ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI SZABÁLYOZÁSI BIZOTTSÁG	Építésügyi Műszaki Irányelv …_2026. ÉPMI (v1_2026. … . … .)

MŰHOLDRADAR INTERFEROMETRIÁVAL TÁMOGATOTT ÉPÜLETDIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁS

ELŐSZÓ

Az építőipar fejlődésével, az építésügyi szabályozási környezet folyamatos változásával az építési és üzemeltetési folyamat szereplőire egyre összetettebb feladatok hárulnak. Ezen feladatok ellátása - a szakmai ismereteken túl - nagymértékben a hatályos jogszabályok, valamint a szabványok alkalmazásán alapul.

Az építési és üzemeltetési folyamat szereplőinek napi munkájához az építésügyi műszaki irányelvek gyakorlati segítséget nyújtanak.

Bízunk abban, hogy az újjáélesztett és az építési, majd a magyar építészetről szóló törvényben szabályozott építésügyi műszaki irányelvek az építésügy minden területén fontos eszközeivé válnak a minőség biztosításának, és ez által a gazdaság fejlődésére hosszútávú hatást gyakorolnak.

Az építésügyi műszaki irányelv az építésügyi szereplőket, az építőipart támogató olyan önkéntesen alkalmazható szabályozási eszköz, amely hatékonyan és gyorsan tud válaszolni az iparág külső és belső műszaki, valamint gazdasági kihívásaira.

Az építésügyi műszaki irányelv lényegében módszertan arra, hogy az elvárásokat, követelményeket hogyan lehet hatékonyan teljesíteni mindazon területeken, ahol jogszabály, szabvány nem ad, vagy nem teljeskörűen ad útmutatást, illetve minden olyan esetben, ahol több szabványt, szabályt kell egyidejűleg alkalmazni.

Az építésügyi műszaki irányelv főbb jellemzői:

- szakmaiság, közérthetőség;
- tömörség, könnyen kezelhetőség;
- egységes tartalmi és formai rend;
- rendszerezettség;
- mindenki számára biztosított hozzáférés.

Az építésügyi műszaki irányelvek alkalmazása önkéntes. Azonban abban az esetben, ha műszaki tartalmú jogszabályban, szerződésben, illetve ezek mellékleteiben kerül rögzítésre, úgy az kötelező érvényű.

Az építésügyi műszaki irányelvek elfogadását széles körű szakmai egyeztetés előzi meg, annak érdekében, hogy a bennük foglaltak szakmai konszenzuson alapuljanak.

Ezúton szeretnénk megköszönni az előkészítésében résztvevő szakemberek lelkiismeretes és áldozatos munkáját, amely nélkül jelen építésügyi műszaki irányelv nem jöhetett volna létre.

Szintén köszönettel tartozunk az állami szervezetek támogató anyagi és szakmai közreműködéséért.

Külön köszönet mindazon szakmai szervezeteknek és munkatársaiknak, akik munkájukkal segítették az építésügyi műszaki irányelv létrehozását.

ÉMSZB Titkársága

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ 2
1. ALKALMAZÁSI TERÜLET 5
2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK 7
2.1. Előzmények 7
2.2. Műholdradar technológia (SAR) 8
2.3. Műholdradar interferometria (InSAR) 9
2.4. Főbb eljárások 11
3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK ..... **HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.**
4. CPR FELADATOK ..... **HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.**
5. AZ INSAR FELDOLGOZÁSOK PONTOSSÁGA ÉS LIMITÁCIÓI **HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉ**
5.1. Térbeli felbontás ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.2. Térbeli lefedettség ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.3. Időbeli felbontás ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.4. Minimum felvételszám ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.5. Hullámhossz és fáziskicsomagolás ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.6. Valós idejű felvételek nem elérhetők ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.7. Felszínborítás ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.8. LOS mérések ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.9. 3D mozgáskomponensek ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.10. Geometriai torzulások/sajátosságok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.11. PS/DS szórópontok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
5.12. A nemzetközi pontosságmérések eredményei ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
6. ÁLTALÁNOS MULTITEMPORÁLIS INSAR FELDOLGOZÁSI FOLYAMAT ÉS EREDMÉNYTERMÉKEI 32
6.1. Általános multitemporális InSAR feldolgozási folyamat 32
6.2. A hazánkban elérhető aktuális és archív műholdfelvételek 32
6.3. A multitemporális InSAR feldolgozási folyamat eredménytermékei 34
6.4. A multitemporális InSAR feldolgozások felhasználhatósága az épületdiagnosztikában . 36
6.4.1. Beruházási fázis - Előkészítés 36
6.4.2. Beruházási fázis - Tervezés 39
6.4.3. Beruházási fázis - Beruházás 39
6.4.4. Beruházási fázis - Garanciális időszak 39

6.4.5. Üzemeltetés 39
6.5. A multitemporális InSAR feldolgozások előnyei és limitációi a szerkezetdiagnosztikában 40
7. DÖNTÉSTÁMOGATÓI MINTASABLON 40
7.1. A mintasablon formázásnak és tartalmának értelmezése 41
7.2. Példa a mintasablon kitöltésére 41
8. HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK 44
8.1. Hivatkozott dokumentumok 44
8.2. Az építésügyi műszaki irányelvhez kapcsolódó releváns források 47
8.2.1. Jogszabály 47
8.2.2. Szabvány 48
9. MELLÉKLET 48
9.1. A magas szintű InSAR-ajánlat mintasablonja 48

1. ALKALMAZÁSI TERÜLET

Az építésügyi műszaki irányelv elsődleges célja a műholdradar interferometria (InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar [SAR]) építőipari alkalmazásának elősegítése.

A beruházási helyszínek előzetes, akár a múltba tekintő mozgásvizsgálata, valamint a meglévő szerkezetek diagnosztikája és monitoringja a beruházások kritikus aspektusa, amelynek konvencionális technológiákkal történő végrehajtása rendkívül idő- és költségigényes, vagy lehetetlen. A már meglévő épületek és építmények állapotdiagnosztikáját nehezíti, hogy a múltbeli elmozdulások feltárásához gyakran nem áll rendelkezésre megfelelő mozgásadat. Az építésügyi műszaki irányelv ezt az alkalmazási területet kívánja támogatni, azzal a szándékkal, hogy a műholdradar interferometrián alapuló diagnosztikai eljárás szélesebb körben és szabályozottan kerüljön felhasználásra az építőiparban.

A műholdradar adatok feldolgozása olyan nagy pontosságú mérést szolgáltat az épületek és építmények geometriai változásáról és stabilitásáról, amely más módszerrel nem állítható elő. Az InSAR technológia az 1990-es évektől meginduló SAR felvételezéseknek, valamint az analitikai eljárások intenzív fejlődésének [1] köszönhetően a hazai épületek/építmények mozgástörténete részletesen feltárható és elmozdulásaik folyamatosan nyomon követhetők.

Az InSAR technológia az épületek és építmények életciklusának több fázisában alkalmazható eljárás, így megismerése több építőipari szakterület számára fontos.

Az alábbiakban ezeket az eseteket ismertetjük röviden (1. táblázat), amely során a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) és a Magyar Építész Kamara (MÉK) által kidolgozott Építési beruházási folyamatok rendszere című szakmai ajánlását [2] követjük:

Alkalmazási terület kódja	Beruházás				Üzemeltetés
	Előkészítés	Tervezés	Beruházás	Garancia	
1	x	x		x	x
2	x	x		x	x
3	x	x		x	x
4	x	x		x	x
5	x	x		x	x
6			x	x	x
7				x	x

1. táblázat: Az InSAR technológia beruházásokhoz kapcsolódó alkalmazási lehetőségei

Az InSAR technológia beruházásokhoz kapcsolódó alkalmazási célterületei: 1 = Meglévő épület vagy építmény állapotfelmérése; 2 = Közművek állapotfelmérése és felszínmozgásokkal való kapcsolata; 3 = Földtani veszélyforrások azonosítása; 4 = Alábányászott területek deformációinak térképezése; 5 = Mélyépítési munkálatok felszíni hatásai; 6 = A beruházásnak a környezetére gyakorolt hatása; 7 = Az épület/építmény konszolidációjának meghatározása

Az építésügyi műszaki irányelv további célja, hogy részletesen ismertesse a technológia elvi hátterét, az egyes interferometrikus eljárások, a szenzorok sajátosságait, kitérve a felhasználásban rejlő lehetőségekre és a hozzájuk kapcsolódó limitációkra. Továbbá az

építésügyi műszaki irányelvben rögzített döntéstámogatói mintasablonnal szeretnénk segíteni azt, hogy az alkalmazók olyan szabványos és hiteles interferometrikus adatokhoz és eredményekhez jussanak hozzá, amelyek megismételhető feldolgozási lépéseken alapulnak és az ismétlődő méréseknek köszönhetően a lehetővé teszik a hosszútávú mozgásvizsgálati célú monitoringot.

Az InSAR mérések által szolgáltatott információk az alábbiakban felsorolt, az épület- és építmény beruházásokban részt vevő, vagy ahhoz kapcsolódó szakterületek (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**) számára relevánsak. Továbbá a hozzájuk kapcsolódó szakértői, műszaki-ellenőrzési és felelős műszaki vezetési szakterületeknek, részszakterületeknek is érdemes megismerkedni a technológia nyújtotta lehetőségekkel.

Szakterület csoport	**Szakterület/részszakterület megnevezése**	**Szakterület/rész-szakterület jelölése**
Településtervezés	Településtervezési szakterület	TT
Építészeti-műszaki tervezés	Építészeti tervezési szakterület	É
	Közlekedési építmények tervezési szakterület	KÉ
	Vízgazdálkodási építmények tervezési szakterület	VZ
	Bányászati építmények tervezési szakterület	B
	Gáz- és olajipari építmények tervezési szakterület	GO
	Energiaellátási építmények tervezési szakterület	EN
	Hídszerkezeti tervezési szakterület	HT
	Tartószerkezeti tervezési szakterület	T
Műemlékvédelem		MV

2. táblázat: InSAR technológia alkalmazásában érdekelt szakterületek

Az építésügyi műszaki irányelvhez kapcsolódó főbb jogszabályokat, kormányrendeleteket és szabványokat a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** foglalja össze.

Jogszabály/szabvány	**Kiemelés a jogszabályból/szabványból**
1997. évi LIV. törvény a műemlékvédelemről	A műemlékek fenntartása - 8. §
2012. évi XLVI. törvény a földmérési és térképészeti tevékenységről	Az állami távérzékelési adatbázisok - 19. §
2023. évi C. törvény a magyar	

építészetről	
327/2015. (XI. 10.) Korm. rendelet az egyéb célú földmérési és térképészeti tevékenységgel összefüggő szakmagyakorlás részletes szabályairól	Engedélyhez kötött szakmagyakorlási tevékenységek - 3. §
93/2012. (V. 10.) Korm. rendelet az utak építésének, forgalomba helyezésének és megszüntetésének engedélyezéséről	1. melléklet: Az egyes engedélykérelmek mellékletét képező tervdokumentációk 4.2.6. Egyedi méretű vagy egyedi szerkezeti kialakítású híd monitoring rendszerének terve; 7.2.7. Egyedi méretű vagy egyedi szerkezeti kialakítású híd monitoring rendszerének terve.
97/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet az egyes kiemelt jelentőségű vízilétesítmények rendszeres műszaki megfigyeléséről	A kiemelt jelentőségű vízilétesítmények műszaki megfigyelése - 4. §
25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet az Építési Beruházási Folyamatok Rendszeréről és a Tervezői Szolgáltatások Rendszeréről, valamint az állami építési beruházások minőségbiztosításában közreműködő, 100%-ban állami tulajdonban álló gazdasági társaság kijelöléséről	
ISO/CD 18674-9 Geotechnical investigation and testing - Geotechnical monitoring by field instrumentationPart 9: Measurement of displacements by geodetic means	(előkészítés alatt álló ISO szabvány)

3. táblázat: Kapcsolódó jogszabályok, kormányrendeletek és szabványok

2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

Az alábbi fejezetben bemutatásra kerül az építésügyi műszaki irányelv technológiai alapját képező műholdradar interferometria, azaz az InSAR eljárás (a továbbiakban: InSAR). Ennek során ismertetjük a technológia előzményeit és az eljárás szakmai fejlődéstörténetét. Ezt követően röviden áttekintjük a technológia matematikai és fizikai alapjait. Végül az InSAR technológia főbb eljárási módszereinek ismertetésével zárjuk az építésügyi műszaki irányelv technológiai bevezetőjét. A téma bőven túlmutat ezen építésügyi műszaki irányelv keretein, ezért rövid összefoglaló jellegű megközelítést tartalmaz.

2.1. Előzmények

Az InSAR egy aktív műholdas távérzékelési eljárás, amelynek története több évtizedre tekint vissza. A felszíni objektumok mozgásvizsgálatában kihívást jelentett a mérések korlátozott térbeli és időbeli lefedettsége és in-situ jellege. A műholdas földmegfigyelési technológiák fejlődésével viszont megnyílt a lehetősége annak, hogy a műholdradarral végzett térben nagy felbontású deformáció térképezés megvalósulhasson. Az eljárás alapelképzelése szerint két (és/vagy több) felvételezés között levezethető interferogramból különböző korrekciókat követően nagy pontossággal meghatározható a két felvételezési időpont között bekövetkezett felszínváltozás, azaz az objektum elmozdulása.

Habár a technológia elméleti és fizikai jellemzői, valamint modelljei ismertek voltak korábban is, annak széleskörű alkalmazása az 1990-es években nyert csak tágabb teret. Ez az Európai Űrügynökség (European Space Agency, a továbbiakban: ESA) ERS (European Remote sensing Satellite) [3] missziójának volt köszönhető, amely korábban nem tapasztalt nagyságrendben szolgáltatott ~10 méteres térbeli felbontású, teljes radarképeket Földünk felszínéről. Az ERS-1 1991-es fellövését 1995-ben a konstelláció második műholdjának pályára állítása követte. Az ERS-1 műhold 2000-ig, az ERS-2 pedig 2011-ig, 16 éven át teljesített aktív szolgálatot.

Az ERS űrmisszió tapasztalatait felhasználva, az ESA 2002-ben állította pályára az ENVISAT műholdat, amely 2012-es meghibásodásáig vezető szerepet töltött be a földfelszín vizsgálatában [4]. Az ezt követő időszak az ESA új Copernicus földmegfigyelési programjának, azon belül a Sentinel-1 missziójának az előkészítése határozta meg. A Sentinel-1 konstelláció első műholdját, a Sentinel-1A-t 2014-ben állították pályára, míg a második műhold, a Sentinel-1B fellövése 2016-ban valósult meg, kialakítva a kétműholdas konstellációt, amely immár 6 napos visszatérési időt biztosított (Európa felett) a közel azonos pályageometriájú áthaladások és felvételezések között [5]. A földmegfigyelést végző szakemberek számára ez a kedvező körülmény sajnos megváltozott a Sentinel-1B meghibásodásával. A konstelláció újabb tagjának felbocsájtásáig két évet kellett várni, a Sentinel-1C pályára állítása 2024. év végén történt meg, helyreállítva a 6 napos felvételezési gyakoriságot. Emellett a küldetés negyedik (Sentinel-1D) műholdjának az üzembehelyezése is lezajlott, az eszköz 2026. júliusától váltja a Sentinel-1A szenzort.

Az európai földmegfigyelési missziókon kívül fontos megemlíteni a Japán Űrügynökség (a továbbiakban: JAXA) ALOS-1 (2006-2011), ALOS-2 (2014-től napjainkig) és ALOS-4 (2024-től napjainkig) űrmisszióit [6], illetve külön a Német Űrrepülési Központ (a továbbiakban: DLR) TerraSAR-X (2007-től napjainkig) [7] és az Olasz Űrügynökség (a továbbiakban: ASI) COSMO-SkyMed (2007-től napjainkig) négyműholdas konstellációját is [8]. Emellett az elmúlt években több, piaci alapú műholdradaros konstelláció is üzembehelyezésre került, amelyek tovább szélesítik a műholdradaros földmegfigyelési technika multidiszciplináris hasznosulását.

2.2. Műholdradar technológia (SAR)

A technológia egy aktív műholdas távérzékeléses eljárás, nevezetesen a műhold antennájáról, avagy apertúrájáról kibocsájtott radarhullám, illetve annak a felszínről visszaverődő echo-jának a detektálásán és a kapcsolódó jelfeldolgozáson alapul. Különösen fontos a technológiának azon karakterisztikája, hogy az atmoszféra az úgynevezett „rádió-ablakban", közel teljesen „áttetsző” a radarhullámok számára, így az eljárás időjárás és napszakfüggetlen földmegfigyelést tesz lehetővé. A földmegfigyelést

végző műholdak jellemzően a ~24 cm-s hullámhosszú L-sávban (ALOS), a ~10 cm hosszúságú S-sávban (NovaSAR), az ~5.6 cm-es hullámhosszú C-sávban (Sentinel-1, Radarsat), valamint a ~3 cm-es hullámhosszú X-sávban (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, Iceye, Capella, StriX) végzik a felvételezési műveleteiket.

A szintetikus apertúrájú műholdradar vagy apertúraszintézises műholdradar, röviden műholdradar technológia (Synthetic Aperture Radar: SAR), egy olyan földmegfigyelési eljárás, amely egy alapvetően felbontáskorlátozott, de mozgó radarrendszerrel képes a részletes képalkotásra. Ezt az ún. apertúraszintézis módszerével képes megvalósítani, amely az adott pálya mentén haladó apertúráról végzett folyamatos impulzusokkal tapogatja le a radar nyomvonalát. A letapogatott nyomvonal adott felszínelemei számos letapogatási echón is szerepelnek, amelyek a mozgó szenzorplatform miatt különböző szenzortávolsággal és észlelési idővel jellemezhetők, amely a Doppler-hatás figyelembevételével és számítógépes jelfeldolgozási módszerekkel korrekcióba vehető, illetve egy ún. „szintetikus apertúrára" fókuszálható [9]. Az így létrejött „szintetikus apertúrának" köszönhetően érhető el a földmegfigyelésben a nagypontosságú felbontás a műhold haladásával megegyező irányban, azaz az azimut irányban. Az erre merőleges, műhold-látóirányú felbontás (range vagy cross-track irány) általában még kedvezőbb, azt a kibocsájtott és detektált radarhullám, illetve radarrendszer fizikai karakterisztikája határozza meg. Az ezen eljárással fókuszált, korrekciókkal ellátott, továbbá precíz pályaadatokkal is kiegészített, teljes felbontású SAR felvételek az ún. SLC (Single-Look Complex) típusú űrfelvételek, amelynek komplex értékeiből nagy pontossággal határozható meg a fázisinformáció, amely az objektumok elmozdulás-vizsgálatának alapjául szolgál [10]. Az így előálló SAR űrfelvételek nagyban különböznek az optikai űrfelvételektől, pixeleik nem-négyzetesek és a topográfia függvényében geometriai torzulásokkal terheltek lehetnek, amelyeknek megfelelő interpretációja jelentős tapasztalatot és szakértelmet igényel [11].

A komplex SLC felvételek egyes pixelei, az adott felszíni felbontású területen található radar szórópontok összesített visszaszóródó jelét reprezentálják, amelyből levezethető a visszaszóródott radarhullám amplitúdója és a ciklikus radarhullám fázisalakja is. Az amplitúdó és az abból származtatható intenzitás a visszaszóródott jel teljesítményével arányos, amely nagyban függ az adott felszínelem visszaverő képességétől, a geometriájától és az anyagától. Az intenzitásértékek vizsgálata különösen fontos a SAR termék saját koordinátarendszere és a választott geodéziai koordinátarendszer közötti transzformációs eljárások, valamint a több SAR felvételnek közös geometriára történő nagypontosságú átmintavételezése, az ún. koregisztráció során is [9]. Emellett az intenzitásértékek kiemelt szerepet kapnak a különböző SAR eredménytermékek vizualizációja, illetve reprezentációja során, valamint a későbbiekben bemutatandó fejlett feldolgozási technikák állandó szórópont kiválasztási algoritmusaiban.

Fontos kiemelni, hogy a komplex SLC adatokból vezethető le a ciklikus radarhullám fázisa, amely a hullámnak a cikluson belüli részének, azaz a hullámhossz töredékének felel meg. Ezen fázismérésekből vezethető le nagy pontossággal a letapogatott felszínelem és a SAR műhold közötti távolság, amelynek mérése, illetve annak változásának mérése a műholdradar interferometria (Interferometric SAR - InSAR) elsődleges feladata.

2.3. Műholdradar interferometria (InSAR)

A műholdradar interferometria (InSAR) alapelve az, hogy két, térben és/vagy időben kissé eltérő, de hasonló pályageometriából végzett radaros felvétel fázisinformációinak összevetésével meghatározható a felszín magassága vagy elmozdulása. A radarjelek fáziskülönbsége ugyanis közvetlen kapcsolatban áll a földfelszín egy adott pontja és a két műholdhelyzet közötti úthosszkülönbséggel, így ebből nagy pontosságú topográfiai vagy deformációs célú információ nyerhető. Gyakorlati szempontból ezen az eljáráson alapul a SAR-adatokat felhasználó digitális magasság modellek (Digital Elevation Model - DEM) előállítási munkafolyamata is. Azonban a magassági értelmű információ levezethetőségének számos feltétele van, úgy, mint: az időben stabil fizikai karakterisztikával bíró visszaszóró felszín, a relatív alacsony atmoszferikus zaj (amely adott esetben korrekcióba veendő), a felvételezési pályageometriák precíz ismerete, illetve a fáziskülönbségek megfelelő kezelése és mintavételezése.

Ehhez kapcsolódik a korábbi fejezetben említett ún. koregisztráció, amely az SLC felvételek szubpixeli szintű átmintavételezését jelenti, egy meghatározott mesterfelvételhez („master") képest. A nem megfelelően elvégzett koregisztráció esetén, a felvételeket olyan erős dekorreláció érheti, amely ellehetetlenítheti a további műveletek elvégzését. Azonban egy mester- és egy későbbi időpontban felvételezett segédfelvétel („slave") sikeres koregisztrációját követően, már elvégezhető az azonos SLC geometriájú felvételek közötti interferometrikus feldolgozás. Ezt követően határozható meg az ún. interferogram, amely a mesterfelvétel komplex értékeinek és a segédfelvétel komplex konjugáltjának a szorzatából vezethető le [12].

Az interferogramok fázisinformációinak minőségindikátora, az ún. interferometrikus koherencia, amelynek felhasználásával korrekcióba vehetők, illetve maszkolhatók az erős dekorrelációval érintett területek az interferogramokon. Az így előálló interferogram tartalmazza azokat a relatív fáziskülönbségeket, amelyekből magassági értelmű információ határozható meg. A fentebb bemutatott módon levezetett interferogram komplex relatív fázisai azonban a radarhullám ciklikussága miatt +/- π radián tartományban veszik fel az értéküket, amely a gyakorlatban egy ciklustöbbértelműségi probléma megoldását teszi szükségessé. Ez a ciklustöbbértelműség az ún. fáziskibontási, vagy fáziskicsomagolási (phase unwrapping) algoritmusok segítségével oldható fel a teljes interferogramra, amely globális optimálási eljárásokkal - pl. Minimum Cost Flow (MCF) - határozza meg a $2\pi n$ ciklustöbbértelműségeket az egyes pixelek esetében, ahol n egy tetszőleges egész szám [13] [14]. Az így előálló valós értékű kicsomagolt (unwrapped) interferogramból, a felvételező radarszenzorra jellemző hullámhossz ismeretében, közvetlenül vezethető le a kívánt magassági információ.

Abban az esetben, amennyiben apriori magasságmodell áll rendelkezésre, azt modellezve létrehozható a magasságmodellnek megfelelő szintetikus komplex interferogram is. A fentebb bemutatott komplex interferogramból ezt levonva kapható meg az ún. komplex differenciális interferogram, amely az interferogram képzéséhez használt különböző felvételezési időpontokban készült és közös geometriára átmintavételezett SLC adatok felvételezési időpontjai között bekövetkezett deformációk nagy pontosságú térképezését teszi lehetővé. Ez az ún. differenciális műholdradar interferometrikus (differential InSAR - DInSAR) eljárás, amely az egyik leggyakrabban használt InSAR eljárás. A DInSAR szolgáltatja az alapját az arra épülő összetettebb feldolgozási módszereknek is [10] [11] [12].

Fontos kiemelni, hogy a fentebb bemutatott és levezethető deformációértékek, a letapogatott felszínelem és a radarszenzor közötti vektor mentén, az ún. műholdirányban (Line-of-sight - LOS) értelmezett mennyiségek, tényleges magassági értelmű reprezentációjukhoz közelítések vagy további feldolgozási lépések szükségesek.

2.4. Főbb eljárások

A fentebb bemutatott műholdradar technológiával készült SAR űrfelvételek interferometrikus feldolgozására több módszer is létezik. Ezek gyakran problémaspecifikus megoldást kínálnak a vizsgálandó deformációs jelenség optimális meghatározására, adott esetben monitorozására is [10] [15] [16].

Az első és egyben legegyszerűbb eljárás, a korábban bemutatott differenciális műholdradar interferometria (DInSAR) módszere. Ez az eljárás a fentebb ismertetett módon képes levezetni a műholdirányú elmozdulásokat. A DInSAR feldolgozás során előálló valós értékű, fáziskitömörített [13] [14] differenciális interferogram a deformációs fázistag mellett egyéb fáziskomponenseket is tartalmazhat, mint például az atmoszferikus fázist.

Pontossága néhány centiméteres nagyságrendű, jellemző felhasználási területe a nagy térbeli kiterjedésű deformációs mintázatok feltérképezése. Ez többnyire a földrengésekhez kapcsolódó felszíni elmozdulások, illetve az azokhoz kapcsolódó mérnöki és földtudományi kutatások és vizsgálatok során fontos eszköz.

A DInSAR eljárásnak egy speciális változata az ún. 2.5D-s DInSAR eljárás. Ez a módszer a kvázipoláris pályán keringő műholdkonstellációk esetén, ugyanazon mintaterületre felvételezett fel- és leszálló irányú űrfelvételeinek együttes DInSAR kiértékelését jelenti, amely egy kiegyenlítő számítást követően képes levezetni a deformációs minta helyi vertikális és kelet-nyugati irányú horizontális elmozdulás komponensét is [17]. Fontos szempont, hogy a kvázipoláris pályageometria miatt a háromdimenziós deformációs vektoroknak a vertikális és a kelet-nyugati irányú horizontális komponense határozható meg, a horizontális észak-déli irányú komponens a pályageometria miatt nem levezethető [18]. Ez a megkötés az összes kvázipoláris műholdmisszióra fennáll.

A feldolgozási módszerek következő nagyobb csoportja a multitemporális interferometrikus feldolgozások csoportja [19] [20]. Ezen belül két módszert tárgyalunk: az állandó szóróponti műholdradar interferometriát (Persistent Scatterers Interferometry - PSI vagy PS-InSAR) [16] [21] és a rövid bázisvonalak hálózata menti interferometrikus feldolgozást (Small BAseline Subsets - SBAS) [15]. Mindkét esetben fontos kiemelni, hogy az átmintavételezett SLC-k idősora milyen térbeli felbontásban kerül feldolgozásra.

Ez egyrészt történhet teljes SLC felbontásban (single-look phases), vagy különböző megfontolások miatt térben átlagolt vagy térben aggregált fázisértékek (multi-looked phases) elemzésével is. Alapértelmezett esetben az ezen módszerekhez kapcsolódó eredmények is műholdirányúak (LOS), azonban a korábbi példához hasonlóan, a kvázipoláris műholdkonstellációk fel- és leszálló irányú adatainak együttes feldolgozásával és kiegyenlítésével, meghatározhatók a helyi vertikális és kelet-nyugati horizontális elmozdulás komponensek, illetve azok idősorai is [18].

A PSI feldolgozási módszer alapvetése, hogy a térben és időben koherens SLC pixelekre végezzük el az interferometrikus probléma megoldását [16] [20] [21]. Ennek során az

elemi felbontású pixelt legalább egy, de akár több domináns szórópont összegzett jele jellemzi, amely időben stabil fáziskarakterisztikát tesz lehetővé. Ennek köszönhetően akár a több éves időtávot átfogó fázisidősorok elemzésére nyílik lehetőség, jellemzően épített környezet esetén. A PSI módszer során a különböző felvételek egy közös referenciafelvételhez viszonyított pálya- és időbeli különbségei (baseline) határozzák meg az interferometrikus feldolgozás bázisvonal konfigurációját. Ezen referenciafelvétel általában ugyanaz, mint amelyhez a korábbi koregisztráció elvégzésre került, illetve amelyhez képest kerülnek levezetésre a differenciális interferogramok a különböző segédfelvételek alapján.

A robusztus módszer óriási előnye, hogy fizikai fázismodell alkalmazásával, illetve annak a legkisebb négyzetek módszere szerinti függvényközelítésével számos fáziskomponens azonosítható és modellezhető [19]. Ezen fáziskomponensek korrekciójával (pl. atmoszferikus fázistag) ideális esetben, hozzávetőlegesen (~5) milliméteres nagyságrendű pontossággal azonosíthatók az egyes elmozdulás értékek, míg a vizsgált időszakra a fázismodellből meghatározható átlagos (lineáris) deformációs sebesség (milliméter/év) pontossága elérheti a szubmilliméter/éves nagyságrendet is [22]. Fontos korlátja az eljárásnak, hogy jellemzően a milliméter pár centiméteres nagyságrendű, időbeli karakterisztikával bíró, lassú (pl. lineáris vagy polinomiális trend) felszíndeformációs folyamatok vizsgálatára és monitorozására alkalmas, különösen az épített, vagy a gyér vegetációval borított felszínelemek szórópontjai esetében.

Az SBAS eljárás a PSI módszerrel szemben alapvetően nem tüntet ki egy referenciafelvételt, helyette az interferometrikus problémát egy redundáns bázisvonal konfiguráció hálózat mentén oldja meg. Ennek köszönhetően az SBAS feldolgozás időbeli bázisvonalai sokkal rövidebbek (innen ered a módszer neve), amely a módszer egyik fizikai alapfeltevésének kiaknázása során játszik szerepet, nevezetesen abban, hogy recens, de lassú időbeli (pl lineáris) karakterisztikával bíró deformációs minták esetén az atmoszférikus fázis gyakran jelentősebb, mint a deformációra jellemző fázistag, így gyakran könnyebb az azonosítása is [10] [15] [19] [20]. Így az atmoszferikus fázis pontos meghatározásában, a szórópontokra jellemző magassági adatok pontosításában, illetve az esetleges fáziskicsomagolási hibák meghatározásában és javításában játszik kiemelt szerepet a módszer. Emellett a módszer a nem-lineáris deformációs minták pontos monitorozásában is kitüntetett szerepet kap.

Az SBAS feldolgozás utolsó lépéseinek egyikeként a redundáns interferogram-hálózatból származó eredmények olyan lineáris kombinációja alkalmazandó, amely lehetővé teszi az elmozdulások idősoros meghatározását. Ez az idősorrekonstrukció célját tekintve közel áll a PSI-módszer által alkalmazott idősor-analízis lépések eredményeihez, mivel az SBAS adatok így fizikai értelemben is értelmezhető deformációs idősorokká alakíthatók.

3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK

A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**ban az InSAR technológia szempontjából releváns fogalmakat listázzuk.

Fogalom	**A fogalom angol megfelelője**	**Fogalommeghatározás**

Állandó szórópont	Permanent/Persistent scatterer (PS)	Az állandó szórópont olyan pont a Föld felszínén, amelynek fázisstabilitása hosszútávon fennáll, lehetővé téve a felszíni mozgások pontos mérését. Ezek a szórópontok jellemzően olyan mesterséges struktúrákhoz (esetleg sziklafalak), például épületekhez, utakhoz vagy más infrastruktúrákhoz kapcsolódnak, amelyek az időszakos megfigyelések során viszonylag változatlanok maradnak. A PSInSAR technológia alkalmazásával e pontok segítségével precízen mérhetők a szerkezetek elmozdulásai.
Állandó szórópont kiválasztásának módszere (térbeli sokféleség, időbeli változékonyság, koherencia alapú)	PS strategy (spectral diversity, temporal variablility, coherence-based)	Azon eljárásnak a megnevezése, amelynek segítségével meghatározásra kerültek az állandó szórópontok. Ezek lehetnek a térbeli jellemzőik, az időbeli változékonyságuk, illetve a jellemző koherencia értékeken alapuló, küszöbértékekkel jellemezhető eljárások.
Állandó szórópontok módszere	PSInSAR/PSI	Az állandó szórópontok módszere olyan InSAR alapú eljárás, amely hosszútávú, stabil radarvisszaverődéseket biztosító pontok (állandó szórópontok) segítségével teszi lehetővé a felszíni elmozdulások mérését. A módszer nagy pontosságot biztosít az időben változó elmozdulások nyomon követésére.
Amplitúdó	Amplitude	Az amplitúdó a radar visszaverődött jelének erősségére utal (lineáris, vagy dB érték). Egyes eljárások felhasználják az állandó szórópontok kiválasztásához, mivel a stabil és erős visszaverődésű pontok magas amplitúdót mutatnak.
Árnyékhatás/árnyék	Shadow	Árnyékhatás akkor jelentkezik, amikor a radarjel nem ér el egy adott területet, mivel azt egy másik objektum (domborzati forma, vagy magas épület) kitakarja. Mivel az árnyékban lévő felületről nem érkezik visszaszóródott jel a szenzorra, ezek mozgásvizsgálata az adott műholdpályáról nem végezhető el. Más műholdpálya(ák) bevonásával e területek elemzése rendre

		megoldható.
ASI	ASI	Az Olasz Űrügynökség, hivatalos neve: Agenzia Spaziale Italiana (ASI)
Áthajlás	Layover	Az előrövidülés extrém esete, amikor a bevilágított objektum meredeksége nagyobb, mint a műhold betekintési szöge.
Atmoszférikus fáziskomponens	Atmospheric Phase Component (APS)	Az atmoszférikus fáziskomponens az atmoszféra (ionoszféra és troposzféra) zavaró hatását jelenti, amely torzítja a radar által rögzített fázisjelet és befolyásolja a mért elmozdulások pontos meghatározását. A zavaró hatás megszűntetésére modellezési, szűrési és hibrid eljárások is rendelkezésre állnak. A technológiához kapcsolódó eljárásokban az a cél, hogy ez az elsődleges fontosságú hibaforrás megfelelően korrekcióba vehető legyen.
Azimut irány/műhold haladási irány	Azimuth direction	A műhold haladási iránya az irány, amely mentén a műhold a pályáján halad. A SAR műholdak általában kvázipoláris pályán keringenek, tehát közel északi és déli irányba haladnak (A technológiai sajátosságok következtében az azimut irányú, ~É-D irányú elmozdulások nem detektálhatók a szenzor által.).
Azimut irányú pixeleltolódáskövet és módszere	AZPO/PIXO	A tárgyalt InSAR eljárásokkal szemben, a PIXO eljárások az intenzitás képek keresztkorreláció alapú eltolódásait, torzulásait vizsgálják, lehetővé téve a gyorsan mozgó felszíndeformációk (pl. gleccserek) mozgásvizsgálati célú elemzését. Pontossága és felbontása nagyságrenddel elmarad az InSAR eljárástól.
Beesési szög	Incidence angle	A SAR felvétel egy pixelére érkező radarjel szöge, amelyet a szenzor betekintési szöge és az adott pixelhez tartozó felszín normálja határoz meg.
C hullámhossz/C-sáv(ú)	C band	A C hullámhossz a szintetikus apertúrájú radar (SAR) egyik legelterjedtebb frekvenciatartománya, amelyet széles körben használnak. Legfontosabb jellemzője a ~5,4 GHz központi frekvencia és a ~5-6

		cm hullámhossz.
Differenciális interferometria	DInSAR	Az InSAR eljárások alapja. Ennek során a mért interferogram és egy szintetikus interferogram komplex különbségképzésével vezethető le a differenciális interferogram. Mivel a szintetikus interferogram a topográfia és a pályainformációk alapján került modellezésre, annak korrekciójával ezen hatások is levonhatók a mért interferogramból. Az eljárás további célja, hogy az előállt differenciális interferogram különböző fáziskomponenseit (pl. atmoszféra, deformáció) is meghatározza.
Differenciális interferogram	Differential interferogram	A DInSAR eljárás (és az abból származtatott eljárások során) során a mért interferogram és egy szintetikus interferogram komplex különbségképzésével vezethető le a differenciális interferogram. Mivel a szintetikus interferogram a topográfia és a pályainformációk alapján került modellezésre, annak korrekciójával ezen hatások is levonhatók a mért interferogramból.
Digitális magasság modell/DEM	DEM/Digital Elevation Model	Digitális magasság modellnek nevezzük a földfelület magassági viszonyait modellező digitális állományokat. Amennyiben a modell mesterséges, vagy természetes tereptárgyakkal egészül ki, azt digitális terepmodellnek (Digital Terrain Model = DTM) hívjuk.
DLR	DLR	A Német Űr- és Légiközlekedési Központ, hivatalos neve: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Egyszeri áthaladású	Single pass	A single-pass érzékelők egyszeri áthaladással gyűjtik össze az adatokat egy adott területről. Ez azt jelenti, hogy az érzékelő egyetlen alkalommal készít méréseket és nem tér vissza ugyanarra a területre.
Előrövidülés	Foreshortening	Az előrövidülés a SAR felvételek jellemző geometriai torzulása, amely elsősorban szenzorok oldalra nézése miatt alakul ki.

		Olyan hegyvidéki, vagy lejtős területeken, illetve magasabb épített szerkezetek esetében fordul elő, amelyek a radarszenzor felé néznek. Az oldalirányú látószög, valamint a SAR felvételek távolság- és időmérésen alapuló leképezése miatt a lejtőn/épületen lévő két, a radarszenzor felé néző pont közötti távolság kisebbnek képződik le, mint a valóságban és kisebbnek, mint ugyanazon távolság két pont között egy sík területen.
ESA	ESA	Az Európai Űrügynökség, hivatalos neve: European Space Agency
Fázis	Phase	A fázis a radarhullám cikluson belüli pozícióját jelöli, 0 és 2π közötti értékben, radiánban kifejezve. Ez a fázisinformáció a radarjel oda-vissza (kétirányú) megtett útjából származik, így közvetetten a műhold és a felszín közötti távolságot vagy annak a változását tükrözi a hullámhossz töredékének megfelelő pontossággal.
Fázisdekorreláció	Phase decorrelation	A fázisdekorreláció a radar visszavert jeleinek fázisában bekövetkező változások, vagy zaj miatt kialakuló jelenség. Mivel az interferometrikus eljárások az általános fáziseltérés alapján határozzák meg a felszín deformációit, ez a jelenség az mérések pontosságát csökkenti, illetve egyes esetekben el is lehetetleníti. A dekorrelációt számos tényező okozhatja (főbb fajtái a tér- és időbeli dekorreláció).
Fázisszűrés	Phase filtering	A fázisszűrés olyan kulcsfontosságú előfeldolgozási lépés, amely az interferometrikus fázisadatokban csökkenti a zajt és javítja a mérések minőségét. Leggyakrabban a Goldstein szűrő használt, de az adaptív, nonlocal, vagy Gauss szűrők használata is elterjedt.
Fáziskétérteműség	Phase ambiguity	Ez egy klasszikus ciklustöbbértelműségi probléma, mivel a mért fázis csak a 2πn egész számú többszörösén belül ismert. Emiatt bizonytalanság terheli a valódi fáziskülönbség meghatározását, így szükség

		van annak az egész (n) számnak a meghatározására, amely megmondja, hány teljes 2π-s ciklus történt, hogy pontosan kiszámítható legyen a valódi fáziskülönbség (illetve az ezzel összefüggő felszíni elmozdulás).
Fáziskitömörítés, fáziskibontás, avagy a fáziskicsomagolás módszere	Phase unwrapping	A fáziskétértelműség problémájának feloldását nevezzük fáziskitömörítésnek (Phase unwrapping). Erre számos módszer létezik, például a Minimum Cost Flow (MCF) algoritmus, amely egy kétdimenziós térbeli fáziskitömörítési eljárás, illetve az időbeli, egy dimenzióban végzett fáziskitömörítés, amely fázismodellre és numerikus modellezésre épül.
Fázismodell a numerikus modellezésben	Phase model	A numerikus modellezés során fizikai összefüggésből levezetett számos különböző fázismodell létezik, amely a különböző fáziskomponenseket tárgyalja a főbb interferometrikus paraméterek függvényében. Ez azt a cél szolgálja, hogy a regresszió során fizikai összefüggések alapján magyarázzuk és közelítsük a mért fázistörténetet egy választott referenciaponthoz képest.
Fázisugrás	Phase jump	A fázisugrás egy hirtelen, diszkrét fázisváltozás a szomszédos pixelek vagy mérések között a kicsomagolt (unwrapped) interferogramban. Ez a jelenség a fázistér folytonosságának megszakadását jelzi, amelyet okozhat zaj, dekorelláció, fáziskitömörítési hiba, vagy a terep valódi megszakadása (pl. törésvonalak, épített szerkezetek élei). A fázisugrás gyakran ±π körüli vagy annál nagyobb ugrásként jelenik meg a szomszédos pixelek között. Míg a korlátos, becsomagolt (wrapped) fázisképekben a fázisugrás természetes jelenség, addig a kicsomagolt fázis esetén fáziskibontási hibára utalhat, amelyet helytelen ciklusszámbecslés okoz.
Fáziszaj	Phase noise	A fáziszaj a mért fázisban előforduló véletlenszerű ingadozásokat vagy hibákat

		jelenti, amelyeket különböző források okozhatnak, például termikus zaj, időbeli dekorreláció, légköri zavarok vagy a rendszer tökéletlenségei. Ez a zaj csökkenti az interferogram koherenciáját és korlátozza az elmozdulás, vagy magasságmérés pontosságát.
Fejlett földmegfigyelő letapogatás	TOPSAR	A TOPSAR felvételezési mód a ScanSAR képalkotás egy formája, ahol az adatokat burst-ökben gyűjtik úgy, hogy ciklikusan váltogatják az antenna nyalábját több szomszédos alsáv között. A TOPSAR mód helyettesíti a hagyományos ScanSAR módot, ugyanazt a lefedettséget és felbontást éri el, mint a ScanSAR, de közel egyenletes képminőséggel.
Kötegelt feldolgozás	Batched/stacked processing	A stacked processing (kötegelt feldolgozás) az InSAR feldolgozásoknál használt olyan eljárásmód, ahol több interferogramot kombinálnak vagy átlagolnak a jel-zaj arány javítása és a pontosabb eredmények elérése érdekében.
Feldolgozott eredmény LOS irányban	L2 (Level-2)	Tetszőleges fel- és/vagy leszálló irányú feldolgozási folyamat műholdirányú elmozdulás idősora, a kapcsolódó deformációs sebesség és egyéb paraméterek megnevezése. Meghatározó jellemzője, hogy ezek LOS irányú eredmények.
Felszálló pályairány	Ascending	A kvázipoláris szenzorok pálya menti iránya, amely során a szenzor délről északi irányba halad.
Felvételezési irány	Range direction	A műhold és a földfelszíni célpont közötti legrövidebb távolság iránya, amelyben a szenzor jelkibocsátása megtörténik. Merőleges az azimut irányra (flight direction).
Felvételezési mód	Acquisition mode	A felvételezési mód a SAR műholdak előre definiált műszaki konfigurációja, amely meghatározza, hogy a szenzor milyen módon gyűjti az adatokat. Ez magában foglalja az antenna működési paramétereit, a jelfeldolgozási beállításokat és a térbeli lefedettség módját. Egy szenzor általában

		több felvételezési módban is gyűjthet adatot.
Földi hatótávolság	Ground range	A ground range a műhold és a földfelszín közötti távolságnak (látóirány) az a vetülete, amely a földfelszín síkjára esik.
Függvényközelítés	Regression	Az idősoros numerikus modellezésnél használt függvényközelítés, amely egy fázismodell segítségével közelíti a mérési adatokban a különböző fáziskomponenseket, fizikai jellemzőik alapján (pl. lineáris deformáció stb.). A közelítés algoritmusára gyakran használt példa a széles körben alkalmazott legkisebb négyzetek módszere.
Geokódolás	Geocoding	A geokódolás egy koordináta-transzformációs folyamat, amely a radar geometriájú (RDC) adatokat domborzatmodell felhasználásával földrajzi koordinátarendszerbe alakítja át.
Hullámhossz	Wavelength	A hullámhossz egy periodikus hullám két azonos fázisállapotú pontja közötti távolság. Másképp fogalmazva az a távolság, amely alatt a hullám egy teljes ciklust (pl. egy csúcs és a következő csúcs) lefut a térben. A műholdradar-szenzorok egyik legfontosabb tulajdonsága a felvételezés során általuk alkalmazott mikrohullámú sugárzás hullámhossza.
Időbeli bázisvonal	Baseline (temporal)	Az időbeli bázisvonal két felvétel készítési időpontja közötti időeltérés, amelyet általában napokban adnak meg.
Illesztőpont	GCP (Ground Controll Point)	A GCP egy pontosan ismert földrajzi koordinátájú (referencia) pont a Föld felszínén. Az InSAR feldolgozások során sokrétűen használ(hat)ják (pl. interferogramok illesztése, geokódolása stb. során).
InSAR processor által biztosított felvétel (ez már űrfelvétel: L1, SLC, GRD)	L1 (Level-1)	A Sentinel-1 műholdas radaradatok feldolgozottsági szintjei az adatok feldolgozottságának mértékét jelzik és különböző típusú alkalmazásokhoz használhatók: - L1 SLC (Single Look Complex): Komplex (amplitúdó + fázis) értékek egyesített interferometriai cellákban

		- L1 GRD (Ground Range Detected): Csak az intenzitás (amplitúdó négyzete), fázis nem található az állományban.
Intenzitás	Intensity	A visszavert jel erősségére utaló mérőszám, az amplitúdó négyzete. A technológiához kapcsolódó (szürke) hamisszínes vizualizációk alapját képezi.
Interferogram	Interferogram	Az interferogram olyan digitális állomány, amely egy adott területről készült két SAR felvételből, a mesterfelvétel komplex értékeinek és a slave-felvétel komplex konjugáltjának szorzatából vezethető le. Az interferogram az adott helyeken bekövetkező fázisváltozásokat és fázisjellemzőket mutatja, amelyek a felszín geometriai változásaira (pl. süllyedés, emelkedés, mozgás), topográfiájára és a vizsgált terület atmoszferikus jellemzőire utalnak.
Interferogram lapítás	Interferogram flattening	Az interferogram lapítás az InSAR adatfeldolgozás alapvető lépése, amelynek célja az interferogramon jelen lévő, a Föld görbülete és a műholdpálya geometriai hatásai által okozott nagyléptékű fázisváltozások eltávolítása. Az eljárás során az interferogramon jelentkező, a topográfiai hatás és deformáció mellett megjelenő, nagy térbeli skálájú (alacsony frekvenciájú) fáziseltolásokat korrigáljuk.
Interferometrikus csík (fringe)	Fringe	Az interferometrikus csík (fringe) a fáziskülönbség 2π ciklikus változását megjelenítő sávos mintázat az interferogramon. Egy olyan kontúrvonalmintázatnak tekinthető, amely az interferometrikus fázis 2π radián szerinti ciklikus változását jeleníti meg. Tehát minden fringe egy teljes fázisciklust jelöl, azaz a radar hullámhosszának felét (λ\2) kitevő változást, amely a műhold irányában (line-of-sight) következik be két felvételezés között. Ezek számos forrásból származhatnak, úgy mint: topográfia, deformáció, atmoszféra.

Jaxa	JAXA	A Japán Repülés- és Űrkutatási Ügynökség, hivatalos neve: Japan Aerospace Exploration Agency
Kiegyenlített geodéziai szintű eredmény	L3 (Level-3)	Az L3 szintű eredmények foglalják magukba az együttesen kiértékelt fel- és leszálló irányú eredményeket úgy, hogy a kiegyenlítést követően a korábbi LOS irányú (L2 szintű) eredményekből meghatározásra kerül a geodéziai K-NY-i horizontális és vertikális komponense is. Ezen horizontális és vertikális komponensek az L3-as szintű eredmények.
Koherencia	Coherence	A koherencia egy olyan minőségindikátor mérőszám, amely megmutatja, hogy két időpontban, ugyanazon pályageometriában készült SAR felvétel komplex visszavert jelei mennyire hasonlók, vagyis mennyire őrzik meg a fázis- és amplitúdóviszonyukat. A koherencia a két SAR felvétel komplex jeleinek normalizált, komplex korrelációs együtthatója egy adott térbeli ablakon belül.
Koregisztráció/átmintavételezés	Coregistration	A közel azonos pályamenti geometriából felvételezett L1 SLC felvételek, közös tér és időbeli referenciafelvétel alapján történő szubpixeli szintű átmintavételezése.
Kritikus bázisvonal	Baseline (critical)	A kritikus bázisvonal az a maximális pályák közötti térbeli távolság (bázisvonal hossza), amely mellett az interferogram még értelmezhető fázisinformációt tartalmaz. Ha a bázisvonal hosszabb ennél az értéknél, akkor a felszíni domborzati eltérések miatt a fázisban olyan nagy eltérések keletkeznek, hogy az interferogramon fáziskétértelműségek (phase ambiguities), valamint jelentős zaj és hibák jelennek meg, amelyek megnehezítik vagy lehetetlenné teszik a megbízható deformációs vagy topográfiai mérést.
L hullámhossz/L-sáv(ú)	L band	Az L hullámhossz a szintetikus apertúrájú radarok (SAR) egyik frekvenciatartománya. Legfontosabb jellemzője az 1-2 GHz frekvenciatartomány és a ~15-30 cm hullámhossz.

Látóirány/műholdirány(ú)	LOS	A látóirány a műhold és a felszín egy adott pontja közötti közvetlen rálátási irányt jelenti. A mért értékek ebben a geometriában képződnek le, így a SAR szenzorok a felszínmozgásokat is ebben az irányban mérik (L2-es szintű eredmények). A meghatározott deformációs értékek a műhold irányához viszonyított elmozdulásokat tükrözik.
Látóirányú/műholdirányú (~LOS)	Slant range	A látóirányba képzett műholdradar-felvétel állománya, amely a radar geometriában, a nyers visszatérési értékek alapján tárolja az antennához visszaérkező jeleket, amelyek még nincsenek földi vetületileg korrigálva.
Leszálló pályairány	Descending	A kvázipoláris szenzorok pályairánya, amely során a szenzor északról déli irányba halad.
Letapogatási egység	Burst	A letapogatási egység TOPSAR felvételezési módban létrehozott elem. Ebben a módban a szenzor a teljes sávot nem egyben pásztázza, hanem szakaszosan (burst-önként) figyeli meg. Egy teljes kép több burst-ből áll össze.
Letapogatási sáv	Swath	A swath a távérzékelésben (különösen SAR szenzorok esetén) azt a felszíni sávot jelenti, amelyet a műhold egyetlen áthaladás (pass) során megfigyel.
MCF	MCF	Minimum Cost Flow - egy gráfalapú globális optimalizációs eljárás, amelyet a fáziskicsomagolás során alkalmaznak a fáziskétértelműségek feloldására.
Mester/referencia felvétel	Master/reference image	Az interferometrikus eljárásoknál (pl. időbeli InSAR elemzésben) a mester (vagy referencia) felvétel az a kiválasztott SAR felvétel, amelyhez az összes többi (slave/szolga/másodlagos) felvétel geometriailag és időben viszonyítva van.
Modellezés hibaparamétere	Model sigma/RMSE	A numerikus modellezés és az ahhoz kapcsolódó regresszió hibaparamétere. Ez lehet RMSE vagy a modelltől való eltérés szórása (szigma).
MT-InSAR eljárások	MT-InSAR	Multitemporális InSAR eljárások: olyan gyűjtőfogalom, amely a DInSAR eljárás

		továbbfejlesztett változataira (PSI, SBAS stb.) utal. Ezek gyakran több tíz vagy száz (hosszabb időszakot átfogó) felvétel felhasználásával mérik a felszín folyamatos, lassú deformációját.
NASA	NASA	Az Egyesült Államok Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatala, hivatalos nevén: National Aeronautics and Space Administration
Normál (merőleges) bázisvonal	Normal/perpendicular baseline (normal)	A SAR szenzorok pozíciói közötti bázisvonalnak a LOS-ra merőleges komponense. Minél nagyobb a normál bázisvonal, annál érzékenyebb a rendszer a domborzatra, ugyanakkor az interferometrikus fázis minősége és mozgásvizsgálati célú kiértékelhetősége romlik a geometriai dekorreláció miatt.
Numerikus modellezés	Numerical modeling	A multitemporális InSAR módszerek során ezen numerikus modellezés során kerülnek meghatározásra a különböző fázisparaméterek. A modellezés során felhasznált fázismodell definiálja a különböző, fizikailag leírható fáziskomponenseket, amelyek meghatározása a cél. Ennek során a modellhez függvényillesztéssel, avagy regresszióval közelítjük a mért adatokat, gyakran a legkisebb négyzetek módszere szerint.
Polarizáció	Polarisation	A polarizáció a radarhullámok elektromágneses rezgésének irányára utal. A SAR-rendszerek rádióhullámokat bocsátanak ki és a visszaverődött jeleket érzékelik és a polarizáció azt jelzi, hogy ezek a hullámok milyen elektromos térirányban rezegnek kibocsátáskor, illetve vételkor. Mozgásvizsgálatoknál kopolarizált felvételeket használunk (VV, vagy HH polarizáció).
Pötty/petty	Speckle	Pontszerű interferencia, amely bármely koherens érzékelő esetében természeténél fogva jelen van és a felbontási cellán belüli elemi szórópontokhoz kapcsolódó radarjelek

		koherens összegéből származik.
Rádióalapú érzékelés és távolságmérés	Radar	A radar (az angol Radio Detection and Ranging rövidítése) egy olyan aktív távérzékelési technológia, amely rádióhullámokat használ tárgyak és felszínek észlelésére, távolságuk, sebességük és jellemzőik meghatározására.
Relatív pálya/relatív pályaszám	RON (relative orbit number)	A relatív pályaszám a műhold pályájának számozását jelöli a Föld körüli ciklusán belül. Sentinel-1 esetén ~ egy 1-től 175-ig terjedő szám, amely azt jelzi, hogy az adott felvétel a cikluson belül melyik pályához tartozik.
Rövid bázisvonalú részhalmazok interferometriás módszere	SBAS (Small-BAseline Subset)	A rövid bázisvonalú részhalmazok interferometriás módszere egy olyan több felvételt felhasználó InSAR eljárás, amely több radarfelvételből készít interferogramokat úgy, hogy csak azokat a képpárokat használja, amelyek egymáshoz viszonyítva rövid időbeli és normál bázisvonallal rendelkeznek. Ezzel minimalizálható a zaj és a koherencia hatása, amely gyakran problémát jelent a hosszabb időtávú vagy nagy bázistávolságú interferometria során.
Sarokreflektor	Corner Reflector (CR)	A sarokreflektor passzív, mesterséges eszköz, amelyet radarjelek visszaverésére terveztek. Alacsony koherenciájú, természetes szórópontot nem biztosító területeken ezek telepítésével garantálható a stabil fázisjel rendelkezésre állása.
Segéd /szolga/másodlagos felvétel	Slave/Secondary image	Az interferometrikus eljárásoknál (pl. időbeli InSAR elemzésben) a szolga felvételeket a kiválasztott mester (SAR) felvételhez geometriailag és időben viszonyítjuk.
StripMap	StripMap	A StripMap felvételezési mód, amely során a radar folyamatosan bocsátja ki az impulzusokat, miközben a műhold egyenletesen mozog a pályája mentén. A letapogatás is ennek megfelelően folyamatos.

Szintetikus apertúrájú műholdradar interferometria/műholdradar interferometria	InSAR (interferometry)	A szintetikus apertúrájú radar interferometria (InSAR) olyan távérzékelési eljárás, amely két, azonos területről és közel azonos pályageometriából származó SAR felvétel fázisinformációját hasonlítja össze annak érdekében, hogy meghatározza az egyes felszíni pontokhoz tartozó fáziskülönbségeket. Ezek a fáziskülönbségek lehetővé teszik a felszín topográfiájának vagy időbeli elmozdulásainak nagy pontosságú becslését.
Szintetikus apertúrájú radar/apertúraszintézises radar	SAR	A szintetikus apertúrájú radar (SAR) egy koherens távérzékelési rendszer, amely a szenzor - például egy keringő műhold - mozgását kihasználva szintetikus módon hoz létre nagy apertúrát, ez által jelentősen javítva a térbeli felbontást az áthaladási (azimut) irányban. A rendszer mikrohullámú impulzusokat bocsát ki, majd a célterületről visszaverődő jelek amplitúdóját és fázisát is rögzíti. Ennek köszönhetően nemcsak a felszín radar reflektivitása becsülhető meg, hanem a műhold és a felszín közötti távolság relatív változása is, a radarhullám hullámhosszának töredékére kiterjedő pontossággal.
Szórópont	Scatterer	A szórópont az InSAR elemzésekben olyan radar célpontot jelent, amely kellően stabil fázissal rendelkezik a fázismérések elvégzéséhez. Ezek a pontok származhatnak egyetlen, domináns szórópont (Persistent Scatterer - állandó szórópont) radar visszaverődéséből, vagy több, egymással szomszédos, összevont cellából (Distributed Scatterer - elosztott szórópont), amelyek hasonló radarjelet adnak.
Tandem	Tandem	A tandem kifejezés azt jelenti, hogy két (vagy több) műhold szorosan koordinált pályán, kis időeltolódással repül egymás után, hogy összehangolt megfigyeléseket végezzen.
Teljes felbontású fázis	Singlelook phase	Teljes felbontású L1 SLC adatok, térbeli átlagolás vagy aggregálás nélkül. Lehet

		vektoros és raszteres állomány is.
Teljes felbontású, komplex, fókuszált (SAR) felvétel	SLC	A Single Look Complex (SLC) teljes felbontású, fókuszált SAR adatok, amelyek megőrzik mind az amplitúdó-, mind a fázisinformációt. Az SLC formátumú SAR adatok képezik az InSAR feldolgozás alapját. Ellentétben a multilookolt SAR képekkel, ezeknél nem történik sem térbeli, sem időbeli átlagolás vagy simítás és az adatokat a radarrendszerrel elérhető legnagyobb felbontásban szolgáltatják.
Teljes felvétel	Frame	A műhold által egy letapogatási sávon egy műholdáthaladás során készített önálló felvétel.
Térbeli referencia pont	Spatial Reference Point (SRP)	Az InSAR többszörösen is relatív technológia. Egyrészt minimum két felvétel, vagy több felvétel közötti relatív elmozdulást mér. Másrészt a multitemporális eljárásoknál mindig egy dedikált térbeli referencia ponthoz képest történik a fázismodellt is magában foglaló regresszió/numerikus modellezés. Jellemzően magas koherenciájú (minőségű) és/vagy ismert deformációtörténetű pontot szoktak referenciának választani. Ez amiatt fontos, mivel a technológia relatív volta miatt, ha a referencia pont mozog, a mozgással az összes mérés terheltté válhat.
Térben aggregált/átlagolt fázis	Multilook phase	Térben átlagolt vagy aggregált fázis. Míg a felbontást csökkent, jellemzően javítja a jel-zaj arányt.
Térben aggregált/térben átlagolt	Multilooking	A SAR felvételek azimut és range irányban különböző térbeli felbontással készülnek. Pixeleik térbeli aggregálásra kerülnek azért, hogy mindkét irányban azonos méretű pixelméretet hozzanak létre. Az aggregálás a speckle-hatást is csökkenti és növeli a jel-zaj arányt.
Térben átlagolt vagy aggregált szórópont	Distributed/Scatterer DS	Az osztott szórópont olyan felszíni pontokat jelöl, ahol a radarjel visszaverődése nem egyetlen, jól meghatározott objektumról származik, hanem a radar cellán belül több apró, térben eloszló szóróelemből tevődik

		össze.
Többszöri visszatérésű	Repeat pass	A repeat-pass érzékelők többszöri áthaladással gyűjtik össze az adatokat egy adott területről. Ez azt jelenti, hogy az érzékelő ismételten felméri ugyanazt a területet, különböző időpontokban. A különböző áthaladások során gyűjtött adatok az időbeli változások nyomon követését teszik lehetővé.
Transzponder	CAT, E-CR, transponder	Mesterséges aktív pontjel, amely a sarokreflektorhoz hasonlóan biztosít stabil szórópontot alacsony koherenciájú, vagy dedikált mérési területen. A műhold áthaladásakor aktív jelet sugároz a műhold felé, így a jele szignifikánsan markánsabb, mint a sarokreflektoré.
Valós apertúrájú radar	RAR	A Real Aperture Radar (RAR) egy olyan radarrendszer, amely az antenna fizikai méretét használja a felbontás meghatározásához. A felbontás az antenna tényleges (valós) apertúra méretétől és a radarjel hullámhosszától függ. A SAR rendszerektől eltérően a RAR nem szimulál nagyobb antennát az áthaladása során és nem biztosít a SAR rendszerrel megegyező felbontást.
Nagyterületű feldolgozás (WAP)	Wide Area Processing (WAP)	Az InSAR technológia és a kapcsolódó szoftveres/hardware-es megoldások lehetővé teszik, hogy korábban példátlan skálán lehessen mozgásvizsgálati célú InSAR analízist végezni. Ez az országos méretű analízisektől, egészen a nemzetközi, akár kontinens méretű feldolgozásokat is lehetővé teszi.
X hullámhossz	X band	Az L hullámhossz a szintetikus apertúrájú radarok (SAR) egyik frekvenciatartománya, legfontosabb jellemzője az 8-12 GHz frekvenciatartomány és a ~2,5-3,75 cm hullámhossz.

4. táblázat: Az InSAR technológia forgalmai

4. CPR FELADATOK

Az építésügyi műszaki irányelv kiadványszerkesztése időszakában már megjelent és részben hatályba lépett az új építési termék rendelet (a továbbiakban: az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3110 rendelete (2024. november 27.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról és a 305/2011/EU rendelet hatályon kívül helyezéséről - CPR rendelet [32]), azonban a lényegi szakaszok szempontjából sokszor még a korábbi rendelet (305/2011/EU rendelet [33]) rendelkezései az irányadók. A CPR rendelet 2025. január 7-én lépett hatályba, több rendelkezése fokozatosan lép hatályba alapvetően az új harmonizált műszaki specifikációk, az Európai Értékelési Dokumentumok (EAD) és az Európai Műszaki Értékelések (ETA) megjelenésével. A CPR rendelet 2026. január 8-tól alkalmazandó, kivéve azokat a cikkelyeket, amelyeket már 2025. január 7-től alkalmazni kell, valamint egy további cikkelyt, amelyet csak 2027. január 8-tól kell alkalmazni.

A CPR rendelet a tárgyi építésügyi műszaki irányelv esetében egyáltalán nem releváns.

5. AZ INSAR FELDOLGOZÁSOK PONTOSSÁGA ÉS LIMITÁCIÓI

Az alábbi fejezetben az InSAR feldolgozások során felmerülő limitációkat ismertetjük. Ezek főként a SAR technológia sajátosságaiból, valamint a felvételező rendszerek által biztosított adottságokból fakadnak. Az itt felsorolt ajánlásokat figyelembe kell venni a technológia gyakorlati alkalmazása során.

5.1. Térbeli felbontás

Az egyes SAR felvételező szenzorok különböző felvételezési módokban jellemzően különböző térbeli felbontású felvételeket készítenek. A szabadon elérhető felvételek (Sentinel-1, ERS, Envisat stb.) jellemzően közepes (~15-25 m) térbeli felbontással rendelkeznek, míg a kereskedelmi műholdak ennél lényegesen részletesebb felbontású (3-5 m) adatokat szolgáltatnak. A műhold haladási és felvételezési irányában a térbeli felbontás általában eltérhet, így pl. egy Sentinel-1 felvétel esetében műholdirányban ~3 m-es, míg a műhold haladási irányában ~15 m-es térbeli felbontásúak a felvételek. Fontos azt hangsúlyozni, hogy ezt az eredeti térbeli felbontást nem mindegyik feldolgozási technológia képes kiaknázni. Egyes eljárások felhasználják a részletesebb teljes felbontású műholdirányú adatokat, míg mások egységes, a haladási és műholdirányban is megegyező felbontással dolgoznak, amely viszont kedvezőtlenebb felszíni felbontást von maga után. Ebből fakad, hogy egy InSAR mozgásvizsgálat során figyelembe kell vennünk, hogy a térbeli felbontásnál kisebb térbeli elemekről, nem tudunk diszkrét méréseket végezni.

5.2. Térbeli lefedettség

Az egyes műholdrendszerek különböző felvételezési forgatókönyv alapján végzik a földmegfigyelési tevékenységüket. A szabadon elérhető rendszerek általában szélesebb földrajzi egységek teljes és rendszeres felvételezésére törekednek (lásd Sentinel-1). A kereskedelmi szenzorok hazánknak csak adott részeit felvételezik, több-kevesebb rendszerességgel. Ez utóbbi esetben a feltételezési terv megváltoztatása, új felvételezendő terület bevonása is kérhető, azonban ez jelentős költséggel jár. Tehát az InSAR vizsgálat megkezdése előtt ellenőrizni kell, hogy az adott felszínrészletről a kívánt szenzor adat elérhető-e.

5.3. Időbeli felbontás

Az azonos területről készült felvételek között időbeli dekorreláció léphet fel, amely annál erőteljesebb, minél dinamikusabban változik a felszín és/vagy a felvételek készítése között minél több idő telik el. Így a kiértékeléskor rendkívül fontos az azonos területről rendelkezésre álló felvételek készítése között eltelt idő hossza, az ún. visszatérési idő. A felvételező rendszerek a minél gyakoribb adatgyűjtésre törekednek, ezt befolyásolja maga a felvételezési terv és az egyes programokon belül elérhető műholdak száma.

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy pl. a Sentinel-1 esetében egy adott terület felett egy pályageometriában a 2014-2025-ös időszakra legalább 400 db felvétel is készült, míg a korábbi szenzorok esetében évtizedenként csak néhány 10 db felvétel. A Sentinel-1 időbeli felbontása 2014. októbere és 2016. nyara között 12 nap volt, majd a Sentinel-1B működése alatt (2016. nyara - 2021. decembere) ez 6 napra javult. A Sentinel-1B szenzor meghibásodását követően ismét 12 naposak a felvételezések, majd az Sentinel-1C műhold üzembe helyezését követően, 2025. tavaszától ismét 6 napos a szenzor időbeli felbontása.

Az ERS és Envisat műholdak időbeli felbontása elméletileg 35 nap, de a valóságban jóval ritkábban készültek felvételek. A különbségek ellenére elmondható az, hogy a Sentinel-1, az Envisat és ERS szenzorok segítségével egy-egy terület/épület közel 30 éves mozgástörténete is feltárható. A kisebb területekre fókuszáló kereskedelmi felvételezések is kellően rendszeresek, ugyanakkor csak a 2007. év utáni időszakról állnak rendelkezésre. A feldolgozások előkészítése során megfelelő időbeli eloszlású felvételek beszerzésére kell törekedni.

5.4. Minimum felvételszám

A fentiekben ismertetett feldolgozási módszerekhez több felvételre van szükség (>20 db), valamint minél több felvétel kerül felhasználásra, annál pontosabb feldolgozási eredmények vezethetők le. A minimális felvételszám a frissen épített szerkezetek monitoringjánál jelenthet szűk keresztmetszetet, ugyanis a megfelelő számú felvétel rendelkezésre állásához gyakran hónapokat is várni kell. Ezen a kereskedelmi műholdakból rendelt gyakoribb felvételezések segíthetnek. A feldolgozások előkészítése során törekedni kell a megfelelő hosszúságú felvételsorok kialakítására úgy, hogy azokon a különböző zajszűrési eljárások minél sikeresebben lefuthassanak.

5.5. Hullámhossz és fáziskicsomagolás

Az egyes SAR műholdak mindig egy adott mikrohullámú hullámhosszon készítik űrfelvételeiket. A hullámhossz paramétere a technológia számos jellemzőjét befolyásolja (pl. elmozdulási érzékenység). A hullámhosszhoz kapcsolódó legfontosabb korlát, hogy két felvételezési időpont között a mért szerkezet elmozdulása nem haladhatja meg a felvételezési hullámhossz felét. Ez alapján belátható, hogy időben állandó, viszont skáláját tekintve lassú (mm/év, cm/év) nagyságrendű, deformációs trendek kimutatására alkalmas a technológia. A jelentősebb elmozdulásokat az algoritmusok alulbecsülik, vagy fáziskicsomagolási hibával terhelten adják meg.

A fáziskicsomagolási lépesek során, térbeli fáziskicsomagolás esetén az előbb részletezett korlát áll fent a szomszédos pixelek (raszter alapú feldolgozás) vagy a vektorizált szomszédos szórópontok között: nevezetesen a felvételezési hullámhossz fele a

maximálisan meghatározható elmozdulás, ennél nagyobb elmozdulási értékek fáziskicsomagolási hibához vezetnek. Tehát az időben hirtelen és/vagy térben jelentős gradienssel bekövetkező, nagy volumenű elmozdulások megfigyelésére nem alkalmas a rendszer (pl. egy szerkezet összeomlása).

Ezekből belátható, hogy a felvételezési hullámhossz és az ahhoz kapcsolódó fáziskicsomagolási lépések a technológia egyik legjelentősebb technikai/fizikai korlátai. Ennek következtében a jelenleg elérhető szenzorok az eszköz hullámhosszának függvényében két felvétel között maximum ~1,6-10 cm elmozdulás detektálására képesek. Az MT-InSAR feldolgozásoknál ez az intervallum a fentiek fele, tehát ~8-50 mm.

Fontos megemlíteni, hogy a szignifikáns, epizodikus felszíndeformációk feltérképezésére (pl. földrengések) is használható az ún. differenciális műholdradar interferometrikus eljárás (lásd fentebb), amely akár a több méteres nagyságrendű elmozdulások meghatározását is lehetővé teszi, azonban ennek a pontossága elmarad az idősoros módszerek jellemzőitől. Azaz InSAR mozgásvizsgálat során tisztába kell lenni a szenzor mérési tartománya és a feltételezett szerkezet mozgás sebességének kapcsolatával. Ennek megfelelően kell az adott megfigyeléshez szenzort választani.

5.6. Valós idejű felvételek nem elérhetők

A műholdfelvételekhez kapcsolódó nyers adatok a felvételezést követően számos további feldolgozási lépésen (validáció, fókuszálás stb.) esnek át (ezeknek a komplex eljárásoknak az ismertetése meghaladja jelen építésügyi műszaki irányelv terjedelmét), ezért a felvételek valós idejű felhasználása nem lehetséges. Emellett fontos arra is utalnunk, hogy az idősoros feldolgozások gyakran több száz felvétele között 1-1 felvétel aligha játszik meghatározó szerepet. Kiemelendő a korábban bemutatott ún. visszatérési idő is, amely behatárolja az időbeli mintavételezés gyakoriságát. Hirtelen bekövetkező, az elérhető szenzorok technikai korlátait meghaladó elmozdulások kimutatásához más technológia alkalmazása javasolt.

5.7. Felszínborítás

A mérések jellegéből fakadóan a technológia az épített környezet elemeinek deformációs célú megfigyelésére kitűnően hasznosítható. A növényzettel borított felszínek permanens változása ellehetetleníti a megfelelő fázismréseket. Ez az InSAR mérések egyik legfontosabb térbeli és gyakorlati limitáló tényezője.

5.8. LOS mérések

A feldolgozások eredményeként kapott elmozdulás értékek a műhold és vizsgált pixel (objektum) közötti vektor mentén értelmezhető egy dimenziós elmozdulás mérések. A szenzor a műholdpályára merőleges elmozdulásokat képes érzékelni, amely a kvázipoláris pályageometria következtében megközelítően a kelet-nyugati iránynak felel meg.

5.9. 3D mozgáskomponensek

Amennyiben egy adott szórópont mozgástörténete két (fel- és leszálló) geometriában is meghatározásra kerül, akkor a szórópont ~Kelet-Nyugat és vertikális elmozdulás komponense is meghatározható. A rendszer működéséből fakadóan a műhold haladási

irányába (Észak-Dél) mutató mozgáskomponensek nem vezethetők le, valamint a műhold ilyen irányú elmozdulások detektálására nem képes.

5.10. Geometriai torzulások/sajátosságok

A SAR felvételek a mérés természetéből fakadóan (oldalra néző szenzor) geometriai torzulásokkal terheltek, amely abban nyilvánul meg, hogy minél magasabban helyezkedik el egy mérési pont a műholdfelvételen, annál közelebb kerül a műholdhoz (foreshortening - előrövidülés). Ennek extrém, de gyakori esete az ún. áthajlás (layover), amely a még magasabb pontok, még meredekebb lejtők esetében jelentkezik. Ekkor a magasabban lévő pozícióról érkező jel a műholdhoz közelebbi pixelre képződik le, mint a műholdhoz eredetileg közelebb lévő, de alacsonyabb pontról érkező jel, amelynek következtében az azonosított szórópontok pozícionálása is pontatlan lesz. Ezt megfelelő részletességű domborzatmodellel lehet kompenzálni.

Az oldalirányú felvételezés másik következménye az árnyékhatás, amely akkor lép fel, amikor egyes objektumok, vagy a domborzat egésze egyes szerkezeteket, szerkezetrészeket, vagy nagyobb felszínrészleteket kitakar. Ebben az esetben másik műholdpályáról készült felvételek feldolgozásával gyűjthetünk adatot az előző, árnyékban lévő részről. Mindig körültekintően kell eljárni a vizsgálni kívánt szerkezet és a felvételező műholdpálya kapcsolatában.

5.11. PS/DS szórópontok

A PSI, vagy PSInSAR eljárás által azok az ún. állandó szórópontok (Persistent Scatterers = PS) kerültnek azonosításra, amelyek általában jól meghatározott geometriával rendelkeznek és fázisstabilitásuk hosszútávon fennáll. Ilyenek leggyakrabban az épített környezeti elemek, vagy stabil sziklafelszínek. Emellett egyes eljárások, pl. SBAS alkalmasak lehetnek a térben átlagolt szórópontok (Distributed Scatterers = DS) meghatározására. Utóbbiak azok a kevésbé jól definiált geometriával rendelkező felületek, amelyeken a vegetáció, vagy egyéb változások még nem akadályozzák a fázisértékek meghatározását. A vizsgált objektumhoz körültekintően kell feldolgozási algoritmust választani.

5.12. A nemzetközi pontosságmérések eredményei

A fentiekben ismertetett interferometrikus eljárások pontosságát számos tényező (a műhold hullámhossza, a fáziskicsomagolási hibák, a bevont felvételek száma, a szórópont valós sebessége, az atmoszférikus fázistag korrekciója stb.) befolyásolja. Így ennek függvényében jól látható, hogy minden InSAR feldolgozás egyedi pontossági mutatókkal rendelkezik. Ugyanakkor általában a feldolgozásba vont felvételek számának növelésével általában egyre pontosabb mozgásadatok állíthatók elő.

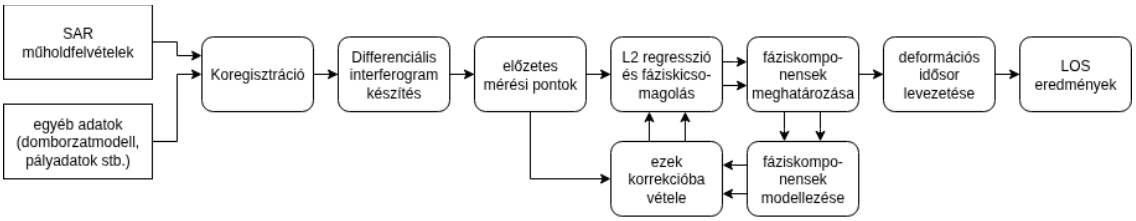
A pontosság meghatározásakor egyrészt az egyes szórópontok éves sebességértékének, másrészt az egymás követő felvételezési időpontokban mért elmozdulásoknak a pontosságát veszik figyelembe. A GNSS, a szintezési vagy más szenzoradatokkal történő összevetésekből jól látható, hogy a régebbi C-hullámhosszú szenzorok (ERS, Envisat) esetében az átlagos sebességértékek pontossága 1 mm/év, vagy az alá esik, míg az egymást követő elmozdulások pontossága 5 mm/év közeli [22] [23] [24] [25] [26]. Az újabb szenzorok esetében (pl. Sentinel-1) ezek az értékek hasonlók, illetve gyakran még kedvezőbbek [27] [28]. A rövidebb hullámhossz következtében az X-hullámhosszú

szenzorok (COSMO-SkyMed, TerraSAR-X) méréseinek pontossága a fentieket is meghaladja [29] [30]. A pontosságmérési eredményeket figyelembe kell venni a feldolgozások kiértékelésénél.

6. ÁLTALÁNOS MULTITEMPORÁLIS INSAR FELDOLGOZÁSI FOLYAMAT ÉS EREDMÉNYTERMÉKEI

6.1. Általános multitemporális InSAR feldolgozási folyamat

Az alábbiakban a multitemporális InSAR feldolgozási folyamat elvi menetét ismertetjük. Az egyes már említett eljárások (PS, SBAS stb.) számos különböző megközelítést és gyakran egyedi feldolgozási logikát használnak a munkafolyamat során, azonban vannak olyan elvi alapok, amelyek mindegyik eljárástípusra vonatkoznak. Ezt ismerteti az 1. ábra (a feltüntetett fogalmak magyarázata a 3. fejezetben találhatók).



1. ábra: Általános multitemporális InSAR feldolgozási folyamat áttekintő ábrája

6.2. A hazánkban elérhető aktuális és archív műholdfelvételek

A hazánkról elérhető, multitemporális InSAR feldolgozásokhoz használható archív felvételek forrásai az ESA ERS és Envisat, valamint a Jaxa Alos Palsar műholdjára korlátozódnak. E rendszerek már több, mint 10 éve inaktívak, ugyanakkor felvételeik alapvető fontosságúak az 1990-es és 2000-es évek szerkezetmozgásainak meghatározásában. Az ERS és Envisat szenzorok C-hullámhosszon szolgáltattak adatokat, míg az Alos Palsar L-hullámhosszon. Előbbiek átlagosan 30-50 db felvételt készítettek 1-1 évtized alatt az ország valamennyi részéről. Azonban egy adott területről egyes (le- vagy felszálló) pályákon nem mindig szolgáltattak a multitemporális InSAR vizsgálathoz elegendő adatot, így a vertikális és kelet-nyugati irányú mozgáskomponensek előállítása bizonyos területeken ezekből igen gyakran nem lehetséges. A szenzorok térbeli felbontása ~25 m volt. Az Alos Palsar műhold (2006-2011. évek között működött) felvételezései ritkábban történtek meg és az ország térbeli lefedettsége is sporadikusabb. Térbeli felbontása 5 m volt. Mindhárom (már nem működő) műhold archív adatai ingyenesen elérhetők (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).

A jelenleg is működő szenzorok közül az ESA C-hullámhosszon működő, ~15 m felbontású Sentinel-1 műholdcsaládja (Copernicus-program) játssza a legfontosabb szerepet a hazai SAR felvételezésekben és így az épület monitorozó eljárásokban is. A Sentinel-1A 2014-es felbocsátását követően 12 naponta, a Sentinel-1B működési ideje alatt (2016-2021. évek) 6 naponta, majd 2021-2025. évek között 12 naponta, majd 2026. májusától (Sentinel-1C felbocsátása után) ismét 6 naponta felvételezi az ország valamennyi területét. Ez le- és felszálló geometriában külön-külön közel 500 db felvételt jelent egy adott területről. A műholdfelvételek ingyenesen elérhetők, szabadon felhasználhatók és az épületdiagnosztika

legteljesebb adatfolyamát szolgáltatják. A program fennállása hosszútávon biztosított, így a Sentinel-1 felvételek legfontosabb alapadatnak tekinthetők.

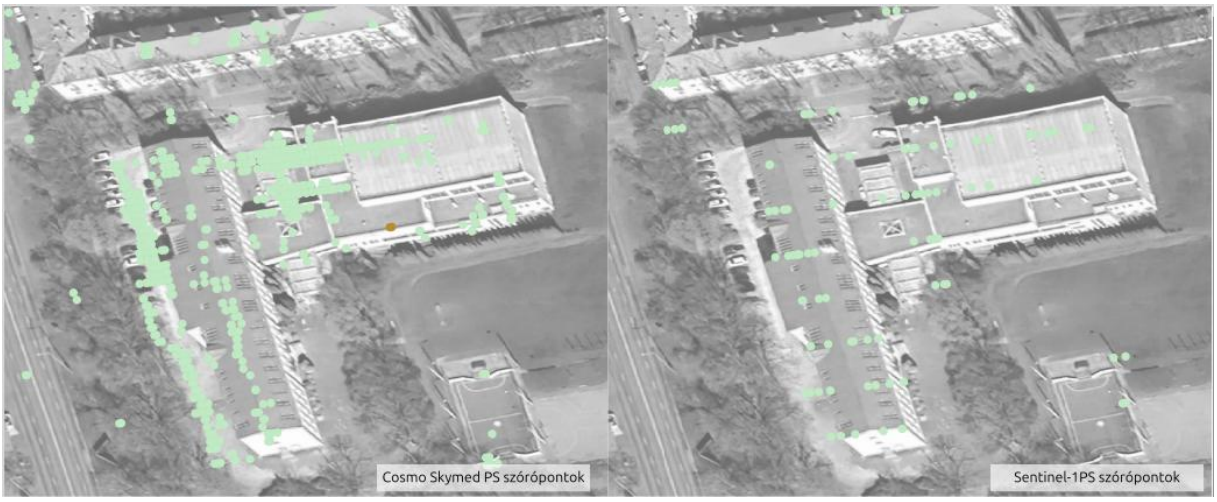
Műholdradar	***Hullámhossz***	***Látóirányú * felbontás (m)***	***Műhold pályairányú * felbontás (m)***	***Gyakorlatban frekventáltan alkalmazott felbontás (m)***	***Egy felvétel által lefedett terület dimenziói (km×km)***	***Visszatérési idő (nap)***	***Rendelkezésre állás kezdete***	***Az adatok elérhetősége***
TerraSAR-X	X	0,6-3,3	0,24-40	0,6-3	4×3,7-270×200	11	2008	kereskedelmi
COSMO-SkyMed	X	1,1-13,5	0,9-38	1-5	10×10-30×200	16	2007	kereskedelmi
Sentinel-1	C	2,3	17,4	15	250×200	6	2014	ingyenes
RADARSAT	C	5	5	1-8	18×18 - 90×90	24	1995	kereskedelmi

5. táblázat: *A hazánkban elérhető jelenleg is felvételező rendszerek áttekintő táblázata.*

** a látóirányú- és pályairányú felbontás és a felvételek térbeli kiterjedése felvételezési módonként eltérő lehet*

A további hazánkat felvételező rendszerek adatai kereskedelmi forgalomban elérhetők. A Radarsat ~5 m-es térbeli felbontással C-hullámhosszon felvételez. Tér- és időbeli lefedettsége sporadikus. További elérhető felvételezéseket az ASI Cosmo-SkyMed, valamint az Airbus TerraSAR-X szenzora végez. Mindkét műhold X-hullámhosszon dolgozik ~2-3 m-es térbeli felbontással (2. ábra). Felvételeik csak néhány frekventált területről érhetők el. Ezeken a rendelkezésre álló felvételek száma a multitemporális InSAR elemzésekhez megfelelő. Ugyanakkor a felvételezésekben jelentősebb kimaradások is tapasztalhatók.

Összességében a kereskedelmi műholdfelvételezések rendszeressége a forgalmazón keresztüli megrendeléssel (tasking) biztosítható, amely jelentős költséggel jár. A fentiekben említett felvételezési területekről már rendelkezésre álló felvételek jóval kedvezőbb áron elérhetők, felhasználásuk így költséghatékony lehet. Ajánlott az adott célnak megfelelő érzékenységű (hullámhosszú), tér- és időbeli felbontású, megfelelő darabszámú felvétellel rendelkező szenzorok kiválasztása.

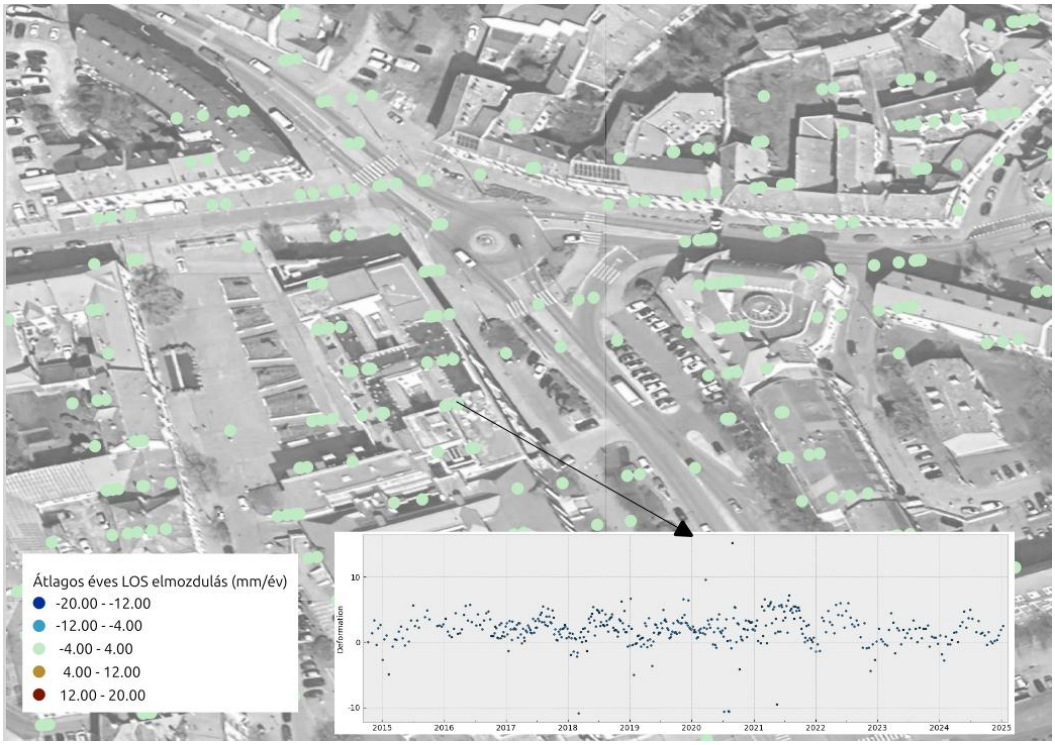


2. ábra: Cosmo-Skymed és Sentinel-1 PS szórópontok felbontásbeli különbségének bemutatása (zöld körökkel jelölve) ugyanazon a szerkezeten

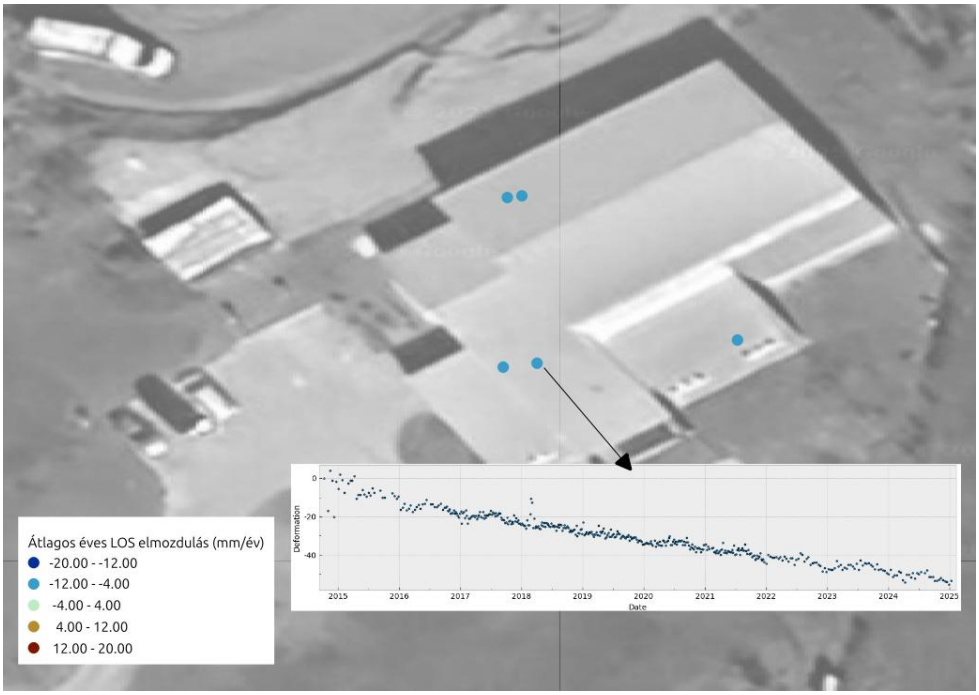
6.3. A multitemporális InSAR feldolgozási folyamat eredménytermékei

Az egyes vizsgált szerkezetek, vagy nagyobb területek InSAR elemzését követően előállnak az adott eljárással azonosított (PS, vagy DS) szórópontok. Ezekhez minden esetben tartozik egy elmozdulási idősor, amelyben az első mérési időpontjának értéke nulla, majd a további elmozdulásokat ehhez viszonyítva határozzuk meg (3. ábra). Az egyes elmozdulások mm-ben kerülnek kifejezésre (4. ábra). Fontos megjegyeznünk, hogy az elmozdulási idősor a műhold-objektum viszonylatban értelmezhető LOS adat. A szórópontokhoz ezen kívül pontos geolokációs adatok, minőségi mutatók (pl. koherencia vagy amplitúdó diszperziós index érték, egyéb pontossági adatok stb.) és további leíró mutatók (műholdhaladási irány, felvételezési irány stb.) kell, hogy kapcsolódjon. Emellett feltüntetésre kerül az egyik legfontosabb mérőszám a szórópont éves sebessége mm/év-ben kifejezve. Ez utóbbit használják az elmozdulások térképezése során. Az InSAR adatoknak ezeknek az ismérveknek meg kell felelniük.

A sebességadatok alapján színezett szórópontok színe egy a vörösből a zöldön át a kékbe hajló színskálán kerül meghatározásra. A mozdulatlan pontok általában zöld színt kapnak. A műholdtól távolodók kékes, míg a közeledők pirosas árnyalatot vesznek fel a sebesség függvényében. Egyes iskolák/szoftverkészítők ennek inverzét használják a sebességalapú színezésnél. Ajánlott e színezési módok következetes alkalmazása és feltüntetése azért, hogy segítse az adatok megfelelő értelmezését.



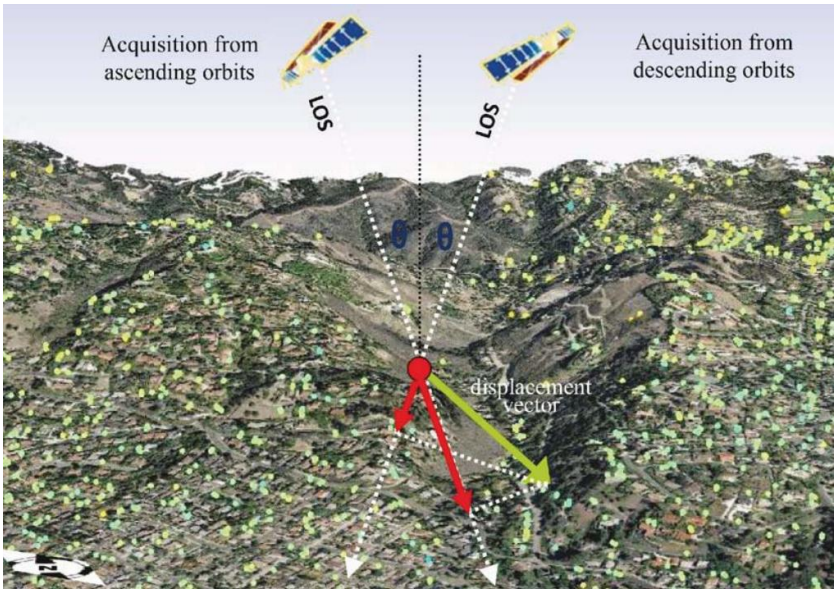
3. ábra: Stabil mintaterület (Sentinel-1 felvételekből számított) PS szóródpontjai és egy szóródpont elmozdulási idősora



4. ábra: Egy a műholdtól távolodó szerkezet (Sentinel-1 felvételekből számított) PS szóródpontjai és egy szóródpont elmozdulási idősora

Az egydimenziós LOS adatok mellett a fel- és leszálló pálya felvételeiből előállított adatok összevetésével az adott pontra vonatkoztatott kelet-nyugati, illetve vertikális irányú mozgásadatok előállíthatók (5. ábra). Fontos azt hangsúlyozni, hogy erre csak abban az esetben van lehetőség, ha a két pályán meghatározott szóródpont átlapol egymással (előre definiált kis távolságon belül esnek egymáshoz). További kitétel még, hogy az észak-déli

irányú elmozdulásokat ekkor nem vesszük figyelembe. A kelet-nyugati és vertikális irányú elmozdulások mellett az azok előállításához felhasznált LOS adatok megfelelő kiértékelése is szükséges, ugyanis a 3D mozgáskomponensek előállítása a trébeli felbontás csökkenésével jár(hat).



5. ábra: A le- és felszálló pályán előállított LOS adatok kombinációja [31]

6.4. A multitemporális InSAR feldolgozások felhasználhatósága az épületdiagnosztikában

Az alábbiakban ismertetett, a beruházások egyes fázisaihoz köthető InSAR alkalmazási lehetőségek egyben ajánlásnak tekinthetők. A technológia sokrétű megoldást kínál a beruházások monitoringozására, így annak alkalmazása az alábbiakban ismertetett esetekben javasolt.

6.4.1. Beruházási fázis - Előkészítés

Az InSAR technológia a beruházási fázis, ezen belül is az előkészítés során a beruházási helyszín állapotának (stabilitásának) megismerését hivatott támogatni. Ennek egyik sarokköve az esetlegesen már meglévő épületek vagy építmények állapotfelmérése, amely során a technológia részletes, mm-skálájú elmozdulás adatokat szolgáltathat az adott objektumról és akár több évtizedre visszamenően is feltárhatja annak mozgástörténetét.

A beruházás helyszínén lévő egyes közművek (pl. nagyfeszültségű villanyoszlopok) elmozdulásai általában közvetlenül detektálhatók, míg a föld alatt vezetettek állapotára (víz-, elektromos- és gázvezetékek, csatorna stb.) a felszínelmozdulás adataiból lehet következtetni. Az InSAR feldolgozások mivel az egyes beruházásoknál rendre nagyobb területre terjednek ki, kiválóan alkalmasak a beruházást érintő települési környezetben bekövetkező földtani veszélyforrások azonosítására. Az InSAR technológia által monitoringozni kívánt mozgástípusok megfigyelhetőségét és a hozzájuk kapcsolódó legrelevánsabb feldolgozási technikákat az alábbi táblázatban foglaljuk össze.

A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** első három oszlopa a mozgástípusokat listázza típuscsoportokra, típusokra és altípusokra bontva. A negyedik oszlop a mozgások

várható kiterjedését definiálja, kategóriái az interferometrikus eljárások alkalmazhatóságának tervezéséhez szükségesek éppúgy, mint az ötödik oszlop adatai. Ez utóbbi a mozgások jellemző lefolyási sebességét mutatja be a Cruden-Varnes (1996) által definiált mozgás-sebesség kategóriák alapján. A 6. táblázat utolsó oszlopa a vizsgált jelenség esetén alkalmazható méréstechnikákat listázza, amennyiben az adott mozgástípus interferometrikus technikákkal mérhető. A táblázatban az InSAR eljárások alkalmazhatóságát három kategóriába soroltuk:

- nem alkalmazható,
- korlátozottan alkalmazható,
- alkalmazható (zárójelben az alkalmazható InSAR technológia).

Mozgástípus csoport	Mozgástípus	Altípus	Kiterjedés	Sebesség	InSAR technológia alkalmazhatósága
lejtős tömegmozgás	omlás	hullás	kis méretű	gyors	korlátozottan alkalmazható
		leválás	kis méretű	gyors	korlátozottan alkalmazható
	csuszamlás	transzlációs	kis-közepes méretű	gyors-extrém lassú	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)
		rotációs	kis-közepes méretű	gyors-extrém lassú	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)
	kúszás		kis-közepes méretű	lassú-extrém lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	oldalirányú szétterjedés		kis-közepes méretű	gyors-extrém lassú	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)
	folyás		kis méretű	extrém gyors	nem alkalmazható
	összetett mozgás		kis-közepes méretű	extrém lassú-extrém gyors	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)
egyéb, természetes úton indukált	rogyás/beszakadás		kis méretű	extrém lassú-gyors	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)

mozgásformák	**üledékek térfogatváltozása**		kis-közepes méretű	extrém lassú-lassú	alkalmazható (MT-InSAR)
	üledékek tömörödése		kis-közepes méretű	extrém lassú-lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	földrengés kiváltotta elmozdulás		közepes-nagy méretű	extrém gyors	alkalmazható (DInSAR)
	tektonikus kéregmozgások (hosszútávú)		regionális	extrém lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	folyósodás		közepes-nagy méretű	extrém gyors	alkalmazható (korlátozottan alkalmazható)
antropogén mozgástípusok	**pincebeszakadás**		kis méretű	extrém lassú-gyors	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)
	bányászati süllyedés		kis-nagy méretű	extrém lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	felszín alatti létesítés		kis-közepes méretű	lassú-extrém lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	tározók letermelése/feltöltése		közepes-nagy méretű	lassú-extrém lassú	alkalmazható (MT-InSAR eljárások)
	épületek, építmények, támfalak, gátak, töltések, meddőhányók és hulladéklerakók mozgásai		kis-közepes méretű	extrém lassú-gyors	alkalmazható (DInSAR, MT-InSAR eljárások)

6. táblázat: Települési környezetben bekövetkező felszínmozgások rendszere és azok lehetséges megfigyelési módjai

Olyan beruházások esetén, ahol az MT-InSAR eljárásokkal az épületek építmények, vagy a beruházási terület a visszaverő pontok/felületek hiánya miatt nem, vagy kevésbé pontosan figyelhető meg, mesterséges sarokvisszaverők segítségével biztosíthatók a mérések. Ehhez passzív, vagy aktív eszközök telepítése szükséges a helyszínen. Ezekkel hosszútávon biztosítható az adott pont megfigyelhetősége. A sarokvisszaverők telepítése mindegyik fázisban releváns opció.

6.4.2. Beruházási fázis - Tervezés

A tervezési fázis során a technológia alkalmazhatósága megegyezik az előkészítési fázisban ismertetettekkel. Ugyanakkor fontos hangsúlyoznunk, hogy az InSAR és főleg a MT-InSAR eljárások monitoring jellegét, amelynek köszönhetően a korábbi vizsgálatok folytathatók, így a beruházási helyszín stabilitása a tervezési fázisban is folyamatosan nyomon követhető.

6.4.3. Beruházási fázis - Beruházás

A beruházások tényleges megkezdése a felszín vagy a már meglévő objektumok geometriai sajátosságainak megváltozásával jár, amely az InSAR eljárások alkalmazhatóságát szűk keretek közé szorítja. MT-InSAR megfigyelések csak a beruházás hosszabbtávú (több hónapos, éves) szüneteltetése esetén lehetséges, amíg a létrehozott épületek/építmények felszíne nem változik számottevően (az építés/építkezés szünetel).

Az InSAR technológia ugyanakkor nagyon hatékonyan használható annak feltárására, hogy a beruházás során az épület vagy építmény maga, vagy az ahhoz kapcsolódó munkálatok a beruházás közvetlen környezetére milyen hatást gyakorolnak. Pl.: a mélyépítési munkálatok lefolytatásához szükséges vízemelés felgyorsíthatja, vagy elindíthatja a környező épületek süllyedését; foghíjtelkek kialakításakor a szomszédos épületek elmozdulására számítani lehet. Mindezek kimutatása/nyomon követése lehetséges az InSAR technológiával.

6.4.4. Beruházási fázis - Garanciális időszak

A garanciális időszakban a fentiekben ismertetett valamennyi InSAR alkalmazási lehetőség releváns lehet a szakemberek számára. Különösen fontos itt kiemelni azt, hogy a garanciális időszak alatt a tervezett konszolidáció, vagy az egyéb okokból kialakuló nem várt elmozdulások azonosítására, monitoringozására is lehetőség van. Így pl. a kivitelező - beruházó között felmerülő vitás kérdések esetén mért kvantitatív adatokat szolgáltathat.

6.4.5. Üzemeltetés

A fentiekben ismertetett alkalmazási lehetőségeken túl - amelyek mindegyike releváns lehet az üzemeltetés során - ki kell emelnünk azt, hogy az építmények/épületek (és azok környezete is) folyamatosan megfigyelhetők maradnak (amennyiben felszínük állandó). Folyamatos monitoringjuk segítheti az üzemeltetőket az épület/építmény állapotának megítélésében és az abban bekövetkező változások detektálásában. Mindez különösen fontos lehet a szerkezetek elöregedésének az azt felgyorsító klímaváltozás tükrében.

6.5. A multitemporális InSAR feldolgozások előnyei és limitációi a szerkezetdiagnosztikában

A multitemporális InSAR feldolgozások épület- és építménydiagnosztikai felhasználása számos előnnyel járhat, ugyanakkor a technológia alkalmazását több tényező korlátozza. Az alábbiakban ezek rövid összefoglalását ismertetjük. Mindezeket a technológia alkalmazásakor ajánlott figyelembe venni.

A technológia épületdiagnosztikai felhasználásának előnyei:

- A rendszeresen ismétlődő műholdfelvételezések folyamatos és valódi monitoringot tesznek lehetővé, amely az épületbiztonságot növeli;
- Az ingyenesen elérhető C-hullámhosszú műholdfelvételek (ERS, Envisat, Sentinel-1) segítségével az egyes épületek 30 éves mozgástörténete feltárható az ország szinte egész területén;
- Az épületek múltbeli mozgástörténete más módszerrel nem rekonstruálható;
- A mozgásvizsgálat egyidőben nagy területen elvégezhető (költséghatékonyság);
- A geodéziai mérésekkel összevethető pontosság;
- Az InSAR monitoringra riasztási rendszer építhető;
- A vizsgálatok távolról elvégezhetők, nem szükséges a terepi jelenlét/felmérés;
- Az épületek és építmények életciklusának több fázisában támogatja a szakemberek munkáját.

A technológia korlátai:

- Egyes szenzorok térbeli felbontása korlátozott, így a szórópontok épülethez, építményhez, vagy épület-/építményrészhez való hozzárendelése nehézkes, egyes esetekben nem kivitelezhető;
- Hirtelen bekövetkező elmozdulások detektálása nem lehetséges, a technológia a lassú elmozdulások azonosítását teszi csak lehetővé;
- A SAR szenzorok oldalra néző geometriájának következtében több geometriai torzulás lép(het) fel (pl. előrövidülés, áthajlás, árnyékhatás);
- A LOS mérések egy dimenziósok, a le- és felszálló geometriák segítségével a kelet-nyugati és vertikális elmozdulások meghatározhatók, azonban az észak-déli irányú elmozdulásokra a kvázipoláris műholdrendszer nem érzékeny;
- Az épület iránya, mérete (geometriai sajátosságai) és környezetének felszínborítása befolyásolják annak detektálhatóságát;
- Egyes karbantartási munkálatok (pl. szigetelés felhelyezése stb.), vagy a szerkezet átépítése befolyásolja, vagy adott esetben ellehetetleníti a méréseket;
- A technológia az épületek külső geometriájának változását méri. Rejtve maradnak azok a folyamatok, amelyek az épületen belül zajlanak és a szerkezet geometriájára nem gyakorolnak hatást;
- A kereskedelmi műholdfelvételek beszerzése többletköltséggel jár, azonban egyes esetekben csak ezek megfelelő érzékenységűek és felbontásúak az adott szerkezet elmozdulásainak feltárására;
- A kereskedelmi felvételek elérhetősége (országos lefedettség hiánya) korlátozott.

7. DÖNTÉSTÁMOGATÓI MINTASABLON

A jelen építésügyi műszaki irányelv korábbi fejezetei bemutatták a technológiát (2. és 5. fejezet) és a kapcsolódó szakkifejezéseket (3. fejezet), valamint áttekintést adott az elvárt magas szintű feldolgozási folyamatról (6. fejezet). A jelen építésügyi műszaki irányelv emellett egy, a feldolgozási folyamat és a kapcsolódó szakmai ajánlat ellenőrzését/összevethetőségét lehetővé tevő sablont szándékozik nyújtani a technológia lehetőségeit kiaknázni kívánó építőipari szereplők számára.

A korábban tárgyalt feldolgozási módszerek, különböző eljárások egyértelművé teszik, hogy számos eljárás létezik a kívánt deformációs térképezési és monitorozási feladatok elvégzésére. Mérnöki szempontból fontos azonban, hogy az adott mérés/eredmény megismételhető legyen, amelyhez elengedhetetlen az adott feldolgozási folyamatnak és jellemzőinek - legalább a magasszintű - ismerete. Ez a különböző szakmai műhelyek közötti együttműködés során is szükséges és nem precedens nélküli. Ezért a jelen építésügyi műszaki irányelv mintasablon struktúrájának kialakításához az EGMS tudományos projektet megvalósító ORIGINAL konzorcium [12] által használt, a különböző InSAR feldolgozási folyamatok harmonizációját és összehasonlítását lehetővé tévő keretet vettük alapul [12], amelyet kiegészítettünk további paraméterekkel és információval.

Szakmai szempontból a javasolt mintasablon közérthető és könnyen összehasonlítható formában összegzi az adott feldolgozási folyamat/termék jellemzőit, támogatandó az InSAR technológia széleskörű, hazai, ipari fókuszú multidiszciplináris hasznosulását. Ez egyben segítségére lehet a technológia iránt érdeklődő ipari szereplőknek a piaci és/vagy tenderalapú döntéshozataluk során, ugyanis lehetővé teszi, hogy hasonló paraméterek és specifikációk mentén hasonlíthassák össze a különböző szakmai szereplők ajánlatait.

A jelen fejezetben ismertetjük az építésügyi műszaki irányelvben javasolt mintasablont és annak a formázási értelmezését is segítő magyarázó táblázatot. Emellett a jelen építésügyi műszaki irányelv 1. mellékletben elérhető a javasolt mintasablon magyar nyelvű példánya.

7.1. A mintasablon formázásnak és tartalmának értelmezése

A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**ban ismertetjük az építésügyi műszaki irányelvben bemutatásra kerülő mintasablon formázási jellemzőinek magyarázatát.

Jellemző	Magyarázat
Jellemző neve	Jellemző szakmai leírása, röviden kifejtve. Ha kell, hivatkozva [1] *A, Példa a leírásra/tartalomra* *B, Példa a leírásra/tartalomra (ha van)* Megjegyzés: Fontos, rövid, kiemelendő információ
Hivatkozások	APA-stílusú hivatkozás (https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/references/examples), feltüntetési sorrendben [1]

7. táblázat: A mintasablon példájának formázási magyarázata

7.2. Példa a mintasablon kitöltésére

Ebben a fejezetben ismertetjük az építésügyi műszaki irányelvben bemutatásra kerülő mintasablonnak egy lehetséges kitöltését. Ennek során a megadott jellemzőkhöz magas szintű leírás, számos példa és több kapcsolódó magyarázat tartozik. A példa jellegű

mintasablon formázásának értelmezését a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tartalmazza.

Jellemző	Magyarázat
Szoftver	Az interferometrikus feldolgozást végző szoftver(ek) neve(i). Pl. GAMMA, SARscape, StamPS, SNAP stb. Megjegyzés: A piaci szoftverek licencekötelesek lehetnek, amelynek szükséges a feltüntetése. Ha a feldolgozás különböző lépéseihez más-más szoftver került felhasználásra, annak feltüntetése is szükséges.
Algoritmus/eljárás neve	Az interferometrikus feldolgozást megvalósító munkafolyamat/algoritmus megnevezése (ha van). Pl. IPTA, E-PS, stb. Megjegyzés: Nem gyártóspecifikus megnevezés az eljárás magas szintű feltüntetésével (pl. PSI, SBAS stb.).
Felhasznált SAR adat	Felhasznált műhold, termékszint, termék, felvételezési mód, pályageometria (relatív orbit) és felvételezési időszak információjának feltűntetése. Pl. Sentinel-1A L1A IW 175, ASCENDING SLC, 2023-2025. évek között Megjegyzés: Több műhold adatainak felhasználása esetén mindegyik feltüntetése szükséges.
Feldolgozás felbontása	A feldolgozás térbeli felbontása, amelyben levezethető az eredmény. Pl. Teljes S1 L1A SLC felbontás (2,5x14,0 m) Magyarázat: Az ajánlat által teljesíthető maximális felbontás, a különböző eredménytermékek eltérhetnek ettől.
Bázisvonal konfiguráció	A multitemporális feldolgozás tér- és időbeli bázisvonal konfigurációjának a megnevezése. Pl. Egyreferenciás vagy redundáns multireferenciás, vagy egyéb Megjegyzés: Ha az ajánlat többféle módszerrel meghatározott eredményeket is tartalmaz, az összes feltüntetése szükséges.
WAP stratégia	A SAR felvételek felhasználási módja az interferometrikus eldolgozás előtt és alatt úgy, mint felvételezési egységekkénti (burst) feldolgozás, vagy mozaikolt teljes űrfelvétel használata. A felvételezési mód feltüntetése is szükséges. Pl. Több letapogatási sávú (burst) és letapogatási egységű (swath), mozaikolt teljes S1 IW felvétel, mintaterület kivágással Megjegyzés: A WAP stratégia feltüntetése a vizsgálni való mintaterület mérete és a felhasznált SAR felvétel felvételezési módjának fényében fontos, hogy ismert legyen.
Koregisztráció algoritmusa, időbeli referenciafelvétel	Az SAR felvételek térbeli átmintavételezési, koregisztrációs algoritmusainak megnevezése. Pl. Spektrális sokféleség és intenzitás offset tracking, időbeli referencia - 2024.01.05. (bázisvonal optimalizálás alapján).
Mérési pontok	Felbontástól függően az egyedi mérési pontoknak (PS, DS,

kiválasztása	egyéb) a meghatározási algoritmusa. Pl. interferometrikus koherencia alapján, időbeli változékonyság alapján Megjegyzés: Ha több technológiával kerül meghatározásra, azok felsorolása szükséges.
Referenciapont stratégia	A feldolgozás során alkalmazott lokális/globális referenciapont, amelyhez képest történik az összes mérési pont feldolgozása. Pl. apriori geodézia referenciapont alapján, interferometrikus koherencia alapján kiválasztva Megjegyzés: A reprodukálhatóság szempontjából kulcsfontosságú paraméter, ismerete mindenképpen szükséges.
Numerikus modellezésnél használt fázismodell	Az idősoros elemzésnél a mért differenciális interferometrikus fázis-idősornak a numerikus modellezése során alkalmazott függvényközelítésnek a fázis modellje. Döntően két kulcsfontosságú feladata is van: egyrészt levezeti a modellben meghatározott fázistagokat (deformáció, reziduálok-atmoszféra stb.), másrészt 1D-s fáziskicsomagolásra is alkalmazható. Pl. pontonkénti lineáris fázismodell Megjegyzés: Az alkalmazott fázismodell ismerete betekintést enged az eredménytermékek várható időbeli karakterisztikájába, például várhatók-e nem lineáris minták az idősorokban.
Fáziskitömörítési algoritmus	A feldolgozási folyamat során alkalmazott fáziskicsomagolási algoritmusok megnevezései. Pl. 2D MCF, idősoranalízis fázismodell alapú 1D-s fáziskicsomagolás
Atmoszferikus fázistag (APS) meghatározásának módszere	Az atmoszferikus fázistag (APS) meghatározásának a módja. Pl. térben hosszúhullámú komponensek meghatározása a reziduálokból Megjegyzés: Mivel az atmoszferikus fázistag könnyen befolyásolhatja az eredményeket, gyakori hibaforrás, ezért a meghatározási módjának ismerete fontos információ.
Atmoszferikus fázistag modellezése	A meghatározott APS fázistag modellezése matematikai/fizikai eszközzel. Pl. a meghatározott APS polinomiális közelítése, majd krigelés (lineáris becslési eljárás)
Egyéb felhasznált adatok	A feldolgozási folyamat során, a SAR felvételek mellett felhasznált egyéb eredménytermékek. Pl. SRTM 30m DEM
Eredménytermékek	Az ajánlat során szállítandó eredmények megnevezése. Pl. LOS elmozdulás idősorok és deformációs sebességek, teljes SLC felbontásban; Pl. helyi vertikális és (kelet-nyugati) horizontális komponensek adott felbontású szabályos rácson Megjegyzés: Az eredménytermékek mellett a kapcsolódó felbontás megjelenítése is szükséges.
Sajátosságok	Az ajánlatban szereplő sajátosságok, esetleges eltérései a

	vázolt magas szintű feldolgozási folyamattól.
Ajánlattevő szakmai/tudományos referenciái	Megjegyzés: Ahogy a fentebbi fejezetek és specifikációk mutatják, a mozgásvizsgálati célú InSAR feldolgozás magas hozzáadott tudásértéket követel meg. Emiatt javasolt, hogy a sablonnal ajánlatot tevő szakmai szereplő igazolja pár (max. 2-3 db) szakfolyóiratban megjelent, peer review folyamaton átesett szakcikke felsorolásával az InSAR technológiában való jártasságát. Pl. szemléltetési célból, példaként lásd alább a jelen építésügyi műszaki irányelv szerzőinek egy-egy publikációját Magyar Bálint (2022): Coseismic DInSAR Analysis of the 2020 Petrinja Earthquake Sequence. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 66(3), 990–997, https://doi.org/10.3311/PPci.19674 Kovács István Péter - Giulia Tessari - Fumitaka Ogushi - Paolo Riccardi - Ronczyk Levente - Kovács Dániel Márton – Lóczy Dénes - Paolo Pasquali (2022): Do We Need a Higher Resolution? Case Study: Sentinel-1-Based Change Detection of the 2018 Hokkaido Landslides, Japan. Remote Sensing, 14(6), 1350. https://doi.org/10.3390/rs14061350
Technológia hivatkozásai	Megjegyzés: A sablonban feltüntetett technológiá(k)hoz tartozó főbb tudományos publikációk (max. 3-5 db). Pl. lásd alább -- Alessandro Ferretti - Claudio Maria Prati - Fabio Rocca (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1), 8-20. doi:10.1109/36.898661.

8. táblázat: Mintasablon (példa)

8. HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK

8.1. Hivatkozott dokumentumok

[1] Juliet Biggs - Tim Wright: How satellite InSAR has grown from opportunistic science to routine monitoring over the last decade. Nature Communications, 11 (2020), 1-4.

[2] Magyar Mérnöki Kamara és Magyar Építész Kamara: Építési beruházási folyamatok rendszere (szakmai ajánlás) 2018

[3] ESA Earth Online, „ERS” 2025 [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/missions/ers

[4] ESA Earth Online, „ENVISAT” 2025 [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/missions/envisat

[5] ESA Sentinel Online, „Sentinel-1” 2025 [Online]. Available: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-1

[6] ESA Earth Online, „ALOS” 2025 [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/missions/alos

[7] ESA Earth Online, „TerraSAR-X and TanDEM-X” 2025 [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/missions/terrasar-x-and-tandem-x

[8] ESA Earth Online, „COSMO-SkyMed” 2025 [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/missions/cosmo-skymed

[9] Nestor Yague-Martinez - Pau Prats-Iraola - Fernando Rodriguez Gonzalez - Ramon Brcic - Robert Shau - Dirk Geudtner: Interferometric processing of Sentinel-1 TOPS data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54 (2016), 2220-2234.

[10] John Peter Merryman Boncori: Measuring coseismic deformation with spaceborne synthetic aperture radar: A review. Frontiers in Earth Science, 7 (2019), 16.

[11] Ramon F. Hanssen: Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Springer, 2001

[12] Alessandro Ferretti - Emanuele Passera - Dr. Renalt Capes: EGMS Algorithm Theoretical Basis Document - European Ground Motion Service. 2023

[13] Mario Costantini: A novel phase unwrapping method based on network programming. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36 (1998), 813-821.

[14] Richard M. Goldstein - Howard A. Zebker - Charles Werner: Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping. Radio Science, 23 (1988), 713-720.

[15] Paolo Berardino - Gianfranco Fornaro - Riccardo Lanari - Eugenio Sansosti: A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40 (2002), 2375-2383.

[16] Alessandro Ferretti - Claudio Maria Prati - Fabio Rocca: Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39 (2001), 8-20.

[17] Satoshi Fujiwara - Takuya Nishimura - Makoto Murakami - Hiroyuki Nakagawa - Mikio Tobita - Paul A. Rosen: 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt. Iwate detected by SAR interferometry. Geophysical Research Letters, 27 (2000), 2049-2052.

[18] Thomas Fuhrmann - Matthew C. Garthwaite: Resolving three-dimensional surface motion with InSAR: Constraints from multi-geometry data fusion. Remote Sensing, 11 (2019), 1-21.

[19] Charles Werner - Urs Wegmüller - Tazio Strozzi - Andreas Wiesmann: Interferometric point target analysis for deformation mapping. In. Proceedings of IGARSS, 2003

[20] Andrew Hooper: A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. Geophysical Research Letters, 35 (2008), 1-5.

[21] Michele Crosetto - Oriol Monserrat - María Cuevas-González - Núria Devanthéry - Bruno Crippa: Persistent scatterer interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115 (2016), 78-89.

[22] Alessandro Ferretti - Giuliano Savio - Riccardo Barzaghi - Alessandra Borghi - Sergio Musazzi - Fabrizio Novali: Submillimeter accuracy of InSAR time series: Experimental validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45 (2007), 1142-1153.

[23] Carlo Colesanti - Alessandro Ferretti - Claudio Maria Prati - Fabio Rocca: Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique. Engineering Geology, 68 (2003), 3-14.

[24] Francesco Casu - Michele Manunta - Antonio Pepe - Riccardo Lanari: A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data. Remote Sensing of Environment, 102 (2006), 195-210.

[25] Gert J. van Zwieten - Freek J. van Leijen - Ramon F. Hanssen - Chris Bremmer - Marco Kleuskens - Sterre Dortland: Product validation: Validation in the Amsterdam and Alkmaar area. GMES Terrafirma, 2008

[26] Kirsi Karila - Ulla Kallio - Hannu Sirviö: A comparison of precise leveling and persistent scatterer SAR interferometry for building subsidence rate measurement. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2 (2013), 797-816.

[27] Roberta Bonì - Stephanie Bricker - Claudia Meisina - Jennifer M. Mckinley: A methodology to detect and characterize uplift phenomena in urban areas using

Sentinel-1 data. Remote Sensing, 10 (2018), 1-23.

[28] Francesca Cigna - Gerardo Herrera - Silvia Bianchini - Antonio Pepe: Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico. Remote Sensing of Environment, 253 (2021), 1-23.

[29] Michele Crosetto - Oriol Monserrat - María Cuevas-González - Bruno Crippa - Núria Devanthéry: Persistent scatterer interferometry: Potential, limits and initial C- and X-band comparison. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76 (2010), 1061-1069.

[30] Gianfranco Gagliardi - Federico Raspini - Constantinos Loupasakis - Silvia Bianchini - Sandro Moretti: Testing Sentinel-1 SAR interferometry data for airport runway monitoring: A geostatistical analysis. Sensors, 21 (2021), 1-28.

[31] Alessandro Ferretti: Satellite InSAR Data. Reservoir Monitoring from Space. EAGE Publications, 2014

[32] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3110 rendelete (2024. november 27.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról és a 305/2011/EU rendelet hatályon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg - CPR rendelet)

[33] Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg)

8.2. Az építésügyi műszaki irányelvhez kapcsolódó releváns források

8.2.1. Jogszabály

2001. évi LXIV. törvény a kulturális örökség védelméről

2023. évi C. törvény a magyar építészetről

2012. évi XLVI. törvény a földmérési és térképészeti tevékenységről

327/2015. (XI. 10.) Korm. Rendelet az egyéb célú földmérési és térképészeti tevékenységgel összefüggő szakmagyakorlás részletes szabályairól

93/2012. (V. 10.) Korm. Rendelet az utak építésének, forgalomba helyezésének és megszüntetésének engedélyezéséről

97/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet az egyes kiemelt jelentőségű vízilétesítmények rendszeres műszaki megfigyeléséről

25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet az Építési Beruházási Folyamatok Rendszeréről és a Tervezői Szolgáltatások Rendszeréről, valamint az állami építési beruházások minőségbiztosításában közreműködő, 100%-ban állami tulajdonban álló gazdasági társaság kijelöléséről

8.2.2. Szabvány

ISO/DIS 18674-9 Geotechnical investigation and testing - Geotechnical monitoring by field instrumentation Part 9: Measurement of displacements by geodetic means (előkészítés alatt álló és konzultációs fázisban lévő ISO szabvány-tervezet)

9. MELLÉKLET

9.1. A magas szintű InSAR ajánlat mintasablonja

Jellemző	Magyarázat
Szoftver	
Algoritmus/eljárás neve	
Felhasznált SAR adat	
Feldolgozás felbontása	
Bázisvonal konfiguráció	
WAP stratégia	
Koregisztráció algoritmusa, időbeli referenciafelvétel	
Mérési pontok kiválasztása	
Referenciapont stratégia	
Numerikus modellezésnél használt fázismodell	
Fáziskitömörítési algoritmus	
Atmoszferikus fázistag (APS) meghatározásának módszere	
Atmoszferikus fázistag modellezése	
Egyéb felhasznált adatok	

Eredménytermékek	
Sajátosságok	
Ajánlattevő szakmai/tudományos referenciái	
Technológia hivatkozásai	

9. táblázat: A magas szintű InSAR ajánlat mintasablonja

A MŰHOLDRADAR INTERFEROMETRIÁVAL TÁMOGATOTT ÉPÜLETDIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁS
című építésügyi műszaki irányelvet a szakmai szervezetek véleményezése mellett összeállította, a tervezet előkészítéséért felelős:

Közlekedéstudományi és Építésügyi Minőségellenőrző Intézet
1119 Budapest, Than Károly utca 3-5.

Telefon: +36 (1) 371 5936

E-mail: emszb@kti.hu

Honlap: www.kti.hu

A kiadvány megjelenése a Közlekedési és Beruházási Minisztérium támogatásával valósult meg.