A BME-n végzett statikus tesztek e pontossági mérőszámokat megerősítették. 2021. október 6-26. között mintegy 1.5 millió mérés alapján rövid bázisvonalal a szenzorokkal az északi, keleti koordináta-komponensekben és a magasságokban egy mérés középpontjában ± 3 , ± 4 és $\pm 7\text{ mm}$ -es értéket kaptunk (1. táblázat, Égető és társai, 2021). A mérési bizonytalanságok valamelyest tovább javíthatók, ha több mérés eredményét átlagoljuk.

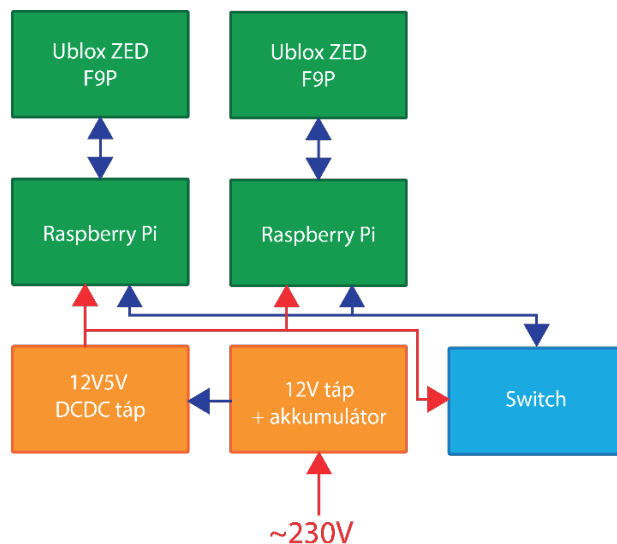
Táblázat 1. Valós idejű GNSS mérések statikus tesztjének eredményei (a koordináták EOVS vetületen értendő)

	Min	Max
Y	650769.372	650769.395
X	237227.811	237227.848
M	138.419	138.477

Annak érdekében, hogy a statikus terhelépróba során megbizonyosodhassunk arról, hogy a fenti pontossági várakozásaink helyesek, a GNSS technikával vizsgált öt keresztoszleányból négyhez két-két prizmat is elhelyeztünk, hogy a lehajlásokat hagyományos irány- és távmérésekkel is meg tudjuk határozni (4. ábra).

Feladatunk azonban nem csupán a híd statikus próbaterhelés során szenvedett alakváltozásainak kimutatása volt. További célként szerepelt a próbaterhelést követő három hónapon keresztül folyamatosan működő monitoringrendszer üzemeltetése. Ennek érdekében egy olyan rendszert hoztunk

létre, hogy a rögzített referencia vevő a többi szenzorhoz a lehető legközelebb helyezkedjen el. Emiatt az északi hídfőre egy Leica GR30-as geodéziai GNSS referencia állomást helyeztünk el. Ily módon a legnagyobb bázisvonalhossz a szenzorok és a referencia vevő között nem haladta meg az 500 métert.



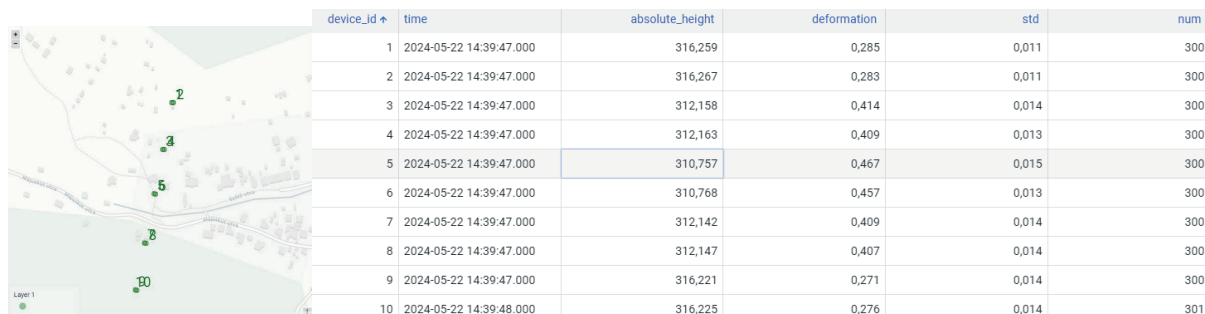
létre, amely távolról is üzemeltethető, valós időben továbbítja a méréseket az egyetemi szerverre, mely megoldja azok tárolását és megjelenítését. E feladatra nyílt forrású szoftverkörnyezetben kialakított saját fejlesztésű rendszert hoztunk létre, amely valós időben webböngésző segítségével jelenítette meg a szenzorok állapotát, a lehajlások mértékét és a háttérben futó adatbázisnak köszönhetően minden szenzor mozgástörténetét is tetszőleges időtartamra meg tudta jeleníteni (5. ábra).



4. ábra A GNSS antenna elhelyezése

A kifejlesztett rendszert sikeresen alkalmaztuk mind a statikus terheléspróba, mind pedig az azt követő több hónapos

monitoring időszaka alatt. A következőkben néhány esetpéldán mutatjuk be a rendszer képességeit.

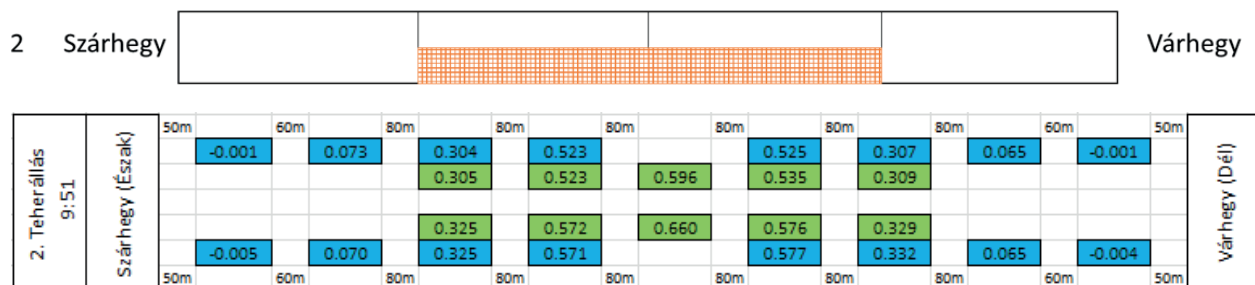


5. ábra A működő szenzorok térképi megjelenítése (balra) és a lehajlásértékek a megelőző 5 perc méréseinek középértékeként (jobbra).

2. Statikus próbaterhelés

A statikus próbaterhelés során több teherállásban határoztuk meg a hídszerkezet lehajlásait a bemutatott keresztmetszetekben. Egy teherállás eredményét a 6. ábrán mutatjuk be. Az ábrán kék háttérrel láthatók a mérőállomással, irány-, és távméréssel meghatározott lehajlásértékek. Minden prizmat két távcsőállásban végzett iránySORozatméréssel határoztunk meg a pontokhoz közelebb lévő hídfőre helyezett mérőállomással. Az iránySORozat mérését az Ulyxes szoftverrel (Siki és társai, 2018)

végeztük automatizált módon. A mérési forduló időszükséglete megközelítőleg 5 perc volt. A GNSS mérésekkel másodpercenként meghatározott lehajlásértékeket ugyanerre az 5 perces időintervallumra átlagoltuk. A GNSS technológiával mért értékeket zöld háttérrel jelenítettük meg az ábrán. Az eredményekből jól átható, hogy a mérőállomással és a GNSS technikával meghatározott lehajlásértékek csupán néhány mm-es eltérést mutatnak, ami nem tekinthető szignifikánsnak. Az aszimmetrikus teherből adódó csavaró hatást mindkét mérési eljárással ki tudtuk mutatni. A statikus terheléspróba alatt a GNSS alapú monitoringrendszer jól szerepelt és igazolta a korábbi várakozásainkat a mérési pontosság vonatkozásában.



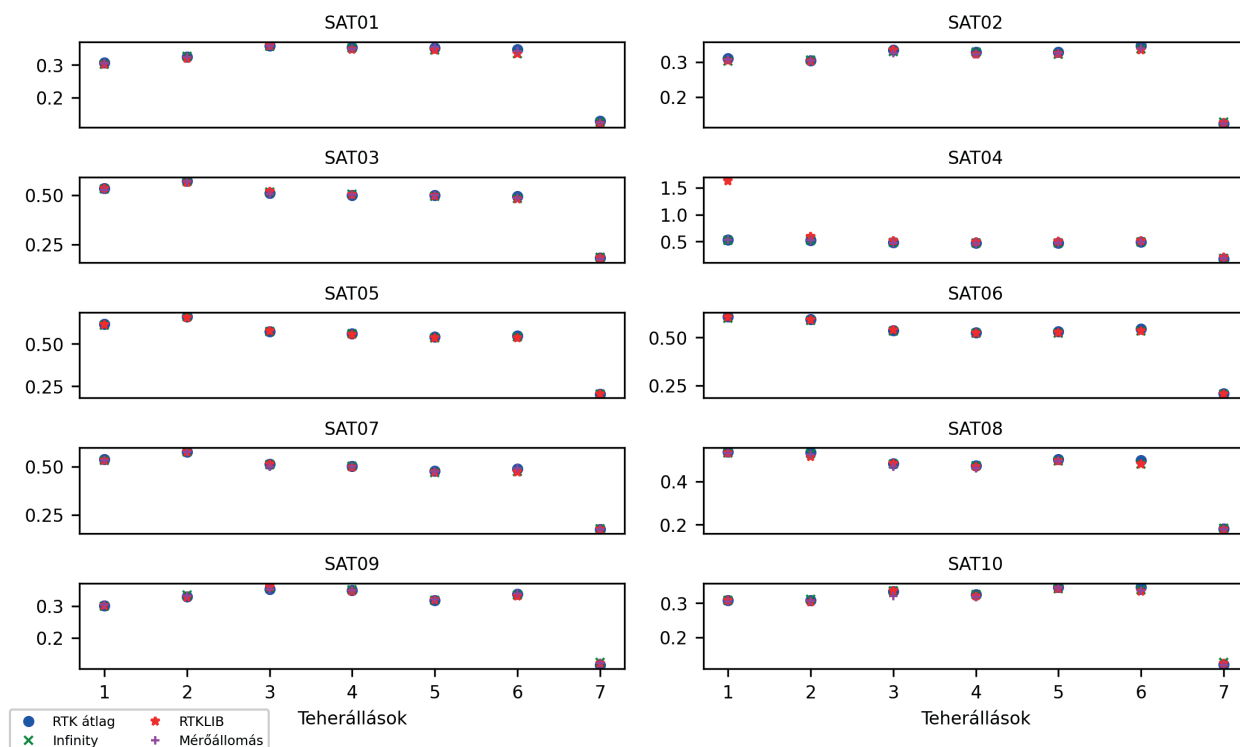
6. ábra Statikus terheléspróba során GNSS technikával és mérőállomással végzett lehajlásmérések eredményei (fent: teherállás konfigurációja, lent: lehajlásértékek hőmérsékletkompenzáció nélkül [m])

A jobb összehasonlíthatóság végett mindegyik GNSS-vevő által mért lehajlást és a hozzá tartozó mérőállomással mért lehajlás értékét valamennyi teherállásra vonatkozóan a 7. ábrán láthatók. A GNSS RTK-pozíciók integritásvizsgálatának elvégzése céljából a rögzített nyers méréseket utófeldolgozásnak vetettük alá, és egy ingyenes, nyíltforráskódú szoftverrel (RTKLIB) (Takasu és társai, 2009), valamint egy ipari szoftverrel (Leica Infinity) is meghatároztuk a GNSS-vevők pozícióját, ugyanazon 5 perces időablakot használva, amikor az 5 perces RTK pozíciók átlagolása történt.

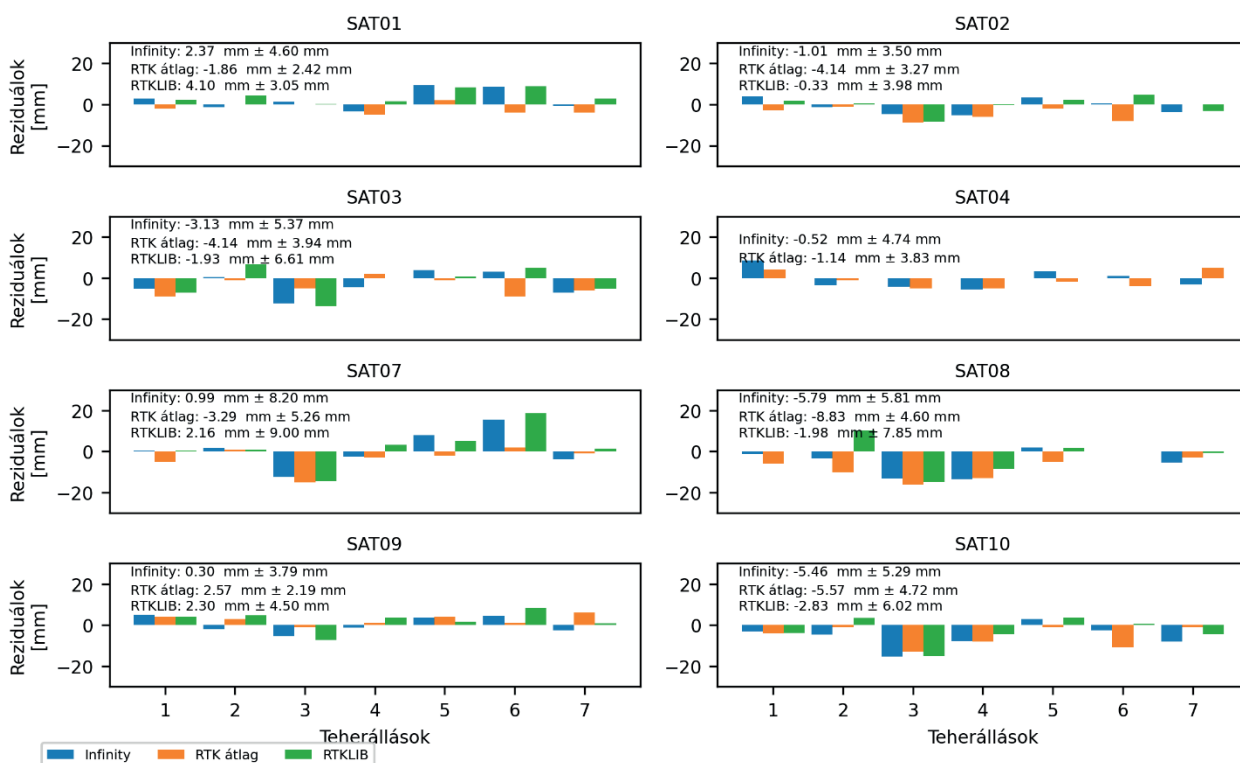
Látható, hogy az eredmények egyetlen eset kivételével konzisztensek. A SAT04 vevőnél a nullmérés és az első teherállás

esetén az RTKLIB szoftver nem képes a ciklustöbbsértelműségek egyértelmű megoldására, így azok megbízhatósága erősen korlátozott. Ennek következtében az RTKLIB szoftverrel való feldolgozás eredményeit a SAT04 állomásra a további elemzésekben nem vesszük figyelembe.

A további elemzésekhez meghatároztuk a maradék ellentmondásokat azokon a pontokon, ahol mérőállomással is történt mérés, oly módon, hogy a mérőállomással mért elmozdulásokat hibátlannak vettük. Ezen maradék ellentmondások a 8. ábrán láthatók.



7. ábra Statikus próbaterhelés során GNSS technikával (RTK átlag, RTKLIB, Leica Infinity) és mérőállomással végzett lehajlásmérések eredményei, valamennyi terhelállás esetén.



8. ábra A GNSS-mérések maradék ellentmondásai a különböző feldolgozási módszerek esetén (RTK átlag, RTKLIB, Leica Infinity)

A számított maradék ellentmondások a legtöbb esetben konzisztensek, mértékük 10 mm-nél kisebb minden feldolgozási módszer esetén. Ennél jelentősen nagyobb értékek figyelhetők meg az RTKLIB szoftverrel való feldolgozáskor a SAT04 jelű vevőnél, minden teherállás esetén. Ennek oka a már említett fix megoldás hiánya a nullmérés idején, a SAT04 vevőnél. Ennek következtében minden lehajlásérték ezzel a hibával terhelt. Ezért ezen eredményeket nem vettük figyelembe (2. táblázat).

Táblázat 2. A statikus GNSS mérések megbízhatósági paraméterei [mm]

	Leica Infinity		RTK átlag		RTKLIB	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
SAT01	2.4	4.6	-1.9	2.4	4.1	3.1
SAT02	-1.0	3.5	-4.1	3.3	-0.3	4.0
SAT03	-3.1	5.4	-4.1	3.9	-1.9	6.6
SAT04	-0.5	4.7	-1.1	3.8	-	-
SAT07	1.0	8.2	-3.3	5.3	2.2	9.0
SAT08	-5.8	5.8	-8.8	4.6	-2.0	7.9
SAT09	0.3	3.8	2.6	2.2	2.3	4.5
SAT10	-5.5	5.3	-5.6	4.7	-2.8	6.0

4. Monitoring mérési eredmények

A GNSS alapú monitoringrendszerrel a statikus terheléspróbát követő 3 hónapban folyamatosan megfigyeltük a híd alakváltozásait. Bár a rendszer mind vízszintes, mind pedig

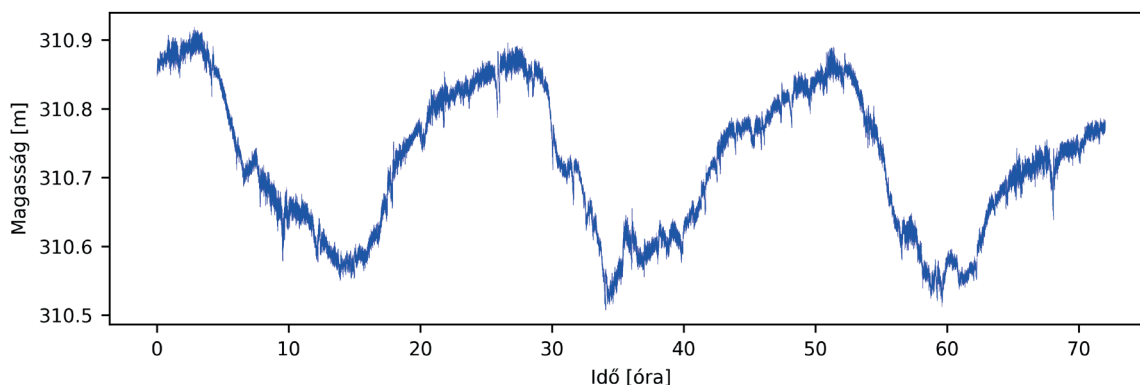
magassági értelemben rögzíti az elmozdulásokat, esetünkben a lehajlások dominálnak, így a következőkben ezekről mutatunk be néhány eredményt.

A lehajlások idősorait a híd hőmozgása dominálja. A híd közepén elhelyezkedő GNSS vevő által három egymást követő napon rögzített magasságértékeket mutatjuk be a 9. ábrán. Az ábrán jól látható, hogy a lehajlásértékek a napi hőingadozás hatását követik.

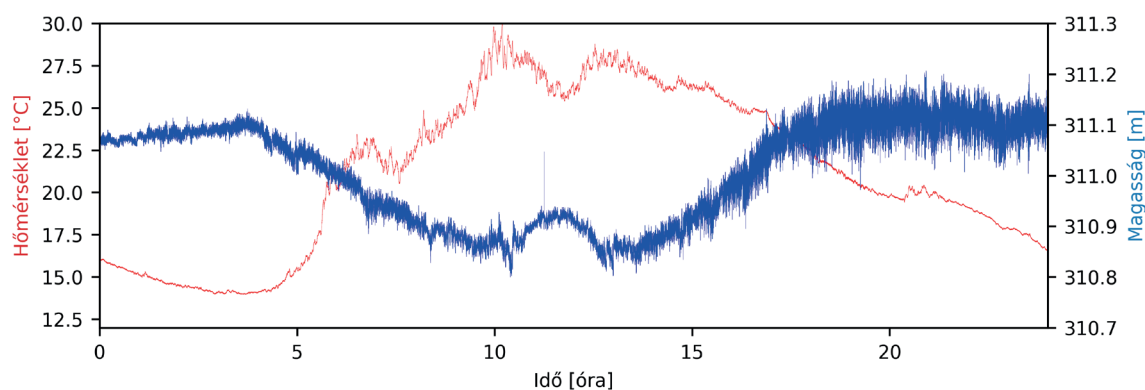
A 10. ábrán a megszokott napi magasságértékek változásának egy érdekes anomáliáját mutatjuk be: 2024. április 21-én 12:00-kor a magasságértékek szokatlanul emelkedést, majd ismét süllyedést mutatnak. Ha azonban összevetjük ezeket az értékeket a hídszerkezeten elhelyezett hőmérők által mért hőmérsékleti adatokkal, jól látható, hogy ebben a néhány órában az időjárás változásának következtében 3 °C-kal visszaesett a hőmérséklet és ez okozta a híd lehajlásának csökkenését és a GNSS szenzor emelkedését. A délutáni órákban a magasságértékek nagyobb tartományban ingadoznak, ami a 40 km/h-t meghaladó szélsébségnek köszönhető.

5. Sajátfrekvencia meghatározása

A lehajlás idősorokon megfigyelhető, hogy széles időben a hídszerkezet mozgása időnként szemmel is kivehető hullámzó mozgást követ. Ezt tapasztalva kísérletet tettünk a szerkezet sajátfrekvenciáinak kimutatására. E vizsgálatokhoz természetesen figyelembe kell vennünk, hogy jelen méréseket 1 Hz mintavételezési frekvenciával hajtottuk végre, mely esetben a Nyquist–Shannon határfrekvencia 0,5 Hz. Továbbá az alkalmazott vevők nem is képesek 20 Hz-nél nagyobb mintavételezési frekvenciára. Ez a tény mindenképpen behatárolja a vizsgálható frekvenciatartományt. Meg kell jegyeznünk, hogy bár egyes geodéziai GNSS vevők akár 100 Hz-es mintavételezési frekvenciával is tudnak koordinátákat meghatározni, ez még mindig jelentősen kisebb érték, mint a gyorsulásmérők mintavételezési frekvenciája.



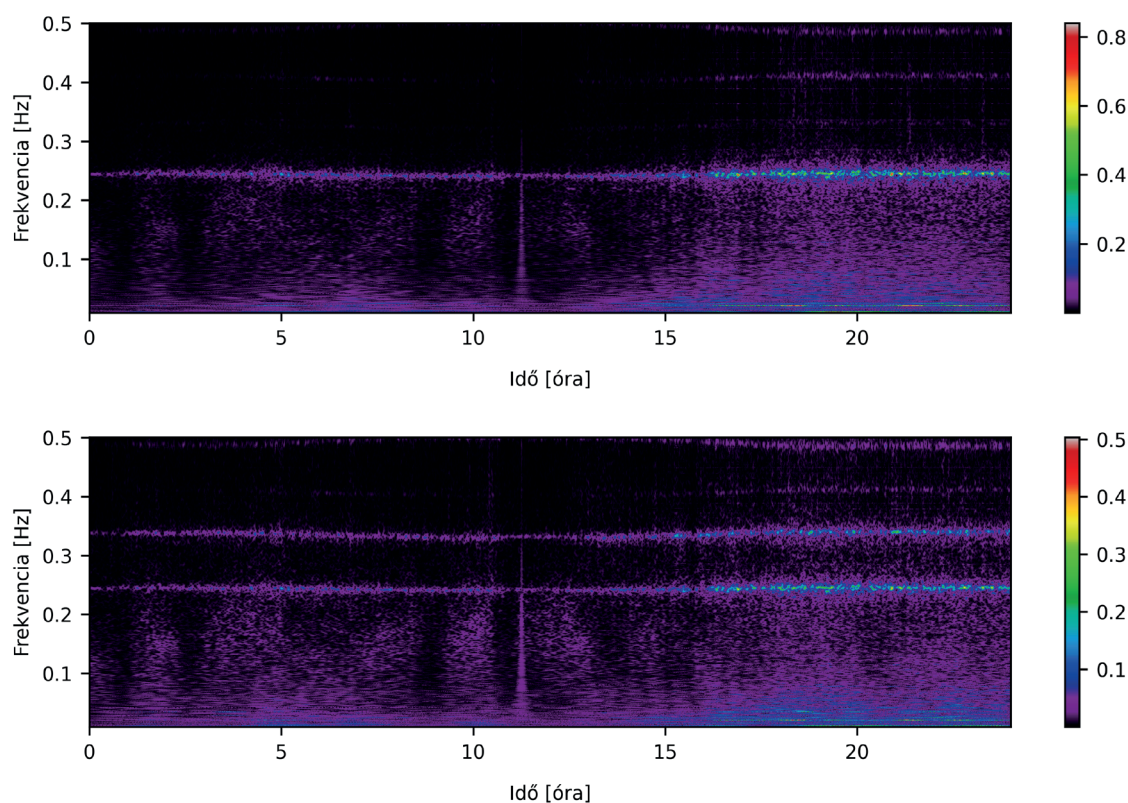
9. ábra Magasságértékek idősorai a híd középső keresztmetszetében (SAT05) 2024.05.01-05.03. között.



10. ábra Magasság és hőmérséklet az idő függvényében 2024 április 21-én a híd középpontjában (SAT05).

A sajátfrekvencia meghatározásához a koordináta-idősorokon wavelet-transzformációt hajtottunk végre a spektrogramok előállítására érdekében (Sifuzzaman és társai, 2009; Gaviria és társai, 2018). A wavelet transzformáció eredményeképpen láthatóvá válnak a koordináta-idősorokban jelentkező jellemző frekvenciák. Két ilyen spektrogramot mutatunk be a 11. ábrán.

Mindkét spektrogramon jól látható a 0,24 Hz-es domináns frekvencia, ugyanakkor a 0,34 Hz-es frekvencia a híd közepén nem figyelhető meg, míg az 1. szenzor méréseiben kimutatható. Ez a jelenség annak tudható be, hogy a 0,34 Hz-es frekvenciájú hullám páratlan hullámhosszal jellemezhető, így módon a híd közepén a jelenléte nem mutatható ki.



11. ábra Spektrogramok a híd középső szelvényében elhelyezett szenzorokon (fent: a híd közepén, az 5. szenzoron mért magassági koordináták spektrogramja; lent: a híd északi felén, az 1. szenzoron mért magassági koordináták spektrogramja) (2024 április 21.) [$\text{m s}^{-1/2}$]

A wavelet transzformáció segítségével azonban nem csak az egyes frekvenciák jelenlétét mutathatjuk ki, hanem a hullámok fázisszögét is meghatározhatjuk. Ily módon két szenzor adatainak összehasonlításával megállapíthatjuk, hogy az azokon adott frekvencián észlelhető hullámok azonos vagy eltérő fázisban vannak-e. Ebből a hullámalakra, illetve a híd alakváltozásának jellegére következtethetünk. A 12. ábrán a híd negyedelőpontjaiban elhelyezett két vevő (SAT01 és SAT09)

magasság-idősorainak felhasználásával végzett fázisszögekülönbség becslés eredményeit látjuk. Jól látható, hogy a 0,24 Hz-es frekvencia környezetében 2π fáziseltérés adódik, azaz ezen a frekvencián a híd középső keresztmetszetében csavaró hatás nem mutatkozik. A 0,34 Hz-es frekvencia esetén azonban a híd bal és jobb oldalán elhelyezett szenzorok között π fázisszög eltérés mutatkozik, azaz a híd ezen két pontja ellentétes fázisban van, tehát ellentétes irányban mozognak



12. ábra A híd negyedelőpontjaiban elhelyezett GNSS-vevők (SAT01 és SAT09) magassági idősorainak fáziskülönbsége radiánban (2024. április 21.)

6. Összegzés

A tanulmányban bemutatott GNSS-alapú szerkezetmonitoring-rendszer sikeresen igazolta, hogy alacsony költségű, többfrekvenciás és többkonstellációs vevőkből kialakított szenzorhálózat alkalmas nagyméretű, rugalmas hídszerkezetek nagy pontosságú vizsgálatára. A statikus próbaterhelés során kapott eredmények alapján a GNSS-technológiával és mérőállomással meghatározott lehajlások jó egyezést mutattak, a maradék ellentmondások szórása jellemzően centiméter alatt maradt mind valós idejű, mind utófeldolgozás esetén, ami megerősíti a rendszer megbízhatóságát.

A három hónapos folyamatos monitoring során eredményesen alkalmaztuk a szenzorhálózatot a híd dinamikus mozgásának elemzésére. Az idősorelemzések rámutattak a napi hőingadozás domináns szerepére, míg az extrém időjárási események (pl. hirtelen lehűlés vagy erős szél) jól azonosítható anomáliákat eredményeztek a lehajlás idősorokban.

A wavelet-transzformáció alkalmazásával eredményesen határoztuk meg a szerkezetre jellemző sajátfrekvenciákat. A domináns frekvenciák mellett sikeresen azonosítottuk a kialakult állóhullámok fázisát. Ezen fázisok különbségeként – a kialakult hullámok frekvenciája mellett – meghatározhatók a hídszerkezetre ható csavaró hatások is. Bár a Nyquist–Shannon mintavételezési frekvencia korlátozza a vizsgálható tartományt, az alacsony frekvenciájú rezgések detektálásában a GNSS-alapú módszer hatékonynak bizonyult.

Összességében elmondható, hogy a bemutatott rendszer költséghatékony alternatívát kínál a hagyományos monitoring megoldásokkal szemben, amennyiben a várható elmozdulások nagysága nem igényel szélső pontosságú módszereket. A fejlesztett infrastruktúra és adatfeldolgozási környezet lehetővé teszi a valós idejű kiértékelést és a szerkezet viselkedésének átfogó elemzését, csakúgy, mint a rendszer egyéb mozgásvizsgálati feladatok során történő alkalmazását.

Köszönetnyilvánítás

A 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú "Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium" projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási és Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Égető, Cs. – Siki, Z. – Turák, B. – Rózsa, Sz. 2021. Low-Cost GNSS sensor development for structural monitoring. *Scientific Bulletin Series D: Mining, Mineral Processing, Non-Ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering*, 35(2), 37-47. Link: https://www.researchgate.net/publication/368818220_LOW-COST_GNSS_SENSOR_DEVELOPMENT_FOR_STRUCTURAL_MONITORING
- Farkas, M. – Rózsa, Sz. – Vanek, B. 2024. Multi-sensor Attitude Estimation using Quaternion Constrained GNSS Ambiguity Resolution and Dynamics-Based Observation Synchronization, *Acta Geodetica et Geophysica*, 59, 51–71. <https://doi.org/10.1007/s40328-024-00441-2>

- Felföldi, Á. 2023. Munkagépek követése költséghatékony GNSS technikával, TDK Dolgozat, BME.
- Gaviria, C. A. – Montejó, L. A. 2018. Optimal Wavelet Parameters for System Identification of Civil Engineering Structures. *Earthquake Spectra*, 34(1), 197–216. <https://doi.org/10.1193/092016eqs154m>
- Kövesdi, B. – Hegyi, P. – Dunai, L. – Szigeti, Z. – Gondár, P. – Vad, J. – Havasi-Tóth, B. 2025. A sátorlajúhelyi Nemzeti összetartozás hídja – széldinamikai vizsgálatok, *Magyar Tudomány*, 186(4), 735-743. <https://doi.org/10.1556/2065.186.2025.4.14>
- Sifuzzaman, M. – Islam, M. R. – Ali, M. Z. 2009. Application of Wavelet Transform and its Advantages Compared to Fourier Transform, *Journal of Physical Sciences*, 13(1), 121-134.
- Siki, Z. – Takács, B. – Égető, Cs. 2018. Ulyxes: an open source project for automation in engineering surveying. *PeerJ Preprints* 6:e27226v1. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27226v1>
- Takács, B. 2025. RTK-mérések pontossága és hatékonysága, *Geodézia és Kartográfia*, 77(1), 18-23. <https://doi.org/10.30921/GK.77.2025.1.3>
- Takasu, T. – Yasuda, A. 2009. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In: *International Symposium on GPS/GNSS*. Jeju, South Korea, 4–6 November 2009.
- Vanek, B. – Farkas, M. – Rózsa, Sz. 2023. Position and Attitude Determination in Urban Canyon with Tightly Coupled Sensor Fusion and a Prediction-Based GNSS Cycle Slip Detection Using Low-Cost Instruments. *Sensors*, 23(4), 2141. <https://doi.org/10.3390/s23042141>
- Xue, C., Psimoulis, P. A., 2023. Monitoring the dynamic response of a pedestrian bridge by using low-cost GNSS receivers. *Engineering Structures*, 284, 115993. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115993>
- Yu J. – Meng X. – Yan B. – Xu B. – Fan Q. – Xie Y. 2020. Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: a review. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1), 1545-2255. <https://doi.org/10.1002/stc.2467>

MÉRNÖKIGAZOLVÁNY

kedvezmények tagjainknak 2026-ban is

Az idei évben is számos előnyt biztosítunk kamarai tagjaink számára a Mérnökigazolványhoz kapcsolódóan.

Az elérhető kedvezmények között többek között az alábbiak szerepelnek:

- Microsec digitális aláírás – 50% kedvezménnyel!
- ONE flottaszerződés – megújult csomagajánlatokkal
- Szállodai kedvezmények – Danubius és Hunguest szállodákban
- All You Can Move SportPass – sportolási lehetőség több mint 700 helyszínen
- MOL partnerkedvezmény
- Térítésmentes szabványhozzáférés

Használja ki kamarai tagságának előnyeit – a Mérnökigazolvány egész évben értéket jelent!

További partnerkedvezményekről a mernokvagyok.hu portálon tájékozódhat!



GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA az Interneten

Lapunk 2024-es lapszámait már
az Interneten is olvashatók!

Látogasson meg minket a

[https://ojs.elte.hu/
geodeziaeskartografia](https://ojs.elte.hu/geodeziaeskartografia)

Hirdessen a GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA oldalain!

egész oldalas: 75.000 Ft+ÁFA
1/2 oldalas: 50.000 Ft+ÁFA
1/4 oldalas: 30.000 Ft+ÁFA

Hirdetését leadhatja az az
alábbi e-mail címen:

mfttt.titkarsag@gmail.com