

Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata ?.**

Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze

**MMK FAP azonosító:
2021/101-GT**

Budapest, 2021. október

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának gondozásában, a 2021. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

Borbély Dániel
Hudacsek Péter
Karner Balázs
Kovács László
Sándor Csaba

Lektorálta:

Scheuring Ferenc

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló.....	8
2. A monitoring célja, használatának lehetőségei.....	10
3. Szabványkörnyezet ismertetése.....	21
4. Monitoring, mint a geotechnikai kockázatkezelés eszköze	30
4.1. Kockázatközösség bemutatása.....	30
4.1.1. Beruházó, Építtető	31
4.1.2. Tervező	33
4.1.3. Vállalkozó-kivitelező.....	34
4.2. A kivitelezés.....	35
4.3. Kockázat.....	36
4.4. Elvárások, szerepek, lehetőségek.....	37
4.5. Kockázatkezelés módjának lehetőségei, fórumok	39
4.5.1. A kockázatbecslés	40
4.5.2. Monitoring, mint a kockázatkezelés része	42
4.5.3. A megfigyeléses módszer.....	44
5. A monitoring rendszerek ismertetése.....	51
5.1. Az alkalmazandó monitoring-elemek, műszerek kiválasztásának és telepítésének alapelvei.....	51
5.1.1. Milyen jellemzőket és folyamatokat monitorozunk?	51
5.1.2. Az adatgyűjtés módja.....	52
5.1.3. Méréshatár, pontosság, felbontás	53
5.1.4. Térbeli lefedettség, reprezentativitás, felskálázhatóság.....	55
5.1.5. A monitoring elemek élettartama, hosszú távú stabilitása.....	56
5.2. A geotechnikai gyakorlatban alkalmazható legfontosabb monitoring-elemek, műszerek típusai és jellemzői	57
5.2.1. Elmozdulásmérések.....	58
5.2.1.1. Elmozdulásmérések geodéziai módszerrel	58
5.2.1.2. Konvergenciamérések.....	59
5.2.1.3. Fúróluk-extenzométeres mérések	61
5.2.1.4. Inklinométeres mérések	68

5.2.1.5.	Süllyedésmérések	72
5.2.1.6.	Repedéstágasság mérése	73
5.2.1.7.	Dőlésmérések	75
5.2.2.	Deformáció- vagy alakváltozás mérések	76
5.2.2.1.	A mérőbélyeges (rezisztív) deformációmérési módszer.....	77
5.2.2.2.	A rezgőhúr elvén működő alakváltozás mérési módszer	80
5.2.3.	Nyomás-, feszültség- és erőmérések	84
5.2.3.1.	Nyomásmérések szerkezet és talaj határfelületén.....	84
5.2.3.2.	Horgonyerők alakulásának mérése.....	86
5.2.3.3.	Pillérfeszültség-változások monitorozása	89
5.2.4.	Kiegészítő környezeti információk mérése	92
5.2.4.1.	Hőmérséklet mérése.....	92
5.2.4.2.	Vízszint, víznyomás mérése.....	94
5.2.4.3.	Rezgés- és gyorsulásmérés	95
5.2.5.	A jövő geotechnikai monitoring elemei.....	99
5.2.5.1.	Deformációk és hőmérsékletváltozások mérésére alkalmas optikai kábelek.....	99
5.2.5.2.	Braggmeter optikai technológia alkalmazása.....	107
5.2.6.	Adatgyűjtő.....	109
6.	Az üzemelő monitoring rendszerek - esettanulmányok.....	110
6.1.	Munkatér-határolás szomszédos épülettel.....	110
6.1.1.	A munkatér-határoló szerkezetre jutó terhek és a szerkezet reakciója.....	111
6.1.2.	A szerkezetre ható terhek mobilizálásához szükséges elmozdulás.....	114
6.1.3.	Munkagödör kiemelés hatása a környezetre	116
6.1.4.	Beavatkozás tervezése.....	117
6.1.5.	A pontszerű mérések hiányosságai, időbeliség	119
6.2.	Természetes rézsűk és vonalas létesítmények	120
6.3.	Alagutak építés közbeni és hosszú távú megfigyelése.....	123
6.3.1.	Az NRHT és az építési projekt rövid bemutatása.....	123
6.3.2.	A kamraépítési fázisok ellenőrzésére alkalmazott tranziens geotechnikai monitoring rendszer.....	125
6.3.3.	A hosszú távú stabilitás ellenőrzésére szolgáló mérőrendszerek és azok tapasztalatai	132
6.4.	Egyéb alkalmazási területek	133

7. Útmutató megfigyelési terv összeállításához	137
7.1. Monitoring terv - Minta	138
7.1. Monitoring Jelentés - Minta	141
8. Irodalomjegyzék.....	152

1. Vezetői összefoglaló

A megfigyelés, a monitoring rendszerek alkalmazása a hazai mélyépítési gyakorlat fontos eszköze a kiemelt kockázatú tervezési, kivitelezési feladatoknak és egyre jobban terjed a hagyományos projektek esetében is a kockázatok - és ezzel a költségek - csökkentése érdekében.

Jelen segédlet a projektekben résztvevők teljes körét megszólítja, hiszen a kockázatokat közösen viselik, a Megrendelő - Építtető, a Tervező, a Kivitelező a projekt megvalósulása során egymásra vannak utalva.

Esettanulmányokkal alátámasztott módon bemutatjuk az egyes eszközöket, módszereket, berendezéseket, a mindennapi építési munkákban szokásosan alkalmazott monitoring rendszereket. A lehetséges eszközök, módszerek ismertetésével segítséget kívánunk nyújtani a projektszereplők (tehát nem csak a tervező kollégák) részére, a lehetőségek számbavételével.

A választott módszert illetően pedig segítséget kívánunk nyújtani a célszerű telepítési mennyiségek, telepítési helyek, mérési gyakoriság vonatkozásában, hogy a projektszereplők, a beruházó, illetve a tervező kollégák eredményesen tudják a megszerzett ismereteket alkalmazni.

A segédlet bevezetőjében a mérnöki tevékenység alapfogalmait ismertetjük, és idézzük a geotechnika szakági területére vonatkozó definíciót.

A témában elismert külföldi szakértők publikációi alapján számba vesszük a geotechnikai/szerkezeti monitoring szerepét az építési folyamatokban, ismertetjük azokat a legfontosabb okokat, melyek miatt célszerű monitoring tevékenységet végezni.

A tanulmány további részeiben előbb áttekintjük a megfigyelésre, a monitoringra vonatkozó szabványokban fellelhető információkat, a jogszabályi alapfogalmakat, majd egy teljes fejezetet szenteltünk a kockázatközösség bemutatására, az egyes projektszereplők elvárásainak, szerepének, felelősségének ismertetésére, annak érdekében, hogy tisztázni tudjuk, hogy az adott projektfázisban ki, milyen mértékben tud részt venni a kockázatok kezelésében. Ehhez kapcsolódóan a kockázatkezelés módszerét ismertetjük különösen a folyamatban a monitoring tevékenység betöltött szerepére összpontosítva. Noha a tervezési feladatok túlnyomó többsége esetében a számításon alapuló módszert alkalmazzuk, de a megfigyeléses tervezési módszer használata is célszerű, melynek alkalmazásánál a monitoring tevékenység szerepe elsőrendű fontosságú.

A tanulmány monitoring rendszereket ismertető (5.), technikai fejezetét két alfejezetre osztottuk, melyek:

- 1.) a monitoring tevékenység előkészítése, a műszerek kiválasztásának szempontjai és a telepítések alapelvei;
- 2.) a fő monitoring - elemek, műszertípusok, jellemzők (továbbá a jövőbeli fejlesztési irányok áttekintése);

A tanulmány 6. fejezetében esettanulmányokon keresztül mutatunk be példákat egy – egy sikeres projektre a munkatér-határolás, az alapozások mozgásvizsgálata, a természetes rézsűk, vonalas létesítmények és az alagútépítés tématerületekről.

A tanulmány 7. fejezetében - konkrét példán keresztül - útmutatót adtunk meg a megfigyelési terv elkészítéséhez, a gyakorló mérnök kollégák részére.

Kívánjuk, hogy eredményesen forgassák a tanulmányt az építési projektekben szereplő résztvevők, azok a mérnök kollégák, akik bármely szerepkörben az építési tevékenység részesei.

a szerzők

2. A monitoring célja, használatának lehetőségei

Geotechnikai monitoring tevékenység végzése GT tervezői, illetve SzÉS8 szakértői jogosultsággal végezhető a 266/2013. (VII. 11.) Korm. Rendelet értelmében.

A monitoring mérések szerepe az építési folyamatokban

A monitoring tevékenységet az építési folyamatok kapcsán két fő, időben jól elkülöníthető kategóriára bonthatjuk.

A talaj-, illetve kőzetrétegek megbontásával járó építési tevékenység során az alátámasztásukat, egyensúlyi helyzetüket veszített rétegek fokozatosan deformálódva, egy tranziens energetikai folyamat révén jutnak el új egyensúlyi állapotukba. E folyamatok megfelelő műszerekkel történő nyomon követése és leképezése (a továbbiakban: tranziens monitoring) alapvető információt ad a tervezés és kivitelezés során figyelembe veendő reális talaj-, illetve kőzetviszonyok megértéséhez.

A hosszú távú (általában több évtizedes) fenntartás, üzemeltetés során az épített létesítmények állaga, mechanikai stabilitása folyamatosan változik (többnyire romlik). Ennek sokféle oka lehet, például a létesítményt befogadó földtani közeg időfüggő (reológiai) viselkedése, az alkalmazott építő-, illetve biztosítóanyagok korrózió okozta teherviselőképesség-csökkenése, a talajok/kőzetek degradációja, a külső terhelések eseti megnövekedése (pl. más létesítmény kialakítása a mechanikai hatásövezeten belül) vagy periodikus változása (pl. szezonális termikus hatások, pórusvíznyomás-ingadozás) stb.. Mindezen hatások eredőjeként magában a mérnöki létesítményben, illetve az azt befogadó talaj/kőzetkörnyezetben a tranziens változásoktól általában jól elkülöníthető többlet-deformációk, illetve többlet-terhelések jelennek meg. Ezek alakulásának monitorozása (a továbbiakban: hosszú távú monitoring) alapvető a létesítmény aktuális biztonsági, stabilitási szintjének megállapításához. Azon érzékeny, speciális funkciójú létesítményeknél pedig, ahol különösen fontos, hogy a problémát még a tönkremenetel előtt felismerjük, általában jogszabály vagy hatósági engedély is előírja a hosszú távú monitoring tevékenység folytatását, ami az ún. öregedéskezeléshez is alapvető követelmény.

Az építés alatti (tranziens) és hosszú távú monitoring tevékenységek

A monitoring tevékenységet az építési folyamatok kapcsán két fő, időben jól elkülöníthető kategóriára bonthatjuk:

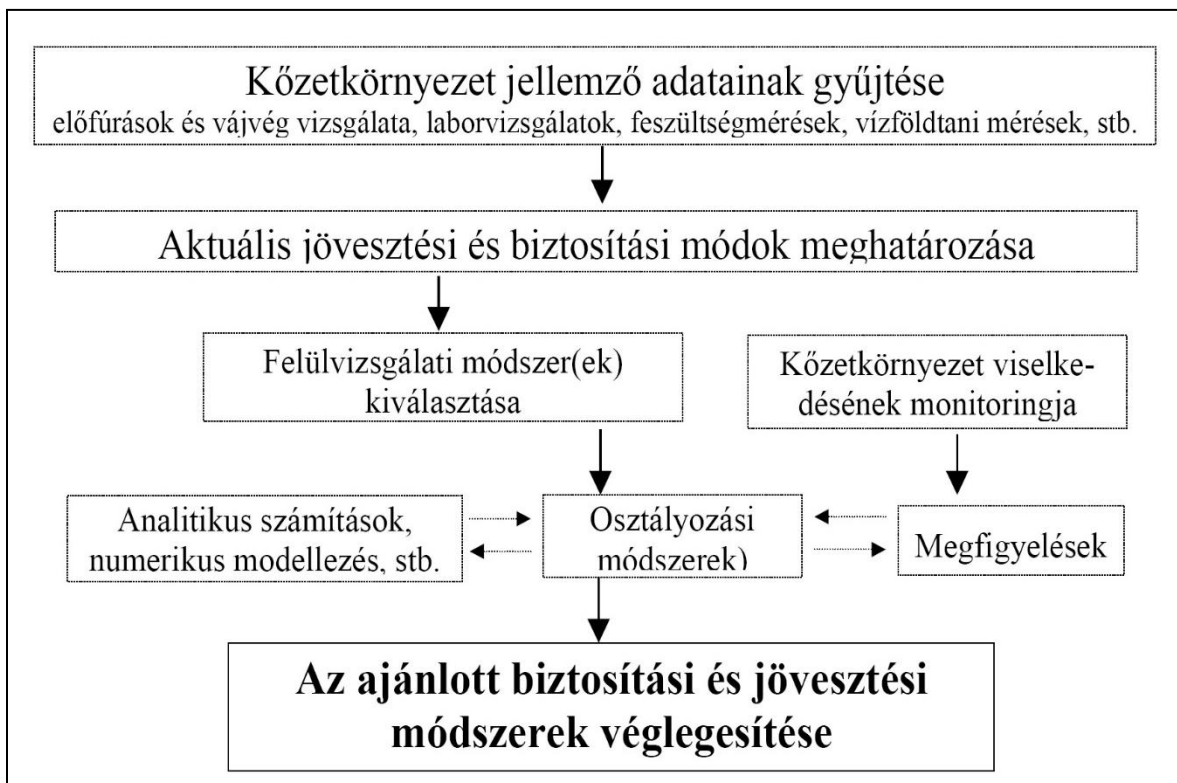
- Tranziens monitoring (az építési tevékenység során végzett tevékenység) és
- A hosszú távú (általában több évtizedes) fenntartás, üzemeltetés során végzett tevékenység.

A fenti felosztásnak megfelelően az időben elkülönített kétféle monitoring tevékenység fontosabb feladatait a következők szerint foglalhatjuk össze:

Az építési tevékenység kockázatainak csökkentése, a kivitelezési munkák során az emberélet és vagyonbiztonság, valamint az épített környezet védelme a kapott monitoring-adatoknak a tervezők által meghatározott észlelési küszöbszintekkel való összevetésével (tranziens monitoring);

A tervezési számítások (geotechnikai, tartószerkezeti) során felvett talaj-, kőzet-, illetve szerkezeti paraméterek, továbbá az alkalmazott tervezési, méretezési módszerek megfelelőségének igazolása és ellenőrzése (back-analysis adatigényének kielégítése) és az esetleges javítás, optimalizálás érdekében (többségében tranziens, kisebb részben hosszú távú monitoring). Az alábbi, 1. ábra azt szemlélteti, hogy egy konkrét tervezési metodika alkalmazása során a tranziens monitoring milyen szerepet játszik ebben;

A létesítmény degradációs és terhelésváltozási folyamatainak követése, az aktuális biztonsági szint elemzéséhez szükséges adatok biztosítása (hosszú távú monitoring);



1. ábra. A geotechnikai monitoring szerepe az empirikus, kőzettest-osztályozáson alapuló létesítménytervezés folyamatában [5].

Fontos kiemelnünk, hogy a jelen dokumentum elsősorban az építési monitoring (tranziens monitoring) rendszerekkel foglalkozik, melyek célja elsődlegesen a

talaj/kőzet, a pórusvíz/rétegvíz és az épített szerkezet kölcsönhatásának megfigyelése, és csak alárendelten foglalkozik a hosszú távú megfigyelésekkel. A dokumentum nem tartalmazza az elkészült szerkezetek minőségellenőrzési, minőségbiztosítási feladatait (pl.: cölöpök folytonosság-vizsgálata stb.) vagy pl. a megépült szerkezetek hosszú távú megfigyelési feladatait.

Milyen céllal végezzünk geotechnikai/szerkezeti monitoring méréseket?

Annak ellenére, hogy a geotechnikai mérnökök közül sokan tapasztalták már, hogy a monitoring rendszerek alkalmazása milyen előnyökkel jár, megbízóik részére ezekre az előnyökre nem tudnak olyan módon rávilágítani, hogy ők belátva ezek hasznosságát a projekt értéket képviselő részeként tekintsenek erre. Ennek a munkának a célja, hogy - részben a kockázat menedzsment oldaláról megvilágítva - a projektek szereplői részére olyan fényben tüntesse fel a geotechnikai monitoring rendszereket, amely által megértik a projekt és maguk számára az ezek által hordozott értékeket.

Az építőmérnöki tevékenységek során számos ismeretlennel kell dolgoznunk, sokszor hiányos adatokból. Ez különösképpen igaz akkor, hogyha sűrűn beépített városi területeken dolgozunk, és a tevékenység jelentős része a talajkörnyezetben végzett építési munkálatokat fed le. Az említett ismeretlenek és hiányos adatok jelentős bizonytalanságot hoznak a projektbe, amely bizonytalanságok némelyike olyan események bekövetkezéséhez kötődik, ami jelentős következményekkel járhat a megépült szerkezetek teljesítőképességére nézve. Ezek a jelentős következmények általában negatívak, a szerkezet nem várt viselkedésében mutatkozhatnak meg, s a projekt megvalósításának időbeliségét, költségeit, a szomszédos építményeket, közműveket, a projekten dolgozókat és harmadik felet is érinthetnek. Ezekre a nem várt viselkedésekre gyakran vis-majorként hivatkozunk, ami azonban egyre kevésbé védhető állásponttá vált az elmúlt időkben. Amennyiben a nem várt viselkedésnek gazdasági következményei vannak, és a probléma jogi útra terelődik a vis-major helyett egyre inkább a kivitelezők és a tervezők felelőssége kerül előtérbe. Így belátható, hogy a projekt minden szereplője abban érdekelt, hogy ezeket a bizonytalanságokat csökkentse. A geotechnikai feladatok természetéből adódóan bizonytalanságok a többi építőmérnöki területhez képest még hangsúlyosabban vannak jelen. Azaz a bizonytalanságok csökkentésére valamilyen módot célszerűnek látszik találni.

A valós és a számított, vagy várt viselkedés közötti eltérés mértéke indikátora annak, hogy a számítás, modellezés mennyire adja vissza a valóságot, azaz a bizonytalan tényezők hogyan befolyásolják a valós viselkedést. A számított viselkedés valamilyen

modellezés eredménye, és mint ilyen a tervezés eredményeként adott, míg a valós viselkedés méréssel ismerhető meg. Ez a mérési tevékenység az építési monitoring.

Az építési monitoring tevékenység magában foglalja a monitoring rendszerek megtervezését kiépítését üzemeltetését, az adatok kinyerését, ezek értékelését és az eredmények alapján következtetések levonását.

Az építési, különös tekintettel a geotechnikai monitoring céljaként Duncliff (1988, 1993) a 16 különböző okot azonosított, melyek az alábbiak:

- Közelgő károsodás előrejelzése
- Figyelmeztetések és riasztások
- Ismeretlen tényezők feltárása
- Kritikus tervezési döntések helyességének megítélése
- A kivitelezési eszközök és módszerek megfelelőségéről való meggyőződés
- A környező építmények károsodásának minimalizálása
- A kivitelezés ütemezése
- Az üzemeltetés irányítása
- A javítási célú beavatkozások célzottá tétele
- A szerkezet teljesítőképességének javítása
- A szakmai ismeretek növekedése
- A viselkedés dokumentálása a károsodások értékeléséhez
- A résztvevők informálása
- Hatósági követelmények kielégítése
- Jogi eljárásokba való "bevonódás" kockázatának csökkentése
- A megfelelőség kimutatása

Közelgő károsodás előrejelzése

Geotechnikai szerkezetek károsodásának katasztrofális, emberéletekben és Euro százazrekben mérhető következményei lehetnek, s a végeredmény szempontjából érdektelen, hogy ehhez tervezési, kivitelezési hibák és az ismeretlenek nem megfelelő kezelésének milyen kombinációja vezetett. A monitoring rendszer alkalmazásával a közelgő károsodás előjelei alapján megelőző beavatkozásokra nyílhat lehetőség, de legrosszabb esetben is időben megvalósuló kiürítésekkel a katasztrófa mértéke csökkenthető. Egy jó monitoring program ismerve tehát, hogy az ismeretlen környezeti feltételek kedvezőtlen alakulása esetén a lehető legkorábban képes jelt adni erről, minél szélesebb cselekvési időszávot hagyva a beavatkozásra. Pl. egy völgyzáró gát tönkremenetelének jelzésére nem jó megoldás a víz, mentett oldalon való megjelenésének ellenőrzése, mivel ez jó esetben is csak néhány percet ad a

völgyben lévő települések lakosságának kimenekítésére, míg egy nyúlásmérőkből, piezométerekből, akusztikus-emisszió érzékelőkből álló rendszer akár órákkal, napokkal a bekövetkező katasztrófa előtt képes jelzést adni.

Figyelmeztetések, riasztások

A geotechnikai monitoring rendszerek figyelmeztethetnek, hogy bizonyos teljesítmény indikátorok valamely határértéket túlléptek, s így, akár tervezett, akár rendkívüli beavatkozásra van szükség a szerkezet megmentése érdekében, vagy annak elkerülhetetlen tönkremenetele esetén a következmények minimalizálása céljából. Továbbá ebbe a kategóriába tartoznak a megfigyeléses módszer változatainak alkalmazásához kapcsolódó teljesítőképeség indikátorok (elmozdulások, alakváltozások, pórusvíznyomások stb.) figyelmeztetési és riasztási szinteket jelentő határértékekhez viszonyított aktuális állapotának ellenőrzési, melyek alapján a megfigyeléses módszer változatától függően megerősítések (további dúc, vagy horgony sorok beépítése) rendelendők el, vagy egyszerűsítések (az előbbiek részleges elhagyása) tehetők.

Ismeretlen tényezők feltárása

A geotechnikus, tevékenysége során minden esetben nagy mennyiségű ismeretlennel találkozik, nincs befolyása az anyagra, amivel dolgoznia kell, azt természet hozta létre és nagymértékű változatosságot mutat. A leg gondosabb feltárás is elmulaszthat kimutatni nagynyomású rétegvizeket, lokális gyenge zónákat, amelyek a későbbiekben a szerkezet nem várt viselkedéséhez, legrosszabb esetben tönkremeneteléhez vezethetnek. Az ismeretlenek kezelésére válasz lehet a konzervatív tervezési gyakorlat követése vagy a nagyobb kockázat felvállalása. Amennyiben érthető módon ezek közül egyik sem tűnik (gazdasági, illetve etikai szempontból) a társadalom számára elfogadható lehetőségnek, úgy a monitoring egy kedvező megoldást jelenthet, mert a megfigyeléses módszer alkalmazásával a túlzott tervezői óvatosság elkerülhető, miközben a kockázatok a valós viselkedés megismerése révén kezelhetőek maradnak.

Kritikus tervezési döntések helyességének megítélése

A tervezési fázisban általában nem indokolhatók a minden határon túlmenő feltérési költségek, annak céljából, hogy olyan feltérési program valósuljon meg, amely gyakorlatilag minden bizonytalanságot kiküszöböl, de legalábbis a bizonytalanságokat nagyon alacsony szintre szorítja. Ezért a tervezőnek bizonyos feltételezésekkel kell élnie. Elképzelhetőek olyan esetek, amelyekben egy-egy hibás feltételezésnek a rendszer viselkedésére nézve kritikus hatása van. Ilyen esetekben

célszerű az adott feltételezés megfelelőségének igazolására monitoring rendszert betervezni, és egyúttal olyan terveket készíteni, amelyek lehetőséget biztosítanak a beavatkozásra abban az esetben, ha monitoring rendszer a feltételezettől eltérő környezeti viszonyokkal magyarázható viselkedést igazol vissza. Egy konszolidációs probléma kezelésekor pl. jelentősége lehet egy vékony homokrétegnek, mely két agyagréteg közé települt. Amennyiben ez a réteg kommunikál egy szabad víztesttel a réteg drénként funkcionál, ellenben, ha egy nagy kiterjedésű telített homok lencséről van szó, akkor ezt nem lehet számításba venni és a konszolidációs idő sokszorosára növekedhet. A konzervatív tervezés a terület drénszalagokkal való ellátását írhatja elő, ami, ha a homokréteg figyelembe vehető lett volna drénként, felesleges költségként jelenik meg. A feltérési program bővítése ebben az esetben költséges próbaszivattyúzásokat jelenthetne, míg a monitoring néhány piezométer telepítésével megvalósítható. És a döntés, hogy a szalagdrének telepítésére szükség van-e a mérési eredmények függvényében hozható meg.

A kivitelezési eszközök és módszerek megfelelőségéről való meggyőződés

Bizonyos esetekben a tervben előírt követelmények betartásának ellenőrzésére lehet szükség. Pl. elő lehet írni, hogy egy alaplemez alatt olyan nyomásszint tartandó fenn a kivitelezés során, hogy a felúszással szembeni biztonság mindenkor legalább 1,1 legyen. Ennek teljesülése egy teljes alaplemezre vonatkozólag csakúgy, mint az előző példában, néhány piezométer kúttal ellenőrizhető lehet. Amennyiben a nyomásviszonyok olyanok, hogy a felúszással szembeni biztonság bizonyos területeken az előírt érték alá csökkenne, további kutak telepítésével vagy a kitermelés intenzitásának növelésével biztosítható, hogy az előírt biztonság mindenhol biztosítva legyen.

A környező építmények károsodásának minimalizálása

Alagútépítéskor, mély munkagödrök kinyitásakor az építési tevékenység következtében a munkaterület határain túlnyúló befolyási zóna alakult ki. Az ebben lévő építmények bizonyos határértéket meghaladó elmozdulások esetén károsodhatnak. Az, hogy a kivitelező a tevékenysége során betartotta-e az előírt határértékeket elmozdulásmérésekkel lehet igazolni. Így egyrészt megelőzhetők a túlzott alakváltozások kifejlődései pl. azáltal, hogy a monitoring rendszer által jelzett mozgásokra válaszul szükség esetén további merevítéseket építenek be, másrészt esetleges jogviták esetén igazolható, hogy a kivitelezés megfelelően történt, adott esetben az érintett épület egyáltalán nem mozdult meg, s a vélelmezett károk így nem köthetők a kivitelezési tevékenységhez.

A kivitelezés ütemezése

Megfelelő monitoring rendszerrel olyan kivitelezési folyamatok, melyekben a konszolidációnak jelentős szerepe van hatékonyan ütemezhető. Pl. puha agyagrétegen való töltésepítéskor nem szükséges minden határon túlmenő pontossággal meghatározni a konszolidációs együtthatót - melyről tudható, hogy milyen bizonytalanságokat hordoz. De nem is kell szükségtelenül hosszú konszolidációs időket kivárni az egyes töltésszintek felépítését követően azért, hogy a szükséges biztonság még a legrosszabb körülmények feltételezése esetén is minden időpontban meglegyen hiszen a pórusvíznyomások és a süllyedések alakulásának ismeretében a puha agyag pillanatnyi drénezetlen nyírószilárdsága megbízhatóan becsülhető, s így a kivitelezés hatékonyan ütemezhető az elvárt biztonság mindenkori fenntartása mellett.

Az üzemeltetés irányítása

Bizonyos Geotechnikai szerkezetek esetén az üzemeltetés során a geotechnikai jellemzők megváltozása következhet be. Tipikus példa egy völgyzáró gát esetén a tározó leürítése, melynek során a környezetben pórusvíznyomások maradnak vissza, ami kedvezőtlenül befolyásolhatja a szerkezet állékonyságát. Azért, hogy leürítési folyamat biztonságos lehessen ezeket a pórusvíznyomásokat figyelemmel kell kísérni és a leürítés ütemezésekor ezeket is figyelembe kell venni. Ilyen adatok hiányában a leürítés vagy túl nagy kockázatot jelentve túl gyorsan történik, vagy egy gazdaságtalanul elnyújtott, túlbiztosított folyamatot eredményez.

A javítási célú beavatkozások célzottá tétele

A geotechnikai kivitelezési gyakorlatban előfordul, hogy nem minden a terveknek megfelelően alakul. Ilyen esetekben javításra lehet szükség. Ha rendelkezésre állnak mérési adatok ez a javítás sokkal könnyebben és célzottabban megtehető, mintha ilyenek nem lennének, és csak nagyon távoli, esetleg túl későn felfedezett tünetekből lehetne sejteni azt, hogy valamilyen probléma történt. Figyelembe véve, hogy egy-egy károsodásnak sokféle gyökér oka lehet, adatok hiányában előfordulhat, hogy a javítás nem a valódi gyökérok megszüntetésére irányul, ami további késlekedést jelenthet és a hiba eszkalálódásának kockázatát hordozhatja magában.

A szerkezetek teljesítőképességének javítása

A mélyépítő szektor folyamatos költséghatékonysági nyomás alatt van a tekintetben, hogy egyre olcsóbban kell egyre nagyobb teljesítőképességű szerkezeteket előállítania. Ahhoz, hogy ez lehetséges legyen, mérésekkel kell igazolni a szerkezetek megfelelőségét és ennek megfelelő eszköze a geotechnikai monitoring rendszerek

működtetése. Az emberi természetből adódóan a mérőrendszerek pusztá telepítése, vagy annak belátása, hogy az adott szerkezeti elem "mérve lesz", önkénytelenül is nagyobb odafigyelést vált ki a kivitelezőkből. Pl. a nagyon jól teljesítő CFA próbacölöpök esetén közhely, hogy ezeket vélhetően nagyobb gondossággal készítették, mint a szerkezeti cölöpöket fogják. A cölöpök néhány százalékába telepített termikus integritásmérés elősegítheti a nagyobb általános gépkezelői élénkséget egy-egy kivitelezési projekt során, ami a teljes cölöpállomány minőségére pozitív kihatással lehet.

A szakmai ismeretek növekedése

Számos geotechnikai elmélet kifejlesztése mérési eredmények részletes feldolgozásában gyökerezik. Az adatok segítenek az ok-okozati összefüggések feltárásában, megértésében. A modern számítógépes tervezési eljárásokkal, a mérési eredményekkel való összevetés révén, back analysis segítségével a tervezési elvek folyamatosan javíthatók, nehezen modellezhető jelenségek egyre jobban megérthetők. Ugyanakkor be kell látni, hogy a hazai kivitelezési gyakorlatban megszerzett adatok utólagos feldolgozására nagyon ritkán van idő. Egy elvégzett projekt végén annak üzleti lezárását követően a kivitelező ritkán bízta meg a tervezőt formálisan az adatok kiértékelésével, és a modell finomhangolása által a következtetések levonásával. Mivel ekkor általában már mindkét fél a következő feladatokra koncentrál. Így sajnos rengeteg olyan adat vész el, amely optimális esetben végső soron a kivitelezőnél realizálódó gazdasági haszonná konvertálható tudássá válhatna. Ez a csapda egyébként a monitoring rendszerek hazai széleskörű elterjedésének erős gátló tényezője. A kiutat ebből a kivitelezők, tervezők az akadémiai szektor és monitoring gégek hathatós együttműködése tudna jelenteni.

A viselkedés dokumentálása a károsodások értékeléséhez

A geotechnikai kivitelezések környezetében bekövetkezhetnek károsodások a szomszédos építményekben. Ezt a kockázatot ismerik a szomszédos építmények tulajdonosai és a szakkivitelezők is. A gyakorlat azt mutatja, hogy a szomszédos építmények tulajdonosai előfordul, hogy ebben a kockázatban lehetőséget látva megpróbálnak olyan károsodásokat is a kivitelezés számlájára írni, és erre hivatkozva kártérítési igényt benyújtani, amelyhez semmi köze nincs az építési tevékenységnek, illetve megesik, hogy esztétikai, építészeti jellegű apró károsodásokat felnagyítva, szerkezeti károsodásként interpretálnak. A kivitelező érteke ilyen esetben, hogy megfelelő monitoring rendszer jelenlétével egyrészt eltántorítsa a nem teljesen tisztességes szándékkal megfogalmazott igények benyújtásától a környező építmények tulajdonosait, másrészt lehetőséget biztosítson magának annak igazolására, hogy a bekövetkezett károsodások nem az ő tevékenységének

következményei. Pl. belátható, hogy nehéz igazolni, hogy a jelentősebb szerkezeti repedések a környező kivitelezési munka következtében alakultak ki, ha adott esetben az épület mozgásmérésekkel alátámasztottan mozdulatlan maradt, illetve a megtámasztó szerkezet olyan minimális vízszintes elmozdulásokat szenvedett, amely nem eredményezhet olyan süllyedéskülönbségeket, amelyek szerkezeti károsodásokhoz vezetnek. Valamint a kivitelezési közben végzett folyamatos rezgésmérések is arra utalnak, hogy dinamikus többletterhelés sem érthette az építményt. Külföldön biztosítótársaságok -ha van ilyen-, geotechnikai monitoring adatokat használnak annak megítélésére, hogy egy adott kárigény jogos-e és ha igen milyen mértékű kártérítés ítéltető meg. Tovább fűzve ezt a gondolatot amennyiben rendelkezésre állnak geotechnikai mérési adatok, a biztosító kockázata (több szempontból is) csökken. Ebben az esetben a kivitelező részéről jogos elvárásként merülhet fel a biztosítási díj csökkentése, ami a monitoring rendszer teljes költséghatékonyságára pozitív hatással lehet.

A résztvevők informálása

Az építési tevékenység vitathatatlanul sok embert érinthet közvetetten, és az érintettek általában a legrosszabb kimenetellel számítanak és ennek következtében félnek a kivitelezés kedvezőtlen hatásaitól. Megfelelő geotechnikai monitoring rendszerrel kimutatható a valós hatás, s ezáltal eloszthatók a felesleges aggodalmak. Erre a legtipikusabb példa az előző pontban is említett építési rezgésterhelés, amely jelentkezhethet pl. cölöpverési tevékenység során. Az érzékelt rezgés lehet akkora, hogy az zavaró, riasztó legyen, még akkor is, ha valójában a 10%-át sem éri el annak a rezgésterhelésnek, ami az épületnek akár a legkisebb építészeti károsodását eredményezné. Továbbá egy ilyen rendszer nyilvánvalóan arra is jó, hogyha mégis túl nagy rezgések keletkeznének, akkor a kivitelezési tevékenység leállítható még azelőtt, hogy valóban károsodások következnenek be a szomszédos építményekben. A monitoring rendszer, mindkét esetben segítség a jó viszony fenntartásában, ami hosszútávon még gazdasági előnyökkel is járhat. Az adatok harmadik félre tartozó részének nyilvánossá tétele pedig tovább segítheti az érintettek közötti bizalom létrejöttét.

Hatósági követelmények kielégítése

Bizonyos esetekben hatósági előírás az, hogy egy adott monitoring célú mérést a kivitelezés során folyamatosan végezni kell. Előfordulhatnak olyan helyzetek, hogy a kivitelező nem látja a célját bizonyos monitoring elemek telepítésére vonatkozó kötelezettségének, azon túlmenően, hogy ez az előírás, s így kötelező. Ennek ellenére érdemes lehet megfontolni, hogy ilyen esetben is minőségi adatgyűjtést folytasson a kivitelező, hiszen a jó minőségű adatok a későbbiekben még bizonyulhatnak

értékesnek és megfelelő adatgyűjtési stratégiával, ami nem a hatósági minimumra szorítkozik ez az érték megőrizhető, megsokszorozható. Helyes lehet ilyen esetben az a felfogás, hogy ha már a költségeket mindenképpen rá kell áldozni a kötelező monitoring rendszer kiépítésére, akkor legalább adjuk meg a lehetőségét annak, hogy a kinyert adatok valaha érdemben használhatóak legyenek. Sőt proaktív hozzáállással fennáll a kötelező program valóban hasznos monitoring tevékenység végzésének irányba való "eltérítésének" lehetősége is.

Jogi eljárásokba való bevonódás kockázatának csökkentése

A geotechnikai szakkivitelező több oldalról lehet jogi támadás áldozata. Ilyen helyzetben segítheti őt saját igazának érvényesítésében, ha megfelelő geotechnikai monitoring adatok állnak rendelkezésére, melyekkel saját állításait alá tudja támasztani, illetve a hamis vádakát cáfolni képes. A már korábban is említett, a szomszédoknak okozott kár egy példa lehet a hamis vádak cáfolatára, ugyanígy egy megrendelőtől származó nem megfelelő teljesítésre vonatkozó kártérítési, vagy visszatartási perben is felhasználhatók ezek az adatok, illetve a pusztán meglétük segíthet abban, hogy az említett felek aligha védhető alapon nyugvó vádakkal ne indítsanak jogi eljárásokat. Az adatok saját érdekek védelmében való felhasználására vonatkozó legtipikusabb példa a tervezettől eltérő talajviszonyok miatt felmerülő többletköltségek fedezetére szolgáló, többlet kifizetési igény alátámasztása. Ezen a ponton belátható, hogy bizonyos szerződéses keretek esetén a megrendelő és a kivitelező között érdekközösség is lehet. Amennyiben ugyanis alkalmaznak monitoring rendszert, akkor vélhetően korábban kiderül az, hogy a tervezettől eltérő talajviszonyok miatt többletköltségek merülnek fel, és így vélhetően egy kisebb mértékű, olcsóbb és gyorsabb beavatkozással elérhető, hogy a rendszer tervezett teljesítőképessége a kedvezőtlenebb geotechnikai környezet ellenére is megmaradjon. Azaz végeredményben kisebb ráfordítással sikerülhet célt érni úgy, hogy még a projekt időkerete sem sérül.

A megfelelés kimutatása

A szakkivitelezők egyre többször működtetnek monitoring programokat azért, hogy szemléltessék, hogy a szerkezet valódi viselkedése a tervezők által elfogadhatónak ítélt határon belül van. Teszik ezt azért, hogy ne ériék őket meglepetések, és gazdasági, vagy a projekt ütemezést befolyásoló következményekkel járó nem várt események ne következzenek be. Az adatok ilyen célú felhasználása segít abban, hogy a résztvevők megfelelő bizalommal lehessenek a szerkezet teljesítőképességét illetően és más dolgokra is összpontosíthassanak. Óvakodni kell azonban attól, hogy a folyamatosan és megalapozottan megfelelést jelző monitoring rendszerről kimondjuk azt, hogy felesleges és a tervezési módszereinkbe néhány sikeres projektet

követően indokolatlanul nagy bizalmat fektessünk. Az a tény, hogy a legtöbb esetben a viselkedés megfelelő a legjobb esetben abból következik, hogy a legvalószínűbb értékből kiindulva, de biztonsági tényezőket alkalmazva igyekeztünk tervezni, így annak a valószínűsége, hogy a szerkezet megfelelően fog működni meghaladja annak a valószínűségét, hogy a számítottól jelentősen eltérő viselkedést tapasztaljuk. Kevésbé kedvező esetben a szerkezetünk viselkedése a tervezetnél sokkal kedvezőbbnek mutatkozik a mérések alapján. Egy ilyen eset értékelhető ugyan jó tervezésként, és a résztvevő felek percepciója is valószínűleg ez lesz, de valójában ez egy túl óvatos, konzervatív tervezésre utal, ami azt jelenti, hogy a gazdaságossági szempont nem érvényesült maradéktalanul. Még kedvezőtlenebb esetben a szerkezet teljesítőképessége rosszabb, mint a tervezett és ez esetben a monitoring rendszer alkalmazásának korábbi pontokban már megvitatott előnyei és szerepei kerülnek előtérbe.

3. Szabványkörnyezet ismertetése

E fejezetben a geotechnikai tervezési szabványban (MSZ EN 1997-1:2006) foglalt feladatokat, kötelezettségeket és lehetőségeket tekintjük át. Az alfejezetek számozása a szabvány pontjai szerintiek.

1.3. Feltételezések

(1) Ügyelni kell az EN 1990:2002 1.3. szakasza szerintiekre.

(2) E szabvány rendelkezései a következőkben felsorolt feltételezések teljesülésén alapulnak:

- megfelelően képzett személyzet gyűjtötte össze, rögzítette és értelmezte a tervezéshez szükséges adatokat;
- kellően képzett és tapasztalt szakemberek tervezték a tartószerkezeteket;
- megfelelő a folyamatosság és a kapcsolat tartás az adatgyűjtésben, a tervezésben és a kivitelezésben közreműködő szakemberek között;
- megfelelő a műszaki felügyelet és a minőség-ellenőrzés az üzemekben, a telepeken és a munkahelyen;
- a kivitelezést a vonatkozó szabványokat és előírásokat betartva, kellő jártassággal és tapasztalattal rendelkező személyek végzik;
- az építési anyagokat és termékeket az ezen Eurocode, vagy az anyagra, illetve termékre vonatkozó előírások szerint használják fel;
- a tartószerkezet fenntartása megfelelő lesz, és ezáltal az a tervezett teljes élettartama alatt biztonságos és használható lesz;
- a tartószerkezetet a tervben meghatározott célra használják.
- Szükséges, hogy mind a tervező, mind a megbízó vegye figyelembe ezeket a feltételezéseket. A bizonytalanság megelőzése végett célszerű ezek egyetértő elfogadását dokumentálni, pl. a geotechnikai tervezési beszámolóban.

2.7. Megfigyeléses módszer

(3) Ha a geotechnikai viselkedést nehéz előre jelezni, indokolt lehet a „megfigyeléses módszer” néven ismert eljárást követni, amelynek során a tervet az építés közben felülvizsgálják.

(4) Még az építés megkezdése előtt teljesíteni kell a következő követelményeket:

- meg kell határozni a viselkedés elfogadható határait;

- fel kell mérni a viselkedés lehetséges tartományát, és ki kell mutatni, hogy a tényleges viselkedés kellő valószínűséggel az elfogadható határok között marad;
- ki kell dolgozni a megfigyelés tervét, amellyel észlelhető lesz, hogy a tényleges viselkedés az elfogadható határokon belül maradt-e. A megfigyelésnek ezt már elég korán, azután pedig kellően rövid időszakonként ki kell mutatnia, hogy sikerrel végre lehessen hajtani az esetleg szükségessé váló beavatkozásokat;
- a megfigyelendő folyamat kifejlődéséhez viszonyítva kellően gyors észlelőberendezéseket és értékelési eljárásokat kell választani;
- tervet kell készíteni az esetleg szükségessé váló beavatkozásokra, amelyeket akkor kell elvégezni, ha a megfigyelés a megengedett határokat meghaladó viselkedést jelez.

(1) P Építés közben a terv szerinti megfigyelést kell végrehajtani.

(2) P A munka fázisokhoz igazodó időpontokban értékelni kell a megfigyelés eredményeit, és ha azok a viselkedés határait meghaladják, a tervezett beavatkozásokat el kell végezni.

(3) P Pótolni vagy bővíteni kell a megfigyelés eszközeit, ha nem szolgáltatnak megfelelő típusú vagy elegendő mennyiségű megbízható adatot.

2.8. Geotechnikai tervezési beszámoló

(1) P A biztonság és a használhatóság igazolása során alkalmazott feltételezéseket, adatokat, számítási mód- szereket és eredményeket geotechnikai tervezési beszámolóban kell rögzíteni.

(2) A geotechnikai tervezési beszámoló részletessége a terv típusától függően nagymértékben változhat. Egyszerű tervek esetében egyetlen lap is megfelelhet.

(3) A geotechnikai tervezési beszámólónak, kereszthivatkozásokkal a talajvizsgálati jelentésre (lásd a 3.4. szakaszt) és további részleteket tartalmazó más dokumentumokra, általában a következőket kell tartalmaznia:

- az építési helyszín és környezetének ismertetése;
- a talajviszonyok leírása;
- a tervezett építmény leírása, beleértve a hatásokat;
- a talaj- és kőzetjellemzők tervezési értékei, beleértve a szükség szerinti indoklásukat is;
- az alkalmazott szabványok és elforrások jegyzéke;

- a helyszín alkalmasságára vonatkozó nyilatkozat, tekintettel a tervbe vett építményre és az elfogadható kockázat szintjére;
- a geotechnikai tervezési számítások es rajzok;
- az alapozás tervezésére vonatkozó ajánlások;
- az építés közben ellenőrzendő vagy fenntartást, illetve megfigyelést igénylő tételek jegyzéke.

(4) P A geotechnikai tervezési beszámolóban tartalmaznia kell az adott esethez illő műszaki felügyelet és a megfigyelés tervét. Egyértelműen meg kell neveznie azokat a részleteket, amelyeket az építés közben ellenőrizni kell, illetve amelyek a munka befejezése után karbantartást igényelnek. Ha a megkívánt ellenőrzéseket az építés közben elvégezték, akkor azokat a beszámolóhoz csatolandó jegyzőkönyvben kell rögzíteni.

(5) A geotechnikai tervezési beszámoló a műszaki felügyeletre és a megfigyelésre vonatkozóan általában a következőket állapítsa meg:

- az észlelések vagy mérések minden egyes sorozatának tárgyát;
- a megfigyelésbe bevont tartószerkezeti elemeket és az észlelés helyét;
- a leolvasások gyakoriságát;
- az eredmények értékelési módszereit;
- az eredmények várható értéktartományát;
- az építés befejezése után folytatandó megfigyelés időtartamát;
- a mérések és észlelések végrehajtásáért, a kapott eredmények értékeléséért, valamint a műszerek karbantartásáért felelős közreműködőket.

(6) P A geotechnikai tervezési beszámolóban a kész építmény műszaki felügyeleti, megfigyelési és karbantartási követelményeit tartalmazó kivonatát át kell adni a tulajdonosnak, illetve a megbízónak.

4.2. Műszaki felügyelet

4.2.1. A műszaki felügyelet terve

(1) P A geotechnikai tervezési beszámoló részét képező műszaki felügyeleti tervben elő kell írni a műszaki felügyelet során vizsgálandó adatok elfogadható határértékeit.

(2) A műszaki felügyeleti tervben ajánlatos meghatározni a vizsgálatok típusát, minőséget és gyakoriságát, amelyek álljanak arányban a következőkkel:

- a tervezési feltevések bizonytalanságának mértéke;
- a talaj- és a terhelési viszonyok összetettsége;

- az építés közbeni tönkremenetel lehetséges kockázata;
- az építés közbeni tervmódosítások vagy javító intézkedések megvalósíthatósága.

4.2.2. Helyszíni szemlék és ellenőrzések

(1) P A kivitelezési munkák során rendszeresen szemléket kell tartani, és azok eredményeiről feljegyzést kell vezetni.

(2) Az 1. geotechnikai kategória esetén a műszaki felügyeleti program szemlékre, egyszerűsített minőségellenőrzésre és a tartószerkezet teljesítőképességének általános megítélésére korlátozódhat.

(3) A 2. geotechnikai kategória esetén gyakran szükség lehet a talaj tulajdonságainak vagy a tartószerkezet viselkedésének mérésére is.

(4) A 3. geotechnikai kategóriában az építés mindegyik lényeges szakaszában kiegészítő mérésekre lehet szükség.

(5) P Szükség szerint a következőkről kell feljegyzést vezetni:

- a talaj és a talajvíz jellemző adatai;
- a munka előrehaladása;
- az anyagok minősége;
- a tervtől való eltérések;
- a megvalósult létesítmény rajzai;
- a mért eredmények és azok értelmezése;
- a környezet állapotára vonatkozó megfigyelések;
- a váratlanul bekövetkezett események.
- Az ideiglenes munkákról is indokolt feljegyzéseket vezetni. A munkák félbeszakításának tényét és az újratevésük körülményeit is helyénvaló rögzíteni.

A helyszíni szemlék és az ellenőrzések eredményeit meg az esetleg szükségesnek ítélt változtatások előtt a tervező tudomására kell hozni.

Általában ajánlatos 10 évig megőrizni a tervdokumentációkat és a kivitelezésről készített jelentéseket, ha- csak nem másként állapodtak meg. A legfontosabb dokumentumokat az érintett tartószerkezet teljes élettartamán át célszerű megőrizni.

4.5. Megfigyelés

(1) P Megfigyelés szükséges

- annak ellenőrzésére, hogy a tartószerkezet teljesítőképességére a tervben adott előrejelzés teljesül-e;
- annak biztosítására, hogy a tartószerkezet az építés befejezése után is a kívánalomnak megfelelően viselkedjék.

(2) P A megfigyelés programját a geotechnikai tervezési beszámolóval összhangban kell végrehajtani (lásd a 2.8. szakasz (3) bekezdését).

(3) A tartószerkezetek tényleges teljesítőképességéről készülő feljegyzések azért is célszerűek, hogy az összehasonlítható tapasztalatokhoz adatbázis gyűlhessen össze.

(4) A megfigyelés célszerűen a következők mérésére terjedjen ki:

- a tartószerkezet által befolyásolt talaj alakváltozásai;
- a hatások értékei;
- a talaj és a tartószerkezet érintkezési felületen fellepő nyomások értékei;
- a pórusvíznyomások;
- a szerkezeti elemekben keletkező erők és alakváltozatok (függőleges vagy vízszintes elmozdulások, elfordulások vagy torzulások).

(5) A mérési eredmények társíthatók minősítő jellegű megfigyelésekkel, beleértve az építészeti megjelenésre vonatkozókat is.

(6) Az építés befejezése utáni megfigyelés időtartama az építés közbeni észlelések eredményétől függően megváltoztatható. Azon tartószerkezetek esetében, amelyek kedvezőtlen hatást gyakorolhatnak a szomszédos fizikai környezet lényeges elemeire, vagy amelyek tönkremenetele túlzottan kockáztatná az élet-, illetve vagyonbiztonságot, ajánlatos előírni, hogy a megfigyelést az építkezés befejezése után 10 évnél is hosszabban, vagy akár a szerkezet egész élettartamán keresztül folytassák.

(7) P Mindenkor értékelni és értelmezni kell a megfigyelés eredményeit, és ez általában számszerűsített formában valósuljon meg.

(8) Az 1. geotechnikai kategória esetében a teljesítőképesség értékelése egyszerű, minősítő jellegű lehet és szemrevételezésen alapulhat.

(9) A 2. geotechnikai kategória esetén a teljesítőképességet a tartószerkezet kiválasztott pontjainak mozgásmérései alapján lehet értékelni.

(10) A 3. geotechnikai kategória esetén a teljesítőképességet általában a mozgásteresek és az építési műveletek sorrendjét is figyelembe vevő erőtanai vizsgálatok alapján kell értékelni.

(11) P Azon tartószerkezetek megfigyelési programjának készítésekor, amelyeknek kedvezőtlen hatása lehet a talaj- vagy talajvízviszonyokra, figyelembe kell venni az átszivárgások vagy a talajvízáramlás áramképe változásainak lehetőségét is, különösen a finom szemcséjű talajok esetében.

(12) Példák az ilyen szerkezet típusokra:

- vizet határoló szerkezetek;
- a talajvíz szivárgásának szabályozására készülő szerkezetek;
- alagutak;
- nagyméretű földalatti szerkezetek;
- mélypincék, mélygarázsok;
- rézsűk és támszerkezetek,
- talajjavítások.

4.6. Fenntartás

(1) P Elő kell írni, hogy milyen fenntartás szükséges a szerkezet biztonságának és használhatóságának biztosításához.

MEGJEGYZES: Ezt rendszerint a megbízó vagy a tulajdonos számára írják elő.

(2) Indokolt, hogy a fenntartásra vonatkozó előírások adjanak tájékoztatást a következőkről:

- a tartószerkezet rendszeres szemrevételezést igénylő kényes elemei;
- azon munkák, melyeket tilos tervezői felülvizsgálat nélkül elkezdni;
- a szemrevételezések elvárt gyakorisága.

Alapfogalmak, felelősségek

Ptk. (2013. évi V. törvény)

1:3. § [A jóhiszeműség és tisztesség elve]

(1) A jogok gyakorlása és a kötelezettségek teljesítése során a felek a jóhiszeműség és tisztesség követelményének megfelelően kötelesek eljárni.

(2) A jóhiszeműség és tisztesség követelményét sérti az is, akinek joggyakorlása szemben áll olyan korábbi magatartásával, amelyben a másik fél okkal bízhatott.

1:4. § [Az elvárható magatartás elve. Felróhatóság]

(1) Ha e törvény eltérő követelményt nem támaszt, a polgári jogi viszonyokban úgy kell eljárni, ahogy az az adott helyzetben általában elvárható.

(2) Felróható magatartására előnyök szerzése végett senki nem hivatkozhat.

(3) A másik fél felróható magatartására hivatkozhat az is, aki maga felróhatóan járt el.

6:238. § [Vállalkozási szerződés]

Vállalkozási szerződés alapján a vállalkozó tevékenységgel elérhető eredmény (a továbbiakban: mű) megvalósítására, a megrendelő annak átvételére és a vállalkozói díj megfizetésére köteles.

6:239. § [A tevékenység megszervezése]

(1) A tevékenység végzésének feltételeit a vállalkozó úgy köteles megszervezni, hogy biztosítsa a tevékenység biztonságos, szakszerű, gazdaságos és határidőre történő befejezését.

(2) Ha a mű előállításához valamilyen anyag szükséges, azt a vállalkozó köteles beszerezni.

6:240. § [A megrendelő utasítási joga]

(1) A vállalkozó a megrendelő utasítása szerint köteles eljárni. Az utasítás nem terjedhet ki a tevékenység megszervezésére, és nem teheti a teljesítést terhesebbé.

(2) Ha a megrendelő célszerűtlen vagy szakszerűtlen utasítást ad, a vállalkozó köteles őt erre figyelmeztetni. Ha a megrendelő a figyelmeztetés ellenére utasítását fenntartja, a vállalkozó a szerződéstől elállhat vagy a feladatot a megrendelő utasításai szerint, a megrendelő kockázatára elláthatja. A vállalkozó köteles megtagadni az utasítás teljesítését, ha annak végrehajtása jogszabály vagy hatósági határozat megsértéséhez vezetne, vagy veszélyeztetné mások személyét vagy vagyonát.

6:244. § [Többletmunka. Pótmunka]

(1) A vállalkozó köteles elvégezni a vállalkozási szerződés tartalmát képező, de a vállalkozói díj meghatározásánál figyelembe nem vett munkát és az olyan munkát is, amely nélkül a mű rendeltetésszerű használatra alkalmas megvalósítása nem történhet meg (többletmunka).

(2) A vállalkozó köteles elvégezni az utólag megrendelt, különösen tervmódosítás miatt szükségessé váló munkát is, ha annak elvégzése nem teszi feladatát aránytalanul terhesebbé (pótmunka).

6:251. § *[A tervezési szerződés]*

(1) Tervezési szerződés alapján a vállalkozó tervezőmunka elvégzésére és a tervdokumentáció átadására, a megrendelő annak átvételére és díj fizetésére köteles.

(2) A tervdokumentációnak műszakilag kivitelezhető, gazdaságos és célszerű megoldásokat kell tartalmaznia, és alkalmasnak kell lennie a megrendelő felismerhető, a felhasználás céljából következő igényeinek kielégítésére.

(3) A terv hibája miatt mindaddig érvényesíthetők a szerződésszegésből fakadó jogok, amíg a terv alapján kivitelezett szolgáltatás tervhibával összefüggő hibás teljesítése miatt jogok gyakorolhatók.

(4) A tervező jogszavatossággal tartozik azért, hogy harmadik személynek nincs olyan joga, amely a terv felhasználását akadályozza vagy korlátozza.

6:252. § *[A kivitelezési szerződés]*

(1) Kivitelezési szerződés alapján a kivitelező építési, szerelési munka elvégzésére és az előállított mű átadására, a megrendelő annak átvételére és díj fizetésére köteles.

(2) A munka elvégzéséhez szükséges tervdokumentáció elkészítése és a hatósági engedélyek beszerzése a megrendelő kötelezettsége.

(3) A kivitelező köteles a megrendelő által átadott tervdokumentációt a szerződés megkötése előtt megvizsgálni és a megrendelőt a terv felismerhető hibáira, hiányosságaira figyelmeztetni. Ha a terv valamely hibája vagy hiányossága a kivitelezés folyamatában válik felismerhetővé, a kivitelező késedelem nélkül köteles erről a megrendelőt tájékoztatni.

6:519. § *[A felelősség általános szabálya]*

Aki másnak jogellenesen kárt okoz, köteles azt megtéríteni. Mentessül a felelősség alól a károkozó, ha bizonyítja, hogy magatartása nem volt felróható.

6:523. § *[A károsodás veszélye]*

Károsodás veszélye esetén a veszélyeztetett kérheti a bíróságtól, hogy azt, aki a veszélyt előidézte, az eset körülményeihez képest

- a) tiltsa el a veszélyeztető magatartástól;
- b) kötelezze a kár megelőzéséhez szükséges intézkedések megtételére;
- c) kötelezze megfelelő biztosíték adására.

6:524. § [Többek közös károkozása]

(1) Ha többen közösen okoznak kárt, felelőségük a károsulttal szemben egyetemleges.

(2) A bíróság mellőzheti az egyetemleges felelőség alkalmazását, ha a károsult a kár bekövetkeztében maga is közrehatott, vagy ha az rendkívüli méltánylást érdemlő körülmények fennállása miatt indokolt. Az egyetemleges felelőség alkalmazásának mellőzése esetén a bíróság a károkozókat magatartásuk felróhatósága arányában, ha ez nem megállapítható, közrehatásuk arányában marasztalja. Ha a közrehatás arányát sem lehet megállapítani, a bíróság a károkozókat egyenlő arányban marasztalja.

(3) A károkozók a kárt egymás között magatartásuk felróhatósága arányában, ha ez nem megállapítható, közrehatásuk arányában viselik. Ha a közrehatás arányát sem lehet megállapítani, a kárt a károkozók egymás között egyenlő arányban viselik.

(4) A többek közös károkozásának szabályait kell alkalmazni abban az esetben is, ha a kárt több, egyidejűleg kifejtett magatartás közül bármelyik önmagában is előidézte volna, vagy nem állapítható meg, hogy a kárt melyik magatartás okozta.

6:525. § [Károsulti közrehatás]

(1) A károsultat kármegelőzési, kárelhárítási és kárenyhítési kötelezettség terheli. Az e kötelezettségek felróható megszegése miatt keletkezett kárt a károkozó nem köteles megtéríteni.

(2) A károkozó és a károsult között a kárt magatartásuk felróhatósága arányában, ha ez nem megállapítható, közrehatásuk arányában kell megosztani. Ha a közrehatás arányát sem lehet megállapítani, a kárt a károkozó és a károsult között egyenlő arányban kell megosztani.

(3) A károsult terhére esik mindazok mulasztása, akiknek magatartásáért felelős.

353/2016. (XI. 18.) Korm. rendelet

egyes kormányrendeleteknek a kötelező tervezői és kivitelezői felelősségbiztosítás bevezetésével összefüggő módosításáról.

4. Monitoring, mint a geotechnikai kockázatkezelés eszköze

„Készülj a váratlanra!”

„... mint tudjuk, vannak ismert ismertek; azaz vannak dolgok, melyekről tudjuk, hogy léteznek. Azt is tudjuk, hogy vannak ismert ismeretlenek; vagyis tudjuk, hogy van néhány dolog melyről nem tudunk. Azonban vannak olyan nem ismert ismeretlenek is – melyekről nem tudjuk, hogy léteznek.”

Donald Rumsfeld
az Egyesült Államok volt védelmi miniszterének
beszédészlete a hírszerzés helyzetéről
az Egyesült Államok Nemzetvédelmi eligazításán 2002 február 12-én.

4.1. Kockázatközösség bemutatása

Annak érdekében, hogy a legjobb tudásunk és ismeretünk alapján felkészülhessünk minden előre várt és váratlan eseményre a mérnöki létesítmények megvalósítása és a természetes földtani képződmények védelme során, nélkülözhetetlen, hogy az egyes folyamatokban résztvevő kulcsfontosságú szereplők együttműködjenek, hogy

- az egészség- és munkabiztonsági előírásokat betartsák,
- a környezetszennyezést és a környezetünket érő káros hatásokat minimálisra csökkentsék,
- a projekt az előírásoknak és minőségi követelményeknek megfelelően biztonságosan valósuljon meg,
- határidőre a költségvetés keretein belül.

Számos tanulmány rámutatott, hogy:

- építési problémák gyakran fordulnak elő,
- az ebből fakadó késedelmek és az ezzel járó többletköltségek beruházás szempontjából jelentősek,
- a problémák legtöbbször elkerülhetők, megelőzhetők lennének.

Ezen utóbbi pont lényege abban rejlik, hogy az építés folyamatában résztvevő kulcsfontosságú szereplők megfelelő mérési adatok birtokában legyenek, melyek alapján időben döntést tudnak hozni a szükséges beavatkozásról.

A geotechnikai monitoring az építési (tranzien) majd az üzemeltetési szakaszban (hosszú távú) arra szolgál, hogy folyamatosan biztosítsa azon mérési adatokat, melyeket a tervezés során a tervezők határértékként meghatároztak vagy

feltételeztek. Ezen fontosabb monitoring adatok, illetve elemek a teljesség igénye nélkül az alábbiak:

- talaj, kőzet és szerkezet mozgásának vizsgálata,
- szerkezeteket érő feszültség vizsgálata,
- felszíni- és talajvizek szintjének változásának, áramlásának és minőségének vizsgálata,
- zaj- és rezgésvizsgálatok,
- meteorológiai adatok mérése.

Mindez közös érdeke az építés folyamatában résztvevő kulcsfontosságú feleknek (ún.: kockázatközösség) annak érdekében, hogy a kockázatok a tervezetteknek, illetve a feltételezetteknek megfelelő határértékeken belül maradjanak, vagy egy váratlan esetben minimalizálhatók legyenek:

- építtető, beruházó,
- tanácsadó-konzulens,
- lebonyolító,
- tervező,
- vállalkozó-kivitelező,
- monitoring tevékenységet ellátó vállalkozó,
- műszaki ellenőr,
- üzemeltető,
- önkormányzat,
- hatóság,
- szakhatóság,
- pénzügyintézet,
- biztosító,
- érintett lakosság, stb.

Minden érdekelt félnek külön feladat,- felelősség és szerepköre van, hogy az előírtakat a lehető leghatékonyabban együtt biztosítsák az építés és üzemeltetés biztonsága érdekében. Az érdekelt felek által meghatározott kulcsszerepeket a következő szakasz tárgyalja.

4.1.1. Beruházó, Építtető

Beruházó az a "jogi személy, szervezet, intézmény vagy magánszemély", amely, vagy aki megrendeli azon tevékenységeket, melyek egy projekt végrehajtásához és teljesítéséhez szükségesek annak érdekében, hogy azt a beruházó igényei és szükségletei szerint megvalósítsák.

Az építtető a beruházási költségek felett rendelkező szervezet vagy személy. Ha a beruházást maga koordinálja, akkor egyben ő a beruházó is. Ha az építtető önálló szervezetet bíz meg a beruházás lebonyolításával, az építtető és a beruházó feladatai elkülönülnek. Ilyenkor a beruházó az építtető érdekeit képviseli.

A beruházó feladata a tervezési, kivitelezési munkálatokkal kapcsolatos megbízások/megrendelések kiadása, a szerződések megkötése, valamint az ebből eredő jogok és kötelezettségek gyakorlása.

A beruházó feladata továbbá, a tervezett beruházás megszervezése és annak megvalósításához szükséges összeg megszerzése és rendelkezésre bocsátása, a tervek, engedélyek beszerzése és a kivitelezési munkálatok lebonyolítása.

A beruházás befejezése után a beruházó veszi át az elkészült létesítményt. Feladata tehát a műszaki átadás-átvétel, az azt megelőző próbaüzemeltetés megszervezése majd a pénzügyi elszámolás lebonyolítása, melynek eredményeként az elkészült létesítménnyel rendelkezik.

A beruházás folyamata az előkészítés megkezdésétől a beruházás üzembe helyezéséig tart. Három fő szakaszra bontható:

- beruházás előkészítése,
- beruházás megvalósítása,
- beruházás befejezése.

Beruházó, építtető felelőssége:

- az építésügyi hatósági engedély megszerzéséért, illetve
- a jogerős és végrehajtható építésügyi hatósági engedélyben és a hozzátartozó, jóváhagyott, engedélyezési záradékkal ellátott tervdokumentációban foglaltak betartásáért,
- az építőipari kivitelezési tevékenység végzésének figyelemmel kíséréséért,
- az építési műszaki ellenőr, valamint a vállalkozó-kivitelező kiválasztásáért,
- az építőipari kivitelezési tevékenység megkezdésének az építésfelügyeleti szervhez történő jogszabályban előírt bejelentéséért és az ehhez szükséges mellékletek meglétéért,
- azért, hogy az építési napló (e-napló) - jogszabályban meghatározott esetekben - a használatbavételi engedélyezési eljárás lefolytatása során az építésügyi hatóság rendelkezésére álljon,

- az építési törvényben meghatározott esetekben személyes adatok közléséért, illetve külön jogszabályban meghatározott esetekben a megjelölt adatok bejelentéséért,
- a kivitelezővel együttesen - az építésügyi hatóság által meghatározott időtartamon belül az építmény környezetéből az építőipari kivitelezési tevékenység során keletkezett építési hulladék elszállításáért, a környezet és a terep felszínének az eredeti, illetve az engedélyezett állapotában történő átadásáért, a környezetben okozott károk megszüntetéséért.

4.1.2. Tervező

Az építtető igényeinek megfelelően a létesítmény műszaki tervezését a beruházó megbízása alapján, a beruházási programnak, illetve a tervezési szerződésben foglaltaknak megfelelően az épített környezet alakításáról és védelméről szóló törvényben meghatározottak szerinti tervezési jogosultsággal rendelkező mérnök látja el.

Az építéstervezési tevékenység az épületek, építmények, illetve azok részeinek, szerkezeteinek és berendezéseinek elhelyezéséhez, megépítéséhez, karbantartásához, felújításához, helyreállításához, bővítéséhez, korszerűsítéséhez és bontásához szükséges műszaki tervek elkészítése. E tevékenységi körbe tartoznak még a tervdokumentáció elkészítését megelőző, azzal összefüggő, illetve azt közvetlenül szolgáló műszaki tervezési munkák (pl. geodéziai, talajmechanikai vizsgálatok) és a kivitelezés időszakában a tervezői művezetés.

A tervező sokrétű feladata lényegében három fő szakaszra osztható:

- tervezést megelőző munkák,
- tervdokumentáció elkészítése,
- tervezői művezetés.

Tervező felelőssége:

- A tervezőnek észlelnie kell, ha téves adatszolgáltatást kap az építtető, beruházó részéről.
- A tervezőt figyelmeztetési kötelezettség terheli, ha az építtető, beruházó utasítása célszerűtlen vagy szakszerűtlen.
- A tervező köteles konzultálni az építési hatósággal, így az ő felelőssége ez is,
- ha a laikus építtető, beruházó olyan igényt fogalmaz meg, amely a hatályos jogszabályokkal ellentétes.

A tervező felelős továbbá:

- az általa készített építészeti-műszaki tervek (ideértve az engedélyes és a kivitelezési terveket is) műszaki tartalmának szakszerűségéért, valós állapotnak megfelelő tartalmáért, építészeti minőségéért, a tervezéssel érintett, védett építészeti és természeti örökség megóvásáért,
- a tervdokumentáció készítésében résztvevő szakági tervezők kiválasztásáért, a szakági tervezők közötti egyeztetések koordinálásáért, terveik összehangolásáért.

Az utóbbi két felelősségi kategória generáltervezési szerződés estén áll fenn. A szakági tervezők közötti felelősség kérdése a szerződéses megállapodás kérdése.

4.1.3. Vállalkozó-kivitelező

A vállalkozó kivitelező feladata az építőipari kivitelezési tevékenység megkezdésekor az építtetőtől (alvállalkozó kivitelező esetében a fővállalkozó kivitelezőtől) az építési munkaterület átvétele, annak szükség szerinti lőszermentesítése, az építési napló megnyitása, az építési munkaterületen keletkezett építési-bontási hulladék mennyiségének és fajtájának folyamatos vezetése az építési naplóban.

A vállalkozó kivitelező feladatát képezi annak folyamatos ellenőrzése, hogy a szükséges hatósági engedélyek rendelkezésre állnak-e, továbbá az építés során már meglévő, illetve előkerülő természeti, kulturális örökségi, építészeti értékek megőrzése.

Feladata annak biztosítása, hogy az építési munkaterületen csak olyan személyek tartózkodjanak, akik a vállalkozói nyilvántartásban szerepelnek, illetve erre jogosultsággal rendelkeznek, és az építési napló által igazoltan részt vesznek a napi munkában, annak ellenőrzésében és irányításában.

A műszaki átadás-átvételi eljárás során a berendezések, rendszerek működési próbáját el kell végeznie, és a tapasztalt rendellenességeket, hiányosságokat meg kell szüntetnie, szükség esetén a próbát meg kell ismételnie. A vállalkozó kivitelezőnek a kivitelezés befejezésével a szükséges kivitelezői nyilatkozatokat, mérési jegyzőkönyveket ki kell állítania, az alkalmazott építési termékek megfelelőségét igazoló tanúsítványokat rendelkezésre kell bocsátania.

További feladatát képezi az építmény rendeltetésszerű és biztonságos használatra alkalmassá válásakor (az építőipari kivitelezési tevékenység befejezésekor) az építési munkaterület átadása az építtetőnek, az építési munkaterület őrzésének biztosítása, az építési munkák befejeztével az építési területről való levonulás végrehajtása.

Fővállalkozó kivitelezőként az építési műszaki ellenőr által kiadott teljesítésigazolás alapján a szerződés szerinti teljesítésről (részteljesítésről) kiállított számlának az építtető, valamint építtetői fedezetkezelő közreműködése esetén az építtetői fedezetkezelő részére történő eljuttatása.

Építtetői fedezetkezelő közreműködése esetén az adatainak felvitele - legkésőbb a kivitelezési tevékenységének megkezdéséig - a fedezetkezelő által internetes alapon működtetett alvállalkozói nyilvántartásba. A fenti feladatokon túlmenően a fővállalkozó kivitelező feladata - ha az építtető nem jelölte ki - az alvállalkozó kivitelezők kiválasztása, az alvállalkozó kivitelezőkkel történő egyeztetések koordinálása, tevékenységük összehangolása, az építési napló vezetése, külön megállapodás esetén az alvállalkozói építési napló vezetése.

Vállalkozó-kivitelező felelőssége

A vállalkozó kivitelező felelős az építőipari kivitelezési tevékenység jogszerű megkezdéséért és folytatásáért, az építési napló vezetéséért, kivitelezői jogosultságának meglétéért.

Felelős a vállalkozó kivitelező az építtető által rendelkezésére bocsátott jogerős és végrehajtható építési engedélyben és a hozzá tartozó jóváhagyott engedélyezési tervekben, az ezek alapján készült, erre jogosult tervellenőrrel ellenőriztetett kiviteli tervekben előírtak betartásáért és betartatásáért, valamint az elvégzett szakmunkák eredményeként létesült szerkezetek, berendezések, építmény, építményrész rendeltetésszerű és biztonságos használhatóságáért.

4.2. A kivitelezés

A tervezett létesítmények megvalósítása, az építőipari kivitelezés folyamatának két meghatározó jelentőségű feladatot ellátó személyisége van:

- a kivitelezés irányításáért felelős műszaki vezető, és
- a kivitelezési munkák ellenőrzéséért felelős műszaki ellenőr.

Az építési munkahelyen végzett építési-szerelési munkák kivitelezéséért a felelős műszaki vezető felel. Ha az építőipari kivitelezési tevékenység fő-, illetve alvállalkozói szerződés alapján valósul meg, a fővállalkozó kivitelező felelős műszaki vezetője felel a kivitelezés szakszerűségéért, az alvállalkozók tevékenységének összehangolásáért.

A felelős műszaki vezető feladatai közé tartozik:

- az építési-szerelési munkák irányítása;

- az építési-szerelési munkákra vonatkozó jogszabályok, szakmai és minőségi követelmények, a hatósági előírások betartatása, illetve ezek betartásának ellenőrzése;

A beruházó képviselőjében a kivitelezés ellenőrzését a műszaki ellenőr látja el. Legfontosabb feladata, hogy műszaki ismereteivel megbízója, az építtető érdekeit képviselje a kivitelezővel tartandó egyeztetések, tárgyalások során, a kivitelezés teljes tartama alatt. Ennek érdekében a műszaki ellenőr az építkezést bármikor ellenőrizheti, az építési naplóba bejegyzést tehet, a kivitelező műszaki jellegű észrevételeire, kérdéseire válaszolhat. Az építési műszaki ellenőrnek az építmény megvalósítására irányuló építési-szerelési munka teljes folyamatában elő kell segítenie és ellenőriznie a vonatkozó jogszabályok, hatósági előírások, szabványok, szerződések, valamint az építésügyi hatóság, illetve az építmény létesítését engedélyező hatóság által jóváhagyott építészeti műszaki terv betartását. Az építési műszaki ellenőr hiba, hiányosság megállapítása esetén köteles azt haladéktalanul az építtető vagy annak megbízottja tudomására hozni, súlyos, avagy jelentős kárt okozó kivitelezési hiba esetén az építési tevékenység leállítására intézkedést tenni.

4.3. Kockázat

A kockázat többnyire a bizonytalanság számszerűsíthető pozitív vagy negatív következményeit jelenti. Ebből következően a kockázat mértéke mennyiségileg is mérhető.

Maga a kockázatkezelés gazdasági következményekkel járó tevékenység, a kockázatelhárítási döntések megvalósítása költségeket okoz. A költségek megtérülési formája az, hogy a kockázatkezelés csökkenti a veszteségeket. A kockázat, illetve a kockázatkezeléssel kapcsolatban vannak számszerűsíthető adatok, költségek, statisztikák, számított kárelhárítás, biztosítási díjak stb., illetve valószínűsíthető értékadatok, mint pl. a pénzügyi befektetések kockázatai.

A kockázat többnyire a bizonytalanság számszerűsíthető negatív vagy pozitív következményeit jelenti, miközben maga a bekövetkezés is bizonytalan, de azok valószínűsége leírható.

A beruházási kockázati források csoportosításakor két szempontot érdemes vizsgálni:

- mire fejtik ki hatásukat, e tekintetben az elsődleges projektcélokat érintő kockázatok lehetnek a tervezett határidők, a költségek betarthatósága, a megvalósuló létesítmény valamely paraméterét érintő kockázat,

- a gazdasági döntéseket, forrásokat milyen kockázatok terhelik. A gazdasági forrásokat érintő döntés kritériumaiban megkülönböztethetünk projekten kívüli és belüli kockázatokat: az első esetben ez pl. lehet a jogi szabályozás stabilizálása, árak; a második esetben pl. a tevékenységek időtartama és költsége.

4.4. Elvárások, szerepek, lehetőségek

Az előző részben összefoglalásra kerültek a kockázatközösség szereplői, illetve felelősségük. Ebben a részben a fentiekben bemutatott szereplőkkel szemben, illetve egymással szemben támasztott elvárásaik, szerepeik és lehetőségeik összefoglalása ad képet arról, hogy mely szereplők milyen módon járulhatnak hozzá egy sikeres beruházáshoz a monitoring tevékenység igénybevételével.

Beruházó

Egy beruházás során beruházó minden szereplőtől elvárja és elvárhatja, hogy az adott beruházás biztonságos, előírásoknak megfelelő és korszerű, gazdaságos megvalósíthatóságához járuljon hozzá. Ennek érdekében tőle elvárható, hogy ehhez megfelelő környezetet teremtsen mind jogi, mind pénzügyi, mind műszaki szempontból.

Annak érdekében, hogy egy sikeres beruházás megvalósulhasson, a beruházó ki kell, hogy válassza a megfelelő tervezőt, akiben megbízik és elfogadja az általa tervezett, javasolt megoldásokat a jóhiszeműség és tisztesség elvét szem előtt tartva. Ez különösen fontos a monitoring vonatkozásában, mivel a gyakorlatban gyakran előfordul, hogy tervező által javasolt monitoring programot beruházó nem akarja, vagy nem tudja igénybe venni, és arra csak egy többlet költségként tekint. Ez azonban egy hibás hozzáállás. Tervező és vállalkozó által feltárt kockázatok megértésére nyitottnak kell lennie annak érdekében, hogy azokat a beruházás megvalósítása és üzemeltetése során lehessen kezelni.

Ez egyben a beruházó lehetősége is, hogy a feltárt kockázatokat a monitoring által nyert adatok és értelmezések alapján lehető legalacsonyabb szinten tarthassa. Ennek eredményeképpen az építés időbeni elhúzódása, környezetben, szerkezetekben, környező épületekben keletkező károk minimalizálhatók, mind az aktuális, mind a későbbi beruházások során.

Tervező

A legfőbb elvárás a tervezővel szemben, hogy a terveket az érvényben lévő rendeletek, szabványok alapján oly módon készítse el, hogy azok alapján a beruházás

biztonságosan és gazdaságosan megvalósítható legyen. A beruházó által meghatározásra kerülő kockázati szintnek reálisnak kell lennie. Amennyiben beruházó rosszul méri fel a kockázat, illetve annak kezelésének a módját, mértékét, iránymutatással lehet segíteni ebben, illetve a tervek, dokumentumok készítése során ezekre fel kell hívni a figyelmét.

A tervező szerepe, feladata monitoring szempontjából, hogy feltárja a kockázatokat tervezési szempontból, mely a kivitelezés és üzemeltetés során az adott beruházást érheti. Ennek részeként szabvány által előírtaknak megfelelően első lépésként meg kell határozni a geotechnikai kategóriát, melyből a kockázati szint következik. Amennyiben a beruházás 2., vagy 3. geotechnikai kategóriába esik, úgy megfigyelési (monitoring) tervet kell készíteni, melyben meg kell határozni a megfigyelés módszereit, azok elemeit, mérések gyakoriságát, mérési tartományát és a viselkedés elfogadható határait az 5. fejezetben részletesen ismertetetteknek megfelelően.

Tervező feladata elkészíteni a beavatkozási tervet, melyet abban az esetben kell követni, ha a megfigyelési tervben meghatározott elfogadható viselkedéshez rendelt mért értékeket a mérési eredmények átlélik.

A meghatározott kockázatokat mind a vállalkozóval, mind a beruházóval megértesse, segítséget nyújtson a kockázatok értelmezésében, annak kezelésének fontosságában, az abból származó előnyök belátásában.

A megfigyelés, vagy monitoring során nyert tapasztalatok segítségével a tervező tapasztalatot szerez, mely hosszú távon a fejlődést és a gazdaságosabb és biztonságosabb tervezést segíti elő. Ezen tapasztalatok eredményeképpen későbbi tervezési feladatok során csökkenteni tudja, vagy jobban felismeri, értelmezi a kockázatokat, mellyel saját kockázatait is hosszú távon csökkenti. Tervező számára ez jelenti a monitoring tevékenység legnagyobb és kézzel fogható lehetőségét, előnyét.

Vállalkozó

Vállalkozóval szemben a legfőbb elvárás, hogy az általa elvállalt munkát biztonságosan, gazdaságosan, határidőre elvégezze. Bizonyos beruházások esetében a tervezés is lehet vállalkozó feladata, viszont minden esetben elvárható, hogy a tervezővel együttműködjön a teljes beruházás során.

A vállalkozó köteles az általa készített munkarészek tekintetében a terveket áttanulmányozni és az abban leírt kockázatokat értelmezni, akár kiterjeszteni. Nyitottnak kell lennie a kockázatok megértésére és kezelésére. Ez érdeke is, mivel ennek segítségével tud eleget tenni szerződéses, valamint törvényi kötelességeinek.

Az általa meghatározott kockázatokat tőle elvárhatóan képviselnie kell mind a beruházó, mind a tervező felé.

Elvárható tőle, hogy a kockázatok megértésében segítséget nyújtson mind a beruházó, mind a tervező számára, továbbá, hogy ő is figyelembe vegye a tervező ilyen irányú esetleges jelzéseit.

A monitoring a hazai gyakorlatban jellemzően a vállalkozó feladatkörének részét képezi. Ez egy lehetőség a vállalkozó számára, hogy az építés során az általa készített földművek, szerkezetek viselkedését nyomon kövesse, saját kockázatait megfelelő szinten tartsa. Egy gondosan megtervezett és üzemeltetett megfigyelési rendszerrel egy építkezés biztonságosabbá válik az ott dolgozók, a környezetben tartózkodók számára is, valamint a műszaki biztonság és minőség javul, továbbá a vállalt határidő teljesülésének kockázatát is csökkenti.

4.5. Kockázatkezelés módjának lehetőségei, fórumok

A kockázatok kezelésének legfontosabb feltétele, hogy a kockázat maga ismert legyen. A legtöbb beruházás során a kockázatok korábbi tapasztalatok alapján meghatározhatók, de előfordulhatnak olyan esetek, amikor új kockázati elemmel találkozunk. Törekedni kell arra, hogy minden olyan kockázatot tárjunk fel, melyről reálisan várható, hogy ismert legyen annak bekövetkezése időpontjáig.

A kockázatok meghatározása első lépésben a tervezés folyamata során valósulhat meg. Az itt feltárt kockázatok kezelésére vonatkozó javaslatok, előírások a tervező feladatkörébe tartoznak. Tervezés fázisában kell kiderülnie a monitoring szükségletének, melyet a tervezőnek kell megfogalmaznia és tudatnia a többi szereplővel. Ezt célszerűen a tervdokumentációban lehet megtenni, ahol megfigyelési tervet és beavatkozási tervet kell készítenie a 2. vagy 3. geotechnikai kategóriában a feltárt kockázati elemek nyomon követésére, kockázati esemény bekövetkezésére.

Kivitelezés fázisában magát a mérést, eredmények kiértékelését és értelmezését kell folyamatosan elvégezni. Kooperációkon ezen eredmények alapján lehet és kell dönteni a szükséges beavatkozásokról. Megfelelő monitoring rendszerek üzemeltetésével az esetleges károk, illetve kockázatok időben észlelhetőek, így a kármegelőzés, kárenyhítés hatékonyan megvalósulhat. További előnye a monitoring rendszernek, hogy egy esetlegesen bekövetkező kár esetén azonnal mód nyílik a hatékony beavatkozásra, hiszen a monitoring révén kellő információ áll rendelkezésünkre és a beavatkozási terv rögtön alkalmazható.

A felelősségi körök elhatárolásának kereteit a törvény adja meg, és ennek figyelembevételével fontos a vállalozási/tervezési/megbízási szerződések megkötése során a konkrét részletszabályokat tisztázni, és a szerződésbe illeszteni.

Minden szerződéses szereplő köteles együttműködni, a projekt szempontjából szükséges valamennyi információt megadni, és új információ, probléma felmerülése esetén ezeket is jelezni. Ez minden érintett elemi érdeke is, hiszen a kármegelőzés, kárenyhítés kötelezettsége mindenkire vonatkozik.

Könnyű belátni, hogy mindig „olcsóbb” megelőzni egy esetleges későbbi káreseményt, mint annak bekövetkezése után „egymásra mutogatni”, és a megelőzési költségek sokszorosát kifizetni egy eljárás során. Ezért is fontos, hogy a tervező már a szerződéskötés fázisában egyértelműen körülhatárolja a majdani tervdokumentációban szereplő elemek (pl. monitoring) fontosságát, és ezt például a szerződésben a tervezői tájékoztatások között rögzítheti.

Esetleges káresemény esetén elsődlegesen célszerű reális egyezségkötésre törekedni, mely egyeztető tárgyalásokon, megbeszéléseken vihető végig. Megegyezés hiányában a jogi út (bíróság) igénybevétele marad a felek lehetőségeként.

A bíróságok – adott esetben – kármegosztást is alkalmaznak, amennyiben a felelősségi körök a szereplők között egymástól elhatárolhatóak.

Természetesen nem szabad megfélekedni a jogszabályok által előírt kötelező felelősségbiztosítás meglétéről és káresemény esetén a szükség szerinti igénybeviteléről.

4.5.1. A kockázatbecslés

A segédlet előző részeiben felsorolt műszaki szempontok és érvek - a monitoring tevékenység előnyeiről - mérnöki szempontból teljesen világosak. Ugyanakkor, amikor gazdasági döntést kell hozni a monitoring rendszer kiépítését illetően, számszerűsíteni szükséges az elérhető hasznot. Számszerűsítés módszere a kockázatbecslés.

Meg kell becsülni azt, hogy milyen, pénzben kifejezhető kockázattal járnak az egyes meghibásodások, s ezt össze kell vetni azzal a kockázattal, ami a monitoring rendszer telepítését követően marad a rendszereben, azáltal, hogy ezen események bekövetkezési valószínűsége csökken.

Az előző bekezdés utolsó mondatához egy fontos kitétel kell tenni. Nyilvánvaló, hogy semmilyen geotechnikai monitoring rendszer önmagában nem csökkentheti a

kockázatokat, hiszen nem befolyásolja a kedvezőtlen esemény bekövetkezésének valószínűségét. Ugyanakkor, ha az adatokat feldolgozzák, és ha a szereplők a korai figyelmeztetés által időt biztosítanak maguknak a megelőző, vagy kisebb költséggel járó javító célú beavatkozás megtételéhez egy-egy nagy hatású kedvezőtlen esemény bekövetkezésének valószínűsége jelentősen lecsökken.

A kockázat definíciója a bekövetkezés valószínűsége szorozva az esemény következtében felmerülő költséggel. A költségek megbecsülése viszonylag könnyebb feladatnak tűnhet, ugyanakkor végig kell gondolni az összes olyan költségelemet, ami az adott tönkremenetel esetén felmerülhet. Így például számszerűsíteni kell az idővesztéshez kötődő költségeket, a közvetlen károkat, a harmadik félnek okozott károkat, az emberéletben bekövetkezett veszteségeket, gépek, eszközök károsodásának költségeit és a jogi költségeket.

Ezt követően az egyes káreseményekhez bekövetkezési valószínűségeket kell rendelni. A kisebb gazdasági következményekkel járó eseményekhez mérnöki érzék alapján meghatározott jelzőkhöz rendelt valószínűségek használhatók a súlyozáshoz. Míg a nagyobb jelentőségű és jól megfogható tönkremeneteli mechanizmusokhoz köthető, és komolyabb következménnyel járó események esetén, mint például egy árvízvédelmi vagy zagyártározó gát átszakadása, vagy egy munkatér-határoló fal teljes globális állékonyságvesztése a tervezésnél alkalmazott biztonsági tényezők alapján, az azok mögött lévő bekövetkezési valószínűségekkel lehet számszerűsíteni az adott eseményhez rendelendő kockázatot.

Az 1. táblázat mutat példát az egyes, kisebb súlyú eseményekhez rendelendő valószínűségekre, feltéve, hogy ezekhez a felsoroltak közül valamelyik jelzőt megalapozottan hozzá tudja rendelni a kockázatelemzést végző, kellő tapasztalattal rendelkező geotechnikai mérnök.

1. Táblázat Valószínűség értékelése szövegesen, és a hozzá tartozó valószínűségi értékek

Valószínűség értékelése szövegesen	A bekövetkezés valószínűsége számszerűen	A kockázatszámításhoz használandó valószínűség
Lehetetlen, nulla, nincs esélye a bekövetkezésnek	<0,0001	0,01%
Gyakorlatilag lehetetlen, nagyon valószínűtlen	0,00011-0,001	0,1%
Aligha lehetséges, valószínűtlen, nem várható	0,0011-0,01	1%
Kicsk, korlátozott, marginális valószínűségű	0,011-0,1	10%
Közepes, említésre érdemes, többé-kevésbé valószínűtlen	0,11-0,5	50%
Valószínű	0,51-0,9	90%
Nagyon valószínű	>0,9	100%

4.5.2. Monitoring, mint a kockázatkezelés része

A fent felvázolt monitoring célok alapvetően önmagukban hangzatosak, de ahhoz, hogy a közösség által az ilyen rendszerek előnyei megértésre találjanak, alkalmas módszert kell találnunk ennek kommunikálására is. Számtalan esetben kerültek ki projektekből alaposan átgondolt gondosan megtervezett monitoring tervek mivel a kivitelezők nem érezték magukat érdekeltnek ilyen rendszerek telepítésében. Éppen ezért szükségesnek látszik, hogy a projekt teljes résztvevő gárdáját a monitoring rendszerek elfogadásához vezessük, beláttatva velük, hogy a megfelelő monitoring rendszer segítheti a projekt sikeres megvalósulását, s így számszerűsíthető gazdasági értéket képvisel

Erre célszerű útnak tűnik a kockázatkezelés részeként rávilágítani a monitoring tevékenységekre, ugyanis minden nagy projekt esetén, már annak indulásakor a kockázatkezelésre felállítanak egy csapatot. Továbbá a legtöbb beruházó, hatóság, kivitelező, tervező kellően tisztában van a kockázatkezelés a kockázatmegosztás és a kockázatbecslés elveivel ahhoz, hogy erről egymás között hatékonyan, egy nyelvet beszélve tudjanak kommunikálni.

Ki kell tudni mutatni, hogy a hatékony monitoring rendszer olyan, hogy a megrendelőnek a végén pénzt takarít meg, minthogy működése során segít elkerülni nem várt viselkedési formák meglepetésszerű bekövetkezését, és jelentősen csökkenteni a nemkívánatos történések bekövetkezésének, eszkalálódásának valószínűségét és korai figyelmeztetést ad a nem megfelelő teljesítőképességről. Illetve azáltal, hogy folyamatokat láttat, segít megbecsülni a későbbiekben várható viselkedést is.

Belátható, hogy a bizonytalanságok és a jelentős anyagi következményekkel járó események kockázatot jelentenek, amit pedig sem a tulajdonosok sem a kivitelezők érthető módon nem kedvelnek. Éppen ezért lelkesen bevezetnek olyan projektmenedzsment elemeket, amelyek segítenek csökkenteni a saját, kivitelezési időt vagy pedig a költségvetést érintő kockázataikat. A manapság leggyakrabban alkalmazott úgynevezett kockázatmenedzsment gyakorlat többnyire abból áll, hogy azonosítják és felméri a kockázatokat, majd keresnek valakit, akire ezeket a kockázatokat át lehet hárítani. Ez a szereptő pedig leggyakrabban a kivitelező vagy a kivitelező biztosítója. Ez a hozzáállás kockázat áthelyezésnek nem pedig kockázatkezelésnek nevezendő és vélelmezhető, hogy hosszútávon ez a fajta hozzáállás a projekt tulajdonosának semmilyen hasznot nem hoz, hiszen a biztosítási tételei egy idő után az egekbe szöknek, és a kivitelezői, kiismerve a gyakorlatát drágábban fognak neki dolgozni, mivel nekik is magasabb biztosítási költségeik lesznek. Azaz végeredményben a beruházó a projektjeit drágábban tudja

finanszírozni. Egy valódi kockázatkezelési metodika olyan lépéseket implementál a folyamatba, amelyek csökkentik a bekövetkezés valószínűségét és kezelik a következmények hatásait, mérnek mindent, ami a kockázatok növekedésére utalhat és minden lehetséges pontban próbálják csökkenteni ezeket a kockázatokat.

A valódi kockázatkezelés elemei az alábbiak:

AZONOSÍTÁS: a kockázati tényezők beazonosítása, feltárása

ÉRTÉKELÉS: az egyes kockázati elemekhez tartozó valószínűségek és következmények számszerűsítése

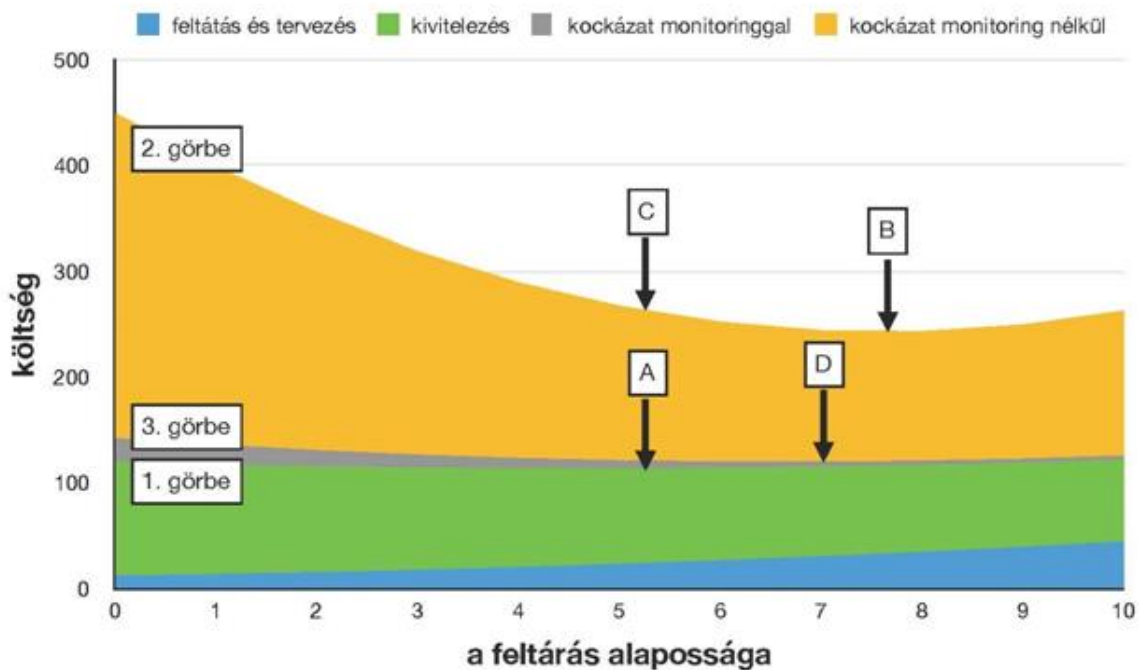
TERVEZÉS: azon stratégiák meghatározása, amelyek minimalizálják a bekövetkezés valószínűségét és kezelik a következményeket

MEGFIGYELÉS: minden olyan tényező mérése, amely kockázat megjelenésére utal, az eredmények értékelése és a kockázatkezelési folyamat ártértékelése

KONTROLL: minden olyan beavatkozás megtétele, mellyel a kockázatok csökkenthetők

A hagyományos mérnöki megközelítésben, hogyha a mérnök bizonytalanságokkal szembesül, akkor azokat óvatosan, konzervatív módon közelítve kezeli, a biztonsági tényezőbe rejtve ezeket. Ez a megközelítés azt mondja, hogy ha a szerkezetet kellően nagyra és erősre tervezzük, akkor a bizonytalanságok nem számítanak és nem okoznak problémát. Ez a megállapítás ugyan tételesen helyes, de indokolatlanul nagy és gazdaságtalan szerkezetek megépítéséhez vezet, ami a tulajdonosnak úgy jelent többletköltséget, hogy fel sem merül benne, hogy ugyanezt a teljesítményt, pontosabban a számára valóban szükséges teljesítményt olcsóbban is megkaphatná.

Egy másik módszer kockázatok kezelésére az, hogy a feltárások számát növelik, ezáltal csökkentik a bizonytalanságok mértékét. Ezzel a módszerrel kis mértékig valóban csökkenthetők a kockázatok, de egy idő után a maradó kockázatok kismértékű csökkentéséhez jelentős feltárási költség növekmény tartozik, s ekkor a teljes költség már nem csökkenthető tovább hatékonyan. Az 2. ábra szemlélteti az építési költségek kockázattal és kockázat nélkül való alakulását a feltárások alaposságának (1-10 skála) függvényében.



2. ábra. Az építési költségek kockázata és kockázat nélkül való alakulását a feltárások alaposságának függvényében

Az ábrán az A pont mutatja az 1. görbén azt a pontot, ami a feltárás mennyiségének növelésével a kivitelezés és a tervezés együttes költségének optimumát adja. Az A pont felett, a 2. görbén megjelenő C jelű pont mutatja, hogy egy, a kivitelezési és tervezési költségeket optimalizáló projekt esetén a kockázatokkal együtt mennyi a projekt várható bekerülési költsége. Látható, hogyha a feltárások további növelésével akarjuk a kockázatokat is figyelembe vevő teljes költséget optimalizálni, akkor jelentős mértékben növelni kell a feltárás részletességét (B pont). A 3. és 1. görbék közötti különbség azt mutatja meg, hogy különböző mélységű feltárások és alaposágú tervezés esetén milyen költséggel tervezhető olyan monitoring program, amely az ismeretlen tényezőkből adódó kockázatokat teljesen eliminálja. Látható, hogy az eredeti, csak a kivitelezés a tervezési költségeket figyelembe vevő optimumnál picit alaposabb feltárással és részletesebb tervezéssel a feltárás és tervezés költségének töredékébe kerülő monitoring költségekkel elérhető a 3. görbe optimuma. A D pont és a 2. görbe D pont feletti pontjához tartozó értékek közötti különbség jelenti a projekten elérhető megtakarítást ahhoz képest, mintha minden kedvezőtlenül alakult volna.

4.5.3. A megfigyeléses módszer

A geotechnikai monitoring szorosan kapcsolódik a Peck (1969) által meghonosított megfigyeléses módszer fogalmköréhez.

Amennyiben megfigyeléses módszert szigorúan annak eredeti elveinek betartásával alkalmazzuk a projektek kivitelezése gazdaságosabb lehet. Az alábbi néhány sorban és néhány ábrán bekívánjuk mutatni, hogy a hagyományos tervezési elvektől a monitoring rendszerek által szolgáltatott adatok alapján miként lehet eltérni a proaktív megfigyeléses módszer irányába és a valamivel konzervatívabb tervezést jelentő reaktív megfigyeléses módszer irányába.

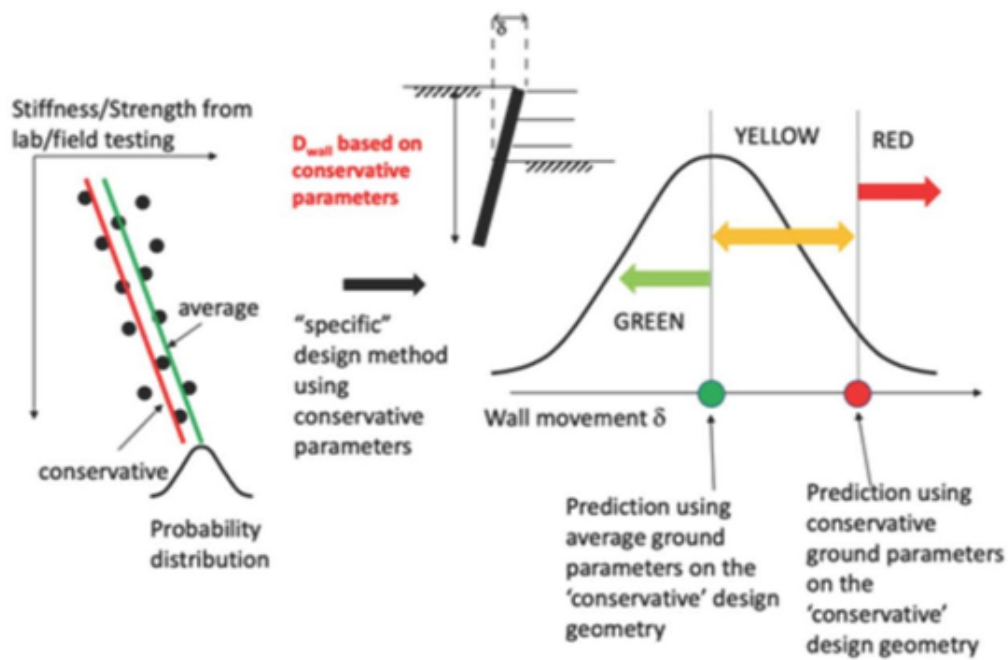
De mindenekelőtt vizsgáljuk meg, hogy a jelen tervezési gyakorlatban hogyan célszerű a monitoring mérések eredményeinek értékeléséhez a határértékeket a tervezés során meghatározni.

A monitoring rendszerek esetén három állapotszintet szokás megkülönböztetni, normál, figyelmeztetési és riasztási szint. Ezeket általában zölddel, sárgával és pirossal jelölik. Amikor a mért érték a zöld zónába esik a viselkedés normálisnak tekintendő, a megfigyelések és a mérések az elvált és elfogadható értékeket mutatják. Ebben az esetben a megfigyelést fenn kell tartani, beavatkozásra nincs szükség. A sárga-figyelmeztetési szint, amikor néhány teljesítmény indikátor a vártnál kedvezőtlenebb értéket mutat. Ez az ún. küszöbszint átlépését jelenti. Ilyen esetben át kell tekinteni az adatokat, hogy azok megbízhatóak-e, találkozni kell az értékelést végző csapattal és döntést kell hozni arról, hogy szükség van-e valamilyen beavatkozásra. Értelemszerűen folytatni kell a megfigyelést esetleg gyakoribb leolvasásokkal és értékeléssel. Értesíteni kell minden érintettet a jelenlegi állapotról és elő kell állni valamilyen beavatkozási tervvel. Ezen felül lépéseket kell tenni a tekintetben, hogy a riasztási határértéket ne léphessék át a vizsgált paraméterek. Piros-riasztási szint lép életbe, ha egy vagy több műszer által jelzett érték átlépte a számára meghatározott határértéket. Ilyen esetben mindenkit értesíteni kell, az érintett területen a munkavégzést fel kell függeszteni. A megelőzési terv előírásait követve be kell avatkozni. És a biztonságos továbblépés feltételeinek biztosítását követően újra lehet indítani a kivitelezési tevékenységet. A fentieket táblázatos formában a 3. ábra szemlélteti.

Készültségi állapot	Leírás	Tennivaló
NORMÁL - Tervezettnek megfelelő viselkedés		
NORMÁL-ZÖLD	A mérések és megfigyelések a várakozásoknak megfelelő viselkedést és elfogadható értéket mutatnak.	A megfigyelések, mérések és karbantartási tevékenységek folytatása.
KÜSZÖBSZINT		
FIGYELMEZTETÉS - SÁRGA	Egy, vagy több teljesítményindikátor a küszöbértéken kívül eső értéket mutat.	Az adatok megbízhatóságának ellenőrzése, egyeztetés az értékelést végző munkacsoporttal és döntés a további teendőktől. Az összes érintett tájékoztatása a pillanatnyi helyzetről, és a javasolt beavatkozásokról. A riasztási határállapot elkerüléséhez szükséges lépések megtétele.
RIASZTÁSI HATÁRSZINT		
RIASZTÁS - VÖRÖS	Egy, vagy több teljesítményindikátor az adott műszerekhez tartozó riasztási határértéket meghaladó értéket mutat.	Minden érintett tájékoztatása, hogy az érintett területen mindennemű munkavégzést be kell szüntetni. A vészhelyzeti terv szerinti eljárások megkezdése. A biztonságos továbbhaladás lépéseinek kidolgozása

3. ábra. A monitoring rendszerek állapotszintje

Az egyszerűség kedvéért vizsgáljuk egy munkatér-határoló falat s annak felső pontjának elmozdulását. Hagyományos tervezési eljárás során a falat és a meg támasztó rendszerét úgy tervezzük meg hogy a lehető legrosszabb talajviszonyokat vesszük figyelembe. Az így kiszámított elmozdulások semmiképp sem küszöbszintnek tekintendők, hiszen a számított elmozdulások csak akkor alakulhatnak ki, hogyha a talajviszonyok még a feltételezett legrosszabbnál is kedvezőtlenebbek. Így egyértelmű, hogy a talajjellemzők karakterisztikus értékéből számított elmozdulások határértékként veendő figyelembe a monitoring eredmények értékelésekor. Ahhoz, hogy a zöld és sárga szint közötti küszöbértéket jelentő elmozdulást meg tudjuk határozni a számítást meg kell ismételni, de ezúttal az átlagos talajjellemzők figyelembevételével (4. ábra).



Stiffness/Strength from lab/field testing	Merevségi/szilárdsági jellemzők laboratóriumi/terepi vizsgálatok alapján
average	átlagos
conservative	óvatos
D_{wall} based on conservative parameters	D_{fal} az óvatosan felvett paraméterek alapján
"specific" design method using characteristic values	"megfelelő" tervezési módszer a karakterisztikus értékek felhasználásával
Wall movement	Fal elmozdulás
Prediction using average ground parameters on the conservative design geometry	Előrejelzés a talajjellemzők átlagos értékeivel végzett számítás alapján a legrosszabb eshetőség esetén is alkalmas geometriájú elrendezésre
Prediction using conservative ground parameters on the conservative design geometry	Előrejelzés a talajjellemzők óvatosan felvett értékeivel végzett számítás alapján a legrosszabb eshetőség esetén is alkalmas geometriájú elrendezésre
GREEN	ZÖLD
YELLOW	SÁRGA
RED	PIROS

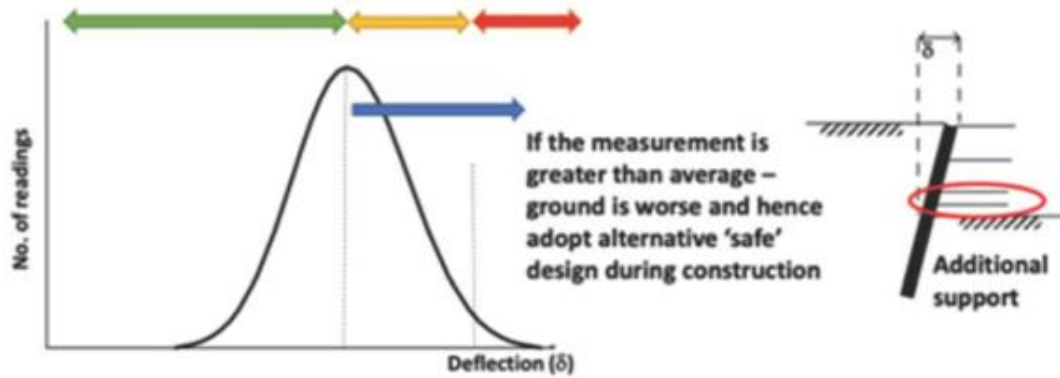
4. ábra. A megfigyeléses módszer gyakorlati alkalmazása

Nem riasztási esemény, de előfordulhat, hogy az elmozdulások jelentősen kisebbek, mint az átlagos talaj paramétereiből számított értékből meghatározható lenne. Ez arra utal, hogy a talajparaméterek a valóságban sokkal kedvezőbbek, mint amit átlagos értéként a tervezéskor figyelembe vettünk. Az ilyen állapot veszélyt semmilyen tekintetben nem jelent, de figyelmeztetés arra nézve, hogy a terv talán túl óvatos, ezáltal esetleg gazdaságtalan, és jövőben hasonló talajkörnyezetben elképzelhető, hogy bátrabban lehet felvenni a paramétereket. Ilyen módon a

monitoring rendszer haszna ugyan nem az adott projekten, de más, jövőbeli projekteken esetleg realizálható lesz. Ahhoz, hogy ez így is lehessen, újra kell értékelni a talajjellemzőket és a modellt a mérési eredmények tükrében újra kell kalibrálni.

Önmagában az, hogy a mérési eredmények a zöld zónába esnek, természetesen nem jelenti automatikusan, hogy a terv túl konzervatív volt. Mivel, ha a talajfizikai paraméterek fél-egy standard szórásnak megfelelő mértékű javításával visszacapjuk a mért alakváltozásokat, akkor meg kell állapítani, hogy a tervezés valójában optimális volt. Ha ennél nagyobb mértékű javításra van szükség, akkor célszerű elgondolkodni azon, hogy a későbbiekben bátrabban szabad felvenni a talajfizikai jellemzők tervezési értékeit.

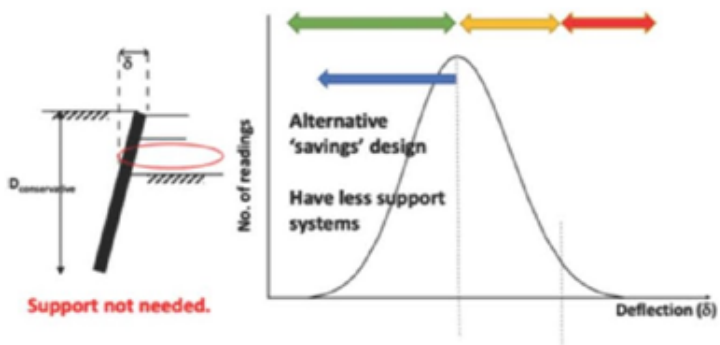
A megfigyeléses módszer eredeti, proaktív változata azt jelenti, hogy az alap koncepció megtervezése során az átlagos talajjellemzőkből indulunk ki, de a konstrukciót úgy alakítjuk ki, hogy szükség esetén, amennyiben a monitoring rendszer kedvezőtlenebb viselkedést igazol vissza, mint a számított, akkor további támaszok, merevítő elemek beépítésével a szerkezet teljesítőképessége a kedvezőtlenebb adottságok mellett is biztosítható legyen. Ebben az esetben kedvező viselkedés esetén megtakarítás érhető el mind az anyagfelhasználás tekintetében mind a kedvezőbb építésütemezés révén. A beavatkozási terv az eredeti tervnek szerves része kell, hogy legyen, azzal a kitételrel, hogy megfelelő szerkezeti viselkedés esetén ennek megépítésére nem kerül sor (5. ábra).



No. of readings	A leolvasások száma
Deflection (δ)	Elmozdulás (δ)
If the measurement is greater than average – ground is worse and hence adopt alternative ‘save’ design during construction	Ha az elmozdulás nagyobb, mint az átlagos talajjellemzők alapján számított, azaz a talaj gyengébb, kiegészítő támasszon beépítése szükséges
Additional support	Kiegészítő támasz

5. ábra. A klasszikus megfigyeléses módszer - szükség esetén kiegészítő merevítőelemek beépítése

A hagyományos, konzervatív tervezési koncepció és az eredeti megfigyeléses módszer között foglal helyet a megfigyeléses módszer reaktív változata. Ebben az esetben a tervezés során a talaj fizikai jellemzőket azok legkedvezőtlenebb értékével, a karakterisztikus értékkel vesszük figyelembe és így készítjük el az alaptervet, de felkészülünk arra, hogy a tervezetnél jelentősen kedvezőbb viselkedés esetén bizonyos támaszokat kihagyjunk. Ahhoz, hogy eldönthető legyen, hogy mit és milyen mértékben lehet elhagyni ebben az esetben is el kell végezni a talajfizikai jellemzők átlagos értékeivel is a számításokat. Ebben az esetben az anyagmegtakarítás nem különösebben jelentős, viszont abban az esetben, ha a szerkezet viselkedése kedvezően alakul az építés ütemezés optimalizálásának révén elsősorban időbeli megtakarításra lehet számítani (6. ábra).



No. of readings	A leolvasások száma
Deflection (δ)	Elmozdulás (δ)
$D_{\text{conservative}}$	Dóvatos
Alternative 'savings' design	Alternatív terv megratárítással
Have less support systems	Kevesebb támasszal megvalósítható szerkezetek tervezendők
No support needed	Támasz elhagyható

6. ábra. A megfigyeléses módszer konzervatívabb változata - lehetőség esetén merevítőelemek elhagyása

5. A monitoring rendszerek ismertetése

5.1. Az alkalmazandó monitoring-elemek, műszerek kiválasztásának és telepítésének alapelvei

Ebben a fejezetben azokat a legfontosabb szempontokat ismertetjük, amelyek révén a monitoring-rendszert tervező szakemberek szakmai támpontokat kaphatnak az telepítendő műszerek típusának, számának és legfontosabb paramétereinek meghatározásához.

5.1.1. Milyen jellemzőket és folyamatokat monitorozunk?

Alapvető kiválasztási követelmény, hogy a monitoring-eszközök jellegének és típusának, illetve az általuk meghatározott fizikai jellemzőknek összhangban kell lenniük a monitoring-adatok gyűjtésének és értékelésének céljaival. Ezek a célok a létesítmény típusától, EUROCODE 7 szerinti kategóriába sorolásától és aktuális életciklusától függően sokfélék lehetnek:

- Természetesen elsődlegesnek kell tekinteni azokat az adatgyűjtési és értékelési célokat, amiket az adott létesítmény kapcsán esetleg jogszabály, szabvány, vagy hatósági engedély ír elő. Ilyenek azonban legtöbbször csak a legkritikusabb létesítmények esetén könnyítik meg a geotechnikai mérnökök dolgát.
- Elsősorban a tranziens monitoring rendszerek esetében fontos az, hogy a monitoring tevékenység során olyan adatokat gyűjtsünk, amik pontosan megfeleltethetők a tervezők által a kivitelezési munkák megfelelőségének és biztonságának szavatolása érdekében meghatározott észlelési szintek definícióival.
- Mivel az alkalmazott geotechnikai monitoring egyik legfontosabb célja a környező talaj- vagy kőzetréteggel együtt dolgozó szerkezeten fellépő terhelésváltozások nyomon követése, ezért – mind a tranziens, mind pedig a hosszú távú monitoring esetében – kritikus kérdés, hogy annak tervezésekor tisztában legyünk az adott szerkezet jellemzőivel, karakterisztikájával, valamint a várható terhelés-eloszlási viszonyokkal is.
- Különösen hangsúlyos, hogy a monitoring tervet a kérdéses terület geotechnikai vizsgálati jelentésének alapos ismeretében készítsük el. Ebben ugyanis – jobb esetben – nem csak a standard paraméterek szintjén kerülnek rögzítésre az adott talaj/kőzetkörnyezet jellemzői, hanem meghatározásra kerülnek ezeknek a feltárható talaj- és kőzettípusoktól, a mélységtől és a laterális helyzettől, a töredezettségtől, a mállottsági foktól, az anizotrópiától stb. való függése, valamint a mértékadó tönkremeneteli mechanizmus(ok) és

az alkalmazható anyagmodellek is. Mindezek ismerete döntő lehet abban, hogy az adott területen milyen jellegű monitoring-eszközöket célszerű alkalmazni. A leginkább kritikusnak tekintett talaj- és kőzetjellemzők térbeli kiterjeszhetőségéről megszerzett előzetes adatok pedig azt is meghatározhatják, hogy milyen számban, egymástól milyen távolságra érdemes telepíteni a monitoring-eszközöket.

- Megfelelő geotechnikai előkutatás esetén pontos választ kaphatunk a talaj, illetve a reális kőzetestet valós viselkedését meghatározó folyamatokról, jelenségekről és ható tényezőkről is. Ezek az ismeretek azért lehetnek fontosak, mert egyes esetekben ezek a folyamatok és környezeti hatások (pl. akár a feltárás hatására, akár természetes okokból végbemenő termikus, geokémiai és pórusnyomás-változások) kritikusak lehetnek a mechanikai stabilitás szempontjából is. Igen sokszor fordul elő a gyakorlatban az a hiba, amikor az elmozdulási/deformációs/terhelési viszonyok változásáról gyűjtött monitoring-adatok megfelelő szakmai értékeléséhez szükségesek lennének a kapcsolódó termikus vagy pórusnyomási idősorok is, de ezeket utólag – értelemszerűen – már nem lehet megszerezni. Éppen ezért általában is javasolható, hogy a monitoring-rendszer részeként a mechanikai állapotváltozásokat követő elemekkel párhuzamosan kerüljenek telepítésre olyan szenzorok is, amelyek révén a környezeti tényezők hatása megítélhető, pontosítható.

5.1.2. Az adatgyűjtés módja

A monitoring eszközökből történő adatgyűjtésnek három alapvető minőségi szintjét különböztethetjük meg. Ezek szerint a monitoring eszköz üzemelhet:

- elektronikus, automatikus adatgyűjtő nélkül, rendszeres emberi leolvasással és az adatok írott jegyzőkönyvben való rögzítésével;
- elektronikus, automatikus üzemű, előre programozott frekvenciájú mérést és adattárolást biztosító adatgyűjtővel, amiből az adatokat rendszeres emberi beavatkozással kell hordozható számítógépre letölteni és a feldolgozás helyére eljuttatni;
- elektronikus, automatikus mérést és adattárolást, illetve az adatok online (pl. mobiltelefonos vagy internetes) elérését is biztosító telemetrikus adatgyűjtő rendszerrel.

Értelemszerű, hogy a legkorszerűbb harmadik megoldás felé haladva növekszik a beruházási költség, de ezzel párhuzamosan jelentősen csökkenthető az élőmunka-igény, tehát az üzemeltetési költség. Azokban az esetekben, amikor egyik megoldást sem zárják ki műszaki vagy környezeti feltételek, a monitoring eszköz várható

üzemidejének figyelembevételével elvégzett költségszámítás eredményeképpen célszerű döntést hozni az optimális megoldásról.

Egyes esetekben azonban objektív okok kizárhatják egyik vagy másik megoldás alkalmazását. Ilyen például az az eset, amikor az építési technológia jellege miatt a sérülés veszélye nélkül egyáltalán nem lehet fixen telepíteni magát a mérőeszközt, hanem minden kiolvasáshoz vissza kell építeni azt (tipikus például szolgálnak erre a mechanikai konvergenciamérések – részletesen ld. később). Ilyen esetekben kizárólag a kézi leolvasás és adatrögzítés alkalmazható. Fizikai okok miatt nem lehet telemetrikus rendszert kiépíteni az olyan típusú monitoring mérőeszközökhöz, amelyek szerkezete, pozíciója és/vagy geometriája az építési folyamat során nem marad állandó (ilyenek például a később szintén ismertetésre kerülő ún. Modular Reverse Head extenzométerek). Olyan eset is sokszor előfordul, amikor a telepített mérőrendszer emberi megközelítése nehézkes, veszélyes vagy biztonságosan egyáltalán nem lehetséges. Ilyenkor mindenképpen telemetrikus adatgyűjtési rendszerben kell gondolkodni.

5.1.3. Méréshatár, pontosság, felbontás

Talán triviális megállapításnak tűnhet, de a monitoring eszközöket mindig úgy kell kiválasztani, hogy azok mérési tartománya nagy biztonsággal lefedje a vizsgált jelenség, folyamat vagy paraméter teljes, reálisan előforduló értékkészletét. Nem mindig egyszerű azonban annak előzetes megállapítása, hogy egy szerkezet terhelése, vagy egy adott irányban bekövetkező kőzetdeformáció a valóságban milyen határok között fog majd alakulni. Természetesen ehhez az elsődleges támpontot a tervező számításai jelentik. Minthogy azonban a tervezési folyamat minden esetben tartalmaz bizonyos leegyszerűsítéseket, elhanyagolásokat, a későbbiekben nem igazolódó tervezői feltételezéseket, ezért a monitoring eszközök mérés határát az előzetes számítási eredményekből adódó tartománynál lényegesen tágabbra, ökölszabályként annak legalább a négyszeresére-öttszörösére kell megválasztani. Természetesen ez leszűkíthető abban az esetben, ha a területen korábban már végeztek korábbi monitoring méréseket és ezek eredményei reprezentatívnak tekinthetők az aktuális feladat kapcsán is. Ebben az esetben is számítani kell azonban arra, hogy a műszerek eltérő telepítési pozíciójából, illetve talaj- vagy kőzetkörnyezetének mechanikai inhomogenitásából adódóan az eredmények szóródni fognak.

A pontosságot és a felbontást, mint két alapvető mérés technikai fogalmat a geotechnikai gyakorlatban sokszor kissé összekeveredve értelmezik és alkalmazzák. A pontosság fogalma kapcsán azt kell vizsgálni, hogy ha ismert egy megfigyelendő jelenség vagy paraméter valódi, objektív értéke, úgy az ennek mérésére szolgáló műszerből kapott adatok mennyire közelítik meg ezt (fogalmilag tehát a pontosság és

a hiba egymás ellentétei). A valódi értéket, illetve az azoktól való eltérés mértékét az alkalmazandó műszerek, illetve szenzorok kalibrációja során kell meghatározni, ahol a vizsgált műszert/szenzort egy már előzetesen ismert pontosságú, illetve hibájú másik műszerrel kell összehasonlítani. A geotechnikai monitoring eszközök többségénél általában már a gyártó elvégzi ezt a kalibrációt és erről hivatalos tanúsítványt ad ki.

A gyártói kalibrációs jegyzőkönyvekben a teljes méréstartományra vonatkozólag megadják a hiba alakulását. Ez az esetek többségében százalékos, tehát a teljes méréstartományban lineárisan növekvő eltérést mutató adat, de a hiba alakulása természetesen magasabb fokú egyenlettel, vagy akár táblázatos formában is számszerűsíthető.

Hitelesítések esetén a jogszabályok vagy tételesen előírják, hogy a metrológus szervezetek milyen érvényességi idővel adhatják ki a hitelesítési jegyzőkönyvet, vagy pedig felhatalmazzák az érvényességi idők meghatározására. A gyártói kalibrációs jegyzőkönyvek szintén nem örök időkre szólnak; az ezzel kapcsolatos gyártói felelősség csak a kalibrációs idő végéig tart. Ennek letelte után a monitoring műszert vagy szenzort újra kell kalibrálni, illetve kalibráltatni. A későbbi jogviták elkerülése érdekében a beruházók műszaki ellenőreinek célszerű ezeket az érvényességi időket folyamatosan nyomon követni.

A műszerpontosság, illetve -hiba megengedhető mértékére nézve nem lehet általános, egyértelmű szabályt adni. Ez elsősorban a mérendő paraméterek, folyamatok jellegétől, a vizsgálandó létesítmény kategorizálásától, valamint a tervezői, kivitelezői és beruházói igényektől függ. Egy alapvetően azonban ennek ellenére is figyelembe kell venni: amennyiben a tervezés során a mérendő paraméterek, folyamatok kapcsán végeztek érzékenységvizsgálatokat, úgy a kiválasztandó műszer/szenzor hibájának mindenképpen kisebbnek kell lennie annál az intervallum-szélességnél, amelyen kívül a rendszer viselkedése már alapvetően eltérne a tervező által feltételezettektől. Amennyiben ez a követelmény nem teljesül, úgy a magának a monitoring-tevékenységnek az értelmét kérdőjelezi meg.

A felbontás fogalma digitális műszereknél egyszerűen értelmezhető, hiszen ez azt mutatja meg, hogy az az analóg bemenő jelet a műszerbe épített analóg/digitális átalakító egység (AD konverter) mennyi egyedi értékkel tudja átalakítani (pl. egy ún.

8-bites AD konverter esetében a teljes mérési tartomány 256 részre osztható fel, míg egy 12 bitesnél ez az érték már 4096-ra nő). Minél nagyobb számú egyedi értéket tudunk a digitális adatokkal stabil módon megkülönböztetni, annál pontosabbá válik a valóság leképezése. Az erre vonatkozó minimális követelményt leíró ökölszabály szerint akkor nem elfogadható egy műszer felbontása, ha a két szomszédos, diszkrét

(digitális) érték közötti eltérés nagyobb, mint a műszer által ténylegesen mért maximális érték (itt tehát nem a teljes mérési tartományról van szó!) századrésze. A mérési tartományra a fentiek szerint megadott követelménnyel együtt értelmezve ez azt jelenti, hogy digitális műszerek esetében minimálisan 10, de inkább 12 bites felbontású AD konverterű adatgyűjtőt kell alkalmazni. A jelenlegi műszaki szinten ez nem tekinthető komoly problémának, hiszen a modern adatgyűjtők általában inkább már 16-24 bites felbontásúak, Az említett 12 bites felbontású rendszerek kifejezetten olcsóak is lehetnek.

Analóg műszerek esetében természetesen szintén értelmezhető a felbontás fogalma, csak ez ebben az esetben azt a szubjektív értéket jelenti, amilyen élességgel a leolvasást végző személy az analóg műszer leolvasását képes elvégezni. Ebben az esetben is javíthatjuk a felbontást, például az analóg műszer méretének növelésével, több osztásközű, illetve olyan műszer kiválasztásával, amelynek méréstartománya nem haladja meg túlzottan a mérendő maximális értéket.

5.1.4. Térbeli lefedettség, reprezentativitás, felskálázhatóság

A geotechnikai monitoring kapcsán alkalmazható műszerek túlnyomó többsége általában lokális (pont-, vagy legjobb esetben is vonalszerű) információkat tud szolgáltatni. Ez azt jelenti, hogy amennyiben a műszerek által lefedett térrészen kívül játszódnak le a tervekben figyelembe nem vett jelenségek, folyamatok, úgy ezek létezéséről nem lesz információnk. Éppen ezért kiemelten fontos annak vizsgálata, hogy a monitoring eszközök tervezett telepítési helyszínei megfelelő térbeli lefedettséget nyújtanak-e, illetve az így kapott eredmények megfelelően reprezentálják-e az általában változékony földtani közeg adottságait.

A talajvizsgálati jelentésben és a geotechnikai tervben vizsgálni kell a kérdéses terület geotechnikai viszonyainak mélységfüggését, laterális értelmű alakulását, illetve az esetleges olyan, kiugró mértékű, kedvezőtlen mechanikai inhomogenitásokat is, amelyek a statikai tervekben általában tételesen nem vesznek figyelembe. Ezekből az információkból kirajzolódik a terület mechanikai (bonyolultabb esetekben termo-hidro-mechanikai) viselkedési mintázata, illetve meghatározhatóvá válik a figyelembe veendő tervezési zóna kiterjedése, illetve megismerhetjük az ún. REV-et (Representative Elementary Volume), tehát az a legkisebb reprezentatív elemi kőzet-/talajtérfogatot, amely már jól jellemzi az adott közeg adottságait. Ezek az információk kiemelkedő segítséget nyújtanak a fenti kérdések eldöntésében. Ez a megközelítés azért is fontos, mert ennek ismeretében az alkalmazandó monitoring-eszközök jellegének és méretének meghatározása is megalapozottabbá válik. A REV-nél nagyságrendileg kisebb kőzettérfogat ellenőrzésére alkalmas monitoring-eszközöket nem tekinthetjük az adott közegben reprezentatívnak.

Típushiba, hogy a monitoring-eszközök telepítési helyszíneit a fentiekben felsorolt ismeretek nélkül, de legjobb esetben is csak az átlagosnak tekinthető zónákban jelölik ki. Amennyiben erre van lehetőség, mindenképpen célszerű az említett komplex viselkedési mintázatot és a REV-et figyelembe venni a monitoring terv összeállításánál. A minimális követelmény az, hogy egy-egy kiugróan kedvezőtlen területre is kerüljenek telepítésre monitoring eszközök.

Kiugróan kedvezőtlen mechanikai helyzet azonban nem csak a földtani közeg adottságai miatt jöhet létre. Kialakulhatnak ilyenek az építéstechnológia és a beépített szerkezet adottságai miatt is. Ezért minden esetben célszerű átgondolni, hogy szükség lehet-e a szerkezet gyenge pontjainak monitorozására is.

A monitoring-műszerek többsége lokális jellegű, egy jól körülhatárolható, szűk térrészre vonatkozó (pontoszerű, vagy legfeljebb vonalszerű) adatokat szolgáltat. A műszerből kapott eredményeket így alapvetően meghatározza az adott szenzor telepítési pozíciója, illetve orientációja. Amennyiben a vizsgált közeg mechanikai viszonyait inhomogenitás és/vagy anizotrópia jellemzi, úgy komoly szakmai kihívást jelenthet az adatoknak nagyobb léptékben (akár a teljes vizsgált telephely léptékében) történő értelmezése, azaz felskálázása. E feladat megkönnyítése érdekében célszerű olyan műszerkombinációkban gondolkodni, amelynek egyes elemei nem lokális, hanem térben kiterjedt, vagy kiterjeszhető adatokat szolgáltatnak, így segítenek az eredmények felskálázásában.

5.1.5. A monitoring elemek élettartama, hosszú távú stabilitása

Az elegendően hosszú élettartam és a stabilitás követelménye értelemszerűen az építési (tranziens) monitoring kapcsán alkalmazásra kerülő eszközökkel szemben is felmerül. Ez a kérdés azonban az esetek többségében viszonylag egyszerűen megválaszolható, hiszen az építés ütemezése, várható időtartama általában jól ismert, és ritkán hosszabb 1-2 évnél. Egy-egy, különlegesen kedvezőtlen környezeti adottságú építési munkahelyet leszámítva ezen az időtávon belül a korszerű monitoring műszerek – megfelelő védelemmel telepítve – általában stabilan, javítási és/vagy csereigény nélkül üzemeltethetők. Természetesen itt is célszerű azonban figyelembe venni az előzetesen megszerzett tapasztalatokat, és ezek alapján optimalizálni az alkalmazandó tranziens monitoring-rendszert.

A hosszú távú geotechnikai monitoring szerepe egyes létesítményekben évtizedekig vagy akár 1-2 évszázadig is fennmaradhat. Ilyen esetekben a monitoring rendszerekkel szemben különleges stabilitási, linearitási, üzemeltethetőségi és gazdaságossági elvárások merülnek fel. Gyakorlatilag kizárható, hogy a teljes

üzemeltetési időtartam alatt nem lesz szükség a telepített műszerek többszöri javítására és cseréjére. Annak érdekében, hogy egy-egy megfigyelési ponton gyűjtött adatok folytonosságát és értékelhetőségét biztosítsuk, célszerű olyan műszereket, illetve szenzorokat alkalmazni, amelyek cseréje fizikailag egyszerűen (vagy egyáltalán...) megoldható, illetve amelyeknél a csere után sem veszítjük el visszavonhatatlanul az addig meghatározott referencia-értékeket.

A hosszú távú monitoring kapcsán nem kizárólag a meghibásodások miatt lehet szükség az alkalmazott műszerek rendszeres kiszerezésére és cseréjére, hanem az esetleges időbeli „elhangelődési” (drift-) jelenségek miatt, tehát a kalibrációs eljárás meghatározott időközönként történő megismétlésének már említett igényével összhangban is. Abban az esetben, ha az alkalmazott műszer/szenzor könnyen hozzáférhető, kiszerezhető és cserélhető, úgy a rendszeres kalibrációnak nincs akadálya. Egyes esetekben (pl. a legtöbb extenzométer-típusnál) azonban a telepített szenzorok nem, vagy csak nagyon nehezen cserélhetők. Ilyenkor különösen fontos, hogy a hosszú távú monitoring-rendszerben alkalmazni kívánt szenzorok hosszú távú stabilitását előzetesen igazolni lehessen. Ez általában a gyártó feladata, amit a gyártók hosszú távú, sokszor több évtizedes laboratóriumi tesztekkel oldanak meg.

5.2. A geotechnikai gyakorlatban alkalmazható legfontosabb monitoring-elemek, műszerek típusai és jellemzői

A következőkben röviden, a mért jellemző fizikai paraméterek szerinti csoportosításban tekintjük át mindazokat a mérési elveket, illetve mérőeszközöket és szenzortípusokat, amelyek a geotechnikai monitoring gyakorlatban hasznosan és hatékonyan alkalmazhatók. Ki kell emelni, hogy nem csak a leggyakrabban említett mozgás-, illetve terhelés- és erőmérések tartoznak a geotechnikai monitoring körébe. A geotechnikai értékelések során fontos szerephez juthatnak az olyan kiegészítő információk, mint a hőmérséklet, a vízszint vagy víznyomás, illetve a rezgések, de ezek sokszor önálló geotechnikai jelentéstartalommal is bírnak. Ezért az alábbi felsorolásban ezek mérési lehetőségeit is ismertetjük.

Az ismertetéseket nem gyártó-, illetve termékspecifikus módon állítottuk össze, azok az adott mérési elvekre és módszerekre vonatkoznak. Egyes gyártókat csak a forrásanyagok megjelölése miatt nevesítettük, vagy pedig abban az esetben, ha az adott eszközt, berendezést kizárólagos módon gyártják. A felsorolásra kerülő műszer-, illetve szenzortípusok esetében megadjuk az alkalmazhatóság körét és esetleges korlátait, a felbontási és pontossági tulajdonságokat és számos más, a kiválasztás és telepítés előtt figyelembe veendő információt is. Mivel a jelen anyag célja elsősorban a figyelemfelhívás, ezért – már csak a területi korlátok miatt is – nem térhetünk ki

minden szakmai részletkérdésre, ami alapján közvetlenül választani lehetne a mérőeszközök és mérési módszerek közül. Ez azért sem lehetséges, mert egy geotechnikai monitoring-rendszer részletes telepítési tervének elkészítése során – az 5.1. fejezetben felsorolt általános szempontok mellett – minden esetben kiemelten kell figyelembe venni a terület-, talaj- (kőzet-), illetve projektspecifikus adottságokat is.

5.2.1. Elmozdulásmérések

A műszaki beavatkozások, építési folyamatok, illetve az ezek eredményeként fellépő terhelésváltozások hatására a talaj- és kőzetrézecskek valamint az ezekkel kapcsolatban álló épített szerkezetek eredeti pozíciója megváltozik. Ennek a helytől és időtől függő mozgásnak a detektálása alapvető fontosságú az érintett talajrétegek, kőzettömbök, illetve szerkezetek stabilitásának, valamint a beavatkozások hatékonyságának megítéléséhez.

A mozgási folyamatok monitorozása kétféle, a felhasználási céltól függő szemléletmóddal történhet: közvetlenül mérhetjük egy-egy meghatározott pont, vagy intervallum abszolút elmozdulását, de legalább ilyen gyakran olyan mérőrendszereket kell alkalmaznunk, amelyekkel a hosszegységre eső, ún. fajlagos elmozdulások (deformáció, megnyúlás, lehajlás és más fajlagos mozgáselemek) meghatározása a cél. Ebben a fejezetben az abszolút elmozdulások mérésére alkalmas eszközöket vesszük sorra.

5.2.1.1. Elmozdulásmérések geodéziai módszerrel

A geodéziai módszer az egyik leggyakrabban használt monitoring eszköz a látszó felületek mozgásának mérésére. A célpontokat prizmák felrögzítésével jelöljük ki, az öntapadó fényvisszaverő prizmáktól az optikai prizmákig szélesek a lehetőségek. A méréseket nagy pontosságú mérőállomással készítik, hogy a rendszertől elvárt 1-2 mm-es pontosság tartható legyen. A pontosságot nagymértékben befolyásolják a méréskori környezeti viszonyok, a por és páratartalom, hőmérsékleti viszonyok, stb. pl. Egy-egy mérés során a mérőállomás először beméri saját pozícióját, majd x, y, z értelemben beméri az egyes célpontok aktuális helyzetét. Az értékelés során külön kezeljük a két vízszintes és a függőleges értelmű mozgásokat. Az adatok értékelése eltérő lehet: a megelőző, vagy az alapméréshez képest számítják a célpont aktuális pozícióját. Épületmozgás monitoring esetében gyakran a függőleges mozgások mellett (süllyedések) az épület falsíkjára merőleges értelmű mozgásokat adják meg az értékeléshez, mint releváns adatot.

A mérések ismétlési gyakoriságát a mérési cél, illetve a megfigyelt létesítmény fontosságának függvényében határozzák meg. Sűrűn beépített, városias környezetben vagy nagy értékű ipari létesítményekben az ismételt kivonulások helyett újabban inkább a mérések fix telepítésű robotállomással történő automatizálására törekednek. Ilyen esetekben az eredményeket távolról is le lehet kérdezni, sőt az ilyen rendszerek a beállított mozgási határértékek átlépése esetén automatikus figyelmeztetést küldenek ki.

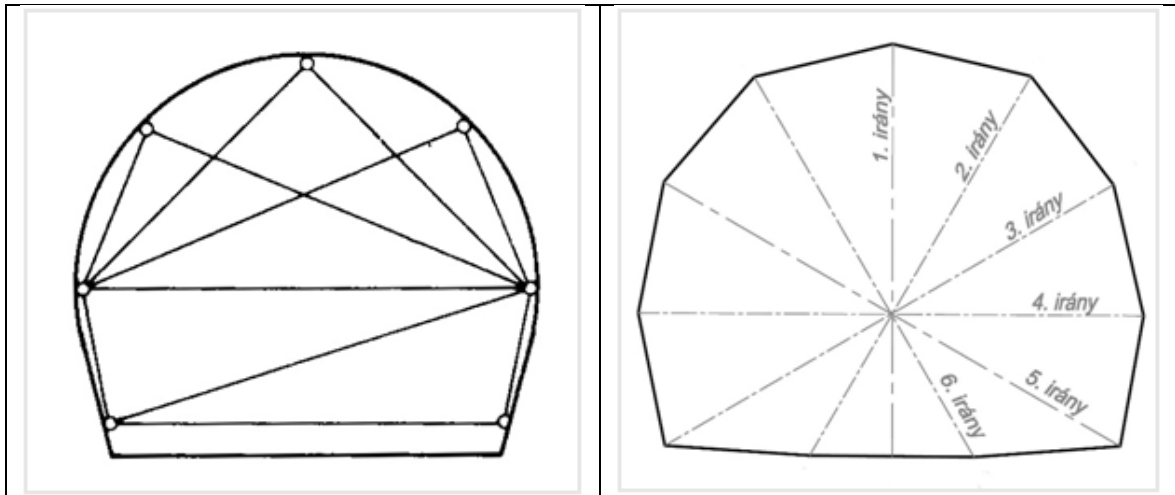
5.2.1.2. Konvergenciamérések

Alagutak és más föld alatti üregek esetében fontos információ, hogy az építés során (illetve akár az építés befejezése után, hosszabb távon is) hogyan alakulnak a beépített biztosítószerkezetek, illetve a kőzet/talaj kerületi pontjainak elmozdulásai. Ennek meghatározására szolgálnak az ún. konvergenciamérések. Ezek kivitelezéséhez az alagút vagy üreg egy-egy meghatározott szelvényében alakítják ki a mérési ponthálózatot; mégpedig oly módon, hogy a mérendő pontok a jövesztés hatására ne sérülhessenek meg. Ennek érdekében a kőzet- (talaj-) rétegbe süllyesztett kivitelű mérőcsapokat telepítenek és a későbbiekben ezek elmozdulásait vizsgálják az ún. alapállapot-mérés során felvett pozícióhoz képest. Annak érdekében, hogy a tranziens mérésekkel a jövesztési hatások minél nagyobb hányadát meg lehessen határozni, törekedni kell arra, hogy a mérési szelvényt az aktuális vájvéghez minél közelebb (célszerűen 1 méteren belül) építsük be. E követelmény kielégítése különösen robbantásos jövesztések esetén igényel alapos tervezést és pontos kivitelezést.

A konvergenciamérések kivitelezése három fő, jellegében eltérő módszerrel történhet:

- Az 5.2.1.1 pontban ismertetett geodéziai mérőállomással. Ennél az alkalmazási területnél azonban nem engedhető meg a ragasztott kivitelű prizmák használata, hanem az állandósított mérőcsapokra minden mérés előtt – speciális, a pontos pozícionálást biztosító gépészeti megoldással kell illeszteni a prizmákat. Az elérhető pontosság ebben az esetben a felszín-felszínközeli alkalmazásokhoz viszonyítva kissé romlik (1,5-3 mm), tekintettel a jövesztés utáni méréseknél jellemző nagy porterhelésre. A módszer legnagyobb előnye, hogy itt nincs feszítávolsági korlát; tehát bármilyen üregméret mellett elvégezhető. A korlátozott pontosság mellett a másik legnagyobb hátránnyként viszont azt kell megemlíteni, hogy ezzel a módszerrel a talpi elmozdulások nem mérhetők. Ez különösen olyan esetekben lehet problémás, amikor a vágat, alagút kihajtása ellenív nélkül történik, tehát a mozgás maximuma éppen a talpon várható. Ugyancsak hátrány, hogy ezzel a módszerrel a kis kiinduló vájvégtávolság kritériuma csak igen nehezen teljesíthető.

- Húzott szalagos konvergenciamérő műszerrel, ahol az alacsony hőtágulási együtthatójú, általában invár szalagot tartalmazó műszerrel páronként két-két, összemérhető, süllyesztett csap távolságváltozásait határozzuk meg. Ez a műszertípus általában maximum 15 m fesztávolságú szelvényekben alkalmazható, mert e felett az invárszalag stabilitása kérdésessé válhat. A szalagos kivitel biztosítja, hogy egy adott csap akár több mérési irány része is legyen (ld a 7. ábra bal oldali képén). Ennek megfelelően az értékelés során nem csak a csap-páronkénti elmozdulási idősorok adhatók meg, hanem egy megfelelő algoritmussal visszaszámíthatók az egyes csapok szelvényen belül értelmezett vertikális és horizontális elmozdulási komponensei is. A húzott szalagos műszerrel elérhető pontosságot a műszer és a mérőcsap közötti csatolás, illetve az alkalmazott húzóerő mérésének jósága határozza meg. A műszerek általános, gyári kivitele esetén jellemzően 0,2-0,4 mm közötti pontosság érhető el, de egy Magyarországon kialakított, továbbfejlesztett módszerrel és jól kalibrált hőmérsékleti korrekciós eljárással ez akár 0,05 mm-re javíthatónak bizonyult.
- Nyomott rudas konvergenciamérő műszerrel. Ez a legpontosabb, akár 0,02 mm eredő visszaépítési és mérési pontosságot biztosító mérési eljárás. Ezt az extrém pontosságot az önbeálló mérőcsapok mellett az teszi lehetővé, hogy ebben az esetben nincs szükség a nyomóerő mérésére, hiszen az alkalmazott acél-, vagy alumínium rudazat a fellépő erők tartományában gyakorlatilag nem szenved kontrakciót. A módszer legfeljebb 9,0 méteres fesztávolság mellett alkalmazható. Ahogy azt a 7. ábra jobb oldali képe mutatja, a merev rudas kivitel miatt ebben az esetben csak az egymással szemben telepített csap-párok összegzett radiális elmozdulásait lehet mérni, így nem tudható, hogy a mért értéket melyik csap milyen mértékben produkálta. Ennél a módszernél nincs lehetőség a mozgáskomponensek külön-külön történő meghatározására és követésére sem. Ennek ellenére valamennyi eljárás közül ezzel lehet a legstabilabban mérni, a tranziens időszak elejétől akár több évtizeden át.



7. ábra. Húzott szalagos (bal oldali kép) és nyomott rudas (jobb oldali kép) konvergenciamérő szelvényben jellemző mérési elrendezések

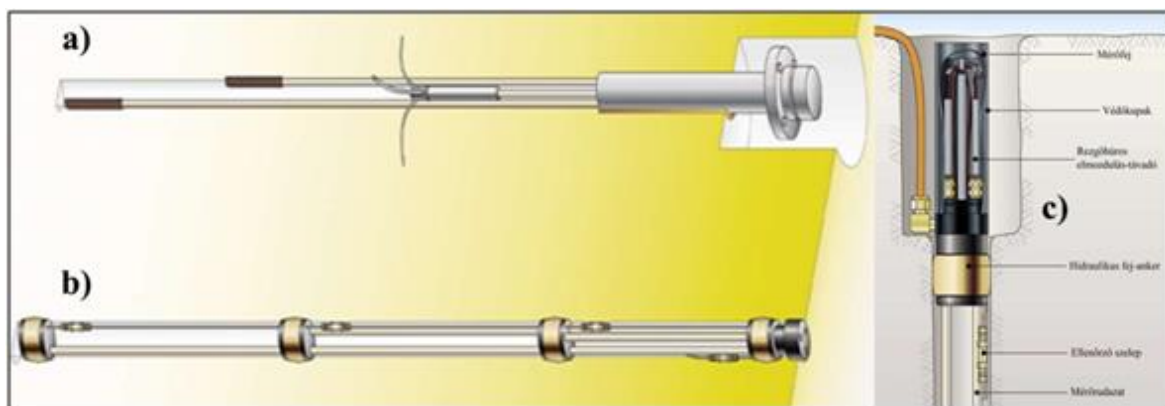
A három felsorolt mérési módszer közül választani a a mérési célok mellett elsősorban a várható konvergenciaértékek alapján célszerű. Fontos lehet az is, hogy a tranziens méréssorozat esetén olyan pontosságú méréstípust alkalmazzunk, amellyel jól leírható a teljes konvergencia-időszak. Ebben az esetben ugyanis ez az egy méréstípus önállóan is biztosíthatja a tervezési feltételezések ellenőrzését, illetve a numerikus modellezés alap- illetve validáló adatrendszerét is.

5.2.1.3. Fúrólýuk-extenzométeres mérések

Az ún. fúrólýuk-extenzométerekkel megvalósítható talaj-, illetve kőzetelmozdulás-mérések jelentik az egyik leggyakrabban használt geotechnikai monitoring módszert. Alkalmazásukkal mind a tranziens, mind pedig a hosszú távú monitoring időszakban is nagy pontossággal válnak meghatározhatóvá a vizsgált építési, műszaki beavatkozási folyamatok hatására a fúrólýuk tengelyével párhuzamosan fellépő kőzet-, illetve talajelmozdulások. Az extenzométereket befogadó fúrólýukak akár a felszínről, akár az üregekből kiindulva bármilyen térbeli orientációban lemélyíthetők, az extenzométerek célszerűen telepített csoportjával pedig valamennyi mozgáskomponens meghatározható. Mindezek miatt az extenzométerekkel nagyon sokféle monitoring-feladat oldható meg.

Egyes speciális esetekben (mint amilyen pl. a későbbiekben, a talajsüllyedés-mérések kapcsán ismertetésre kerülő mágneses extenzométeres mérőkút) csak magát a mérőkutat alakítják ki oly módon, hogy abban egy speciális célműszerrel, ismétlődő módon lehessen extenzométeres jellegű méréseket végezni. A fúrólýuk-extenzométerek túlnyomó többségénél azonban a mérőeszközöket a mérés időszaka fixen telepítik a fúrólýukba (in-place típusú extenzométerek).

Az in-place csoportba tartozó, többpontos (multipoint) fúróluk-extenzométereknek mérési elv és a műszerkonstrukció tekintetében számos eltérő típusa ismeretes. Mindegyik típusban közös azonban, hogy a telepítésükkor az előre kijelölt több (általában 3-6 db) ponton a tengelyirányú elmozdulást nem gátló elemeket (ankereket) rögzítenek csúszásmentesen a fúróluk falához. Ez a rögzítés leggyakrabban mechanikus (rugós) rendszerekkel, hidraulikusan felfújható, vagy cementált ankerekkel történik (ld. például a 8. ábrán). Amennyiben a mérések végeztével az extenzométert vissza kívánjuk nyerni a fúrólukból, úgy a rögzítéshez célszerűen gázzal (pl. nitrogén) működtethető rugós ankereket kell alkalmazni, amelyeknél a gáznyomás megszüntetése után az anker automatikusan felold és az eszközök a fúrólukból kiserelhetővé válnak.



8. ábra. Fúróluk-extenzométerek telepített állapotban. (a.) kép: cementezéssel rögzített ankerekkel; b.) kép: hidraulikusan rögzített ankerekkel; c.) kép: a süllyesztett mérőfej elrendezése rezgőhúros szenzorokkal – forrás: www.geokon.com)

A különböző mélységben ültetett rögzítők (ankerek) és a lyukszájnál telepített ún. fej-anker között fellépő elmozdulás-különbségek, illetve azok időbeli változásai alkalmas, kalibrált mérőszensorokkal érzékelhetők. Az elmozdulásokat célszerűen alacsony hőtágulási együtthatójú anyagból készült merev rudazattal vagy flexibilis, általában üvegszál rendszerrel közvetítik a fej-ankerben telepített szenzorokhoz. Az extenzométerekben legtöbbször rezgőhúros elven működő szenzorokat alkalmaznak, de célszerűen alkalmazhatók ellenállásmérésen alapuló (pl. lineáris potenciométeres), induktív (pl. LVDT – Linear Velocity Displacement Transducer), kapacitív vagy magnetostrikciós elven működő szenzorok is. Ezek egy részénél az elérhető felbontás és pontosság relatíve korlátozott ugyan, de a fixen telepíthető extenzométerekkel a legrosszabb esetben is 0,02 mm-es pontosságot lehet tartani. A korszerű rezgőhúros és LVDT-szenzorok esetében ez az jellemzően 1 mm (10^{-6} m) is lehet, sőt egyes – általában inkább kutatási célra használt – kapacitív elmozdulás-szenzorokkal ez akár $5 \cdot 10^{-9}$ m-ig is lemehet. Az elmozdulások pontos

meghatározása, illetve a hőmérsékleti korrekció megvalósíthatósága érdekében a rendszerhez általában hőmérő szenzorokat is integrálnak.

A relatíve magas beruházási értéket képviselő in-place extenzométerek (csakúgy, mint a továbbiakban ismertetendő műszertípusok többsége) esetében az üzemeltetéshez szinte kivétel nélkül automatikus mérő-adatgyűjtő egységet alkalmaznak. Az adatgyűjtő – mint a mérési feladatok elvégzésére alkalmas szoftvervezérelt hardver architektúra – gondoskodik az ütemezett mérések lebonyolításáról és a mérési eredmények rendszerezett tárolásáról. Az építési körülmények között a leggyakrabban autonóm tápellátással (akkumulátor, illetve felszíni telepítés esetén napelemmel töltött szünetmentes táp) működik, de megoldható a hálózati feszültségről történő üzemeltetés is. Annak érdekében, hogy az üzemeltetési költségeket még tovább lehessen csökkenteni, felszíni telepítés esetén megvalósítható az adatgyűjtő kívülről való elérése is GPRS modemem keresztül. Ebben az esetben az adatok lekérdezésén túl távoli eléréssel be is lehet avatkozni az ütemezett mérések rendjébe és módosítani lehet az egyéb beállításokat is. Az ilyen rendszerek az előre beállított elmozdulási értékek túllépéséről automatikus riasztást is adhatnak az üzemeltetőknek.

A fentiek szerint az extenzométerek használatakor tehát az egyes belső ankeres és a fej-anker közti elmozdulás-különbséget tudjuk mérni. Ezért a belső ankeres abszolút elmozdulását csak abban az esetben tudjuk meghatározni, ha az extenzométer egyik ankerét mozgásmentes helyzetben, tehát referencia-ankerként tudjuk telepíteni. Attól függően, hogy a telepítés során melyik anker lesz a mozgásmentes, referencia-anker, a fúróluk-extenzométereknél az alábbi kétféle telepítési elrendezést különíthetjük el:

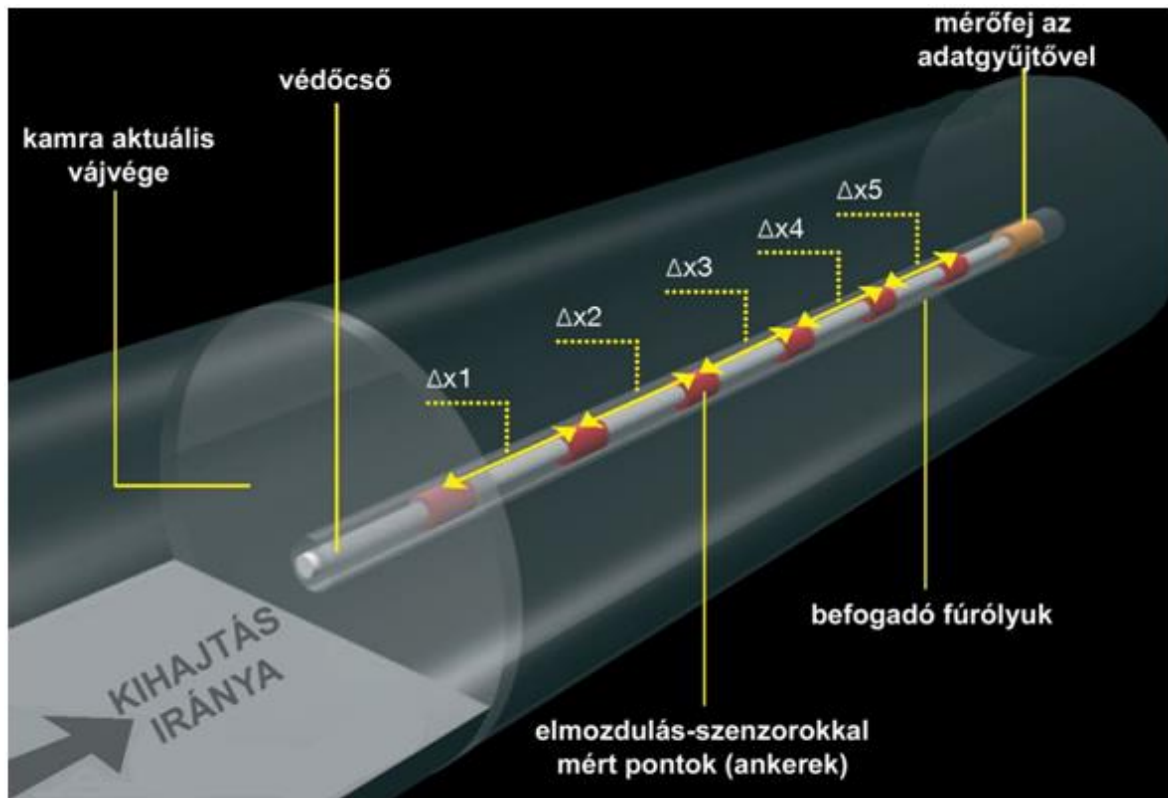
- Az ún. „sugaras” elrendezés: abban az esetben, ha az extenzométert egy föld alatti, éppen kihajtás alatt álló üregből kiindulva (általában radiális helyzetű fúrólukban) telepítik, akkor az üreg továbbhajtása során értelemszerűen a fej-ankert befogadó kőzetzóna szenved el a legnagyobb elmozdulást. Ebben az esetben a referenciapont a fúróluk talpához legközelebb eső utolsó anker lesz, melynek mozgásmentessége kontinuummechanikai megközelítéssel jól leírható kőzeteknél akkor áll fenn, ha az a kőzetköpenytől számítva legalább háromszoros vágatátmérőnyi távolságban kerül rögzítésre. A sugaras jellegű extenzométereket az aktuális vájvégtől hazafelé telepítik, a vájvéghez lehetőleg minél közelebb, hogy a fellépő deformációk minél nagyobb hányada mérhető legyen (ilyen elrendezéssel általában csak a rugalmas elmozdulások 30-50%-ának kimérésére van lehetőség). Amennyiben egy ilyen szelvényben

egyenletes kiosztásban több (általában 4-6) extenzométer is működik, akkor a radiális elmozdulások szelvény-menti eloszlása is meghatározható.

- Az ún. „elhaladásos” elrendezés: az extenzométereket a vizsgált üregeken kívül eső területekről (vágatból, kamrából, vagy akár a külszínről) mélyített fúrólukakba helyezik el oly módon, hogy az utolsó anker a jövesztendő vágat tervezett falához közel essen. Ennek a telepítési módnak nagy előnye, hogy a mérések alapján a teljes elmozdulásfüggvény előáll, és így a már a vájvég előtt lejátszódó deformációk abszolút, illetve százalékos értéke is pontosítható (ezzel a telepítési móddal meghatározható a vágathajtás ún. Longitudinális Deformációs Profilja – LDP – ami a szerkezettervezés egyik leghatékonyabb bemeneti adatkörét jelenti). Ilyen esetekben a telepítés tervezése során kiemelt figyelmet kell fordítani a lyuktalpi anker pozíciójának megválasztására, hogy az a kihajtandó üreg falához minél közelebb essen (ezáltal a maximális elmozdulási hányad mérhetővé váljék), de az extenzométerek telepítésére szolgáló fúróluk nem metszhet bele a célvágat várható maximális túljövesztéssel megnövelt tervszelvényébe. Az elhaladásos mérési elrendezés geometriája, illetve az abban alkalmazott extenzométerek száma igen változatos lehet. Ezt elsősorban a kiindulási hely és a célvágat egymáshoz viszonyított térbeli helyzete és a mérendő deformációs komponens határozza meg. Az elhaladásos elrendezést legtöbbször szintén a radiális deformációk meghatározására alkalmazzák, de telepíthetők így extenzométerek a vájvég előtt fellépő axiális elmozdulások mérésére is. Ennek a megoldásnak a legfontosabb előnye az, hogy így a mérési eredményeket nem befolyásolja jelentősen az alkalmazott biztosítószerkezetek módosító hatása.

Ugyancsak a vájvég előtti axiális elmozdulások mérésére szolgálnak a svájci Solexperts AG által kifejlesztett, innovatív és korszerű, Modular Reverse Head (MRH) típusú extenzométerek. Itt azonban nem elhaladásos jellegű telepítésről van szó. Ahogy az a 9. ábrán is látható, az e műszer befogadására szolgáló fúrólukat a kihajtás alatt lévő vágat aktuális vájvégéről, tengelyirányban mélyítik, viszont – a korábban ismertetett extenzométer-típusokkal ellentétben – az MRH extenzométerek mérőadatgyűjtő egysége – szuverén tápellátással – a lyuktalpon, tehát az aktuális jövesztési lépésektől a lehető legtávolabb helyezkedik el. Az MRH extenzométerben általában legalább 10-12 db (legfeljebb 16 db) ankert telepítenek, a lyukfalhoz csúszásmentesen, injektálással rögzítve. A mikrométeres felbontású magnetrostriációs elmozdulás-távadók az egyes ankereket a védőcsőben összekötő deformálórudazaton elhelyezett gerjesztő egység aktuális pozícióját érzékelik, és ezzel a két szomszédos, rögzített anker közötti távolság változásait regisztrálják. Valamennyi ankerben elhelyeztek egy-egy integrált termisztort is.

A speciális elrendezésnek köszönhetően az ankerek a jövesztés hatására szakaszosan vesztetté válnak, de amíg ez be nem következik, addig folyamatosan küldik az adatgyűjtőbe az elmozdulási eredményeket, Innen az adatok szakaszosan egészen addig kiolvashatók, amíg a jövesztési folyamat már a lyuktalpi helyzetű adatgyűjtőt is megsemmisíti.



9. ábra. A vájvég előtti axiális elmozdulások mérésére szolgáló speciális, Modular Reverse Head típusú extenzométer telepítési sémája – forrás: www.solexperts.com)

Az MRH műszerrel akár nagyobb vágathosszban (a maximális telepítési méret akár 80 m is lehet), az aktuális vájvég előtt mérhetővé válik az axiális elmozdulások időbeli és térbeli alakulása. Ezt az alagúthajtás geotechnikai és ütemezési információival összevetve pontosan megállapíthatóvá válik az adott geotechnikai viszonyokra jellemző in situ deformabilitás értéke. A mérés egyúttal a mindenkori vájvégek építés közbeni stabilitási viszonyainak számszerű megítélését is elősegíti.

Az extenzométeres mérések családján belül ritkábban ugyan, de előfordulhatnak nem in-place típusú, hanem hordozható műszerrel, rendszeres időközönként történő ismétléssel végzett monitoring-megoldások is. Ilyen mérésekre leginkább a **mágneses extenzométeres mérőkutak** alkalmasak. A mágneses extenzométeres mérések a nemzetközi gyakorlatban elterjedtek, de már hazai alkalmazásukra is van példa.

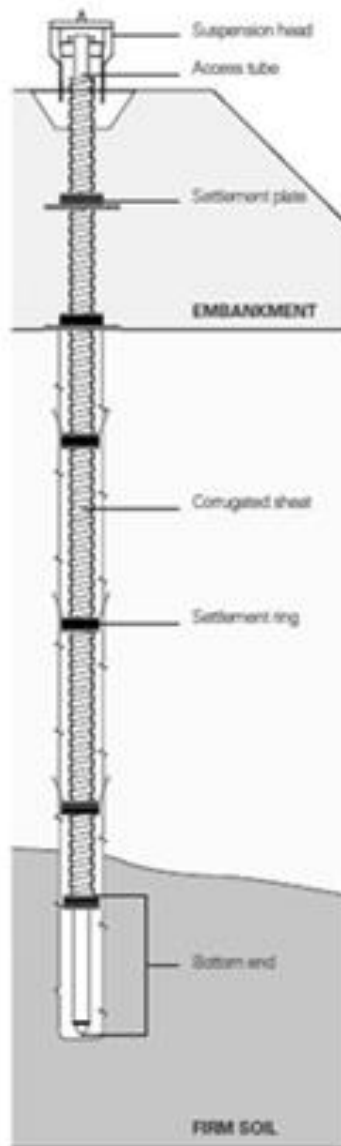
Függőleges furatba való telepítés esetén a mérőkúttal a függőleges talajmozgásokat tudjuk nyomon követni, azaz a süllyedéseket, esetenként az emelkedéseket (pl. földkiemelések tehermentesítő hatásaként, injektáláskor, vagy talajfagyasztáskor).

A mérőkút egy központi mérőcsőből áll, melybe az időszakos mérések során a mágneses teret érzékelő szondát engednek le, majd vontatják vissza. A mérőcső külső felületén mágnesgyűrűket telepítenek, melyek rugós lábakkal a kívánt mélységben a talajkörnyezetbe rögzülnek (ld. a 10. ábrán). A furat fala és a mérőcső közötti gyűrűsteret (talajszilárdságú) cement-bentonit tömedékanyaggal töltik ki. A mágnesgyűrűk és a mérőcső közé gégecső szigetelés kerül, hogy a mérőcső ne rögzüljön a tömedékanyaghoz. Az egyes mérések során a mérőcsőben leengedett, majd felhúzott szonda jelzést ad, ha egy-egy mágnesgyűrű mellett halad el. Az egyes mágnesgyűrűk mindenkori csőperemtől mért mélységét a mérést végző személy a metrikus szalagon 1 mm-es pontossággal képes leolvasni.

A mérőcső alsó részére, a mérőkút talpa közelébe 1 db referencia mágneset kell elhelyezni. Ez a mágnesgyűrű - ellentétben a többi mérőmágnessel - csak a mérőcsőhöz rögzül, így nem követi a talajkörnyezet mozgásait. A mérések során a referencia mágnes csőperemtől mért távolságát is meghatározzuk, majd a leolvasások adatainak elsődleges feldolgozása során az egyes mágnesek referenciamágneshez mért távolságát határozzuk meg. Ezzel a módszerrel a mérések függetlenné válnak a mérési időszakban a mérőkút felső szintjének a toldásától, vagy éppen a visszabontásától, ami sok esetben elkerülhetetlen a kivitelezés során (pl. a leterhelő töltés megépítése, majd visszabontása, illetve a fejgerenda megépítését követően a javított háttöltés megépítése okán a mérőkút felső szintjének változtatása szükséges).

Amennyiben az eredeti, vagy lehumuszolt terepszintről készítjük el a mágneses extenzométer mérőkutat, akkor a háttöltés építés időszakában további mérőmágnesek telepítése célszerű, pl. a töltéstest – altalaj határra, illetve a háttöltés különböző mélységszintjeibe. Erre lapmágnesek utólagos beépítésével van lehetőség a kivitelezés során.

SETTLEMENT COLUMN



10. ábra. A mágneses extenzométer mérőkút elvi felépítése
(forrás: www.sisgeo.com) Settlement column: mágneses extenzométer mérőkút; Suspension head: függesztő kútfejlezárás; Access tube: mérőcső; Settlement plate: mérőmágnes-tányér; Embankment: töltéstest; Corrugated sheet: köpenycső; Settlement ring: mérőmágnes-gyűrű; Bottom end: összenyomódásra alkalmas talpkialakítás; Firm soil: mozgásmentesnek tekinthető altalaj.

A mágneses extenzométer mérőkút vízszintes furatba, gyakrabban és egyszerűbben a töltésépítést megelőzően földárókba is telepíthető. A mérőelem – definíciója szerint - vízszintes elrendezésben az adott helyen a mindenkori vízszintes irányú talajmozgásokat méri. Ebben az elrendezésben pl. töltésépítés során, az alacsony

szilárdságú altalaj vízszintes irányú szétnyomódását lehet megmérni a mérési módszerrel.

Az ilyen, hordozható műszeres extenzométer méréseknél kiemelt jelentőségű a mérőkút kialakítását és a cementkötést követően elvégzendő alapmérés, mert a további mérési eredményeket ehhez kell viszonyítani. Az ütemezett méréseket a terhelésvitel (pl. a töltésepítés) ütemében és az altalaj várható konszolidációs tulajdonságai alapján kell előzetesen meghatározni, majd a mérési ütemtervet a mindenkor mérési eredmények ismeretében kell pontosítani, felülvizsgálni.

5.2.1.4. Inklinométeres mérések

Az inklinométeres mérések segítségével a monitoring tevékenység helyszínének (épületszerkezet, alagút, gát, hegyoldal) mechanikai stabilitását, belső szerkezeti mozgásait hosszú időtávon is ellenőrizhetjük. Az extenzométerektől eltérő módon az inklinométerekkel végső soron a fúrás tengelyére merőlegesen fellépő talaj-, illetve kőzetelmozdulások nagyságát és mélységbeli eloszlását határozhatjuk meg.

Inklinométer méréseket a földmű, vagy a szerkezet mértékadó metszeteiben célszerű készíteni, ahol nincs gátolva az elmozdulás. A kitámasztó falak, sarkok e szempontból nem célszerű mérési helyek, szemben a középső szelvényekkel, vagy a mélyebb földkiemelésű, magasabb földműgeometriájú helyekkel.

Az inklinométeres mérésekhez – az extenzométerekhez hasonlóan – szintén egy megfelelő szerkezetű és mélységű fúrólukát (mérőkutat – ld. a 11. ábrán) kell kialakítani. Mivel az értékelés során a lyuktalpi mérési pontot mindenképpen mozgásmentesnek kell tekinteni, ezért fontos, hogy az inklinométeres fúróluk hosszát és telepítési orientációját úgy válasszuk meg, hogy a talppont már valóban mozgásmentes helyzetbe kerülhessen. Mivel a mérési eredmények összegzésével növekedik az egyes méréseket terhelő hiba, ezért, ha a talpponti mozgásmentesség követelményét nem elégítjük ki, úgy a mérési rendszer összegzett pontossága jelentősen romolhat.

A mérési cél függvényében talajba vagy az épített szerkezetbe mélyített fúrólukba cementezéssel rögzítenek egy speciális, vízszigetelő kötésekkal rendelkező, belül merőleges irányokban kerékjáratok hornyokkal ellátott műanyag csőszakaszt (az inklinométer csövet) helyeznek el. Ez a csőszakaszt közvetíti a mérőműszerhez a talaj, illetve kőzet deformációit; egyúttal megvédve a fúróluk falát a tönkremeneteltől. Annak érdekében, hogy a gyűrűsteret kitöltő anyag mechanikai tulajdonságai ne torzítsák a mérhető elmozdulásokat, ezért erre a célra a talaj-, illetve kőzetkörnyezettel megegyező deformabilitású tömedékanyagot kell használni (a

legtöbbször cementtejjel töltik fel a gyűrűsteret). A csőben az inklinométer szonda két, egymásra merőleges síkban helyezhető el (A-tengely, B-tengely), melyeket a csőben lévő két-két hornyolás határoz meg. A gyakorlatban az inklinométer csövet telepítéskor úgy orientálják, hogy egyik mérési tengelye a várható maximális elmozdulás irányába essen (ez lesz az A-tengely).

Kiemelten fontos, hogy a fúrólukak mélyítése során megfelelő részletességgel kerüljenek dokumentálásra a feltárt talaj-, illetve kőzetrétegek, mert ezek földtani és geotechnikai dokumentálási adatai nélkül a későbbi mérési adatok csak részlegesen értelmezhetők. Mivel a talajok és kőzetek mechanikai állapotát a víztelítettség és a víznyomás esetleges változásai erősen befolyásolják, ezért ugyancsak fontos, hogy az inklinométeres mérőhelyek olyan mérőállomással is kiegészüljenek, amelyek ezeket az adatokat szolgáltatni tudják. Amennyiben ilyen nem áll rendelkezésre, úgy legalább a fúrólukban lévő vízszint-adatokat minden mérés során fel kell jegyezni (Erre azért van lehetőség, mert a csőcsatlakozások vízszigetelése legtöbbször nem 100%-os).



11. ábra. Az inklinométer mérőkút elvi felépítése
(forrás: www.soil.co.uk)

Elemmagyarázat: szélről befelé haladva: furat fala, gyűrűstér tömedékelés, inklinométer mérőcső, inklinométer szonda a rugós központosító kerékpárokkal, ültetősapka.

Magyarországon egyelőre döntően olyan mérési módszert alkalmaznak, ahol a fentiek szerint előkészített mérőkút előre rögzített pontjainak aktuális pozícióját – rendszeres időközönként elvégzett mérési kampányok során – egy hordozható inklinométer műszer alkalmazásával határozzák meg (lásd például a 12. ábra bal oldali képén). Többféle hordozható mérőszonda-kiépítés, illetve -felszereltség is ismert. A legtöbb típus minimálisan két, egymásra merőleges helyzetben rögzített ferdeség-, vagy gyorsulásérzékelő szenzort tartalmaz, így egyidejűleg lehet velük mérni az A- és a B-tengely irányába eső dőlést.

A mérések ütemezését a mozgások tervezés során figyelembe vett nagysága és időrendje alapján kell előzetesen meghatározni. Ezt a mérési ütemtervet a mindenkor mérési eredmények ismeretében rendszeresen pontosítani, felülvizsgálni szükséges.

A hordozható műszerrel végzett méréseknél különösen fontos a cső hornyolása, hiszen az egyúttal azt is biztosítja, hogy a mérőszondát minden mérés alkalmával ugyanabban a pozícióban tudjuk újra elhelyezni. A mérést minden esetben a talptól a csőtetőig haladva kell elvégezni. Minden mérési mélységben ki kell olvasni (illetve a műszerhez jelkábellel csatlakoztatott, automatikus adatgyűjtő egységben rögzíteni kell) az aktuális értékeket, majd ezt követően a következő mérési pontban (általában 0,5 m-rel feljebb) ezt a folyamatot újra meg kell ismételni; egészen a cső nyitópontjának eléréséig. Ezt követően a szondát, a műszerben elhelyezett szenzorok típusától és számától függően 90, vagy 180 fokkal elforgatott helyzetben meg kell ismételni a teljes méréssorozatot; az esetleges durva hibák kiküszöbölése érdekében. Az értékelés során a kapott nyers adatokból számíthatók a fúróluk tengelyére merőleges, A- és B- tengely irányú elmozduláskomponensek, illetve szükség esetén ezek eredői is. Az egy-egy ismétlőmérési kampányban ily módon meghatározott eredményeket kell összehasonlítani az inklinométeres mérőkút telepítése után közvetlenül megmért alapállapottal. A gyakorlati tapasztalatok szerint a hordozható inklinométer-rendszerrel – még a kampányonként óhatatlanul ismétlődő újrapozicionálási hibával együtt is – 1-2 mm-es mérési pontosság érhető el.

Újabban egyre gyorsabban terjednek az in-place típusú, tehát a mérések teljes időtartamára a fúrólukba telepített, tehát ismételt pozicionálást nem igénylő inklinométerek is (egy ilyen rendszer csatlakozó elemeit mutatja be a 12. ábra jobb oldali képe).

A inklinométer mérőkút nem csak eseti, kézi mérésekkel mérhető, hanem lehetőség van a mérések automatizálására is, az ún. **in-place inklinométerek** (a nemzetközi gyakorlatban: IPI) használatával. Az in-place inklinométerek több, azonos szerkezetű, egymáshoz láncként csatlakoztatott és a mérőkútba installált inklinométer szenzorból állnak, amelyek jelkábeleit integrált módon egy adatgyűjtőbe vezetik. Ez a megoldás értelemszerűen a pontosságot is javítja, azonban nem elsősorban ezért terjed. A fixen, automata adatgyűjtővel telepített rendszerek ebben az esetben is jelentősen csökkentik az üzemeltetési költségeket, illetve a távolról, automatikusan megvalósítható riasztás lehetősége is fokozza a biztonságot. Ugyancsak célszerű ilyen rendszert telepíteni akkor, ha a mérési hely a projekt egyes fázisaiban nem közelíthető meg.



12. ábra. Hordozható, digitális inklinométer-műszer a jelkábellel és az adatgyűjtő egységgel (bal oldali kép – forrás: www.geokon.com) és in-place típusú, a fúrólukba állandóan telepített inklinométer szenzorkészlet (jobb oldali kép – forrás: www.inclinesensor.com)

A gyakorlatban esetenként vízszintes furatba is telepítjük az inklinométer mérőkutat, a függőleges talajmozgások mérése érdekében (pl. alagútépítés, földcsuszamlások vizsgálata). Fontos kiemelni, hogy a függőleges és a vízszintes inklinométer mérőkutak mérésére nem használhatjuk ugyanazt a műszert. Mind a hordozható műszerrel mért, mind pedig az in-place inklinométerek esetén is igaz ugyanis, hogy az alapvető szenzorkiépítésből fakadóan egy adott inklinométer műszer vagy csak függőleges (vagy ahhoz képest legfeljebb ± 30 fokkal elforgatott), vagy pedig csak vízszintes (vagy ahhoz képest legfeljebb ± 30 fokkal elforgatott) fúrólukban tud mérni. Így, amennyiben egy adott monitoring-projektben függőleges és a vízszintes helyzetű inklinométerek is telepítésre kerülnek, azokat csak kétféle, az adott mérési célnak megfelelően kiválasztott műszerrel lehet mérni. A másik fontos következmény

pedig az, hogy az inklinométeres fúrólukakat nem lehet tetszőleges dőléssel telepíteni.

Süllyedések és más talajelmozdulás-komponensek egyidejű meghatározására létezik kombinált felhasználású, **inklinométer - extenzométer mérőkút**, mely esetében a központi mérőcső maga az inklinométer mérőcső. A mérőkút kialakítása olyan, ami egyaránt lehetővé teszi a mágneses extenzométer és az inklinométeres mérések egymást követő elvégzését.

5.2.1.5. Süllyedésmérések

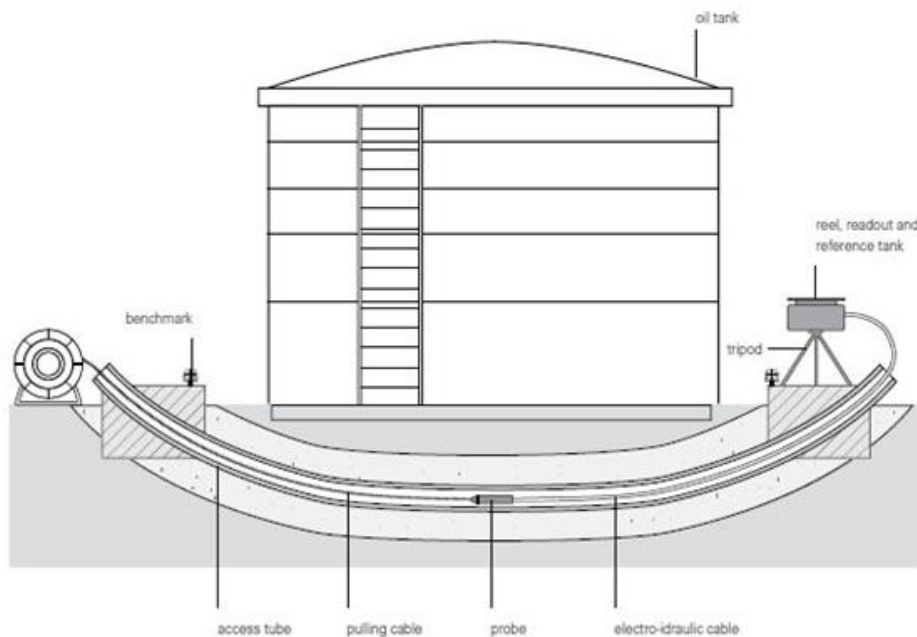
A talajelmozdulások nyomon követésének egy speciális a esetét jelentik a süllyedésmérések, amelyek részben a már eddig ismertetett, részben pedig az e célra kifejlesztett speciális módszerekkel valósíthatók meg.

A megrendelő és geotechnikai szaktervezőjének az elvárása, hogy a hídműtárgyak háttöltései alatt a töltéstest tömege miatt az altalajban bekövetkező és időben elhúzódó konszolidációs süllyedéseket – esetleg a mélység függvényében – mérésekkel nyomon követhesse. A mérések kivitelezői szempontú, gyakorlati haszna a konszolidáció mértékétől függően megkezdhető cölöpözési, túltöltés elbontási, úszólemez építési munka, annak érdekében, hogy az altalaj süllyedéséből következő negatív köpenysúrlódás már ne terhelje a cölöpalapozást. Az időbeli ütemezés ezért fontos gazdasági kérdés a kivitelezési munkára kötött szerződéses keretek betarthatósága miatt is. Cél, hogy mérési eredményeken keresztül értékelhessük a háttöltések altalajra gyakorolt hatását.

A hidraulikus süllyedésmérő (forrás: www.sisgeo.com) szokásosan alkalmazott mérési módszer a hazai hídépítés során. A hidraulikus süllyedésméréshez használt mérőcsövet a töltésépítést megelőzően kialakított földárókba fektetik. A töltésépítés ütemében, majd azt követően adott időközönként végzett mérések alkalmával a szondát végigvontatják a mérőcsövön, miközben rögzítik a szonda mindenkor vertikális pozícióját a vízoszlop nyomás alapján (ld. a 13. ábrán). A méréssel tehát az idő függvényében az adott mélységbe telepített mérőcső mentén a függőleges talajmozgásokat, azaz a bekövetkezett süllyedéseket lehet mérni.

Ugyanezt a mérést elvileg megvalósíthatjuk a fentiekben ismertetett vízszintes inklinométeres megoldással is. A különbség a hidrosztatikus süllyedésmérő és a vízszintes inklinométer között az egyes mérési módszerek pontossága, ezzel összefüggésben a mérési tartomány tekintetében van. Az inklinométer pontosabb mérést tesz lehetővé, kisebb mérési tartomány mellett, ami pl. földművek alatti gyakran 0,5 - 0,7 m-es süllyedések esetében kimeríti a mérési rendszer

alkalmazhatóságát. A mérőcsőben olyan ívhajlás következik be, hogy abban megszorul az inklinométer szonda, így az nem lesz átjárható a mérés során, azaz ellehetetlenül a mérés. Erre a problémára is megoldást nyújthatnak azonban a vízszintes mérésekre alkalmas in-place inklinométerek. Ezek azonban csak akkor alkalmazhatók erre a feladatra, amennyiben a várható süllyedés mértéke, illetve a mérési vonal menti eloszlása olyan, hogy az a láncolat egyes elemei között a gyártó által meghatározott maximális szögeltérésnél kisebbek lépnek fel.



13. ábra. Hidraulikus süllyedésmérő elvi felépítése
(forrás: www.sisgeo.com)

5.2.1.6. Repedéstágasság mérése

A repedéstágasság-mérések az elmozdulásmérések speciális fajtái, ahol a cél a szerkezeti elemek illeszkedései mentén, illetve az épített szerkezet és/vagy a szilárd kőzetek tönkremenetele vagy elvárt mozgása következtében kialakuló repedések alakulásának időbeli követése (repedésmonitoring). Fontos célkitűzés még, hogy az eredmények összevethetőek legyenek az ennek kapcsán meghatározott tervezői megfigyelési szintekkel, illetve ezek az eredmények felhasználhatók legyenek az esetleg szükségessé váló műszaki beavatkozások tervezéséhez is.

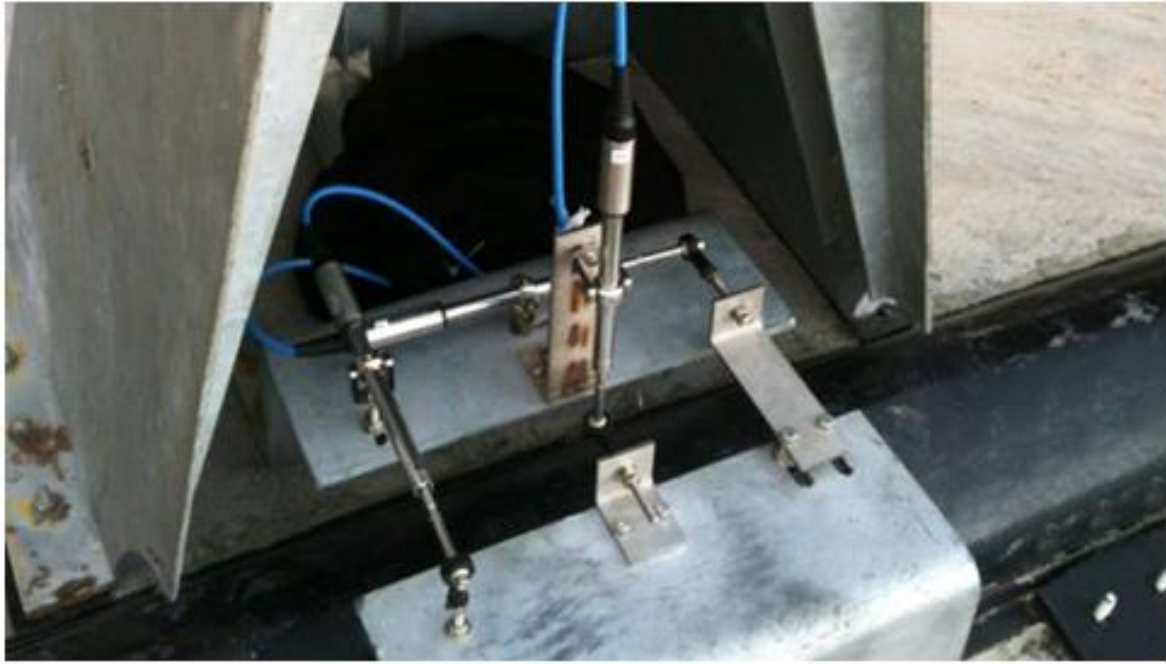
A repedéstágasság mérésére nagyon sok, igen eltérő műszaki színvonalú megoldás ismert. A talán legáltalánosabban használt, de legkevésbé értékelhető megoldás, amikor a kialakuló repedésekre gipszpogácsát telepítenek és az erre átvitt repedés szélességét mérik meg rendszeres időközönként mérőszalaggal. Ez a módszer

azonban csak kirívó esetekben nyújt elégséges, akár a szükséges beavatkozások tervezéséhez is megfelelő információt.

Minden, ennél már korszerűbb repedéstágasság-mérési módszerre igaz, hogy a mérésre alkalmas szenzor rögzítését és pozícionálását egyedileg, az adott feladathoz tervezett gépészeti megoldásokkal kell biztosítani. Rosszul tervezett vagy kivitelezett rögzítés esetén előfordulhat, hogy maga a rögzítő gépelemek akadályozzák meg a repedés fejlődésének pontos követését.

Megfelelő rögzítési megoldások esetén a feladatra igen sokféle szenzortípus használható. Ilyenek lehetnek akár a megfelelően rögzített, kézi módszerrel leolvasható analóg vagy digitális mérőórák, csavarmikrométerek. Nagyobb értékű, illetve magasabb kockázati szintű létesítmények esetében azonban célszerű ezt a mérési feladatot is korszerű mérőszensorok és automatizált működésű, akár a riasztási funkcióra is képes mérő-adatgyűjtő egységek alkalmazásával ellátni. Ilyen esetekben lineáris (pl. rezgőhúros, induktív, LVDT, potenciométeres, stb.) elmozdulás-szenzorokat célszerű alkalmazni. Sokszor alkalmaznak olyan megoldásokat is, amikor az általában deformációmérésre használt szenzorokat (pl. rezgőhúros deformációmérők vagy Wheatstone-hidas mérőelemek – ezeket részletesen ld. a következő fejezetben) olyan rögzítési geometriával és elmozdulást közvetítő elemekkel építik be, hogy ezáltal a szenzor a repedésfelületek mozgásait lineárisan képezze le. Ebből ugyanis igen pontosan és közvetlenül számítható vissza a repedés elmozdulása.

Az 14. ábrán egy induktív mérőszensorokkal megoldott dilatációmérési példát mutatunk be. A képen jól látható, hogy az egy irányban mérő szenzorokból három darabot célszerűen, az adott feladathoz tervezett segéd beépítő elemekkel rögzítve megvalósítható a diszkontinuitás 3D irányú mozgásainak a megfigyelése is. Az ábra szerint a hézagra merőleges irányú mozgás (megnyílás, vagy záródás) mellett megvalósul a hézaggal párhuzamos két síkban bekövetkező mozgások állandó megfigyelése is.



14. ábra. Dilatáció elmozdulásainak 3D-s mérése
(forrás: www.sisgeo.com)

5.2.1.7. Dőlésmérések

A dőlésmérések is a mozgásmérések csoportjába tartoznak (15. ábra). Valamely merev szerkezet dőlését – adott helyen – dőlésmérővel (tiltmeter, vagy MEMS inklinométer) mérhetjük. E műszerek az inklinométereknél említett gyorsulásmérő szenzorok mérési elvén működnek, mindenkor pozíciójuk a gravitációs térben pontosan meghatározható. Léteznek feszültség, mV, V, 4-20 mA-es kimenetű analóg, illetve digitális soros buszon, láncba kapcsolható változataik is. A dőlésmérők lehetnek 1 vagy 2 irányúak, aszerint, hogy a vizsgált szerkezet függőleges síkbeli dőlését 1 (általában a falra merőleges síkban-dőlés) vagy 2 függőleges síkban (esetenként a felülettel párhuzamos síkban is) célunk figyelemmel kísérni.

A dőlésmérőt általában a merev szerkezet felületére rögzítjük, esetenként egy – finom beállításra alkalmas – alaplemez segítségével, így a műszer telepítésekor a nem ideálisan függőleges felületen is pontosan beállítható a mérőműszer közel függőleges pozíciója (ezzel a mérési tartomány felezőpontja). A beérkező elektromos áramerősség értéket az adott sorszámmal ellátott, egyedi, gyári kalibrálású műszerre jellemző állandók segítségével (sina) értékke alakítjuk át (melyből $\sin(x)$ függvényrel képezhető a dőlés a értéke radiánban).

Többféle mérési tartományú, felbontású és sáv szélességű MEMS inklinométer létezik, melyeket a várható dőlésértékekhez illesztve kell a monitoring tervben megadni, hiszen a mérési pontosság a mérési tartomány adott százalékában fejezhető ki. (pl.

egy viszonylag érzékeny műszer, melynek a mérési tartománya $\pm 2,5^\circ$, az érzékenysége: $0,0013^\circ$, a mérési pontosság $\pm 0,0035^\circ$). A műszer termikus hatásra bekövetkező hibája: $0,00025^\circ/\text{C}$. A hőmérsékleti korrekció elvégzésére a beépített beépített NTC termisztorral jelével van lehetőség, A mérések megtehetők kézi kiolvasóval esetileg, illetve szükség szerint gyűjthetők adatgyűjtővel is, vagy, ha a feladat ezt megkívánja.



15. ábra. Egy példa dőlésmérő műszerre (bal oldali kép – forrás: www.sisgeo.com) és egy alkalmazási példa szerkezeti fal dőlésmérésére (jobb oldali kép – forrás: A-Híd Zrt.)

5.2.2. Deformáció- vagy alakváltozás mérések

A fentiekben az abszolút elmozdulások mérésére alkalmas megoldásokat soroltuk fel. Triviális, hogy a fajlagos deformáció a hosszegységre vetített elmozdulásnak felel meg ($e = \delta L/L$), tehát az abszolút elmozdulás és a deformáció egymásba könnyen átszámítható mennyiségek. A geotechnikai gyakorlatban számos előnye lehet annak, ha nem a talaj, kőzet, illetve az épített szerkezet abszolút elmozdulásait, hanem közvetlenül azok deformációit követjük monitoring eszközökkel:

- Az egyik legfontosabb ilyen előny, hogy számos geotechnikai feladat esetében (mint például egy építmény süllyedése) a tönkremenetelt nem a süllyedés abszolút mértéke okozza, hanem a differenciális mozgások. Éppen ezért ilyen esetekben a megengedhető mozgáselemeket fajlagos egységekben határozzák meg.
- Akár a kőzetek, akár pedig az építőanyagok laboratóriumi tesztjei során a különböző határfeszültségekhez tartozó deformációs szinteket határozzák meg, így a deformációs monitoring során kapott értékek ezekkel közvetlenül összevethetők.
- Természetesen akár egy extenzométer, vagy más alkalmas mérőeszköz abszolút elmozdulási, illetve geometriai adataiból is visszszámíthatók a deformációk. Inhomogén elmozdulásmező esetében azonban a mért hossz (az extenzométernél ez a rögzített ankerekkel közrezárt intervallum) megválasztása is alapvetően befolyásolhatja a kapott eredményeket. Számos esetben csak utólag derül ki, hogy a deformációk tényleges eloszlása egészen már rögzítési geometriát indokolt volna. Egyes helyzetekben a mért hossz közvetlenül nem is értelmezhető, tehát az átszámítás sem lenne lehetséges. Ezek a problémák a közvetlen deformációméréseknél nem lépnek fel.
- Bármilyen mechanikai viselkedést mutatnak is a vizsgált talajok, kőzetek vagy szerkezetek, a mechanikai leírásuk a feszültség és a deformáció közötti összefüggést adja meg; az elmozdulás és deformáció közötti átszámítás fentiek szerinti bizonytalanságai nélkül. Így a közvetlen deformációméréssel – a vizsgált anyag mechanikai paramétereinek ismeretében – pontosabb információt nyerhetünk a fellépő feszültségváltozásokra is. (Amennyiben a vizsgált anyag feszültség-deformáció összefüggésének leírására a legtriviálisabb Hooke-törvény megfelelő, úgy ehhez csak a rugalmassági modulus meghatározására van szükségünk.)

Az alakváltozások mérése mellett szükséges az értékelés során a hőmérsékleti viszonyok elemzése is, a vizsgált közeg, illetve szerkezet hőtágulásából eredő alakváltozások korrekciójához.

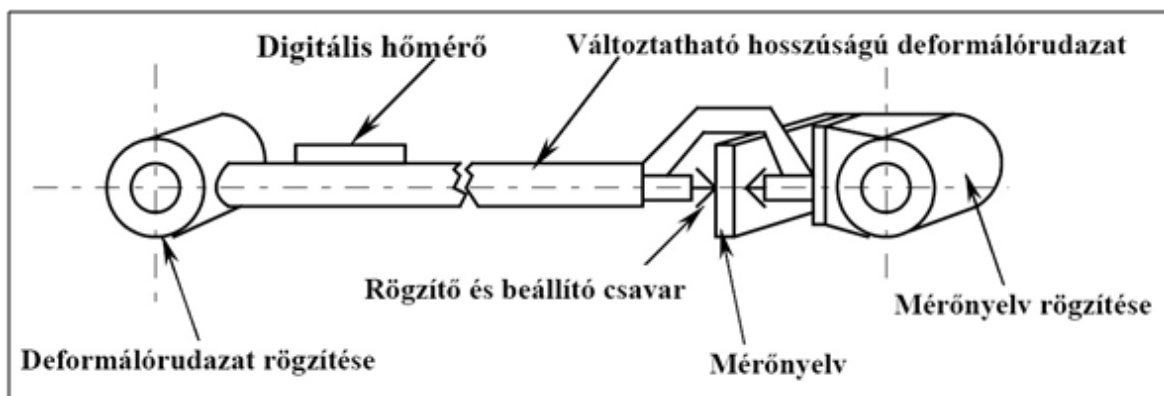
A közvetlen deformációmérésekre szintén többféle szenzortípus lehet megfelelő. Ezek közül a két legfontosabbat, a mérőbélyeges (rezisztív) és a rezgőhúros műszereket ismertetjük.

5.2.2.1. A mérőbélyeges (rezisztív) deformációmérési módszer

Amennyiben a deformációmérésre mérőbélyegeket alkalmazunk, úgy természetesen nem közvetlenül a bélyegek ellenállásának változását mérjük, mert ez a talajok, kőzetek vagy szerkezetek deformációjából adódóan mérhetetlenül alacsony érték

lenne. Ehelyett a mérőbéllyegekből – megfelelő elrendezésben – egy négy béllyegből álló ún. Wheatstone-hidas mérőrendszert alakítunk ki. A kiegyenlített hídban már ez a nagyon alacsony ellenállás-változás is igen nagy, könnyen mérhető hibaáramot idéz elő.

Mérőbéllyegeket használhatunk negyed-, fél-, vagy teljes hidas elrendezésben. A megnevezés arra utal, hogy a ténylegesen mérendő felületre a négy béllyeges hídból hány béllyeg kerül installálásra. (Ez a negyed hidas elrendezésben 1, a fél hidasban 2 béllyeget jelent. Ilyen esetekben a híd további, nem a mért felületre eső elemeit külső referenciabéllyegekként kell a rendszerben telepíteni.) A mérőbéllyegeket felragaszthatjuk közvetlenül a mérendő felületre is, de ez a ritkább és pontatlanabb eredményre vezető megoldás. A geotechnikai monitoring gyakorlatában ennél jóval elterjedtebb az ún. mérőbéllyeges-mérőnyelves deformációmérési technika alkalmazása. E módszer lényege, hogy a kőzetfalba, illetve téglá, beton, vasbeton épületszerkezeti elembe cementált, vagy valamilyen acélszerkezetre hegesztett (tehát mindenképpen stabil helyzetű) két mérőcsap távolságának változását egy olyan, a mérési irányra merőlegesen beépített mérőnyelv segítségével mérjük, amit egy merev, de az adott irányban szabadon mozgó rudazat deformál (ld. az 16. ábrán). A deformálórudazat és a mérőnyelvek stabil kapcsolatát rögzítőcsavarok biztosítják. Egyúttal ezek szolgálnak a mérés során a terheletlen alapérték beállítására is (nullázás).



16. ábra. A mérőbéllyeges-mérőnyelves deformációmérési technika elvi sémája (forrás: Kőmérő Kft.)

A rozsdamentes mérőnyelvre teljes hidas elrendezésben kerülnek a mérőbéllyegegk, ahol a mérőműszeren átfolyó hibaáram arányos lesz a mérőnyelv deformációjának mértékével. A mérőműszeren – megfelelő kalibráció után – 10^{-6} m/m (1 mm/m azaz $1 \mu\epsilon$ – mikrostrain) egységben közvetlenül leolvasható a nyelv fajlagos deformációja, ami az egyes nyelvek előzetes laboratóriumi kalibrálása alapján átszámolható a csapok közötti abszolút, illetve fajlagos távolságváltozássá. A gyakorlati tapasztalatok

alapján a mérési módszer pontossága 2-3 mε. A mérőnyelvek maradandó károsodás nélkül ± 2000 mε deformációt képesek elviselni.

Igen fontos, hogy a mérőnyelven a mérőbéllyegek ún. hőkompenzált módon kerülnek installálásra. Ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet változásaira maga a híd teljesen érzéketlen lesz. Ez igen nagy előny minden más szenzortípussal szemben (ahol maguknak a szenzorok is van egy, általában nemlineáris hőmérsékleti karakterisztikája), mivel így a mérőnyelvek esetében a hőmérsékleti korrekció szimpla lineáris hőtágulási feladattá egyszerűsödik le, amit a mérőrendszerhez integrált digitális hőmérő adatai biztosítanak. Ugyancsak kiemelendő, hogy a nagy számban elvégzett kalibrációs mérések szerint a teljes mérési tartományban a mérőnyelvek deformációs karakterisztikája is teljesen lineáris, ami legtöbbször szintén nem mondható el a konkurens szenzortípusokról. Ugyancsak nem figyelhetők meg e szenzortípus esetén hosszú távon sem elhangolódási, kúszási jelenségek, ami a hosszú távú monitoring feladatoknál kifejezetten fontos tényező.

A mérőbéllyeges rendszerek hátrányaként a hosszabb jelkábelek esetében mutatkozó zavarérzékenységet szokták megemlíteni. Ez megfelelően megválasztott, árnyékolt jelkábelekkel csökkenthető, de korábban így is célszerű volt a szuverén energiaellátással rendelkező automatikus mérésadatgyűjtő rendszert a mérőnyelvtől legfeljebb néhány 10 m-re (negyed- és félhidas méréseknél legfeljebb 30-40 m-re, teljes hidas mérésnél 60-80 m-re telepíteni. Újabban ez a probléma könnyen megoldhatóvá vált, mivel ezen a távolságon belül csak egy jelátalakító egységet kell telepíteni, amitől aztán az adatgyűjtő rendszer akár több 10 m távolságra is telepíthető.

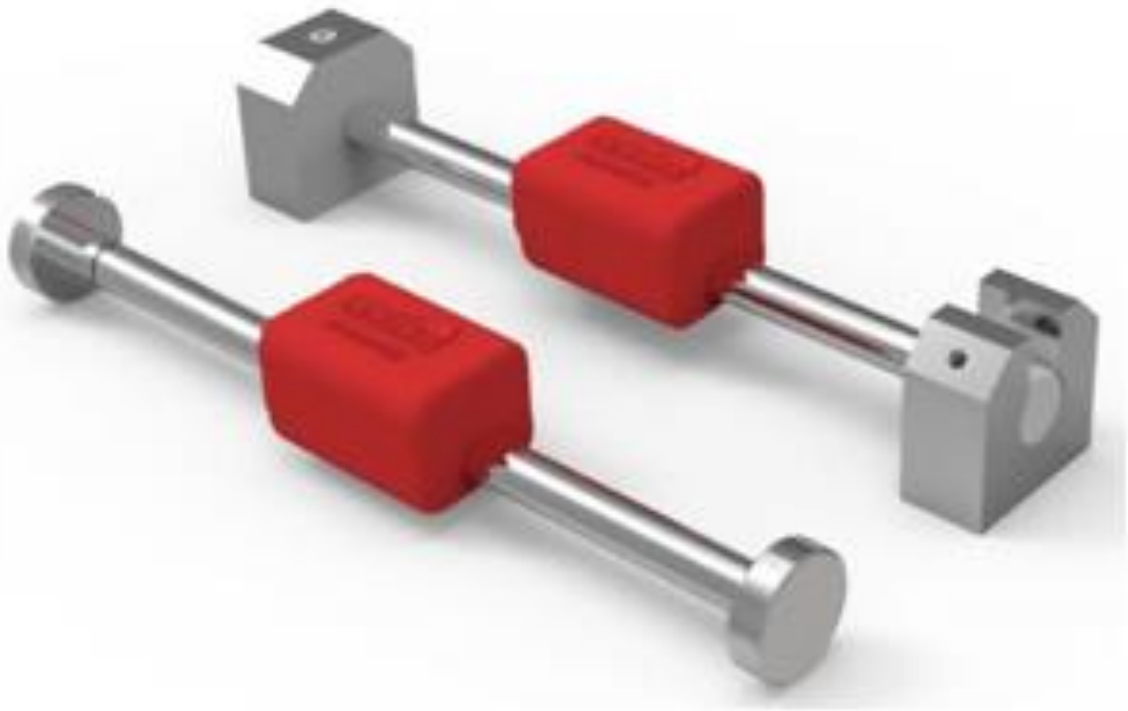
A mérőbéllyeges technikai az aktuális mérési igények függvényében szinte bármilyen elrendezésben alkalmazható. Alkalmas építmények, épületalozások, biztosítószerkezetek nagy felbontású deformációellenőrzésére, vagy akár 3D repedésvizsgálatra is. Gyakran alkalmazzák az alagutak falzatában, háromszöges elrendezésben (ld. a 17. ábrán) beépítve hosszú távú, akár több évtizeden át működő deformációs monitoringrendszer részeként is. Ez az elrendezés ugyanis biztosítja a mérőnyelv könnyű cseréjét és egyúttal azt is, hogy a csere esetén a deformációs idősor folytonos maradjon. A háromszöges elrendezéssel – megfelelő értékelő algoritmus alkalmazása esetén – a mért falzat síkjában fellépő maximális és minimális fődeformációk nagyságának és orientációjának változása is követhetővé válik. Ezek az adatok igen hasznosak az alagutak hosszú távú stabilitásának megítélésére, a műszaki beavatkozási igények időben történő előrejelzésére és a beavatkozások tervezésére is.



17. ábra. Egy háromszöges elrendezésben telepített mérőbéllyeges-mérőnyelves deformációmérő állomás (forrás: Kómérő Kft.)

5.2.2.2. A rezgőhúr elvén működő alakváltozás mérési módszer

A geotechnikai monitoring feladatok esetén – robusztusságuk miatt – igen gyakran alkalmaznak rezgőhúros elven működő mérőegységeket deformációmérési célokra (ld. a 18. ábrán).



18. ábra. Rezgőhúros alakváltozásmérő műszerek
(forrás: www.sisgeo.com)

A műszer belsejében lévő megfeszített húr elektronikus impulzussal megpengetve a feszítő erő nagyságától függő sajátfrekvenciájú rezgést végez. A rezgő húr azon elv alapján alkalmazható mérésre, hogy a rezgés frekvenciájának a négyzete egyenesen arányos a húr feszítőerejével, közvetve annak nyúlásával. Mindezt a fizikai törvényszerűséget úgy fordítjuk gyakorlati alkalmazássá, hogy a megfeszített húr két végét a szerkezethez rögzítve a mérhető alakváltozás egyenesen arányos a kifeszített húr rezgés frekvencia négyzetével. Egy-egy mérés, kiolvasás során a műszerben lévő aktuátor/jelfogó tekercsbe áramimpulzust vezetve, "megpengetjük" a kifeszített húr, mely rezgésbe jön; e rezgésnek a frekvenciáját a pengetéshez használt tekercs váltakozó elektromos jellel alakítja és a mérőkábel nagy távolságra (akár 1000 m-re), az adatgyűjtőig továbbítja a jelet. A kis feszültség ellenére a jel azért vezethető nagy távolságra, mert az információt nem az amplitúdó, hanem a frekvencia hordozza, s ez kevésbé érzékeny a vezeték ellenállására és az elektromágneses zajokra, mint a hagyományos rezisztív mérőbélvegek jelei. A beérkező frekvenciajelet a műszerre jellemző állandó segítségével mikrostrain (mm/m) egységgé alakítjuk. A műszerek mérési tartománya elérheti az 5000 mm/m értéket, érzékenyséjük: 1 me, a mérési pontosság ± 15 me. A mérőműszerek hosszú távú stabilitása: ± 3 me/év. A hőmérséklet mérésére a műszerbe épített termisztorral van lehetőség. Erre a hőmérsékleti korrekció elvégzéséhez van szükség, ami a legtöbb alkalmazás esetén az eredmények megfelelő értékelhetőségének biztosítása miatt elkerülhetetlen.

A műszer családon belül többféle kialakítású kivitel létezik. Ezek közül kétféle rendszer három felhasználási módját mutatjuk be az alábbiakban:

- **hegesztendő kivitel:** az acélszerkezetek alakváltozásának mérésére e műszereket rögzítő végtartókat hegesztéssel rögzítjük a betonacél armatúrához, vagy a megfigyelendő acélszerkezet felületére (ld. a 19. ábrán). A végtartók rögzítését egy beépítő tengellyel végezzük, majd a hegesztést követő kihűlés után a beépítő tengely helyére kerül a mérőműszer. Adott esetben a megfelelő előkészítést követően csavarozással, vagy ragasztással is rögzíthető a felületre. A műszerek alaphelyzetben a mérési tartomány felénél állnak, melyet a várható alakváltozások szerint célszerű kezdetben e középálláson hagyni, vagy előfeszített, esetleg összenyomott állapotba hozni a telepítés során a várt igénybevételeknek megfelelően, ha szükséges a ± 1500 μm mérési tartomány eltolása valamely irányban.



19. ábra. alkalmazási példa - hídgerenda alakváltozásának mérése hegesztett kivitelű rezgőhúros műszerrel (forrás: A-Híd Zrt.)

- **betonacélra előzetesen hegesztett kivitel:** a műszer teljesen azonos az előző kialakítással, azzal a különbséggel, hogy a műszert előzetesen hegesztéssel rögzítjük egy előre elkészített betonacélhoz, melynek átmérője és hossza illeszkedik a megfigyelt szerkezet vasalásához (20. ábra). Ez a megoldás a kockázatos beépítési helyzetekben jelenthet többlet-biztonságot.
- **betonba merülő kivitel:** a mérési elv változatlansága mellett e műszerek esetében a kifeszített rezgőhúr acél korongokhoz rögzített, melyek a betonba bekötve a beton alakváltozását mutatják. E műszerek gyári beállítás szerinti középállása a telepítéskor nem állítható.



*20. ábra. Alkalmazási példa - alaptest függőleges alakváltozás mérése
(forrás: A-Híd Zrt.)*

A műszerek típusukhoz tartozó – tehát nem egyedi – kalibrációs bizonylattal rendelkeznek, az azonos típusú műszereknek az állandója azonos érték.

Az alakváltozás mérőket elmozdulás irányonként párban, nem ismert irányú elmozdulások mérése esetén a síkban 4-6 db műszerrel célszerű mérni. A méréseket adatgyűjtővel célszerű végezni, tekintve az általában viszonylag nagy érzékelőszámot.

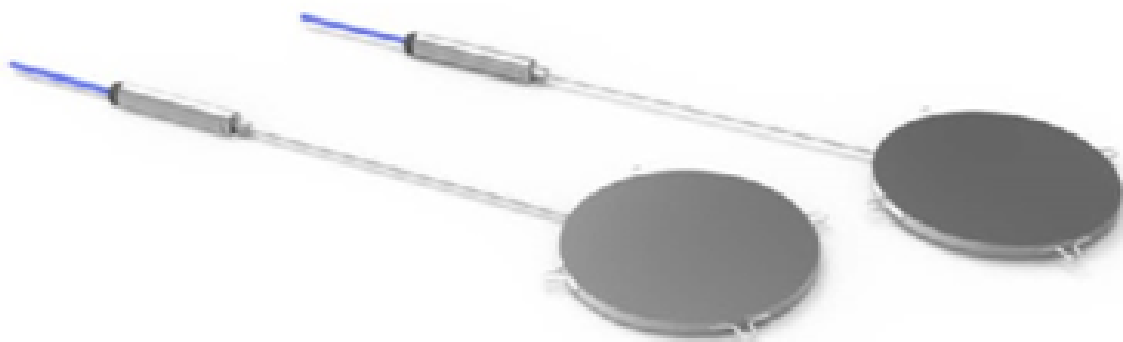
A rezgőhúros műszerek a geotechnikai gyakorlatban leginkább vasbeton szerkezetek (falak, alagútfaizatok, alapozási elemek) helyi alakváltozásainak méréseire vagy

dúcerek alakulásának ellenőrzésére használatosak. Vasbeton szerkezetbe való telepítéskor figyelembe kell venni, hogy a beton inhomogenitásából adódóan és a betonacélok közelében kiszámíthatatlanul koncentrálódó feszültségek hatására a mérési eredmények mutathatnak anomáliákat. Ezt a mérési pontok számának növelésével valamelyest lehet ugyan kompenzálni, és az is elhihető, hogy az adott pontban, az adott irányban az érzékelők által mért nyúlás a valóságnak megfelelő (az említett mérési pontosság jelentette tartományon belül), de azt is el kell fogadni, hogy a valóság eltérhet a tökéletesen homogén anyagot feltételező elméleti számításokkal meghatározott várt értékektől. Az említett alkalmazás esetén további problémát jelent a keresztmetszet berepedése. Egy az érzékelőn áthaladó, vagy amellet kialakuló szerkezeti repedés nagymértékben növelheti az adott pontban mért nyúlásértékeket és a folytonos anyagot feltételező számításokkal meghatározott elméleti (átlagos) nyúlások közötti különbséget. A lokális hatások mérési eredményekre gyakorolt befolyásának csökkentése végett érdemes megfontolni, nagyobb, pl. a berepedezési távolságot többszörösen meghaladó egyedi összeállítású eszközök használatát, elfogadva, hogy ez esetben a térbeli felbontóképesség csökken. Ez bizonyos esetekben elfogadható kompromisszum, míg más esetekben, pl. rövid cölöpök talpellenállásának meghatározásakor problémát jelenthet.

5.2.3. Nyomás-, feszültség- és erőmérések

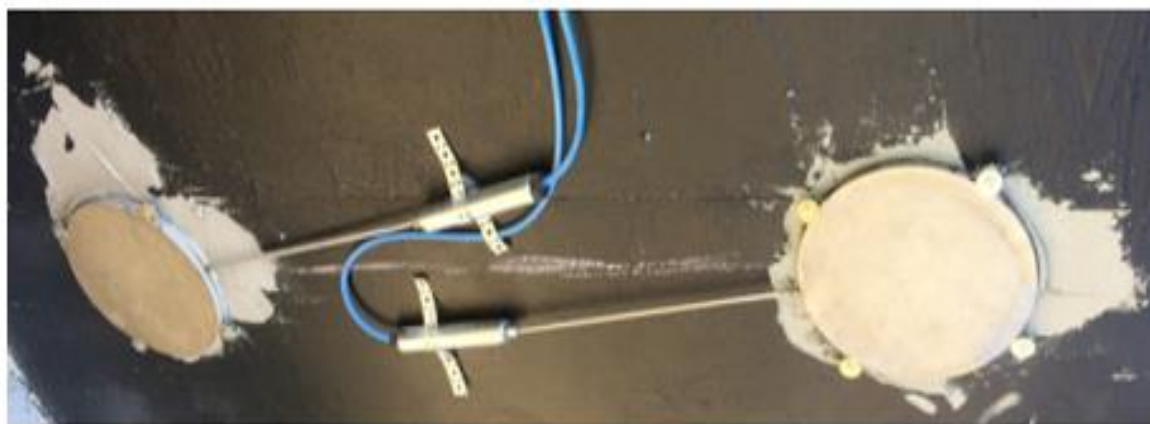
5.2.3.1. Nyomásmérések szerkezet és talaj határfelületén

A szerkezet és talaj határfelületén fellépő nyomást földnyomásmérő cellákkal mérjük (ld. a 21. ábrán). A földnyomásmérő cellák általában elhelyezhetők földműben vagy a szerkezet-talaj határfelületén.



21. ábra. Nyomásmérő cellák
(forrás: www.sisgeo.com)

A nyomásmérő cellát érő nyomást olajtöltet közvetíti a jelátalakítóra, mely lehet például rezgőhúr elvén működő egység, vagy hagyományos piezorezisztív átalakító (22. ábra). A mérésre alkalmazandó optimális mérőműszer fajtája a rendszer tervezésekor a kiolvasó egység, vagy az adatgyűjtési rendszer szempontjai szerint választható ki.



22. ábra. alkalmazási példa - szerkezet – talaj határfelületén a vízszintes feszültségek mérése (forrás: A-Híd Zrt.)

A jelátalakítók magas műszaki színvonala miatt a mérési eredmények magas százalékban reprodukálhatók, a műszerek gyorsan reagálnak a nyomásváltozásra, és hosszú távú alkalmazásuk is bizonyított. E műszereket nagy pontosság és érzékenység jellemzi, a ház rozsdamentes acélból készül, vízzáró kivitelben. A nyomásmérő cella egyik oldala érzékeny a nyomásra, talaj-szerkezet határán ez az érzékeny oldal néz a talaj irányába (23. ábra). A jelátalakítóról érkező jelet (frekvencia, feszültség vagy áramerősség) az adott egyedi sorszámozású, gyári kalibrálású műszerre jellemző állandók segítségével fizikai egységbe (kPa) alakítjuk át, a további felhasználáshoz. A mindenkori feladathoz illeszkedően kell megválasztani a mérőműszerek mérési tartományát, hiszen a mérési pontosság a mérési tartomány százalékában meghatározott műszerjellemző. A műszerek kétcsatornásak, a hőmérséklet mérésére a beépített termisztorral van lehetőség. A hőmérséklet ismeretére a hőmérsékleti korrekció elvégzéséhez van szükség.



23. ábra. Alkalmazási példa - alaptest alatti függőleges feszültségek mérése
(forrás: A-Híd Zrt.)

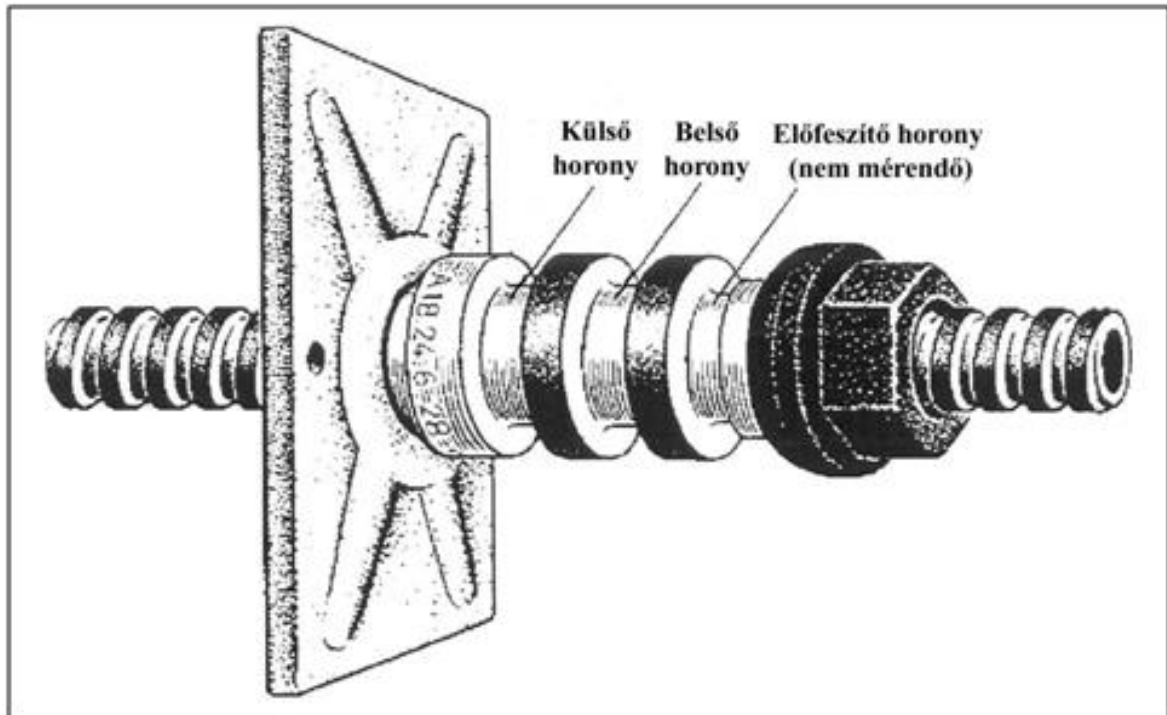
A nyomásmérő műszerek így abszolút értékben adják meg a mért nyomásértéket, melynek a hitelességét a gyártói kalibráció biztosítja. A műszerek eseti mérések során kézi kiolvasóval is kezelhetők, de célszerűen adatgyűjtőbe is kapcsolhatók. A nyomásmérők a telepítési pontatlanságokra nagyon érzékeny egységek, a műszerek körüli átboltozódás is meghamisíthatja a mérési eredményeket. Főleg olyan esetekben, amikor a mérendő nyomás viszonylag kicsi, igyekezni kell olyan mérőfelületet kialakítani, ami lehetőség szerint nem tér ki a mérendő nyomással terhelt felület síkjából, és a mérőfelület merevsége is megegyezik a környezetének merevségével. Ezáltal csökkenthetők az említett átboltozódásból és a merevebb szerkezet feszültségkoncentráció hatásából adódó mérési hibák.

5.2.3.2. Horgonyerők alakulásának mérése

A tervezők a szisztematikusan alkalmazott, méretezett talaj-, illetve közethorgonyok esetében minden esetben a feltételezésekkel élnek a fellépő horgonyterhelésekkel kapcsolatban, illetve előírásokat tesznek azok megengedhető maximális mértékére. Ezen előírások teljesítését monitoring-jellegű mérésekkel kell igazolni. Az alábbiakban egy fél-kvantitatív és egy kvantitatív mérési módszert ismertetünk.

Az ún. **terhelésjelző horgonyalátétek** (pl. a TITAN Load Indicator típusú változat) olyan egyszerű, mechanikai eszközök, amellyel elektronikus mérőműszer alkalmazása nélkül lehet következtetni horgonyok fejénél ébredő erőkre. Az így kapott adatok csak egy előzetes és igen pontatlan becslést tesznek lehetővé.

A TITAN Load Indicator típusú terhelésjelző horgonylátét felépítését és működését a 24. ábra mutatja be, amin az eszköz már beépített állapotában látható. Az ábra szerint a terhelésjelző horgonylátéten három nagyobb (egyforma) és egy kisebb átmérőjű borda három horonyszerű bevágást fog közre. Az eszköz a menetes horgonyszáron a négyzet alaprajzú horgonylátét és az előfeszítő anyacsavar közé kerül, mégpedig úgy, hogy a kisebb átmérőjű borda és az amellet elhelyezkedő előfeszítő horony kerüljön az anyacsavar mellé.



24. ábra. Titan Load Indicator típusú terhelésjelző horgonylátét
(forrás: www.ischebeck.de)

A telepítés során az anyacsavart – nyomatékkulcs alkalmazásával – egy, a gyártó által előírt nyomatékszintig húzzák meg, aminek hatására a horgonyszárban és a terhelésjelző alátétben egy közelítőleg ismert nagyságú erő ébred. Ez az erő éppen elegendő a kisebb anyagvastagságú előfeszítő horony összezárásához, így a telepítés során azonnal ellenőrizhetővé válik, hogy az előfeszítés és az eszköz megfelelő-e. Az előfeszítés hatására – a beépítetlen állapothoz viszonyítva – a „külső” és „belső” hornyok szintén szenvednek kisebb alakváltozást, de mivel ekkor megtörténik a telepítési állapot lemérése is, a továbbiakban már ehhez az alapértékhez kell viszonyítani a további elmozdulásokat. Amennyiben a mérési időszakban a horgonyfejen ébredő terhelés tovább fokozódik, úgy a külső és belső hornyok tovább szűkülnek, a ható erővel közelítőleg arányosan. Így az eszközök monitoring-jellegű üzemeltetése – egyészen a gyártó által megadott két kritikus terhelési szint eléréséig – annyit takar, hogy alkalmas, kézi mérőeszkővel rendszeres időközönként mérni és dokumentálni kell a külső és belső hornyok nyílását. Amikor viszont a terhelés már

eléri a kritikus szinteket, akkor az első ilyen szintnél a belső, a másodikonál a külső horony anyaga átlépi a folyáshatárt és így a hornyok nagy deformáció mellett hirtelen teljesen összezáródnak. A terhelésjelző horgonyalátétek megfelelő kiválasztásakor tehát arra kell tekintettel lenni, hogy a hornyok folyáshatárai hozzávetőleg megegyezzenek a tervező által a horgonyterhelésre megadott határértékekkel. Így ugyanis az alátétek közvetlenül és egyértelműen jelzik e határértékek átlépését.

A kritikus szintek eléréséig a terhelésjelző horgonyalátétek mérése (a kritikus szintek átlépésének értékelését leszámítva) csak igen nagy hibával végezhető el, tehát ezek az eszközök nem adnak pontos adatokat a fellépő erők időbeli alakulásáról. Számos esetben azonban elengedhetetlen az ilyen adatok ismerete; például akkor, ha az építés során fontos az egyes beavatkozások, illetve technológiai lépések hatásainak meghatározása is. Például az alagútépítés során fontos geotechnikai feladat az alkalmazott kőzethorgonyok erőjátékának; ezáltal hatékonyságának megismerése. Ilyenkor – a kritikus szintek átlépésének jelzése mellett – azt kell vizsgálni, hogy az egyes jövesztések hatására milyen mértékű terhelések lépnek fel a horgonyfejekre, és ezek hogyan alakulnak az eltelt idő, valamint a vājvégtávolság függvényében. Hasonló a feladat egy felszíni talaj- vagy sziklarézsű biztosítására alkalmazott horgonyoknál is. E célok elérésére általában *elektronikus terhelésmérő cellákat (Load Cell)* alkalmaznak.

A terhelésmérő cellák felépítés és működése hasonlít a laboratóriumi nyomóerő-mérő cellákhoz, ezért a beszerezhető típusok többségében teljes Wheatstone-hídba kapcsolt mérőbelyegekkel, tehát deformációból származtatható módon történik a mérés. Így telepítésük előtt a mérőcellákat ismert terhelőerők, illetve hitelesített laboratóriumi erőmérő cellák alkalmazásával előzetesen kalibrálni kell.

A terhelésmérő cellákat az alagút vagy a rézsű kritikus szelvényeiben, a szisztematikus biztosítási rendszer elemeként beépített horgonyokra célszerű telepíteni (ld. a 25. ábrán), mert csak így biztosíthatók a reprezentatív eredmények. Minden esetben törekedni kell arra, hogy a beépítés és az alapállapot rögzítése minél korábban, a minősítendő művelet sor előtt történjen meg. Így például egy alagútban az aktuális vājvéghez lehetőleg minél közelebb eső szelvényt kell kiválasztani a telepítésre. Egy alagútszelvényben – a szelvényméret, illetve szelvényalak függvényében – általában 4-6 db mérőműszert telepítenek, a szelvény mechanikai szempontból eltérően viselkedő pontjain (pl. főtepont, vállpont, oldalpont).

A cellák jelkábeleit automatikus működésű adatgyűjtő egységekhez célszerű csatlakoztatni. A telepítés során így pontosan beállítható a cellán a kívánt előfeszítő erő, amihez viszonyítva a későbbiekben a változások viszonyíthatók lesznek. A

regisztrált adatokat az előzetesen elvégzett laboratóriumi kalibrációs kísérletek eredményeit felhasználva kell feldolgozni és értékelni.



*25. ábra. Egy horgonyfejre telepített elektronikus terhelésmérő cella (Load Cell)
(forrás: Kőmérő Kft.)*

Annak érdekében, hogy az így telepített mérőcellák és jelkábeleik kibírják a jövesztéssel járó mechanikai igénybevételeket, ezeket általában löttbeton-takarással kell megvédeni. A kialakított mérési szelvényeket az építés teljes időszakában (illetve lehetőség szerint még azt követően is) folyamatosan célszerű üzemeltetni.

5.2.3.3. Pillérfeszültség-változások monitorozása

Az előző pontban bemutatott mérési módszerekkel elsősorban a talajok és kőzetek, illetve az épített szerkezetek csatlakozási zónájában, vagy közvetlenül ezek felületein lehet olyan deformációs, illetve terhelési adatokat szerezni, amelyekből visszaszámolhatóak a feszültségváltozások is. Sokszor felmerül azonban az igény arra is, hogy a mélyépítési, illetve alagútépítési projektek kapcsán érintett kőzettestek belsejében, az építési folyamatok hatására lejátszódó feszültségváltozásokról mérési adatokat lehessen szerezni (tipikus példa erre a két alagút közötti pillérek feszültségállapota, ami a teljes rendszer stabilitása szempontjából kritikus lehet). A mérések különösen olyan reális kőzetek és talajok esetében lehetnek indokoltak,

amelyeknél – anyagi és/vagy szerkezeti inhomogenitások miatt – a ténylegesen fellépő feszültségváltozások mértéke, időbeli lefolyása és térbeli eloszlása is messze esik a kontinuummechanika elméletéből adódó prognózisoktól. Ugyancsak fontos lehet a feszültségváltozások hosszú távú műszeres monitorozása az olyan projekteknél is, ahol a közeg és/vagy az épített szerkezetek mechanikai tulajdonságai akár korrózió, degradáció, akár más külső (pl. mechanikai, termikus) hatások miatt idővel jelentősen romolhatnak, veszélyeztetve ezzel a teljes rendszer stabilitását.

A feszültségváltozás-mérési feladatok végrehajtására ugyanazokat a speciális mérőműszereket célszerű alkalmazni, amelyeket elsősorban a mag-körülfúrások (overcoring) primer kőzetfeszültség-mérések céljára fejlesztettek ki. Ezek közül is elsősorban azok a fúrólukak talpára installálható 3D-s rendszerek jöhetnek számításba feszültségváltozás-mérésekhez, amelyekkel a teljes feszültségváltozási tenzor valamennyi komponensét egyidejűleg meg lehet határozni. A gyakorlatban e célra kétféle fő szenzortípust, illetve ezek különböző változatait alkalmazzák:

- az ún. kónuszos végű, a fúróluk célszerűen kialakított talphoz ragasztott mérőszondákat (compact conical ended borehole overcoring system – CCBO; ld. a 26. ábra bal oldali képén);
- az üreges belsejű, a külső hengerpalástjával a kőzethez ragasztott szondákat (pl. a CSIRO Hollow Inclusion Cell – HI Cell; ld a 26. ábra jobb oldali képén).



26. ábra. 3D feszültségváltozás-mérésre is használható mérőcellák. Bal oldali kép: egy CCBO típusú szonda (forrás: Institute of GEONICS, Csehország); Jobb oldali kép: egy CSIRO HI típusú mérőcella (forrás: ESS Earth Sciences, Ausztrália)

Mindkét szenzortípusra érvényes, hogy a primerfeszültség-, illetve a feszültségváltozás-mérések során is a célszerű elrendezésben, különböző orientációban a szenzorba telepített nagyszámú mérőbéllyegekkel érzékeli a deformációkat. Ezekből a megfelelő mechanikai paraméterek ismeretében, speciális

algoritmussal számíthatók vissza a feszültség- és a feszültségváltozási adatok. Amennyiben a műszereket primerfeszültség-mérésre használjuk, úgy a szondával együtt körülfürűt és kiemelt kőzetmag biaxiális cellás visszamérésével közvetlenül is megkaphatók a kívánt mechanikai paraméterek. A feszültségváltozás-mérések során azonban – utólagos körülfürűs hiányában – ez nem lehetséges. Így itt törekedni kell arra, hogy a maggal lemélyített fúrásokból a laboratóriumi vizsgálatokat lehetőleg pontosan arról a helyről származó fúrómagokon végezzék el, ahol a műszerek telepítése megtörténik.

A kónuszos végű cellák esetében jellemzően 6 pár hossz-, illetve keresztirányú mérőbéllyegeket ragasztanak fel a kónuszos felületre. A henger alakú CSIRO HI-cellákban 12 db, meghatározott helyzetű (axiális, körívmenti, valamint a cella tengelyével 45° illetve 135° szöget bezáró) mérőbéllyeg található. Ez utóbbi szonda azonos orientációval általában több béllyeget is tartalmaz. A duplikálás oka kettős: így egyrészt csökkenthető az egyes csatornák esetleges meghibásodásából származó adatvesztés lehetősége, másrészt viszont a többlet-adatok birtokában kiegyenlítő számításokra is mód van. Mindkét műszertípusban található egy hőmérséklet-érzékelő elem (termisztor) is.

Mindkét műszertípus telepítéséhez speciális, körültekintő fúrástechnikai és installációs előkészületekre van szükség. A kónuszos műszernél a befogadó fúróluk kónuszos talpfelületének kialakítása igényel nagy gyakorlatot és célszerszámokat, mivel erre a felületre kell igen pontosan ráragasztani a cellát. A CSIRO HI-cellás műszer esetében egy nagyobb átmérőjű fúróluk végéről központosan kell egy kisebb átmérőjű, fél méter hosszú ún. pilot-lyukat fúrni. A gyárilag előkészített cella üreges részébe kerül a megfelelő ragasztóanyag, amely a kis átmérőjű fúrólukszakaszon automatikusan és egyenletesen kerül a cella külső felülete és a fúrólukfal közé; ezzel egyenletes és igen jó minőségű kapcsolatot biztosítva.

A mérőcellákat befogadó fúrólukakat – rendelkezésre álló geometria és a mérési cél függvényében – kétféle elrendezésben lehet telepíteni:

- A leggyakoribb elrendezés az, ha a kihajtás alatt álló, mérendő alagútból kiindulva mélyítik a telepítéshez szükséges fúrólukakat. Ezeket az általában az alagút tengelyével lapos szöget bezáró fúrólukakat az aktuális vájvég elé, a pillér megfelelő mélységű zónájába irányozzák, majd a megfelelő talpkialakítás után ezek végére telepítik a mérőeszközöket. Ennek az elrendezésnek nagy hátránya, hogy a jelkábelek és a műszerek jövesztési hatásoktól való megvédése nagy erőfeszítést igényel.
- Amennyiben a mérendő alagút mellett rendelkezésre áll egy másik, ahhoz közeli helyzetű üreg is, úgy a fúrólukakat telepíthetők a már az extenzométerek

kapcsán is említett ún. elhaladásos elrendezésben is. Ilyenkor a fúrólukák általában közel merőlegesek a mérendő alagút tengelyére. Ebben az esetben a műszervédelem is egyszerűbb: a mérőcellákat és jelkábeleiket csak a túljövesztéstől és a horgonylyukak fúrásától kell megóvni.

A teljes feszültségváltozási folyamat kiméréséhez mindkét elrendezésben az szükséges, hogy a cellákat olyan pozícióban telepítsük, ahol az az aktuális vájvég még nem gyakorol feszültségmódosító hatást. A kontinuummechanikai elvek szerint ez minimálisan másfél alagút-átmérőnyi távolságot jelent, de mivel a mérésekre legtöbbször éppen a kontinuummechanikai szabályok érvénytelensége miatt van szükség, célszerű ennél nagyobb induló távolságot választani.

Az ilyen, komplex feszültségváltozás-mérések ma már nem képzelhetők el automatikus működésű, korszerű mérő-adatgyűjtő rendszerek nélkül. A mérőcellák beragasztását és az adatgyűjtőhöz való csatlakoztatását követően általában szükség van a mérőcellák legalább 1-2 napos stabilizálódására, és az ez alatt keletkező adatok gondos elemzésére annak érdekében, hogy az építési folyamatok által indukált deformációs hatásokat pontosan fel lehessen venni. Az építés csak azt követően indítható újra, ha ez a stabilizációs folyamat már eredményesen lezárult.

5.2.4. Kiegészítő környezeti információk mérése

Az alábbiakban felsorolt környezeti hatások egyes esetekben önálló geotechnikai jelentést tartalommal is bírhatnak, de többnyire inkább az elmozdulási/deformációs és terhelési adatok értelmezése, illetve kiterjesztése érdekében vizsgáljuk ezeket.

5.2.4.1. Hőmérséklet mérése

Mivel a mért elmozdulások/deformációk szinte minden esetben magukban foglalják a közeg vagy a szerkezet, illetve maguknak a mérőeszközöknek és az azok rögzítésére használt eszközöknek a hőtágulási folyamatait is, a pontos értékeléshez ezek mértékét is ismerni kell.

Az előzőekben ismertetett műszertípusok szinte mindegyike rendelkezik hőmérséklet mérésre alkalmas érzékelővel is. Van rá mód, hogy egy kiterjedt szerkezet esetében, ahol a hőmérsékletváltozás okozza a szerkezet feszültségváltozásait, ott további hőmérséklet mérésre alkalmas műszerekkel besűrítsük az észleléseket (27. ábra). Ilyen alkalmazás lehet, pl. hidak pályalemezében a hőmérséklet eloszlás mérése (28. ábra).

A hőmérséklet mérését leggyakrabban fémes ellenállásos (Pt100, Pt1000) vagy félvezető alapanyagú NTC termisztorral végezzük, de – az alkalmazott mérő- és

adatgyűjtő típusától függően számos egyéb mérési elv (pl. termoelem, ellenállásos hőmérséklet-detektor) vagy akár intelligens hőmérő-chipek is alkalmazhatók.



27. ábra. Hőmérséklet mérésére alkalmas NTC termisztor
(forrás: www.sisgeo.com)

A hőmérőt általában olyan helyzetben célszerű rögzíteni, ami jellemző a mérni kívánt közegre. A mérési eredmények magas százalékban reprodukálhatók, a szenzorok többségét hosszú távú stabilitás, magas precizitás és érzékenység jellemzi. A szenzorok általában rozsdamentes, vízhatlan kialakításúak, így betonba is beépíthetők. A mérőműszerek mérési tartománya típustól függ. NTC szenzorok esetén pl. -50° - $+80^{\circ}\text{C}$, a műszer érzékenysége: $0,1^{\circ}\text{C}$, a mérési pontosság $\pm 0,5^{\circ}$.



28. ábra. Alkalmazási példa - híd pályalemez kiegészítő hőmérséklet mérése
(forrás: A-Híd Zrt.)

E műszerekhez nem tartozik gyártói kalibráció, az NTC termisztorokról visszaérkező elektromos ellenállás jelet közvetlenül számítjuk °C mértékegységre. A mérések kézi kiolvasóval, eseti jelleggel is és adatgyűjtővel is elvégezhetők.

5.2.4.2. Vízsint, víznyomás mérése

A talajvízszintről, a talajban lévő pórusvíznyomás nagyságáról, változásáról, területi eloszlásáról adatokat úgy szerezhetünk, ha talajvízmérő állomásokat létesítünk. (Jelen esetben, amikor talajvízről beszélünk, akkor valamennyi felszín alatti vízfajtat beleértjük.)

A talajvíz mérésére nyitott vagy zárt rendszerek alkalmazhatók. A nyitott vagy zárt rendszerek közül a talaj átteresztőképességétől, a pórusvíznyomás változásának a sebességétől, továbbá a mérések elvart pontosságától és várható időtartamától függően kell választani.

Egy nyitott rendszerű piezométercsőben mért vízszint értéke a szűrőzónában kialakult talajvíz-potenciál átlagos nyomómagasságának felel meg. Homogén vízvezető rétegben megközelítőleg vízszintes talajvíz áramlás esetén a szűrőzóna kiterjedhet a vízvezető réteg teljes vastagságára, minthogy ez esetben a talajvíz nyomómagassága a szűrőzóna mentén gyakorlatilag azonos. Rétegzett vízvezető összetekben, valamint az intenzív függőleges áramlások közelében a mélységgel változóan nagyon különböző talajvíz-potenciálok alakulhatnak ki. Ilyen esetben a szűrőzést a vízvezető rétegnek csak azon viszonylag rövid függőleges szakaszán kell kialakítani, amelyben a talajvíz-potenciált mérni kell.

Mindkét rendszer esetében szűrőt építünk be a talajtömeg azon mélységébe, ahol a talajvíz nyomómagasságát vagy a pórusvíznyomást mérni kell. A szűrőnek a feladata, hogy megakadályozza a talajrészecskék mérési rendszerbe bejutását.

Nyitott rendszerben

- a piezométer egy szűrőből és egy piezométer csőből áll, mely a térszínig vagy a fölé ér és lehetővé teszi a légköri nyomással való kiegyenlítődést.
- A méréseket vagy manuálisan (pl. elektromos vízszintmérővel), vagy automatikusan (pl. nyomásérzékelővel) kell végezni és rögzíteni.
- Közepes és nagy átteresztőképességű talajokban vagy kőzetben ajánlott nyitott rendszereket használni a talajvízszint mérésére. (Ennek megfelelően nem ajánlott alkalmazni e rendszereket kis átteresztőképességű talajokban vagy kőzetben sem a talajvíz nyomómagasságának, sem a pórusvíznyomás gyors változásainak mérésére.

Zárt rendszerek esetében

- a piezométerek két részből állnak, egy robusztus csőből, melyet az alsó végén (adott légbehatolási ellenállású) szűrővel felszerelve építenek be a talajba, továbbá egy vízzel telt (légmentes) kamrából, amely mögött a víznyomás átadódik a mérőegységre.
- a mérési módszer alapján megkülönböztetünk hidraulikus, pneumatikus és elektromos rendszereket.
- A pórúsvíznyomás értékeit a terepszinten mért légköri nyomáshoz viszonyított nyomásértékként kell megadni. Ha olyan nyomásérzékelőt használnak, amely abszolút nyomást mér, akkor egyidejűleg meg kell határozni a beépítés helyén a talajban lévő abszolút pórúsvíznyomást és a térszínen lévő abszolút légköri nyomást is.
- Zárt rendszerek bármely talajtípusban használhatók pórúsvíznyomás mérésére, s ezáltal a talajvíz potenciáeloszlásának meghatározására. Mindenképpen zárt rendszerű piezométereket kell használni kis áteresztőképességű talajokban vagy kőzetben, illetve pozitív rétegnyomás viszonyok esetében a pórúsvíznyomás nagyságának vagy gyors változásainak mérésére. Elektromos mérési rendszerek használata a pórúsvíznyomás gyors változásainak mérésére, illetve folyamatos adatrögzítés szükségessége esetében ajánlott. Zárt rendszerek hosszú távú (pl. több éven át tartó) észlelésekre csak akkor használhatók, ha kellő mennyiségű független többletadat szolgáltatására is képes a rendszer, vagy ha a rendszer ellenőrizhető és ismételten kalibrálható.

5.2.4.3. Rezgés- és gyorsulásmérés

A rezgésmérés feladatként az építőipari gyakorlatban számos céllal megjelenik. Ilyen pl. a szerkezetek sajátfrekvenciáinak, sajátrezgésalakjainak folyamatos megfigyelése a szerkezeti változások kimutatása céljából, pl. hidak esetén, vagy rezgéstomográfias mérések alapjaként. Jelen dolgozat tárgykörében, a mélyépítési monitoring tevékenységek esetén két mérési indíttatás emelendő ki. Az egyik, hogy a külső forrásból származó építési, gépészeti stb. rezgések milyen hatással vannak az épülő mélyépítési szerkezeti elemeinkre, a másik, hogy a mélyépítési tevékenység nyomán keletkező rezgések milyen hatást gyakorolhatnak a környezetükre. Az előbbi a kivitelezési tevékenység biztonsága és a minőségbiztosítás szempontjából fontos, utóbbi pedig a kártérítési ügyek megelőzése, illetve ilyen esetekben adatok biztosítása szempontjából elengedhetetlen.

A rezgések jellemzésére használható mennyiségek (rezgés gyorsulás és rezgéssebesség) megmérése bármilyen az ipari gyakorlatban elképzelhető pontossági

igényt kielégítő módon való elvégzése manapság rutin mérési feladatnak tekinthető. A rezgéssebesség méréshez az ún. geofonok használatosak, míg a rezgésgyorsulás mérés eszközei a gyorsulásmérők.

A geofon esetén egy állandó mágnes körül egy rugóra felfüggesztett tekercsben indukálódik a tehetetlen tömeget képviselő tekercs és a rögzített mágnes relatív elmozdulásának sebességével arányos mérőjel, amit megfelelő erősítést és a szükséges jelkondicionálást követően áll elő a pont sebesség elmozdulás függvénye. Ezen eszközökre jellemző, hogy alacsony frekvenciatartományban érzékenyséjük jelentősen csökken (a későbbi plató értékének akár 100-ad részére) és a tényleges mozgás fázisához képest ugyanebben a frekvenciatartományban nemlineáris fáziseltolódás karakterisztika jellemzi őket, ami bizonyos esetekben megnehezítheti a mérési eredmények értékelését.

A gyorsulásmérők közül a geotechnikai gyakorlatban az említett feladatokhoz a legrugalmasabban használható eszközök a belső jelkondicionálóval ellátott piezoelektromos (IEPE típusú) érzékelők (29. ábra). Ezek jelei megfelelő kábellel az építési területen belül kellően nagy távolságra vezethető a jelek károsodása nélkül.

Egyre elterjedtebbek a nagy teljesítőképességű MEMS eszközök is (30. ábra), amelyek nagyobb rezgésintenzitású esetekben valamivel kedvezőbb árfekvésű és kellő pontosságú alternatívát jelenthetnek olyan feladatokban, ahol egy általános célú (100mV/g) érzékenységgű IEPE szenzor is megfelelne. Az ilyenek alkalmazása, ha más műszaki szempont miatt lehetséges különösképpen megfontolandó nagy rezgésmérési hálózatok kiépítésekor, mert digitális egységek használata esetén olcsó Ethernet kábelekkel láncba fűzhető modulokkal jelentősen egyszerűsödhet a telepítés. Ha a várható vibráció mértéke olyan kicsi, hogy az szeizmikus mérésekre alkalmas IEPE érzékelők (akár 10V/g érzékenységgű) használatát követeli meg, ezek MEMS eszközzel való kiváltása ezeknek a szeizmikus IEPE eszközökhöz képest akár ezerszeres alap zajszintje miatt sajnos nem jöhet szóba. Megjegyzendő, hogy az alkalmasság megítélése nem triviális feladat, ezt mindenképpen szakemberre kell bízni, adott esetben előzetes mérésekre, különböző eszközökkel végzettösszemérésre is szükség lehet, hogy a monitoringrendszer ezen része költséghatékonyan kiépíthető legyen.



29. ábra. szeizmikus IEPE gyorsulásmérő (forrás: Willcoxon)



30. ábra. vízzáró tokozású MEMS gyorsulásmérő (forrás: Dewesoft)

Az IEPE és a MEMS rendszerek között jelentős eltérés, hogy a MEMS eszközök a konstans gyorsulás (így a szenzor orientációjának) kimérésére is alkalmasak szemben a piezoelektromos elven működő társaikkal, így az előbbiek közepes felbontású tiltméterként is használhatóak egy-egy projektben. Tiltméterként való alkalmazásuk esetén azonban messze nem várható tőlük olyan felbontás és pontosság, mint az erre a célra gyártott feljebb bemutatott MEMS tiltméterek esetén. Ennek ellenére érdemes figyelni arra, hogy az adatok előfeldolgozása során a DC

komponens megmaradjon és azt is archiválják a rezgésgyorsulás adatok mellett. Egyes gyártók a 2g méréstartományú gyorsulásmérőiket pusztán kiegészítő kalibrációval teszik alkalmassá $\pm 15^\circ$ tartományban való két irányú dőlésmérésre, s így $0,001^\circ$ felbontással $0,01^\circ$ pontosságú mérést tesznek lehetővé.

Az analóg geofon és IEPE kiolvasásához olyan nagyfelbontású (20-24 bites) kiolvasó egységre van szükség, amellyel elméletileg minimum a legnagyobb várt frekvencia kétszeresénél nagyobb leolvasási gyakoriság elérhető. Az elméleti leolvasási gyakoriság helyett 10-50-szeres gyakoriságot szokás alkalmazni. Az építőmérnöki gyakorlatban megjelenő jellemzően alacsony frekvenciák mellett, ez általában nem okoz gondot, mert a főként gépészeti felhasználásra kifejlesztett kiolvasók ezt könnyedén kezelik. A MEMS rendszerek esetén az építőipari gyakorlatban használatos eszközök általában belső A/D átalakítóval rendelkeznek, s az adatok továbbítása valamilyen digitális csatornán keresztül történik vezetékes vagy vezeték nélküli átvitelrel. (pl. etherCAT, LXSR, stb.)

A rezgésadatok interpretációja a mérések céljától függően lehet egészen egyszerű, vagy nagyon bonyolult feladat. Ha pl. egy munkaterület közelében lévő védendő (műemlék) épület alapozására előírt megengedett gyorsulás, sebesség, csúcs vagy RMS érték áll rendelkezésre, akkor a védendő épületre telepített érzékelővel és a hozzá kapcsolódó akár online monitoring eszközzel a követelmény betartása könnyen ellenőrizhető. A problémát az ilyen határérték meglétének hiánya okozhatja. A méréseket a fent említett eszközökkel minden további nélkül, gyakorlatilag tetszőleges pontossággal elő lehet állítani, de amennyiben ezeket nincs mihez hasonlítani, akkor ez a későbbiekben ugyanolyan parttalan vitákhoz vezethet, mintha nem is történt volna mérés. A fentiek alapján az érintettek érdeke, hogy a kivitelezési zóna környezetében lévő építményekre ezek az előírások a kivitelezési tevékenység megkezdését megelőzően rendelkezésre álljanak. A határértékek megadásakor figyelni kell arra, hogy azok műszakilag megalapozottak legyenek. Egyszerűnek tűnhet egy gyorsulási RMS értéke előírása, de ez pl. ha a berendezések jelentős nagyfrekvenciás zajt is keltenek könnyen betarthatatlan és feleslegesen szigorú lehet. Különösen gyorsulási határértékként megfogalmazott kritérium esetén fontos, hogy releváns frekvenciatartományt is rendeljenek a megadott RMS vagy csúcsértékhez. Célszerűen ezeket az egyeztetéseket a projekt előkészítő fázisában a rezgésmérést végző mérnökök bevonásával érdemes elvégezni, mert így pl. lehetőség nyílik a beavatkozást megelőző állapotban tapasztalható rezgés alapmérések elvégzésére, ami segítheti a határértékek megalapozott felvételét.

Az adatgyűjtés módja itt is lehet kézi, alkalomszerű vagy fixen telepített automata. Az érzékeny, és általában nagy értékű kitelepipített érzékelők esetén gondoskodni kell

a mechanikai sérülésekkel szemben való védelemről, valamint a megfelelő vagyonvédelmi megoldások biztosításáról.

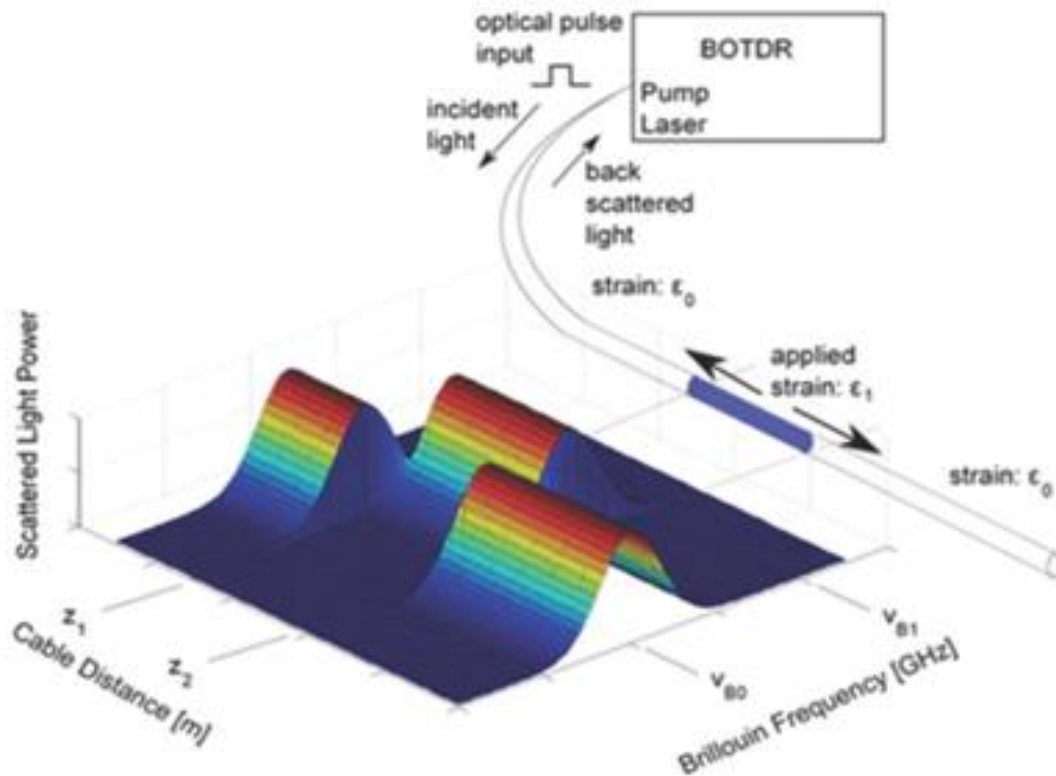
Komplexebb rezgésmonitoring feladatok esetében szóba jöhet, hogy ne csak a származtatott mérési adatok kerüljenek archiválásra, hanem minden műszer teljes mérési gyorsulás-idő sora. Amennyiben ilyen döntés születik különösen fontos, hogy a mintavételi frekvenciát jól válasszák meg, figyelembe véve a fent említett elv mellett, az adatmennyiség ésszerű korlátozásának szempontját is. Megfontolható olyan adatgyűjtési módszer is, melynek során csak a folyamatosan mentésre kerülő jel, valamely előre meghatározott szintjének átlépése esetén kerülnek teljes idősorok rögzítésre (triggered snapshots).

5.2.5. A jövő geotechnikai monitoring elemei

Az alábbiakban néhány olyan technikai újdonságot ismertetünk, amelyek a világ geotechnikai monitoring-projektjeiben már jó néhány éve megjelentek, de hazai alkalmazásuk még nem, vagy csak alig kezdődött el. Ezeknek a megoldásoknak közös jellemzőjük, hogy a megfigyelendő jelenségeket és folyamatokat a korábban alkalmazottaknál lényegesen nagyobb térbeli felbontásban, igen hatékony módon képesek nyomon követni. A jelenleg még magasabb beruházási költségeket egy-egy időben hosszabb, illetve érzékenyprojekt esetében jól ellensúlyozzák a teljesen automatikus üzemeltetési módból fakadó alacsony üzemeltetési költségek.

5.2.5.1. Deformációk és hőmérsékletváltozások mérésére alkalmas optikai kábelek

Az optikai nyúlásmérők közül a geotechnikai gyakorlatban kétféle rendszert használnak. Az egyik az úgynevezett elosztott (distributed) és a másik a szenzor alapú, amelyet a csatornánként elérhető nagy érzékelőszám miatt neveznek kvázi elosztott (quasi-distributed) rendszernek is.



BOTDR	BOTDR kiolvasó egység
optical pulse	lézer impulzus
incident light	belépő fény
backscattered light	visszaszóródott fény
Scattered Light Power	a visszaszóródott fény teljesítménye
Cable Distance (m)	távolság a mérőszál mentén (m)
Brillouin Frequency (GHz)	Brillouin frekvencia (GHz)
applied strain ϵ_1	működtetett nyúlás
strain ϵ_0	nyúlás

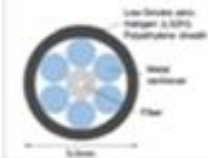



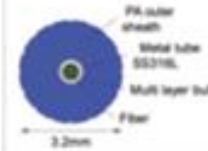
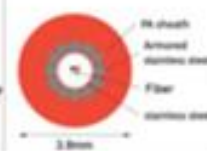


31. ábra. működési elv - optikai nyúlásmérők

Az elosztott rendszerű optikai nyúlásmérők esetén a mérőelem maga az optikai szál. A mérés elve az úgynevezett Brillouin-szóródás jelensége. Ez azt jelenti, hogy egy fényvezető szál minden pontjában az oda belépő fény egy nagyon kicsiny része az adott pontban jellemző nyúlástól és hőmérséklettől függően megváltozott hullámhosszal visszaverődik, s a mérőrendszer ezt a jelet detektálja. A kiolvasórendszer rövid fényimpulzusokat indít a szálba, majd az impulzus elküldésétől eltelt különböző időpontokban megvizsgálja a szálban visszatérő fény spektrumát. A visszatérési időből számítható az alak- vagy hőmérsékletváltozás

helye, a hullámhossz eltolódás mértékéből pedig a nyúlás vagy hőmérsékletváltozás nagysága (31. ábra).

A rendszer vitathatatlan előnye a vele elérhető páratlanul nagy térbeli felbontás, az egyetlen szállal vizsgálható szakaszok, területek kiterjedése (egyetlen szál több 10 km hosszú is lehet), a szenzor kis súlya és kis mérete, mely nagyban megkönnyíti a szerkezetekbe, illetve az azokra való telepítést. Az optikai szálak a korróziós hatásokkal, vízzel, nagy hőmérséklettel, ionizáló sugárzással szemben nagyfokú ellenállás jellemzi, az elektromágneses zajokra, impulzusokra gyakorlatilag immunis. A legnagyobb előnyét azonban a globális képről való információalkotás lehetősége jelenti; szemben a pontszerű szenzorokkal. Hátránya a kiolvasórendszer nagyon magas bekerülési költsége, és a mérés természetéből adódó kis jel/zaj viszony miatt a hagyományos szenzor alapú mérésekhez viszonyítva kisebb elérhető mérési pontosság és a lassú mérések miatt a kis időbeli felbontás. Ugyancsak jelentős hátrány, hogy a nyúláson és a hőmérsékletváltozáson kívül más fizikai mennyiség mérésére ez idáig még nem alakítottak ki szenzort, s kérdéses, hogy ez egyáltalán lehetséges-e. Ez a technológia olyan helyeken alkalmazható, ahol a kisebb felbontás nem okoz problémát, és az említett fizikai mennyiségeket nagy területen vagy nagy hossz mentén kell vizsgálni, illetve ahol a nagy térbeli felbontás kompenzálja a fizikai mennyiségek mérésére vonatkozó alacsonyabb natív felbontást. Ilyen tipikus alkalmazási területek például csővezetékek, felszínmozgásos területek vagy az árvízvédelmi gátak felügyelete. Kitűnően használható alagutak, mozgásvizsgálataira, igényesebb cölöppróbaterhelések esetén a teljes hossz mentén való alakváltozás mérésére, ami a pontosabb kalibrációt teszi lehetővé; továbbá falak, lemezek teljes mezős deformációjának mérésére.

Az optikai szálak telepíthetők építési ütemenként, mivel megfelelő hegesztő eszközökkel a szálak – ugyanúgy, mint a telekommunikációs optikai szálak – a helyszínen hegeszthetők. Így akár egyetlen szállal több réstáblát, több alaplemez blokkot is be lehet vezetékelné. A 32. ábrán néhány különböző gyártó építő mérnöki gyakorlatban, distributed rendszerekhez gyártott optikai mérővezetéke látható, a 33. ábra pedig egy kiolvasó berendezést mutat.

Gyártó	NanZee	Smartec	Smartec	Smartec
Termék	NanZee	DiTeSt/DiTemp	DiTeSt	DiTemp
Mérés	Nyúlás	Nyúlás/hőmérséklet		
Átmérő/mér	5mm	8,0 x 4,0mm	-9,09 x 0,32mm	6,5mm
				
Gyártó	Solifos	Solifos	Neubrex	Neubrex
Termék	LLK-BSSST-V9	3_50_1_001	FN-SILL-3	FN-SSL-3
Mérés	Nyúlás	Hőmérséklet	Nyúlás	Hőmérséklet
Átmérő/mér	3,2mm	3,8mm	4,3 x 1,7mm	8,0 x 1,0 mm
				

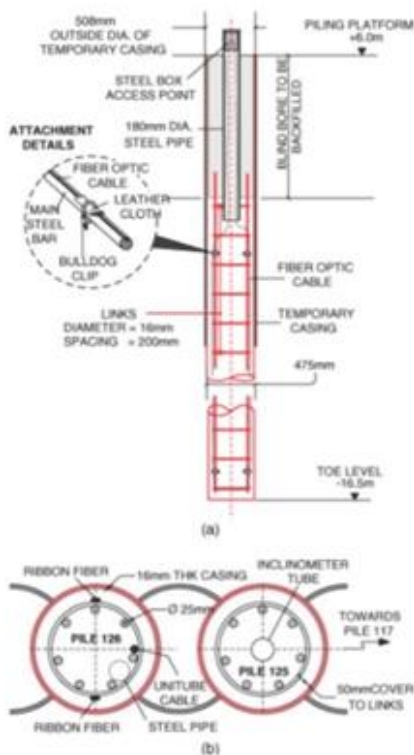
32. ábra. Optikai szálak (forrás: ???)



33. ábra. optikai szálak mérések - kiolvasó egység (forrás: ???)

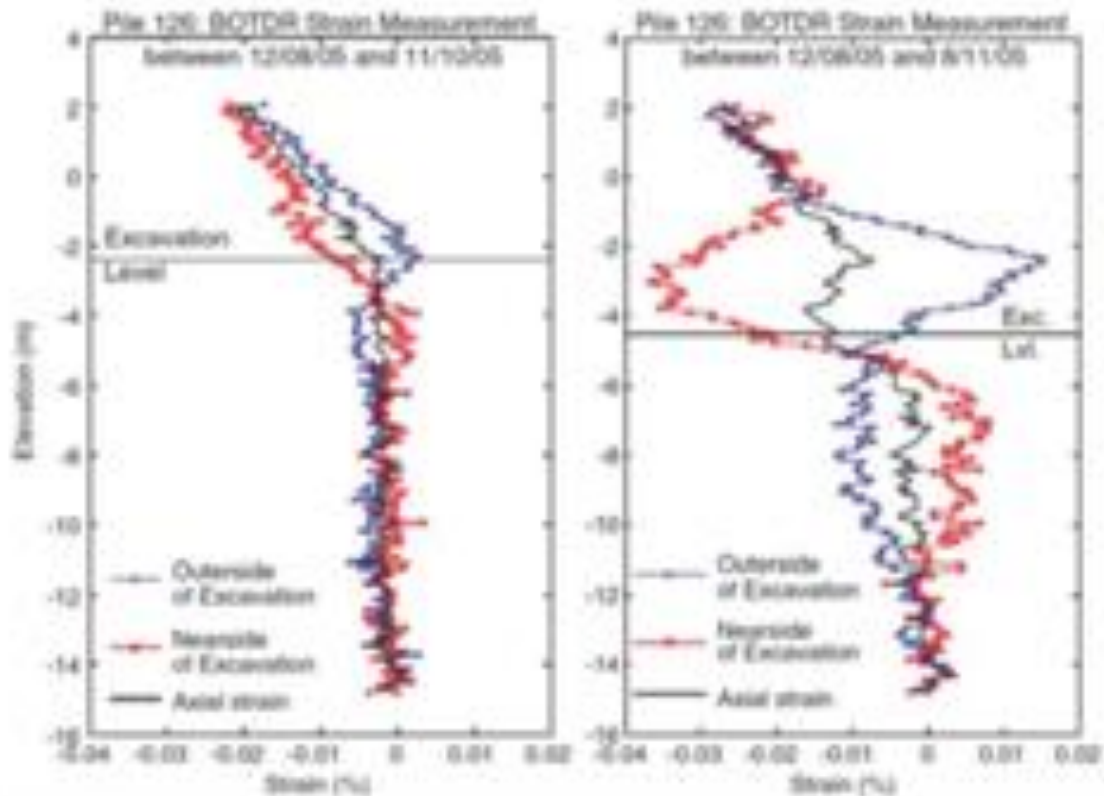
A 34. ábra egy tipikus alkalmazást mutat be: egy cölöpfalba épített nyúlásmérő szálpár segítségével, a tengelyirányú és a hajlítási alakváltozások kimérésével a

faldeformáció meghatározását. Az 35. ábra az ezzel az elrendezéssel kimért nyúlásokat mutatja, végül pedig az 36. ábrán az látható, hogy a nyúláskülönbségek integrálásával szögelfordulás, majd ismételt integrálásával elmozdulás ábrát kapunk. Az optikai szálak rendszerrel kimért nyúlások mellett látható a hagyományos inklinométeres méréssel előállított elmozdulás ábra is. És megállapítható, hogy a két mérés szinte egybevágó eredményeket szolgáltat. Az optikai szálak nyúlásmérés ilyen jellegű feladatok esetén akkor lehet igazán versenyképes, ha a megrendelő úgy ítéli meg, hogy a szokásosnál jóval nagyobb adatsűrűsége van szükség, pl. minden második cölöpben, vagy réstáblában látni szeretné az alakváltozásokat, akár a hőmérsékleti hatások feltárása végett, vagy egy szokatlanul változékony talajkörnyezetben végzett kivitelezés jelentette nagyobb kockázatok kezelése céljából; akár bizonyos kritikus építési fázisokban időben napos, fél napos gyakoriságúra sűrítve a méréseket. Ebben az esetben egy folyamatosan a munkahelyen tartózkodó mérőtechnikussal kisszolgálhatók, vagy hosszabb időszak esetén automatizálhatók is a mérések, feltételezve, hogy a nagyértékű kiolvasó egységnek tudnak megfelelő vagyonszámú megoldással ellátott helyet biztosítani.



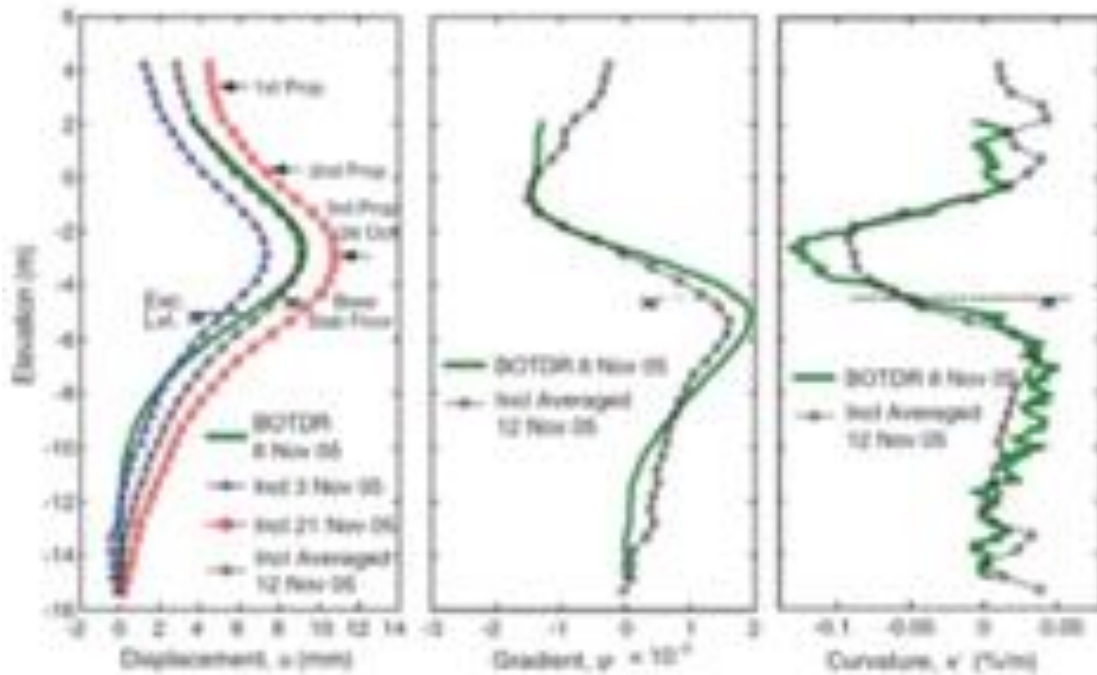
508mm OUTSIDE DIA. OF TEMPORARY CASING	508mm KÜLSŐ ÁTMÉRŐJŰ IDEIGLENES VÉDŐCSŐ
PILING PLATFORM +6.0m	CŐLŐPÖZÉSI LAVIRSÍK +6.0m
STEEL BOX ACCESS POINT	ACÉL KÖTŐDOBOZ
180mm DIA. STEEL PIPE	180mm ÁTM. ACÉLCSŐ
ATTACHMENT DETAILS	A RÖGZÍTÉS RÉSZLETRAJZA
MAIN STEEL BAR	FŐ ACÉLBETÉT
BULLDOG CLIP	U-KAPOCS ("BÉKA")
LEATHER CLOTH	BŐR KÁBELVÉDŐ ALÁTÉT
FIBER OPTIC CABLE	ÜVEGSZÁL MÉRŐKÁBEL
TOE LEVEL -16.5m	TALPSZINT -16,5m
BLIND BOREHOLE TO BE BACKFILLED	VISSZATÖLTENDŐ VAKFURAT
RIBBON FIBER	LAPOS OPTIKAI KÁBEL
PILE 125	125. CŐLÖP
16mm THK CASING	16mm FALVASTAGSÁGÚ VÉDŐCSŐ
INCLINOMETER TUBE	INKLINOMÉTER
UNITUBE CABLE	EGYESÍTETT (UNITUBE) OPTIKAI KÁBEL
STEEL PIPE	ACÉL CSŐ
LINKS	KENGYELEK
DIAMETER = 16mm	ÁTMÉRŐ = 16mm
SPACING = 200mm	KIOSZTÁS = 200mm

34. ábra. optikai nyúlásmérések - cölöpfal [6]



Pile 126: BOTDR Strain measurement	126. Cölöp: BOTDR technológiájú nyúlásmérés
between 12/08/05 and 11/10/05	2005.08.12 és 2005.10.11 között
between 12/08/05 and 8/11/05	2005.08.12 és 2005.11.08 között
Excavation level	Kiemelési szint
Outside of excavation	Nyúlás a megtámasztott talajtömeg feletti oldalon
Nearside of excavation	Nyúlás a kiemelés feletti oldalon
Axial strain	Átlagos nyúlás
Strain (%)	Nyúlás (%)
Elevation (m)	Szint (m)

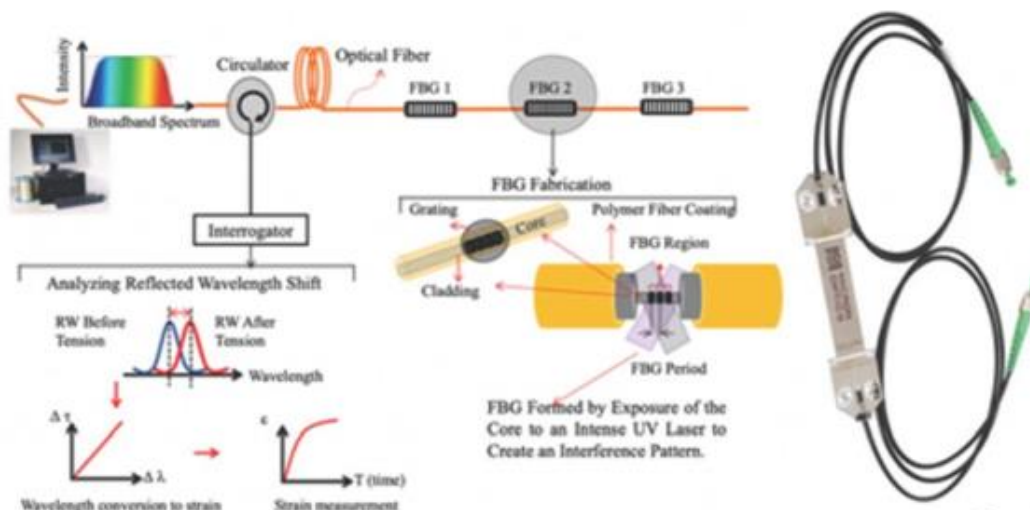
35. ábra. Optikai nyúlásmérések - cölöpfal (mérési eredmények) [6]



1st Prop	1. Dúcsor
2nd Prop	2. Dúcsor
3rd Prop (26 Oct)	3. Dúcsor (Okt. 26)
Base slab floor	Alaplernetz
BOTDR 8 Nov 05	BOTDR 2005 nov. 8.
Incl 3 Nov 05	3. inklinométer nov. 5.
Incl 21 Nov 05	21. inklinométer nov. 5.
Incl Averaged Nov 05	inklinométer mérések átlaga nov. 5.
Exc. lev.	Kiemelési szint
Curvature, κ (%/m)	Görbület, κ (%/m)
Gradient, $\phi \times 10^{-3}$	Elfordulás, $\phi \times 10^{-3}$
Elevation (m)	Szint (m)

36. ábra. optikai nyúlásmérések - cölöpfal (értékelés: szögelfordulás, elmozdulás) [6]

Mély munkagödrök megfigyeléséhez való használat esetén a kétszeres integrálásból eredő hiba jelentős lehet, ennek kiküszöbölésére érdemes valamilyen kiegészítő mérő rendszerrel mérni a szerkezet legfelső pontjának eltolódását (geodézia) vagy elfordulását (pl. MEMS dőlésmérő).



Intensity	Intenzitás
Broadband spectrum	Széles spektrumú (fehér) fény
Circulator	Cirkulátor
Optical fibre	Optikai szál
FBG fabrication	FBG gyártás
Grating	FBG rács
Cladding	Bevonat
Core	Mag
Polymer fibre coating	Polimer szál burkolat
FBG region	FBG szakasz
FBG period	FBG rácsköz
FPG formed by exposure of the core to an intense UV laser to create an interference pattern	Az FBG rács előállításához a szál magját erős UV fénnel világítják meg, amely interferencia mintázatot hoz létre
Interrogator	Kiolvasó
Analysing reflected wavelength shift	A visszavert fény hullámhosszváltozásának elemzése
RW before tension	Visszavert fény hullámhossza a nyúlás alkalmazása előtt
RW after tension	Visszavert fény hullámhossza a nyúlás alkalmazását követően
Wavelength	Hullámhossz
Wavelengths conversion to strain	A hullámhossz változás átszámítása nyúlásra
Strain measurement	Nyúlás mérés
T (time)	T (idő)

37. ábra. optikai nyúlásmérések - cölöpfal (a mérési eredmények ellenőrzése)

5.2.5.2. Braggmeter optikai technológia alkalmazása

A másik optikai technológia, melynek számtalan gépészeti felhasználása ismert és egyre inkább terjed a mélyépítési és hídépítési és más építőmérnöki monitoring területén is, az úgynevezett F(iber) B(ragg) G(rate) technológia. Ebben az esetben az optikai szálon belül az alapanyagtól eltérő törésmutatójú szakaszokból álló rácsot hoznak létre nagy energiájú lézer segítségével. Az ilyen nm-es osztásközű rács a belépő fehér fénynek a rács pontos osztásközének megfelelő hullámhosszú részét jelentős arányban visszaveri, míg a spektrum többi része akadálytalanul halad tovább, mígnem a tiszta szál mentén egy másik, az előzőtől eltérő rácskiosztású érzékelő szakasról a maradék spektrum egy újabb része vissza nem verődik. Eltérő rácskiosztással egy csatornára akár 70 érzékelő is „felfűzhető” a jellemzően a látható fény tartományához közel eső infravörös hullámhossztartományban működő érzékelőkből. A rácsvonalak távolsága erőhatás és hőmérsékletváltozás hatására megváltozik, s így a visszavert fény hullámhossza is eltolódik (37. ábra). A visszavert és mérendő jel ez esetben sokkal erősebb, s a kiolvasórendszer bekerülési költsége sokkal kedvezőbb, mint az elosztott rendszerek esetén. Optikai FBG mérőelemekből az elektromos nyúlásmérő bélyeges érzékelőkhöz hasonló módon, erőmérők, nyomásmérők, elmozdulásmérők, dőlésmérők stb. alakíthatók ki. A hagyományos elektromos rendszerű érzékelő-hálózatokhoz képest előnyük, hogy mindenféle elektromágneses zavarra érzéketlenek, a vezetékvezésük sokkal egyszerűbb, pontosságuk pedig az alkalmazott kiolvasótól függően akár meg is haladhatja a hagyományos rezgőhúros nyúlásmérőkre jellemző $1 \mu\text{m}/\text{m}$ értéket. Hátrányként említendő, hogy a hőmérsékletváltozás és a nyúlás ugyanazt a mért fizikai mennyiséget változtatja meg, így e hatások szétválasztására, vagy ezek kompenzálására az érzékelők kiosztásakor, illetve azok tervezésekor gondot kell fordítani. Azaz egy pontban általában két érzékelőt kell telepíteni. Az egyikben a nyúlás és a hőmérsékletváltozás is frekvenciaváltozást eredményez, míg a másikat úgy kell beépíteni, hogy abban nyúlás ne keletkezzen, de ugyanakkora hőmérsékletváltozás érje, mint a nyúlást is mérő egységet. Elképzelhető olyan kialakítás is, hogy a mérendő fizikai mennyiség a műszeren belül kialakított érzékelő szakaszokon ellentétes előjelű, de azonos nagyságú nyúlást okoz, miközben ezek hőmérsékletváltozása megegyezik.

Ezen technológia alkalmazása esetén a monitoring rendszer tervezésének elvei semmiben sem térnek el a hagyományos, elektromos jelátalakítós rendszerektől. Itt is pontszerű méréseket végzünk, gondosan, körültekintően, a modellek vizsgálata alapján kell megválasztani az érzékelési pontok helyét, mert ezek számossága a distributed jellegű optikai szálak rendszerekben meglévőkhöz képest kicsi. Így amellett, hogy néhány érzékelő lokális hatások miatt a várt trendbe nehezen

illeszkedő adatokat fog szolgáltatni, az a kényelem, hogy jól működő pontjaink pedig kevésbé informatív helyekre essenek, nem engedhető meg. Az egyszerű nyúlásmérők esetén a hagyományos rezisztív bélyeges nyúlásmérőkkel szemben az FBG nyúlásmérők kapcsán ez utóbbiak hosszútávú stabilitását szokták előnyként kiemelni, ami a mélyépítési monitoring esetén talán annyira nem is éles kérdés, de hidak acélszerkezeteinek időszakos állapotfelügyelete esetén ez a tulajdonság különösen előnyös lehet.

Az 38. ábra FBG technológiájú, különböző paraméterek mérésére alkalmas szenzorokat mutat be (dőlésmérő, hőmérő, gyorsulásmérő, elmozdulásmérő és nyúlásmérők). A felsoroltak között feltűnik a gyorsulásmérő is. Ennek kapcsán jegyezzük meg, hogy ez a technológia – ellentétben a csak lassú kiolvasást lehetővé tevő elosztott rendszerű mérésekkel – alkalmas dinamikus hatások, gyorsan változó jelek mérésére is.



38. ábra. Különböző paraméterek mérésére alkalmas FBG szenzorok (forrás: ...???)

5.2.6. Adatgyűjtő

Az adatgyűjtő az elvárt feladatok elvégzésére alkalmas szoftver-vezérelt hardver architektúra. Elsődleges feladata az ütemezett mérések elvégzése, a mérési eredmények rendszerezett tárolása, kívülről való elérés biztosítása GPRS modem keresztül. Áramforrása autonóm módon, napelemmel töltött szünetmentes táp, de létezik 220 V feszültségről, illetve kisebb egységek esetében elemről működő megoldás. Opcionálisan távoli eléréssel be lehet avatkozni az ütemezett mérések rendjébe, beállítások elvégezhetők, az adatok letölthetők.

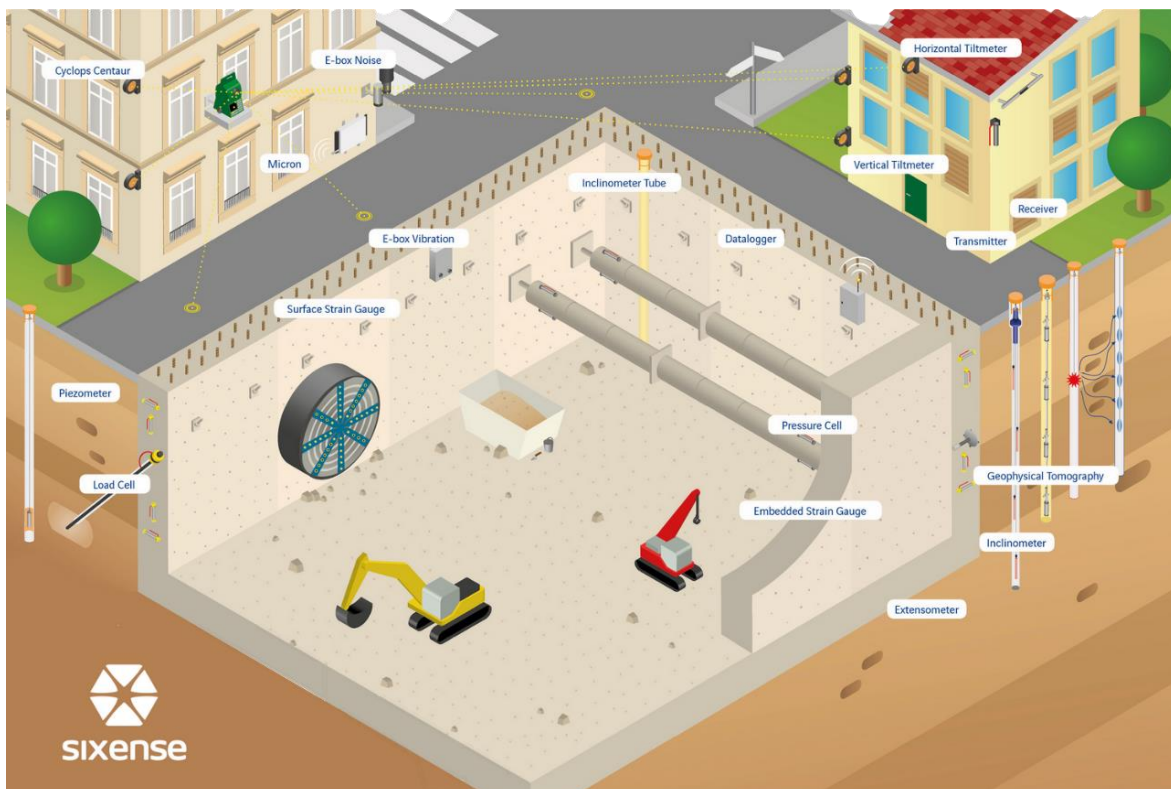
6. Az üzemelő monitoring rendszerek - esettanulmányok

6.1. Munkatér-határolás szomszédos épülettel

Az alábbiakban egy belvárosi munkagödör résfalas vagy cölöpfalás megtámasztásához tartató monitoring kerül bemutatásra. Sűrűn beépített területeken, ahol vízzáró munkatér-határolásra van szükség, ott a résfalas munkatér-határolás és az összemetsző cölöpfal szinte egyeduralkodó. Általánosságban a következő kulcskérdésekre kell tudnunk választ adni az alkalmazott monitoring rendszer segítségével:

- 1.) A munkatér-határolásra ható terhekkel szemben a szerkezet legalább szabvány szerinti biztonsággal rendelkezik.
- 2.) a tervben szereplő megtámasztó erő mobilizálásához mekkora elmozdulás szükséges és
- 3.) hogyan reagál az épített vagy természetes környezet a munkagödör kiemelésre.

A szokásos monitoring méréseket a 39. ábra szemlélteti:



39. ábra. Belvárosi beépítés - a szokásosan alkalmazott monitoring rendszerek vázlatja (Sixence)

6.1.1. A munkatér-határoló szerkezetre jutó terhek és a szerkezet reakciója

Vízáró munkatér-határolás esetén a szerkezetre ható legnagyobb teher tipikusan a víznyomás. Az aktív földnyomás értékét viszonylagosan nagy pontossággal meg lehet határozni. Ezen felül a horgonyok és dúcok előfeszítésével kontrollálhatóak a szerkezetre ható terhek. Nagyobb alkalmazott horgony előfeszítés esetén kevésbé mobilizálódik az aktív földnyomás. Ekkor kisebb elmozdulások mellett nagyobb a szerkezetre ható teher. Így a vízszint ismeretében a szerkezetre ható terhek meglehetősen nagy bizonyossággal számíthatóak. A szerkezetre ható terheket és a szerkezet reakcióját a következő mérésekkel igazolhatjuk.

Megtámasztott oldali vízszint mérése. A vízszint kutató aknában, talajvízszint figyelő kúttal vagy piezométerrel mérhető. Ha a tervezési vízszint közelébe emelkedik a talajvíz szintje, akkor a méréseket sűrűbben, akár naponta is el kell végezni.

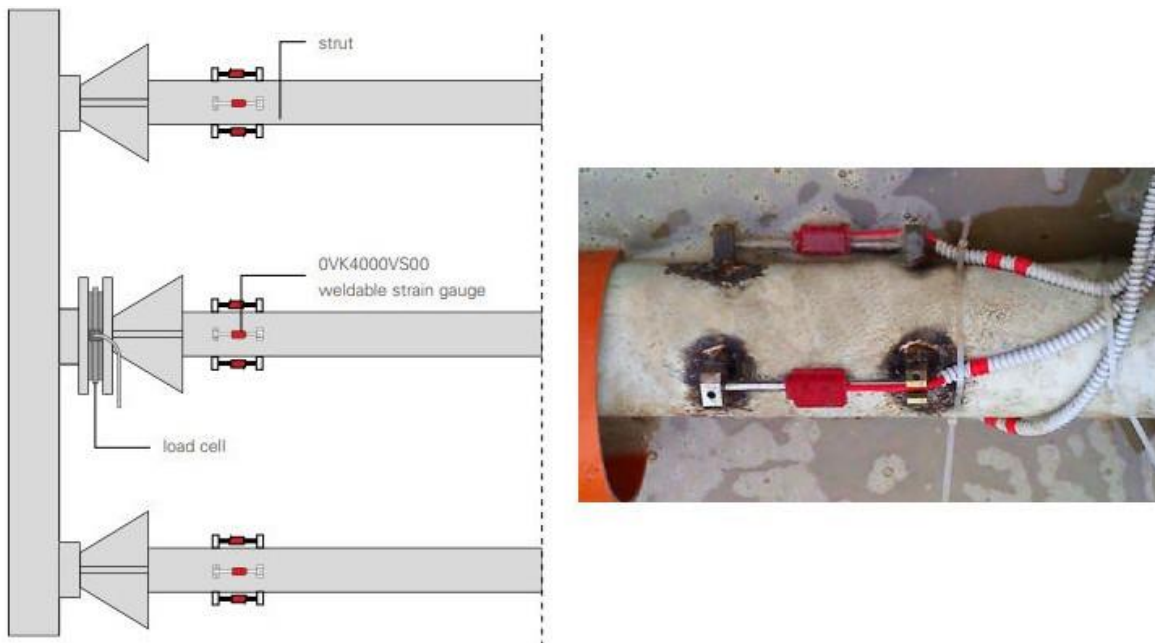
Az alábbiak szerinti erőmérő cellával vagy nyomásmérő bélyeg segítségével mérhető a horgony és dúcerő. Így követhető szerkezetre ható terhek, a dúc és a horgony kihasználtsága (40. ábra).



40. ábra. Belvárosi beépítés - erőmérő cella (dúcerő, horgonyerő mérésére)

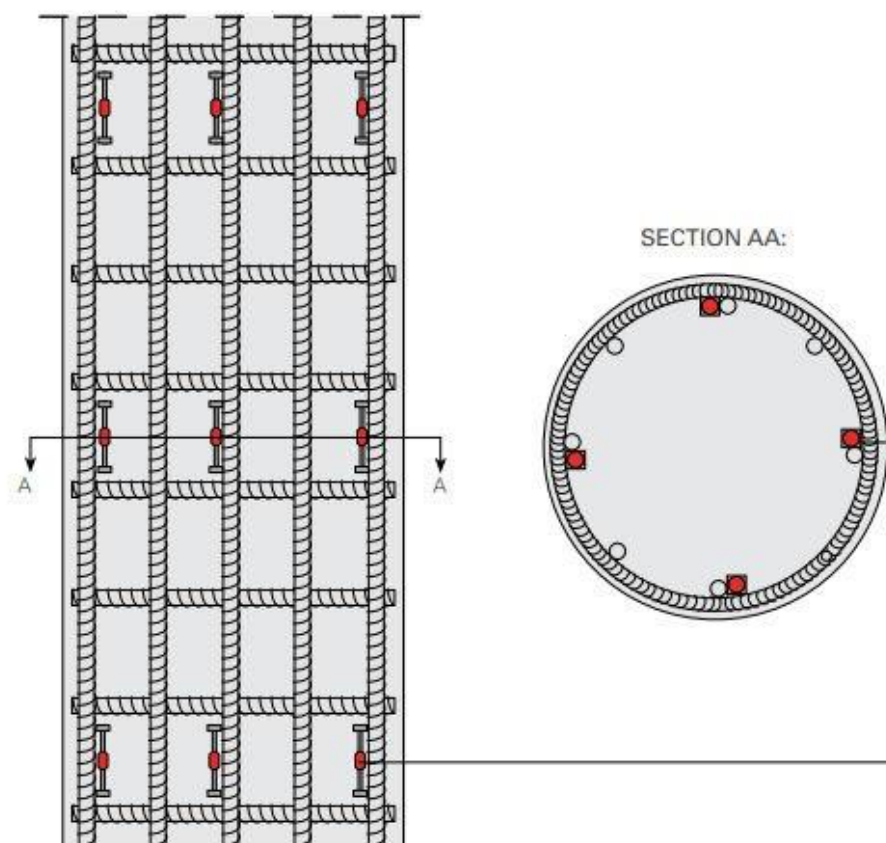
A horgonyfej és dúc végeinek elmozdulás mérésével becsülhető a szerkezet alakváltozása. A horgonyok és dúcok kimerülésének egyértelmű jele, amikor közel konstans horgonyerő mellett a horgony fej elmozdulása konstans nő. Hasonlóan, ha egy dúcban mért erő nem nő, azonban a dúc két vége közeledik egymás felé, akkor a dúc kapacitása minden bizonnyal kimerült. Ily módon a szerkezet kihasználtságának megítélésakor nem kell kizárólag a számított kapacitásra hagyatkozni. A szerkezet

kimerülése akkor is felismerhető, ha a valós teherbírás jócskán elmarad az előzetesen várttól. Az 41. ábra dúcerő mérésre mutat példát, alakváltozás mérésen keresztül.



41. ábra. alkalmazási példa - alakváltozás mérőműszerek beépítése dúcolt munkatér-határolás során forrás: Sigeo.com), Strut: dúc; Weldable strain gauge: hegeszthető alakváltozásmérő műszer; Load cell: erőmérő-műszer.

Résfal vagy cölöpfal igénybevételeinek követésére az inklinométer mérés vagy a betonacél alakváltozás mérése használható. Utóbbira mutat elvi példát az 42. ábra. A mért alakváltozásokból a vasbeton szerkezet görbülete számítható. A görbület és a nyomaték közti kapcsolat ismeretében a vasbeton szerkezet igénybevételei számíthatóak. Fontos kiemelni, hogy a görbület-nyomaték kapcsolat nem lineáris. Javasolt nem-lineáris beton és betonacél anyagmodellen alapuló számítással meghatározni a nyomaték-görbület kapcsolatot.

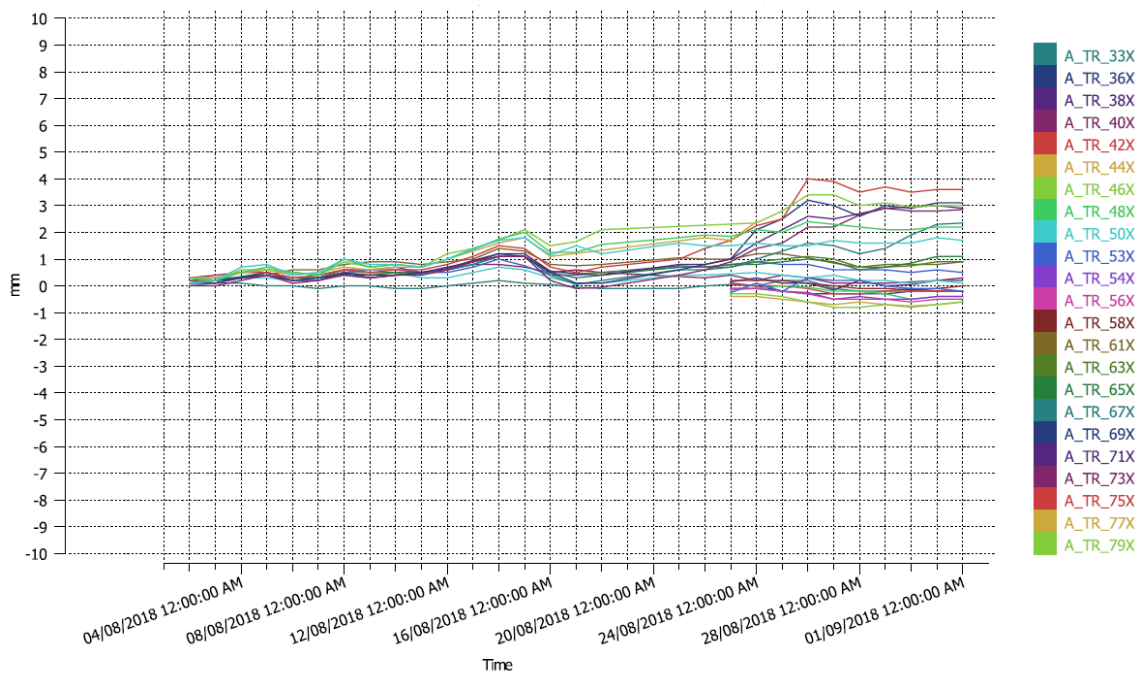


42. ábra. alkalmazási példa - alakváltozás mérőműszerek beépítése cölöpalapozás esetén;
forrás: Sisgeo.com) Section A-A: A-A metszet.

6.1.2. A szerkezetre ható terhek mobilizálásához szükséges elmozdulás

Az előző alfejezetben bemutatott terhek mobilizálásához elmozdulásokra van szükség. Az elmozdulások nagysága függ a talajkörnyezettől, talajvízszinttől, a beépített szerkezet merevségétől, a földkiemelés nagyságától és ütemétől, a felszíni és felszín alatti terhektől, a horgonyfeszítéstől, dúcok esetén a dúc hőmérsékletétől. Az elmozdulásokat kisebb megbízhatósággal lehet előre számolni. Így az elmozdulások mérése a kulcs feladat egy munkagödör monitoring programjában.

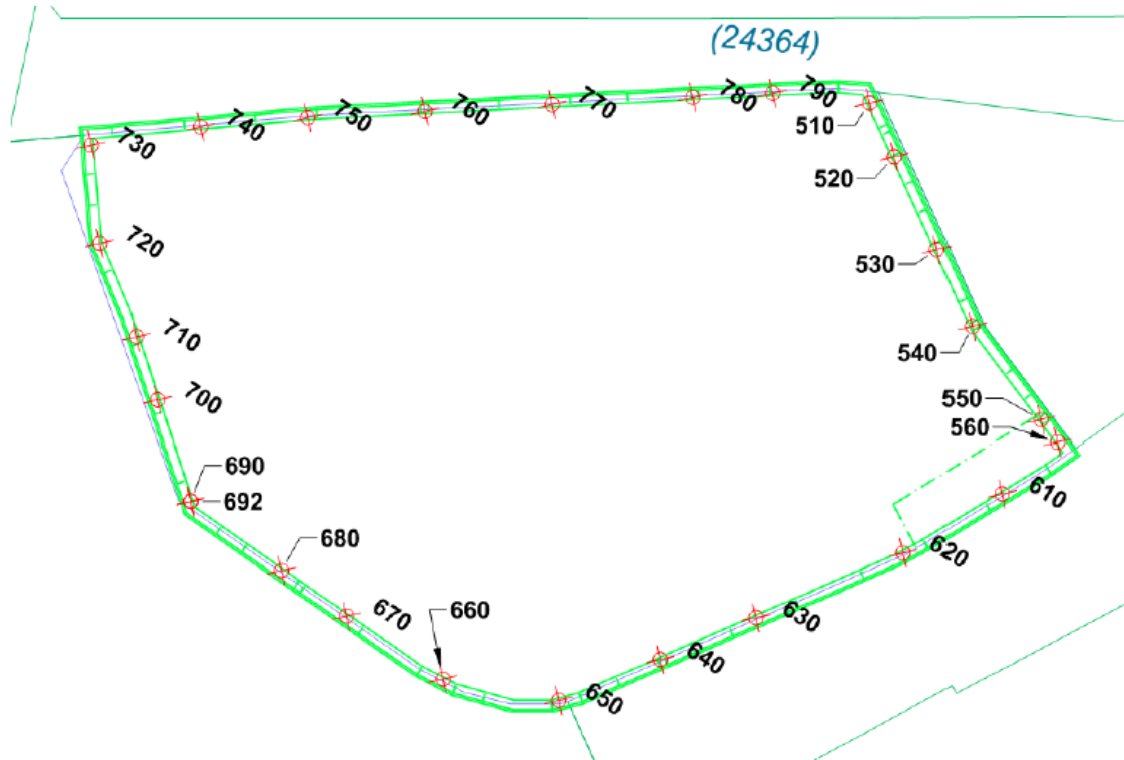
A szerkezetek elmozdulásmérésének legelterjedtebb módszere a hagyományos geodéziai mérés. Ekkor egy mérőállomással lemérik a monitoring pontok EOV koordinátáját (43. ábra). Javasolt legalább 3 alpmérést végezni, illetve az alpmérést mihamarabb elvégezni (földkiemelés, megtámasztó szerkezet, horgony, dúc beépítése előtt). A mérés pontossága nagyban javítható a mérési pontok, a műszerállás, és az alappont hálózat megfelelő megválasztásával. A mérés előtt javasolt a geodétával tisztázni a mérés célját, igényeket (elvárt pontosság, adatfeldolgozás ideje, stb.). A szerkezet elmozdulásai az ismételt mérés és az alpmérés közti különbség.



43. ábra. alkalmazási példa - geodéziai elmozdulásmérések

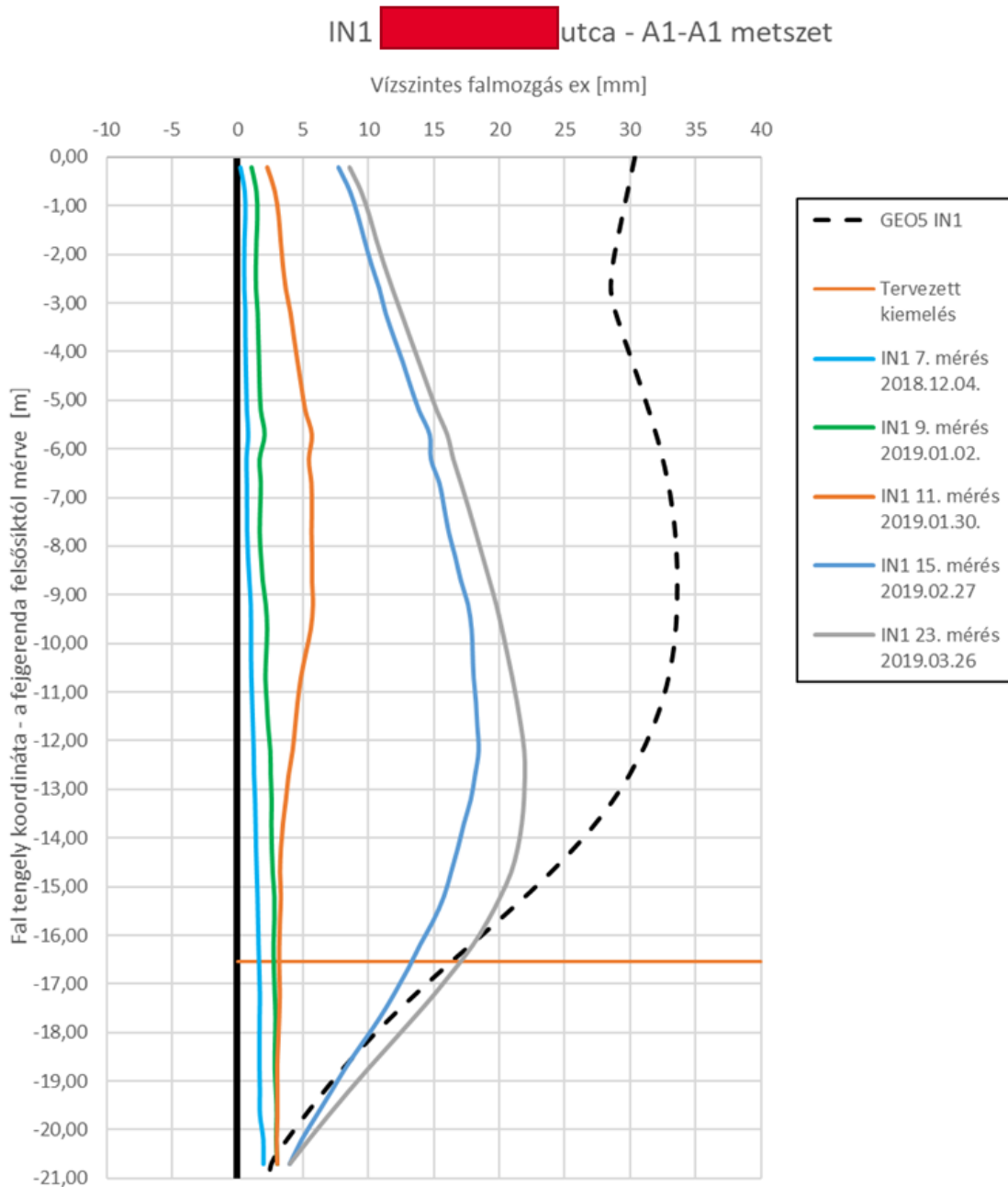
A mérést a környező épületek homlokzatán, a fejgerendán és a földkiemelés előrehaladtával a résfalon több síkban felvett pontokon (Pl. Fejgerenda, támszerkezet, legnagyobb igénybevétel feltételezett helye, alaplemez síkja stb.) is javasolt elvégezni. Az alaplemezzel közel egy síkban elhelyezett mérési pontok segítenek nyomon követni a talaj passzív ellenállását.

A mérési pontok felvételénél törekedni kell, hogy minden független szerkezeten legyen monitoring pont. Például fejgerendával összefogott részpanelek esetén panelenként, míg konzolos hézagos cölöpfal esetén cölöpönként javasolt a pontokat elhelyezni (44. ábra).



44. ábra. Alkalmazási példa - geodéziai mozgásmérések, fejgerenda mérés kiosztási helyszínrajz

A résfal a földkiemelés előtt is szenved deformációkat. A kritikus helyeken (legnagyobb mélység, legnagyobb felszín teher, legérzékenyebb szomszédos épület, bizonytalan általajviszonyok) keresztmetszetében javasolt inklinométer mérőhelyet telepíteni. Ekkor a résfal teljes deformációja és relatív elmozdulását is mérni lehet (45. ábra). A fejgerenda geodéziai mérésével korrigálni kell az inklinométerrel mért elmozdulásokat. Így a földkiemelés szintje alatt végbement elmozdulások is mérhetőek.



45. ábra. Alkalmazási példa - fejtérrel felső síktól mérvé - mozgás korrekciója, az elmozdulások alakulása

6.1.3. Munkagödör kiemelés hatása a környezetre

A megtámasztó szerkezetek megfelelőségének igazolása mellett a már meglévő épített és természetes környezet állapotát is nyomon kell követni.

A környező talajvízszintre hatással lehet a résfal építés, vagy a földkiemelés alatti talajvízszint süllyesztés. A külső talajvízszint változása (például áradás hatására), ami hatással lehet a résfal stabilitására. Javasolt a résfalon kívüli talajvízszint mérése és rögzítése. A talajvízszint idősor szükséges nem várt viselkedések okainak kutatása

során is, mivel a víznyomás sok esetben a legnagyobb teher a résfalon vagy cölöpfalon.

A környező épületek mozgásai mérhetőek hagyományos geodéziai mérésekkel (a résfal mozgásokhoz hasonlóan). Az esetleges repedések tágassága nyomon követendő kézi repedéstágasság mérővel (46. ábra), gipsz pogácsával vagy automata repedés tágasság mérővel.



46. ábra. Alkalmazási példa - repedéstágasság-mérések

Szükséges a környező épületek állapot felmérése építés előtt, a végleges szerkezet megépülte után, és egy esetleges riasztási szint elérése után rendszeresen.

6.1.4. Beavatkozás tervezése

A 4. fejezetben bemutatott riasztási szintekhez tartózkodó cselekvési tervet előre meg kell határozni. Résfalakra és cölöpfalakra vonatkozóan az alábbi cselekvési tervet javasoljuk:

- Zöld: Megfigyelés folytatása, a szükséges adatok rögzítése, tervtől való eltérések rögzítése, eltérések vizsgálata, okoznak—e új kockázatokat.
- Sárga: Mérések sűrítése, a szerkezetek és környező épületek szemrevételezése (47. ábra). Adatok megbízhatóságának ellenőrzése. Ismétlődő mérések. Adatok kiértékelése, beavatkozási terv felülvizsgálata. Érdekelt felek értesítése. A munka folytatása melletti beavatkozás annak érdekében, hogy a piros szint elérése elkerülje a szerkezet. Ilyen beavatkozás lehet az építési sorrend módosítása, a földkiemelés lassítása vagy szakaszos végrehajtása, alaplemez vagy földem mihamarabbi beépítése, érintett területre pótlólagos monitoring rendszer telepítése vagy felszíni terhek csökkentése, korlátozása. Ezen a

ponton fontos megérteni a tervtől eltérő viselkedés okait, az okokat kell megszüntetni a beavatkozásokkal. Megfontolandó előkészületeket tenni, például anyagok beszerzése, gépek helyszínre szállítása az esetleges beavatkozáshoz.

- Piros: Munka haladéktalan felfüggesztése, minden érdekelt fél haladéktalan értesítése, beavatkozási terv végrehajtása. Tipikus beavatkozás lehet talaj visszatöltése, fal elé helyezése, szerkezetek megerősítése, kiegészítő megtámasztó szerkezetek beépítése, gödör vízzel történő elárasztása (48. ábra).



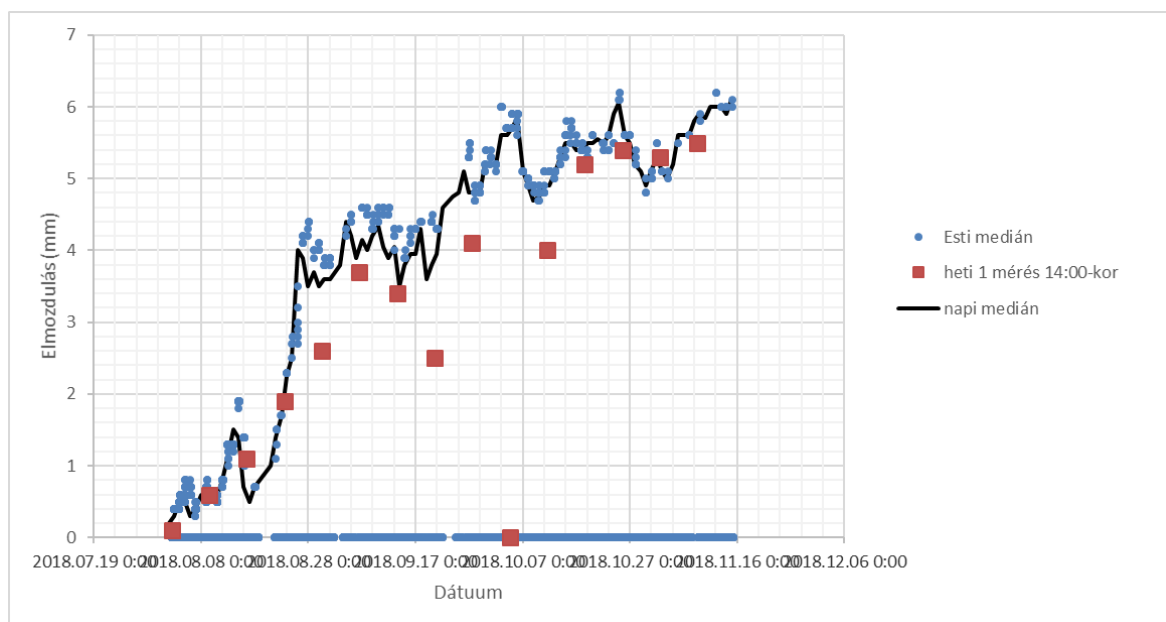
47. ábra. Beavatkozási terv - szemrevételezés



48. ábra. Beavatkozási terv - munkagödör elárasztása árvíz miatt

6.1.5. A pontszerű mérések hiányosságai, időbeliség

A mérések térbeli és időbeli sűrűségé nagy hatással van a monitoring rendszer hasznosságára. Túl ritkán lehelyezett mérési pontok között kialakuló problémákról nem ad információt a monitoring rendszer. Az időben túl ritkán végzett mérés esetén hetekig tart míg egyértelmű tendencia állapítható meg. Ha a sárga vagy vörös riasztási szintet elérte egy mérési eredmény, akkor megfontolandó az automata adatgyűjtők kihelyezése. Egy beavatkozás megítéléséhez 3-4 egymást követő mérésre van szükség. Enélkül tendencia nem állapítható meg. Így heti két méréssel számolva, 1-2 hétig tart míg egy beavatkozás sikeressége megállapítható. Automata mérés esetén a napi medián érték jóval pontosabb, mint az egyszeri mérések. A hőmérsékleti hatások is szűrhetőek, ha az éjszakai medián mérést fogadjuk el a napi mérésnek. Így 2 hét helyett akár 3 nap alatt is megállapítható egy beavatkozás hatékonysága.



49. ábra. Beavatkozási terv - automatizált adatgyűjtés vs. kézi mérés

Az 49. ábrán látható, hogy a heti egy mérés időszora jóval nehezebben értelmezhető, mint az esti medián időszor.

Az automatizált adatgyűjtő alkalmazásának további előnye az adatok távoli elérése, akár riasztási szintek elérésekor automatikus üzenetekkel való figyelmeztetés. Adatgyűjtőt alkalmazunk, ha kézi (eseti) mérések céljából nem, vagy kockázatos a mérési hely megközelítése.

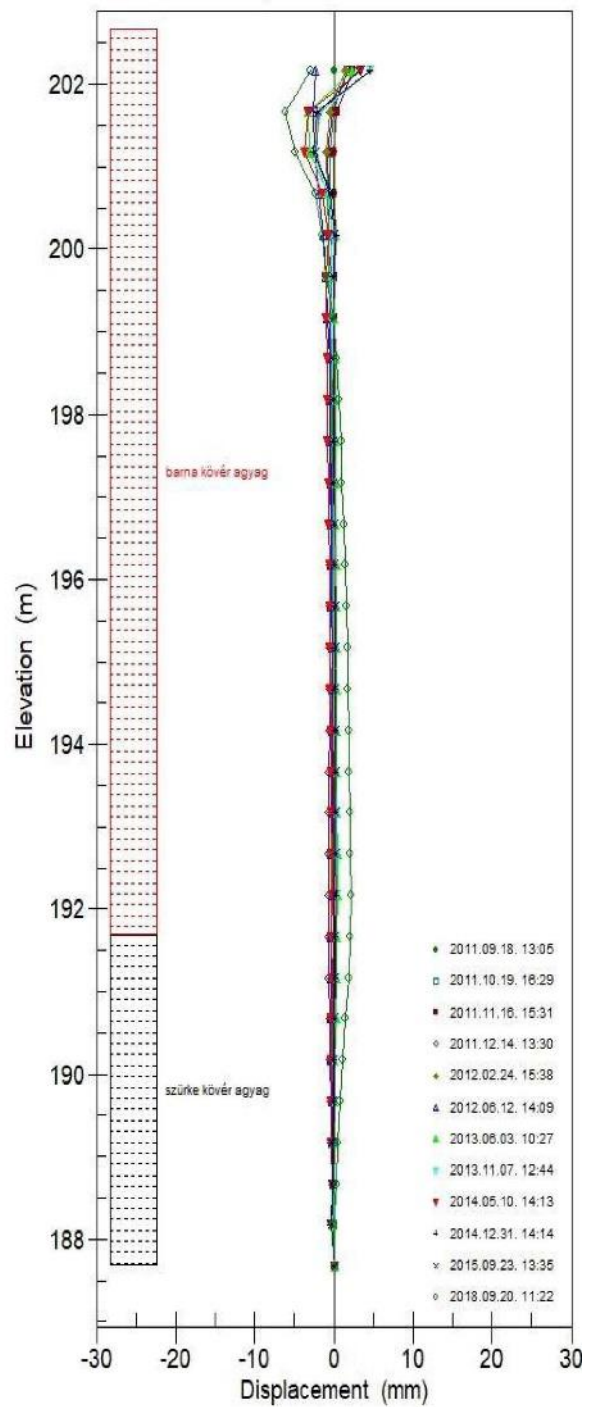
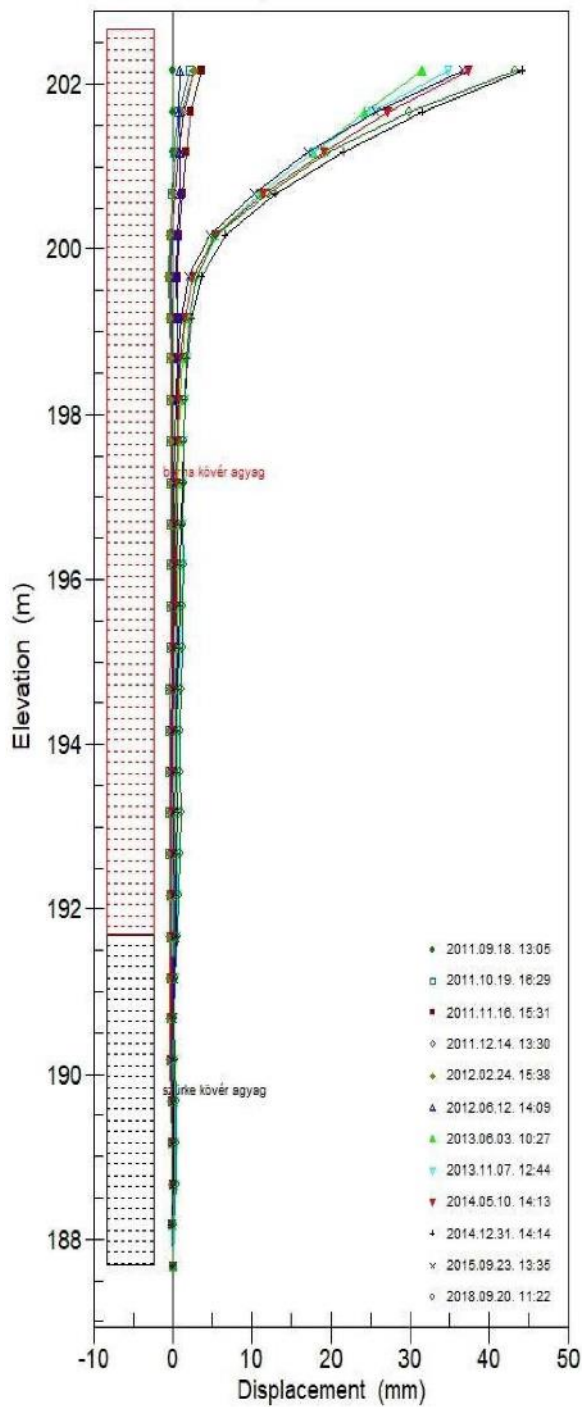
6.2. Természetes rézsűk és vonalas létesítmények

A természetes rézsűk, bevágásrézsűk: esetében a talajkörnyezet mozgásvizsgálata a megfigyelések elsődleges célja, annak ellenőrzésére, hogy a természetes felszínforma, vagy a mesterségesen kialakított bevágásrézsű nyugalomban van-e, vagy éppen a mozgása milyen tendenciát mutat. Az elvégzett beavatkozásokat követően (pl. víztelenítés, rézsűburkolás, stb.) elvárt állapot a rézsű mozgásmentessége, vagy a korábbi mozgások intenzitásának csökkenése és nemkívánatos, ha a progresszív mozgásokat mérünk.

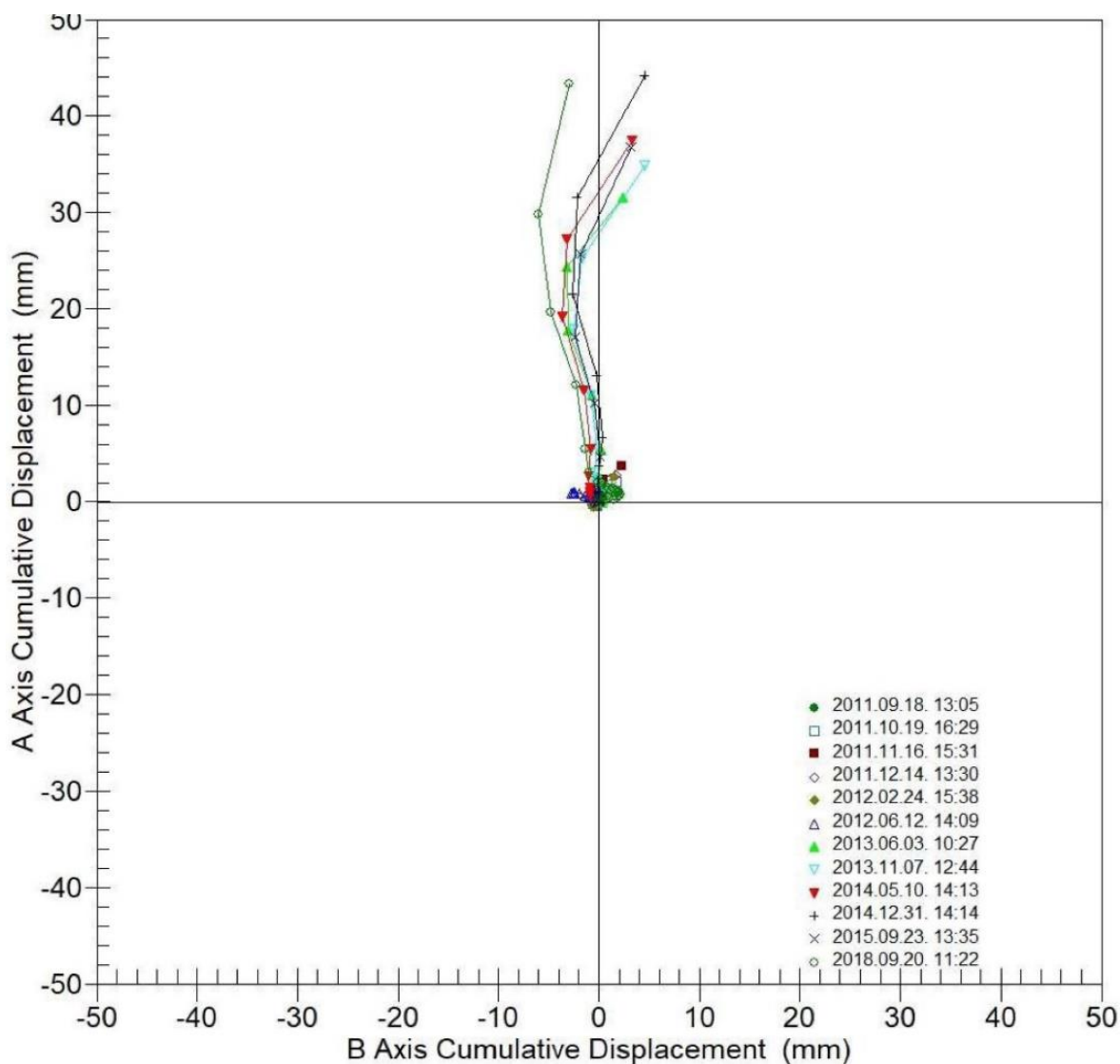
A mozgásmérések egyik szokásosan alkalmazott módja a felszíni pontok (30-50 cm mélységben kialakított mérőcsapok) geodéziai módszerrel való 3D mozgásmérései. A mérések értékeléséhez a mérési eredményekből képezzük a vízszintes és a függőleges mozgáskomponenseket. A geodéziai mérési pontokat általában egyenletesen osztjuk ki a megfigyelési területen.

Az észlelt felszínmozgások mélységbeli lehatárolásához, továbbá a mozgástendenciák feltárására inklinométer mérőkutakban végzett mérések szükségesek. E célra függőleges, talajfúrásban telepített inklinométer mérőkútra van szükség, melyben adott időközönként készítünk méréseket. Inklinométer mérőkutat a mértékadó szelvényben, vagy, ha az nem egyértelmű, akkor lehetséges mértékadó szelvényekben célszerű elvégezni. A mérőkút hosszát úgy kell megválasztani, hogy az a potenciális csúszólap alá érjen, a már mozgásmentes talajkörnyezetbe.

Az 50-51. ábra egy bevágásrézsűben közel 7 éven keresztül végzett inklinométer mérések eredményeit mutatja kumulatív (szokásos) feldolgozásban és az eredmények felülnézeti ábrázolásában. A 2011-ben indult mérési kampány 2012. 06. hónapig a rézsű mozgásmentességét dokumentálta, majd ekkor készült el a rézsű alsóbb részén egy aktív megtámasztás (gabionfal) beépítése, a rézsűlábánál további szintes terület kialakítása érdekében. A beavatkozás hatására felső 3 m vastagságú - egyveretű barna kövér agyagréteg - lejtőirányban 3 - 4,5 cm-es mozgást mutatott, miközben a felső 2 m mélységben, kb. 5 mm mértékben balkéz felé (lefelé nézve a rézsűben) is mozdult a talajtömeg. Az észlelt mozgások 2015. 09. hónapig voltak folyamatban, a 2018.09 hónapban készített ellenőrző mérés már további mozgásokat nem mutatott.



50. ábra. Bevágásrészsű állékonyságvizsgálatok - inklinométer mérések (kumulatív)



51. ábra. Bevágásrészsű állékonyság vizsgálatok - inklinométer mérések (kumulatív, felülnézet), Elevation (m): Abszolút magasság (mBf); Displacement (mm): elmozdulás (mm); A axis/B axis Cumulative Displacement (mm): A/B tengely menti összegzett elmozdulás (mm).

Töltésrészsűk (közlekedési célú földművek, árvízvédelmi töltés): töltések esetében a töltéstest mozgásvizsgálata kiegészül az altalaj és a töltésalapozás megfelelőségének vizsgálatával.

- A töltéstest terhelésének hatására az altalajban bekövetkező süllyedések mérése (hidrosztatikus süllyedésmérés, mágneses extenzométer, esetleg vízszintes inklinométer mérőkút), az altalaj rétegeiben pórusvíznyomás mérésekkel, ha a konszolidációs süllyedések bekövetkezhetnek, illetve annak meghatározása a cél;
- Az altalaj, a töltésalapozás vízszintes mozgásainak mérése (vízszintes mágneses extenzométer mérőkút, függőleges inklinométer);

- A töltéstartest tömörödéséből adódó süllyedések mérése (mágneses extenzométer mérőkút meghosszabbítása a töltéstartestben);
- A töltéstartest vízszintes mozgásainak mérése (függőleges inklinométer mérések);
- Talajvízmérések ha a töltés földműve szempontjából meghatározó mélységben alakul ki a nyugalmi talajvízszint;

6.3. Alagutak építés közbeni és hosszú távú megfigyelése

Ebben a fejezetben a Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak befogadására szolgáló Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló (NRHT) építésének példáján mutatjuk be, hogy alagutak esetében milyen célok érdekében, milyen módon és milyen eredményekkel alkalmazhatók a korábbiakban ismertetett geotechnikai mérőrendszerek. Mivel ennek az esettanulmánynak a célja az általános tanulságok levonása, ezért az alábbi leírás – a projekt vázlatos ismertetését követően – elsősorban a bármely alagútépítés kapcsán alkalmazható információkat tartalmazza, és csak alárendelten foglalkozik a projekt- és közetspecifikus adottságokkal.

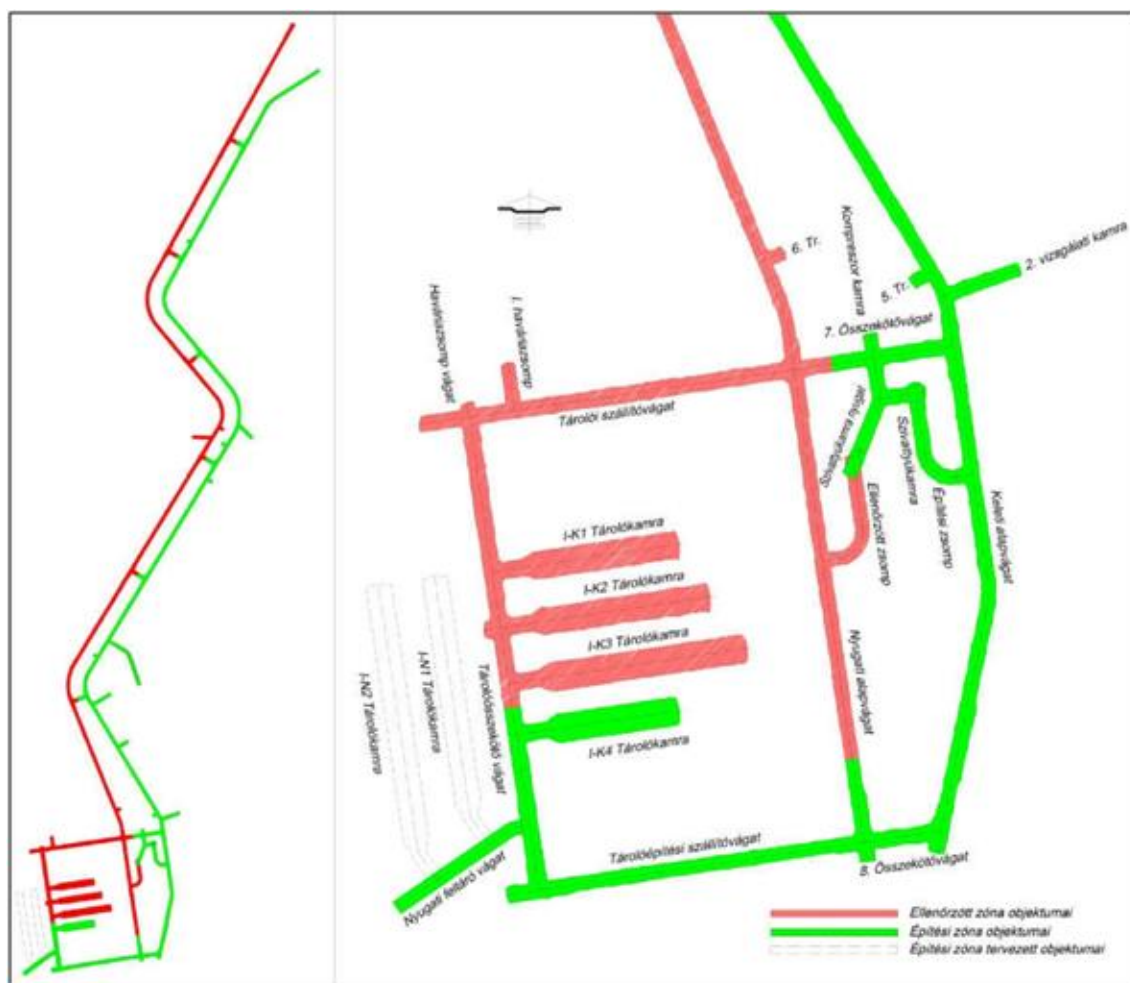
6.3.1. Az NRHT és az építési projekt rövid bemutatása

Az NRHT egy erősen tektonizált, repedezett granitoid befogadó képződményben (a Mórággyi Gránit Formációban), Bábaapáti térségében létesül és üzemel. A beruházás irányítója, illetve a létesítmény kezelője a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft (RHK Kft. – Építető). Az NRHT föld alatti térségeinek építése – két párhuzamos feltáró lejtősakna kialakításával – 2004 végén kezdődött meg. Ezt követte az ún. I. kamramezőt kiszolgáló, illetve a majd később a tárolókamrákat is magukba foglaló hurokvágat-rendszer építése. Mostanra több fázisban közel 6 km hosszúságú vágat- és kamrarendszer épült meg az NRHT részeként (ld. az 52. ábra bal oldali képén).

A radioaktív hulladékokat befogadó, közel horizontális tengelyű, nagyszelvényű tárolókamrákat a felszín alatt 240-270 m-rel, fúrásos-robbantásos technológiával alakítják ki. Valamennyi kamra két fázisban (kalott és talpszelet) épül. A kamrarendszer létesítése moduláris jellegű; műszaki-biztonsági és gazdaságossági okokból egy-egy ütemben mindig két kamra építése valósul meg. Az első két tárolókamrát (I-K1 és I-K2) 2011-ben, a következő kettőt (I-K3 és I-K4) 2014 és 2015 folyamán alakították ki. Az 52. ábra jobb oldali képén látható részletezés szerint ezzel kiépült mind a négy tárolókamra, amit a kamramező K-i szárnyán egyáltalán meg lehetett valósítani. A kamramezőben feltárt kedvezőtlen földtani, vízföldtani és geotechnikai adottságok miatt a Ny-i szárnyon az eredetileg tervezett, közel K – Ny-i tengellyel már nem is alakíthatók ki gazdaságosan a tárolókamrák (I-N1 és I-N2),

ezért szükségessé válik majd azok 90°-kal történő elforgatása. Az I-N1 és I-N2 kamrák építését várhatóan 2023-ban kezdik majd meg.

Ki kell emelni, hogy az RHK Kft. – egyrészt a már említett földtani, vízföldtani és geotechnikai korlátok miatt, másrészt pedig gazdasági megfontolásokból – jelentős erőfeszítéseket tesz azért, hogy minél hatékonyabban tudja felhasználni a kamraépítésre megfelelőnek minősített térrészeket. A betárolási rendszer célszerű, ám itt nem részletezett módosításai mellett ennek másik lehetséges módszere a tárolókamrák szelvényméretének növelése, optimalizálása, illetve a kamrák közötti közetpillér méretének csökkentése; a biztonsági szempontok elsődlegessége mellett. A már említett, többszakaszos, moduláris jellegű építési ütemezés az NRHT-ban lehetőséget ad az alkalmazott tervezési, kivitelezési módszerek, illetve a szelvény- és pillérméretek folyamatos optimalizálására is. Az építés közbeni, illetve a hosszú távú stabilitás ellenőrzése mellett a geotechnikai monitoringnak elsősorban e célok eléréséhez kell megfelelő információkat szolgáltatnia.



52. ábra. Az NRHT teljes vágatrendszere (bal oldali kép), illetve az I. kamramező hurokvágatai, a már megépült és a tervezett tárolókamrákkal (jobb oldali kép) (Forrás: RHK Kft.)

6.3.2. A kamraépítési fázisok ellenőrzésére alkalmazott tranziens geotechnikai monitoring rendszer

Építető már az első feltárási fázistól kezdődően nagy hangsúlyt fordított a geotechnikai monitoring elemek következetes telepítésére és azok eredményeinek beépítésére a tervezési és kivitelezési folyamatba. A monitoring céljaira – a rendkívül változékony kőzetkörnyezetben és a többféle kivitelezési technológia mellett is – hatékonyan alkalmazható mérési elveket, módszereket és mérőműszereket nem azonnal sikerült megtalálni. Azokat több ciklusban, iteratív módon, a mérési eredmények megfelelőségének rendszeres értékelésével választották ki. Az első tárolókamrák építése előtt, 2010-re már jelentős tapasztalat gyűlt össze az optimálisan alkalmazható monitoring-elemekkel, illetve az azok kapcsán az építési (tranziens) időszakban gyűjtött mérési adatok biztonsági szempontú értelmezésével, tehát az észlelési szintekkel kapcsolatban.

A korábban összegyűlt tapasztalatokra alapozva mindkét eddig lezárt kamraépítési fázisban kiterjedt, műszeres in situ tesztprogram valósult meg. Ezek célja kettős volt: egyrészt adatokat kellett szolgáltatnia az üregképzés időszakában fellépő tranziens deformációs- és feszültségváltozási folyamatokról, másrészt pedig időben előre kellett jeleznie, illetve követnie a több évtizedes időtávon lejátszódó reológiai jellegű változásokat, valamint az azok káros mértékű akkumulációjából származó folyamatokat. A mérőrendszerek feladata volt továbbá a tárolókamrákban, illetve az azokhoz csatlakozó vágatszakaszokon alkalmazott biztosítási megoldások minősítése, valamint a tervezők felé történő adatszolgáltatás a biztosítószerkezetek és a kőzetest kapcsolatának, együttműködésének jobb megértéséhez. Ezek az információk alapvető fontossággal bírtak egyrészt a szükségessé váló műszaki beavatkozások tervezése és hatékonyságának minősítése során, másrészt pedig a kamrarendszer geometriai méreteinek, elrendezésének, jövesztési és biztosítási megoldásainak optimalizálásához is.

A felsorolt célok eléréséhez a monitoring rendszer egyes elemeit a befogadó kőzetest földtani-tektonikai-geotechnikai viszonyait jól reprezentáló helyszíneken, minden szempontból megfelelő és korszerű eszközök alkalmazásával kellett telepíteni.

Az ún. D-szelvényvel, 96 m² szabad szelvényterülettel tervezett I-K1 és I-K2 tárolókamrák építése kapcsán már a fenti megfontolásokat maradéktalanul figyelembe vevő kőzetmechanikai-geotechnikai megfigyelőrendszer került telepítésre. Az alkalmazott mérési módszerek két fő csoportra oszthatók. Az első csoportba azok a módszerek tartoztak, amelyek – akár korlátozott felbontásuk, akár pedig egyszerűbb méréstechnikai alapelvük vagy kivitelük révén – csak a fellépő erők, illetve elmozdulások kvalitatív meghatározására alkalmasak. Az ilyen, nagyobb

gyakorisággal telepíthető mérőhelyek feladata a kivitelezés során fellépő esetleges durva hibák, tönkremeneteli jelenségek/folyamatok feltárása. Ebbe a csoportba voltak besorolhatók a tervezés során figyelembe vett határterhelési szintekre optimalizált közethorgony-alátétek (alkalmazott típus: Titan Load Indicator) és az optikai konvergenciamérő szelvények. Ki kell emelni, hogy ez utóbbi módszer nagyobb deformabilitású kőzetkörnyezetben kvantitatív meghatározásra is alkalmas lenne, de a Mórággyi Gránitban, illetve az alkalmazott, a radiális deformációkat erőteljesen korlátozó biztosítási megoldások mellett nem ez volt a helyzet.

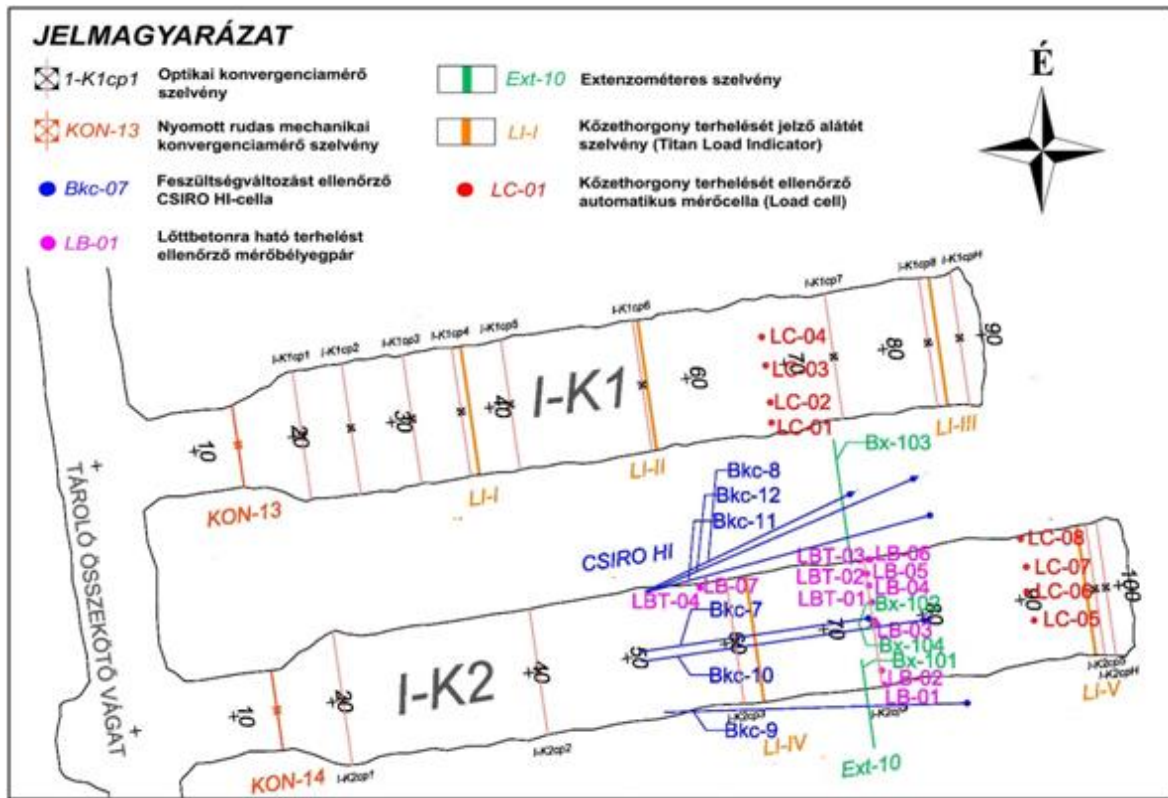
A második csoportba a különböző kőzetelmozdulás-, illetve deformációs komponenseket, terheléseket, terhelésváltozásokat kvantitatív módon, megfelelő pontossággal követni képes, korszerű, nagy pontosságú, többségében automatikus adatgyűjtéssel üzemeltetett mérőeszközök tartoztak (ld. a 53. ábrán):

- a radiális elrendezésű szelvényben telepített 4 db GEOKON A-6, illetve A-9 típusú fúróluk-extenzométer (Ext-10 jelű extenzométeres szelvény);
- a nagy pontosságú nyomott rudas mechanikai konvergenciamérő szelvények a kamrák nyaktagjában (KON-13 és KON-14);
- kamrahajtás különböző fázisaiban (kalott illetve talpszelet; mindkét kamra esetében) a kőzetköpenyben bekövetkező feszültségváltozások időbeli és térbeli leképezésére szolgáló, fúrólukakba telepített CSIRO HI-cellás mérőműszerek (Bkc-7;...; Bkc-12);
- A közethorgonyok fejénél ébredő erők folyamatos mérésére alkalmas HBM erőmérő cellás mérőrendszerek (LC-01;...; LC-08);
- A lóttbeton biztosításban ébredő terhelések alakulásának nyomon követésére szolgáló, mérőbélyeges rendszer (LB-01;...; LB-07).
- A kamrák végleges vájvégén kialakított zárófal stabilitását ellenőrző deformációmérő háromszöges mérőhely (DEF-27 és DEF-28). Ezek alkalmazását elsősorban az indokolta, hogy a végleges vájvégek mögött 5 m-rel húzódtott az a radiológiai biztonsági szempontból kiemelt jelentőségű, agyagos breccsazóna, aminek integritását meg kellett védeni. Emiatt a végleges vájvégekben axiális irányú horgonyokat nem lehetett alkalmazni, ami nehezítette a statikus tervezők feladatát.

A fentiek mellett a kamramező állapotát egy nagy érzékenységgű szeizmoakusztikus monitoring rendszer is folyamatosan ellenőrizte.

Egy ilyen komplex monitoringrendszer telepítése és üzemeltetése a feszített ütemű építési munkálatok mellett rendkívüli odafigyelést és szervezést igényelt. Különösen igaz volt ez a telepítés előtt magfúrási műveleteket is igénylő monitoring-elemek esetében (pl. extenzométerek és CSIRO HI-cellás mérőhelyek). Emellett a robbantó-

és horgonylyukfúrási, illetve robbantási műveletek miatt speciális műszer- és jelkábelvédelmi technikákat kellett alkalmazni, továbbá korlátozó intézkedéseket kellett tenni annak érdekében, hogy a telepített műszerek elláthassák feladatukat. Az említett technikák és intézkedések eredményesnek bizonyultak: a műszerek a kamraépítés teljes időszakában sérülésmentesek és üzemképesek maradtak.



53. ábra. Az I-K1 és I-K2 tárolókamrák építése során telepített és üzemeltetett geotechnikai megfigyelőrendszer elemei

A felsorolt monitoring módszerek többsége validált tervezési alapadatokat, illetve a tervezési feltételezések visszaellenőrzéséhez (backcalculation) is használható adatokat volt képes szolgáltatni. A mérések alapvető adatokat szolgáltatottak mind az üregek és a biztosítószerkezetek geotechnikai-statikai tervezéséhez, mind pedig a jövesztés által megzavart, a potenciális izotópmigrációs útvonalak kialakulásában különösen fontos kőzetóna (az EDZ) mélységének és eloszlásának meghatározásához.

A kamraépítés kiviteli terve a telepített monitoring eszközök vonatkozásában meghatározta a figyelmeztetési, beavatkozási és riasztási szinteket. A kamraépítés folyamatában a figyelmeztetési szintet egyes mérőeszközök adatai elérték ugyan, de ennél magasabb értékek nem adódtak. A biztosítószerkezetekre ható terhelések alakulását ellenőrző műszerek adatai szerint a biztosítószerkezetek aktívan reagáltak

az egyes jövesztési fázisokra, de a tervezés során feltételezett határértékeket a ténylegesen fellépő terhelések nem lépték át.

A szelvényméret növelése, illetve a pillérméter csökkentése kapcsán kiemelt jelentőségük volt a pillérbe telepített CSIRO HI-cellás feszültségváltozásmérő szelvények adatainak. Ezekkel közvetlenül is igazolható volt, hogy a rendszerben még jelentős statikai tartalékok vannak. Ezt az első két kamra építése során szerzett további monitoring-adatok is egyértelműen alátámasztották. Mindezek alapján az illetékes hatóság hozzájárult ahhoz, hogy a korábbi, 96 m²-es szabadszelvény-mérethez képest az I-K3 és I-K4 tárolókamra mérete 115 m²-re növekedjen (ún. G-szelvény); mégpedig úgy, hogy eközben a pillérméter 15,0-ről 12,6 m-re csökkent. Az I-K1 és I-K2 kamra kihajtása során végzett mérések azt is igazolták, hogy a repedezett kőzettest és a szabálytalan kitorési szelvényt nem kiegyenlítő biztosítószerkezet kölcsönhatása miatt sokszor lépnek fel előre nem kalkulált mértékű és jellegű, kontinuummechanikai megközelítéssel nem leírható elmozdulások. A jövesztés által roncsolt, illetve megzavart zóna (EDZ, illetve EdZ) térbeli és időbeli alakulásának részletesebb elemzése arra is rámutatott, hogy a kialakított vágatok és kamrák kőzetkörnyezetében végbemenő reológiai deformációk akár nagyságrendileg is meghaladhatják a kihajtás közvetlen hatásaként mérhető értékeket. Ugyancsak e mérésekből levonható alapvető fontosságú következtetés volt az is, hogy a kamraihajtás hatására kialakuló feszültségváltozások és kőzetelmozdulások tisztán kontinuummechanikai megközelítésekkel nem írhatók le. Több esetben is igazolódott, hogy a Mórágyi Gránitban kivitelezett jövesztések az elméletileg várhatóhoz képest többszörös távolságban is jól érzékelhető feszültségváltozásokat és elmozdulásokat válthatnak ki.

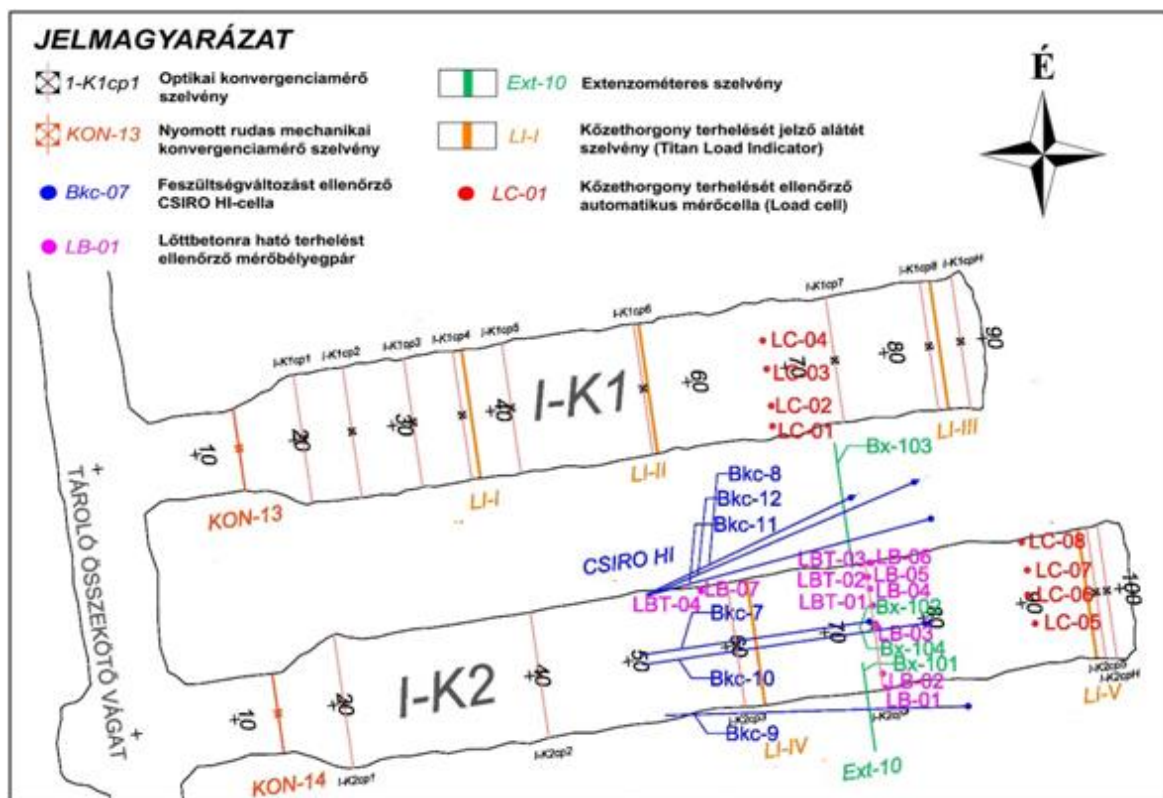
Mindezen mérések eredményeként azóta a tervezők az EDZ-t és az Edz-t egy időben nem állandó, folyamatosan továbbfejlődő rendszernek tekintik és ezekkel a reológiai hatásokkal is számolnak a tervezés során (a feltáró vágatok és az első két kamra tervei ezeket a folyamatokat még nem vették figyelembe).

A fentiekben vázolt, a statikai állapot és a végleges elhelyezés szempontjából egyaránt kedvezőtlen hatások csökkentése érdekében az I-K3 és I-K4 kamra építése már alaktartó, egységes héjszerkezetet alkotó, módosított biztosítási rendszerrel történt.

Az I-K3 és I-K4 tárolókamrák létesítése során a geotechnikai monitoringrendszert hasonló elemekből alakították ki, mint az első két kamra kapcsán (ld. a 54. ábrán). Tekintettel azonban a kissé eltérő feltárási geometriára, illetve a már említett építéstechnológiai különbségekre, a monitoringrendszer tervezése során természetesen e megváltozott körülményeket is figyelembe vették. Az eltérések a következők voltak:

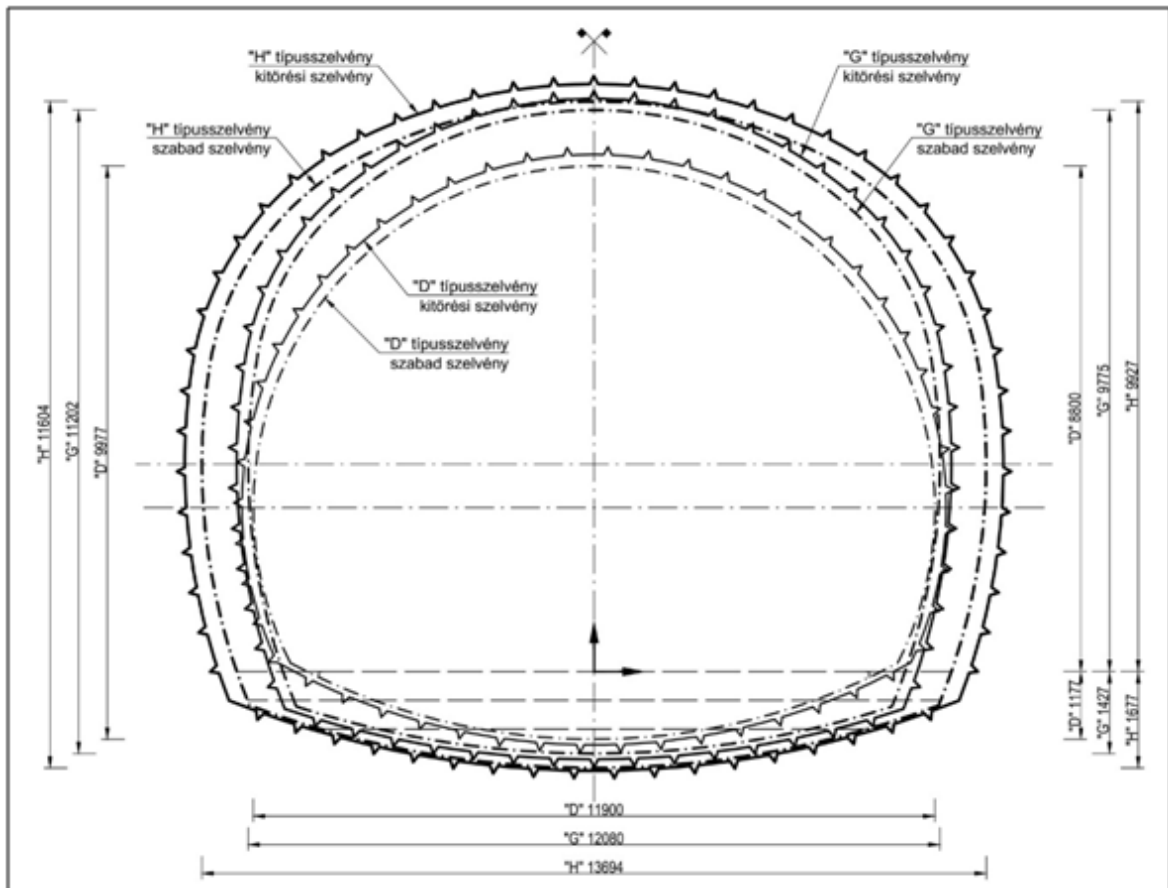
- Mivel a módosított biztosítási rendszer megkívánta a horgonyfejek lőttemonnal való azonnali fedését, így a közethorgony-alátétek ebben a fázisban egyáltalán nem voltak alkalmazhatók.
- A monitoringrendszer tervezői kihasználták azt a lehetőséget, hogy a műszerek egy része az I-K2 kamrából kiindulva mélyített fúrólukakba, elhaladásos elrendezésben is telepíthető (Ext-11 és Ext-12 jelű extenzométeres elrendezések és a Bkc-13, ..., Bkc-16 jelű CSIRO HI-cellás feszültségváltozás-ellenőrző mérőhelyek – ld. a ... ábrán). Így az említett műszerekkel a fellépő elmozdulási, illetve feszültségváltozási folyamatok teljes egészében megmérhetővé váltak.
- Ebben a két kamrában került először alkalmazásra a továbbfejlesztett, nagy feszítávolságú szelvényben is 0,04 mm pontosságot produkáló húzott szalagos konvergenciamérő műszer (HKON-1 és HKON-2 jelű szelvények).
- Az I-K3 és I-K4 kamrák utolsó szakaszainak kalottjában, a közel vízszintes és axiális helyzetű Ext-14 és Ext-15 jelű fúrólukokban került telepítésre egy-egy Modular Reverse Head (MRH) rendszerű extenzométer, amellyel – az 5.2. fejezetben ismertettek szerint – lehetővé vált a feltárt kőzetónák deformabilitásának pontos megismerése is. Az MRH extenzométereket úgy tervezték, hogy a szuverén energiaellátás fennmaradásáig a rendszer utolsó szakasza a végleges vájvég stabilitását is ellenőrizni tudja. Így ez a mérőeszköz hatékonyan egészítette ki a végleges vájvég síkjában fellépő deformációkat érzékelő háromszöges mérőhelyek adatait.
- A szeizmoakusztikus monitoring rendszer a módosuló megfigyelési geometria miatt részben módosításra, részben kiegészítésre került.

Mivel a térség geotechnikai szempontból legkritikusabb eleme, az agyagos-vetőbreccsás ún. Patrik-törés az I-K4 tárolókamra D-i oldalán, ahhoz meglehetősen közel húzódik, ezért a műszerek telepítési geometriáit ennek megfelelően is optimalizálni kellett.



54. ábra. Az I-K3 és I-K4 tárolókamrák építése során telepített és üzemeltetett geotechnikai megfigyelőrendszer elemei

Az első kamraépítési fázis kapcsán felsoroltak mellett az I-K3 és I-K4 tárolókamrákban telepített monitoring kiemelt feladata volt az is, hogy vizsgálja a megnövelt szelvény és a csökkentett pillérméret, valamint a módosított biztosítási rendszer megfelelőségét, illetve hatékonyságát is. A második kamraépítési fázis során összegyűjtött mérési adatok maradéktalanul igazolták, hogy a G-szelvényrel megépített I-K3 és I-K4 kamrák – még az említett Patrik-törés közelében is – maradéktalanul megfelelnek a statikai szempontoknak. A mérések igazolták, hogy még mindig maradtak jelentős mechanikai tartalékok a rendszerben, ezért a később megépítendő I-N1 és I-N2 tárolókamrák azóta már elfogadott engedélyezési terveiben ismételt szelvényméret-növekedést irányoztak elő (ez a közel 134 m²-es szelvényterülettel kialakítandó ún. H-típus szelvény – ld. a 55. ábrán). Az ábra szerint a geotechnikai monitoring-adatok felhasználásával több fázisban elvégzett optimalizálás eredményeként közel 40%-kal nőtt meg a hulladéktárolásra használható szelvényterület, és egyúttal magát a szelvényalakot is a betárolás szempontjaihoz lehetett igazítani. Ennek igen jelentős és pozitív gazdasági hatásai vannak, amelyek nagyságrendekkel meghaladják a monitoringtelepítés és -üzemeltetés költségeit.



55. ábra. Az NRHT építése során végzett kamraszalvény optimalizáció

Mindamellett az I-K3 és I-K4 kamrákban kapott monitoring-adatok egy része arra is figyelmeztetett, hogy számos vonatkozásban szükség lesz az újonnan alkalmazott biztosítási megoldások további optimalizálására. Például a mérések azt mutatták, hogy a közethorgonyok késői beépítése miatt az első löttbeton réteg a tervezettnél lényegesen nagyobb, akár kritikus szintű terheléseket is felvehet; a közethorgonyok viszont nem működnek hatékonyan. A konvergenciamérések a kalottláb lehetséges, nem kívánt mértékű elmozdulásaira hívták fel a figyelmet. Ezeket a feltárt problémákat az I-N1 és I-N2 tárolókamrák biztosítási rendszerének tervezése során már figyelembe lehetett venni.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy egy jól tervezett, kivitelezett és üzemeltetett építés alatti monitoring rendszer mind a műszaki-biztonsági, mind pedig az engedélyeztetetőségi és gazdasági szempontok szerint jelentősen hozzájárulhat az Építető céljainak megvalósításához.

6.3.3. A hosszú távú stabilitás ellenőrzésére szolgáló mérőrendszerek és azok tapasztalatai

Mivel az NRHT egyes föld alatti térségeit a jelenlegi tervek szerint – a közforgalmi, vasúti, vagy más célú alagutakhoz hasonlóan – legalább 100-150 évig nyitva kell tartani, ezért az alkalmazott geotechnikai mérőeszközök egy részét úgy telepítették, hogy azok a hosszú távú monitoring elemeként, akár több évtizeden át is szolgálhassanak. Az 5.2. fejezetben bemutatott mérőeszközök közül erre a célra jelenleg leginkább a rezgőhúros szenzorokkal működő in-place extenzométerek és a Wheatstone-hidas elven működő, mérőbélyeges-mérőnyelves deformációmérő állomások hálózata látszik a legalkalmasabbnak. Az alkalmasság jelen esetben egyszerre jelenti a megfelelő telepíthetőséget, az alacsony deformációs szintek miatt szükséges nagy felbontást, illetve mérési pontosságot, a hosszú időn át igazolt stabilitást, illetve a szenzorok könnyű cserélhetőségét is.

Mivel a felsoroltak pont- vagy vonalszerű (mindenképpen lokális jellegű) mérőhelyek, ezért az esetleges tönkremeneteli zónák idejekorán történő kimutatásában – és ezzel az állomáshálózat optimalizálásában, illetve célzott besűrítésének megalapozásában – fontos szerepe van a kamramezőben működő szeizmoakusztikus állomáshálózatnak. Az ilyen rendszerek a ridegen viselkedő, erősen repedezett kőzetváltozatok esetében bizonyulnak a leghatékonyabbnak, mivel ezeknél a mértékadó tönkremeneteli mechanizmust a sűrű repedéshálózat egyes elemei mentén a nyírószilárdság kimerülése jelenti. Az ezzel járó, időben tovaterjedő, hirtelen elmozdulások szeizmoakusztikus jeleket indukálnak. Az állomáshálózat segítségével meg lehet határozni a forráspontok 3D-s koordinátáit, a kipattanások helyét és intenzitását. A szeizmoakusztikus érzékelőkkel csak az I. kamramező belsejében is több ezer lokális tönkremenetelre utaló jelet detektáltak már. Bár a rögzített jelek csak félkvantitatív információkat adnak, ám ezek térinformatikai módszerekkel mégis igen jól térképezhetők, mint ahogy meghatározhatók általuk a tönkremeneteli zónák időbeli terjedésének irányai és sebességei is.

Mindezek alapján a fentiek szerint kiépített geotechnikai monitoring-hálózattal célszerűen és pontosan követhetők az NRHT térségeinek hosszú időtávon kibontakozó időfüggő mozgásai, és meghatározható az is, hogy ezek hogyan befolyásolják a föld alatti térségek statikai viszonyait. A gyakorlati tapasztalatok szerint ezek a mérőrendszerek ugyancsak alkalmasak arra is, hogy az esetlegesen szükségessé váló műszaki beavatkozások, megerősítések terveihez megfelelő minőségű és részletességű adatokat szolgáltatassanak.

6.4. Egyéb alkalmazási területek

Egy következő alkalmazási példa geotechnikai monitoring eszközök alkalmazására a nagyközönség számára látogatható barlangi terek állékonyságának ellenőrzése. A következő példában szereplő esetben a karsztosodott barlangüreg fedőjében vastagpados mészkő található, melynek horgonyzásos biztosítását 50-60 évvel ezelőtt készítették el, azaz az előrehaladott korrózióra tekintettel előtérbe került a kőzetkörnyezet megfigyelése.

Az 56. ábra szerinti elrendezésben függőleges helyzetű repedéstágasság mérő műszereket építettek be a vízszintesen rétegzett kőzet felületére.

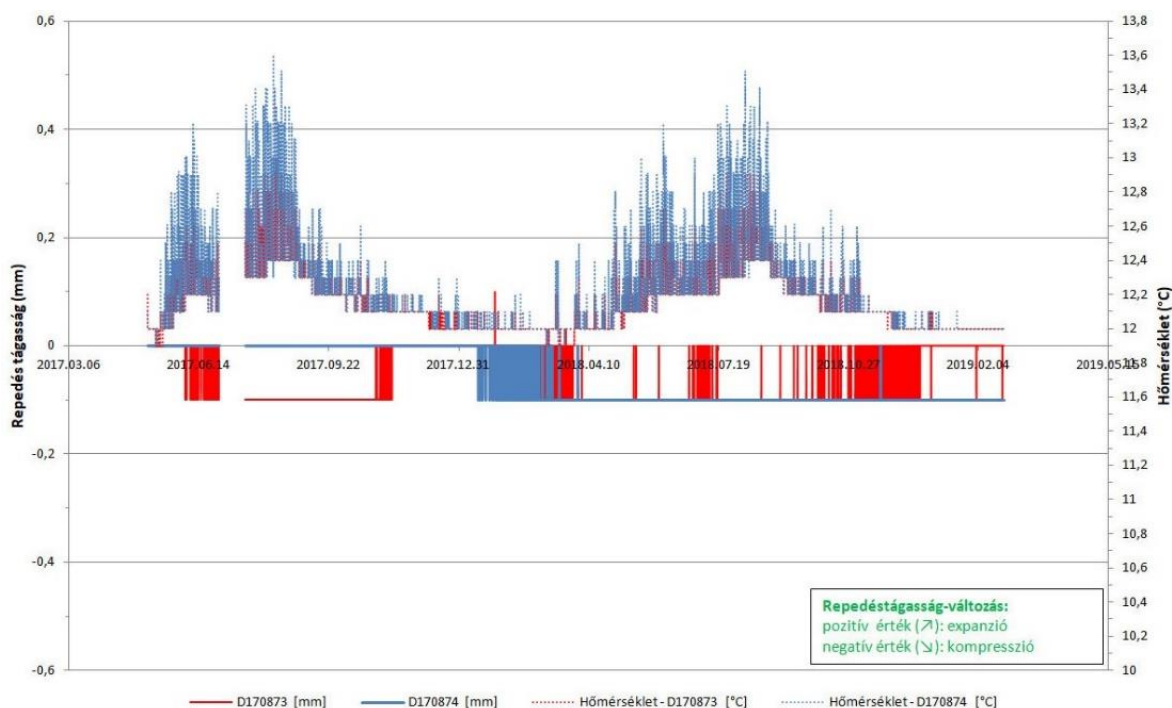


56. ábra. Barlangi mérések - repedéstágasság mérések a kőzetfedőben (KBFI Alfa Kft. felvétele)

Az 57. ábra szerint adjuk meg a folyamatban lévő mérési adatsor egy részletét. A kiragadott adatsor alapján megállapítható, hogy:

- a repedések (2 db megfigyelt) nyugalomban vannak, az észlelt mozgások a mérési rendszer pontosságát jelentő 0,1 mm tartományban ingadozóak;

- az adott barlangi környezetben 1-1,2 °C mértékű az évszakos hőmérsékleti ingadozás, ami hatással van a mikrorepedések mozgására;
- az ábrán kevésbé látszik, de a hőmérsékleti adatok részletes elemzésével megfigyelhető a nappali időszakokban a látogatócsoportok okozta hőmérsékletemelkedés periodikussága;



57. ábra. Barlangi mérések - repedéstágasság és hőmérséklet mérések adatsora a kőzetfedőben (KBFI Alfa Kft. adatai)

A barlangok biztonságánál maradva a következő példában a karsztosodott barlangüregben geológiai időtávlatokban kibillent és kapu formát alkotva a szemközti szálban álló kőzetnek dőlő, lakóépület nagyságú kőzettömb mozgásvizsgálatát mutatjuk be.

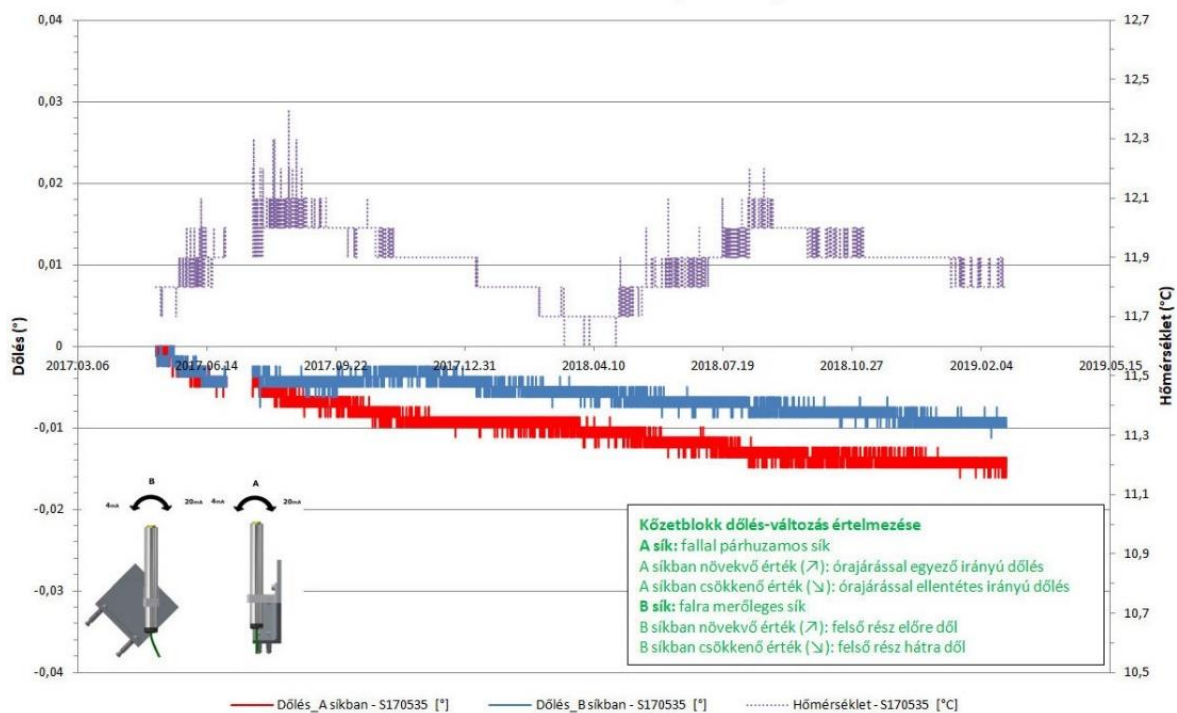
Az alkalmazott dőlésmérő műszer kéttengelyű, azaz a fal síkjára merőleges és azzal párhuzamos irányú függőleges síkokban való mozgások mérésére alkalmas, miközben vízhatlan kivitelű, hiszen esetünkben időszakosan előállhat az üreg teljes elöntése is. A mérőműszerről készített fényképet az 58. ábrán mutatjuk be.



58. ábra. Barlangi mérések - kőzettömb mozgásmérése dőlésmérővel (KBFI Alfa Kft. felvétele)

Az 59. ábra szerint adjuk meg a folyamatban lévő mérési adatsor egy részletét. A kiragadott adatsor alapján megállapítható, hogy:

- a kőzettömb a megfigyelési időszakból kiragadott szűk 2 éves időszakban a falra merőleges síkban csökkenő ütemben a felső részén hátrafelé dől, a mért dőlés $0,01^\circ$; miközben szemben állva a fallal az óra járásával ellentétes értelemben, csökkenő ütemben dől, a mért dőlés $0,015^\circ$; a mért dőlés értékek megközelítik a mérési rendszer pontosságát, a tendenciák minden esetre már körvonalazódnak;
- az adott barlangi környezetben $1-1,2^\circ\text{C}$ mértékű az évszakos hőmérsékleti ingadozás;



59. ábra. Barlangi mérések - kőzettömb dőlésmérővel mért mozgásának adatsora (KBFI Alfa Kft. adatai)

7. Útmutató megfigyelési terv összeállításához

GTB kötelező tartalmi eleme a műszaki felügyelet, megfigyelési és karban-tartási terv javasolt tartalmi részeit bemutatni.

Monitoring tervnek tartalmaznia kell a következőket:

- Megrendelő, bevont tanácsadók és alvállalkozók neve
- Megbízás tárgya, a tervezett építési tevékenység rövid bemutatása
- Kiviteli tervek, melyekkel a monitoring terv együtt kezelendő.
- Az építési tevékenység által érintett területen található közművek, épületek bemutatása.
- Monitoring rendszer elemei, mérések célja
- Monitoring tevékenység várható időtartama, mérések gyakorisága
- Kiértékelések menete, monitoring jelentések rendje
- Riasztási szintek és beavatkozási javaslatok
- Vonatkozó szabványok
- Munkavédelem, tűzvédelem, egészségvédelem
- Mérési rendszer elemeinek kiosztási rajza, metszetek, részletrajzok
- Műszer telepítési technológiai leírása
- Várható viselkedés (elmozdulások, süllyedések, stb.)

Monitoring jelentésnek tartalmaznia kell a következőket:

- Megrendelő, bevont tanácsadók és alvállalkozók neve
- Megbízás tárgya, a tervezett építési tevékenység rövid bemutatása
- Kiviteli tervek, melyekkel a monitoring terv együtt kezelendő.
- Az építési tevékenység által érintett területen található közművek, épületek bemutatása, állapotuk értékelése.
- Elkészült szerkezetek állapota
- Monitoring rendszer elemei, mérések célja
- A mérési időpontok, építés előrehaladása (pl, földkiemelés szintje)
- Talajvízszint
- Mért adatok táblázatos és grafikus formában
- Mérések kiértékelése
- Mért értékek összevetése a riasztási szintekkel, várt viselkedéssel.

Iránymutatások a következő jelentésig, (mérési sűrűség, utasítások szerkezetek megfigyelésére, további mérésekre, szerkezetek állapotfelmérésére stb.).

7.1. Monitoring terv - Minta

Tartalom

1. Megbízás tárgya.....	4
2. Környezeti viszonyok, kapcsolódó munkatérhatárolási tervek.....	4
3. Monitoring rendszer elemei, mérés célja.....	6
3.1. <i>Inklinométeres mérőrendszer terve</i>	6
3.2. <i>Geodéziai mérőrendszer terv</i>	6
4. Szabványok	6
5. Munkavédelem, tűzvédelem, egészségvédelem, vészhelyzeti teendők havária esetén	7

Mellékletek:

1. melléklet: Inklinométer kiosztás alaprajz
2. melléklet: Inklinométer metszetek
3. melléklet: Telepítési technológiai leírás
4. melléklet: Számított résfal elmozdulások

1. Megbízás tárgya

██████████ megbízta a ██████████ a címbeli projekt munkatérhatárolási és víztelenítési munkálatainak tervezésével és kivitelezésével.

Felek a ~17m mélységű résfalas munkatérhatárolás számított mozgásainak ellenőrzése céljából 3db inklinométeres mérőkút kiépítésében és üzemeltetésében állapodtak meg. Jelen dokumentum az inklinométer mérőkutak szakszerű beépítésének és üzemeltetésének részleteit illetve a hagyományos geodéziai méréseket ismerteti. A projekt előrehaladtával a mérési eredményekről havi rendszerességű jelentés készítünk, előre láthatólag 12 hónapon keresztül.

A feladat elvégzésére az alábbi alvállalkozókat vontuk be:

- ██████████ -
inklinométeres mérőkutak beépítése, mérések elvégzése
- ██████████ - mérési eredmények
kiértékelése, értékelő jelentés készítése
- ██████████ - hagyományos geodézia mérési feladatok elvégzése

2. Környezeti viszonyok, kapcsolódó munkatérhatárolási tervek

Az építési terület ██████████ alatti telken helyezkedik el. A területen korábban iroda és parkolóház épület együttes állt, mely bontásra került. A területen egy 5 pinceszinttel rendelkező többfunkciós épületet terveznek kialakítani. Az épület földszinti padlóvonala ██████████ mBf szinten, míg a legalsó pinceszint padlóvonala -16,50 mRel szinten kerül kialakításra.

A tervezett épület alapozása cölöpalapozással gyámoltított vb. lemezalapozás. Az alaplemezek felúszásra, illetve a talajvíz nyomására, felhajtó erejére nem méretezettek. Az alaplemez vastagsága ██████████. Az alaplemezek nem kötnek be a résfalba. Az agyag talajon keresztül vagy esetleg a fentről beszivárgó vizeket a résfal és a bélésfal között Dörken lemezek vezetik le a lemez alatti szivárgó hálózatba. Az épület munkagödre végleges állapotban is víztelenített. A tervezett munkagödör kiemelés alsó síkja a -17,2 mRel szint. A résfal környezetében aknák nem kerülnek kialakításra.

A résfalat ██████████ névleges szélességgel (tényleges: ██████████) terveztük.

A résfal elkészültét követően megkezdődik a munkagödör víztelenítése és földkiemelése, valamint a résfal fúrt, injektált, feszített talajhorgonyokkal való ideiglenes megtámasztása. Résfalas munkatérhatárolás a földkiemelés előrehaladtával kismértékű alakváltozásokat szenved, melyre a munkatérhatárolás kiviteli tervéhez tartozó statikai dokumentációban számításokat közöltünk. Jelen dokumentáció 5. mellékletében közöljük a mozgásmérési eredményekkel összehasonlításra kerülő számítási eredményeket.

3. Monitoring rendszer elemei, mérés célja

A jellemzően két heti mérési eredmények ismeretében havi rendszerességgel jelentés készül, mely összefoglalja a résfal síkbeli deformációjának változását és a számított mozgásokkal összevetve értékeli azokat. A kiértékeléshez a mozgásmérési eredményeken felül szükséges adatok, melyek a méréssel egyidejűleg kerülnek meghatározásra: inklinométer cső tetőszintje, aktuális földmunka szint, gödrön belüli és kívüli talajvízszint.

Az inklinométer méréseket a geodéziai mérésekkel összehangoltan hajtjuk végre, melyek elsődlegesen a résfal felületének és a résfal fejranda mozgásmérését célozzák.

3.1. Inklinométeres mérőrendszer terve

A résfal síkbeli deformációjának mérése 3 különböző szelvényben történik. A mérésre kijelölt szelvényeket alaprajzon az *1. melléklet* ábrázolja, az egyes mérőhelyek részletrajzait metszeten a *2. melléklet* tartalmazza.

A kijelölt szelvényekben a betervezett résarmatúrába szükséges beépíteni egy speciális hornyos belső felületű mérőcsövet. A mérőcső armatúrába való beépítésének illetve a mechanikai védelmének részleteit a *3. mellékletben* található Telepítési technológiai leírás tartalmazza.

A mérések elkészítésére minden szelvény esetében előre láthatóan 2 hetes gyakorisággal kerül sor. A mérés gyakorisága a munkák előrehaladtával (pl.: földmunka, víztelenítés, horgonyzás, földémszintek beépítése) szükség szerint módosítható.

3.2. Geodéziai mérőrendszer terv

A résfal várható mozgásából adódóan a résfal közelében a talajfelszín kb. [REDACTED] mm-es nagyságrendű süllyedése várható. A várható résfalmozgások és felszínsüllyedések a munkatérhatárolás sarkainak közelében kisebbek, mezőközépen nagyobbak. Ezen mozgások mérése céljából hagyományos geodéziai módszerekkel való mozgásmérést is előírunk az alábbiak szerint:

- A fejranda belső oldalán, a földkiemelés megkezdése előtt mérési pontok létesítendőek a kerület mentén egyenletesen elosztva ~10-15m-es osztásközzel.
- A résfal belső homlokfelületének a földkiemelést követően történő bemérése ~10-15m-es alaprajzi osztásközzel és ~2-3 különböző mélységben.
- Szomszédos épületek munkagödör felé eső homlokfelületén (épületenként 3-5 előírányzott mérési pont).

Célunk a munkagödör földkiemelésével párhuzamosan a résfal mozgásának és a szomszédos épületek esetleges süllyedésének nyomon követése, a tervezés során alkalmazott számítási modell ellenőrzése. A mozgás mérése az inklinométeres mérésekkel összehangoltan történik.

4. Szabványok

Irányadó méréstechnológiai szabványok:

- ASTM D6230 – Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinator
- MSZ EN ISO 18674-1:2015 – Geotechnikai vizsgálatok. Geotechnikai ellenőrzés helyszíni mérőműszerrel. Általános szabályok

7.1. Monitoring Jelentés - Minta

Tartalom

1.	Bevezetés	3
2.	Környezeti viszonyok, munkatérhatároló szerkezet, aktuális előrehaladás.....	3
3.	Mérési eredmények	4
3.1	Geodéziai mérőrendszer	4
3.2	Inklinométeres mérőrendszer	5
4.	Inklinométeres mérések	6
4.1	Inklinométeres mérés értékelése	7
5.	Résfal fejgerenda, résfal belső felület geodéziai monitoring eredményeinek kiértékelése 8	
6.	Szomszédos épületek geodéziai monitoring eredményeinek kiértékelése	11
7.	Összefoglalás.....	12

Mellékletek:

1. melléklet: Mozgásmérési pontok kiosztás alaprajz
2. melléklet: Inklinométer „0” mérés jelentés
3. melléklet: Inklinométer mérés elsődleges értékelése
4. melléklet: Geodéziai mérési eredmények
5. melléklet: Inklinométer mérési eredmények
6. melléklet: Földmunka szintek

1. BEVEZETÉS

A [REDACTED] Kft. (továbbiakban Megrendelő) megbízta [REDACTED] a cím béli projekt munkatérhatárolási munkálatainak tervezésével és kivitelezésével. A munkatérhatárolási munkálatok alatt geotechnikai monitoring méréseket végez a [REDACTED] Monitoring Tervnek megfelelően. A kapcsolódó terveket és munkavédelmi előírásokat a monitoring terv tartalmazza.

A feladat elvégzésére az alábbi alvállalkozókat vontuk be:

- [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] - mérési eredmények kiértékelése, értékelő jelentés készítése
- [REDACTED] - hagyományos geodézia mérési feladatok elvégzése

A jelenlegi monitoring jelentés a **9. mérési** jelentés, ezt megelőzően két monitoring gyorsjelentés és **nyolc** monitoring jelentés készült. Az egyes jelentések az őket megelőző jelentések számadatait nem tartalmazzák, viszont következtetést vonnak le belőlük, így tendenciát állapítanak meg a mozgások sebességére, várható időbeliségére vonatkozóan. **Az előző jelentéshez képest rögzített új információkat piros betűszínnel közöljük.**

2. KÖRNYEZETI VISZONYOK, MUNKATÉRHATÁROLÓ SZERKEZET, AKTUÁLIS ELŐREHALADÁS

Az építési terület Budapest [REDACTED] szám alatti telken helyezkedik el, a [REDACTED]

[REDACTED] által határolt területen. A terület az építést megelőzően jellemzően felvonulási területként és felszíni parkolóként funkcionált. A területen egy 4 pinceszinttel rendelkező irodaépületet terveznek kialakítani. Az épület földszinti padlóvonala $\pm 0,00 =$ [REDACTED] mBf szinten, míg a legalsó pinceszint padlóvonala $-12,60$ mRel [REDACTED] szinten kerül kialakításra.

A jelenlegi tervek szerint az épületet mind építési mind pedig végleges állapotban is állandó szivattyúzással víztelenítik. Ez azonban a későbbi tervezés során változhat, így a résfal szerkezete, mélysége úgy került meghatározásra, hogy a későbbiekben lehetséges legyen a végleges víztelenítési koncepció résfalazás utáni módosítására, azaz a teljes pincerendszert víznyomásra és felúszásra méretezni. A résfal szempontjából ez azért lényeges, mert a víznyomásra méretezett szerkezet esetén vastagabb alaplemez ([REDACTED] vtg) és ezzel mélyebb munkagödör kiemelés lehet szükséges. Ennek megfelelően a munkagödör tervezett mélysége $-13,70$ m = [REDACTED]. Az [REDACTED] épület merevítőmagja alatt a kiemelési sík mélyebb, mint [REDACTED]. Az épület alatt készült 4db akna (lépcsőházi és liftmag alatt), melyek mértékadó kiemelési síkja $-16,40$ m = [REDACTED]. Ezek esetébe az alaplemez felső síkja $-15,10$ m = [REDACTED].

A résfalat [REDACTED] cm névleges szélességgel (tényleges: [REDACTED] cm) terveztük.

A résfal elkészültét követően megkezdődött a munkagödör víztelenítése és földkiemelése, valamint a résfal fúrt, injektált, feszített talajhorgonyokkal való ideiglenes megtámasztása. Résfalas munkatérhatárolás a földkiemelés előrehaladtával kismértékű alakváltozásokat szenved, melyre a munkatérhatárolás kiviteli tervéhez tartozó statikai dokumentációban számításokat közöltünk. Jelen dokumentáció **5. mellékletében** közöljük a mozgásmérési eredményekkel összehasonlításra kerülő számítási eredményeket.

A fúrt injektált horgonyok elkészültek, az előfeszítésük lezárult. Az ideiglenes víztelenítés még folyamatban van, a gödrön belül bezárt számottevő vízmennyiség már nem található. Gyakorlatilag az agyag fekü felső síkján esetlegesen bepangó illetve a csapadékból származó felszíni vizek jelennek meg és kerülnek eltávolításra. A földmunka jelentős előrehaladott állapotban van, több szakaszon már a cölöpözési lavírsíkra kiemelték a munkaszintet.

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az inklinométer méréseket és hagyományos geodéziát **október folyamán heti egy alkalommal végeztük el**. A mérési eredmények ismeretében havi rendszerességgel jelentés készült, mely az alábbiakat foglalja össze:

- a résfal síkbeli és térbeli deformációjának változását és a számított mozgásokkal összevetve értékeli azokat,
- fejgerenda síkbeli deformációját

A kiértékeléshez a mozgásmérési nyers eredményeken felül szükséges adatok, melyek a méréssel egyidejűleg kerülnek meghatározásra: inklinométer cső helyzete, aktuális munkagödörön belüli földmunka szint, gödörön belüli és kívüli talajvízszint.

Az inklinométer méréseket a geodéziai mérésekkel összehangoltan hajtjuk végre, hogy az adatok egyidejűek legyenek, így elősegítve az adatok értékelését.

A földkiemelés és a talajvíz szintjét a 6. melléklet tartalmazza.

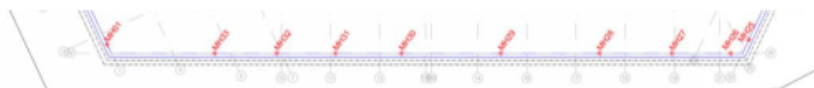
3.1 Geodéziai mérőrendszer

A résfal várható mozgásából adódóan a résfal közelében a talajfelszín kb. [REDACTED] mm-es nagyságrendű süllyedése várható. A várható résfalmozgások és felszínsüllyedések a munkatérhatárolás sarkainak közelében kisebbek, mezőközépen nagyobbak. Ezen mozgások mérése céljából hagyományos geodéziai módszerekkel való mozgásmérést is előírtunk az monitoring tervben az alábbiak szerint:

- A fejgerenda belső oldalán, a földkiemelés megkezdése előtt mérési pontok létesítendőek a kerület mentén egyenletesen elosztva ~10-15m-es osztásközzel.
- A résfal belső homlokfelületének a földkiemelést követően történő bemérése ~10-15m-es alaprajzi osztásközzel és 3 különböző mélységben.
- Szomszédos épület ([REDACTED]) mélygarázs lehajtó rámpa térbeli süllyedésének ellenőrzése.

A kialakított mérőpont bázist szintén az 1. melléklet tartalmazza, illetve rövid áttekintést biztosít az alábbi ábra.

Geodéziai mérési pontok hálózata: MH01-MH33-as sorszámmal a fejgerenda szintjén telepített pontok a résfal mozgásméréseinek céljából. T1-T3 jellel a [REDACTED] mélygarázs lehajtó rámpán elhelyezett mozgásvizsgálati pontok.

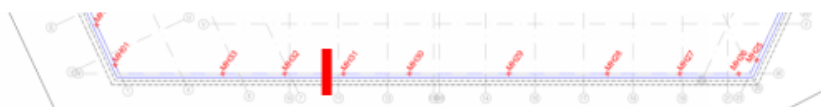


1. ábra: Geodéziai mérőpontok

3.2 Inklinométeres mérőrendszer

A résfal síkbeli deformációjának mérése 1 különböző szelvényben történik. A mérésre kijelölt szelvényt alaprajzon az *1. melléklet* ábrázolja.

Az inklinométer (ferdeség mérő) a kijelölt résfal szelvények függőleges síktól való eltérését méri. Adott inklinométer-csővön, adott időközönként elvégzett mérések segítségével meghatározhatók bizonyos laterális irányú elmozdulások. Az időszakonként elvégzett mérésekkel nyomon lehet követni, hogy a munkagödör földkitermelési munkálatai milyen szerkezeti mozgásokat idéznek elő a résfalban, közvetett módon a környező felszínben és épületekben.



2. ábra: Inklinométerek alaprajzi kiosztása

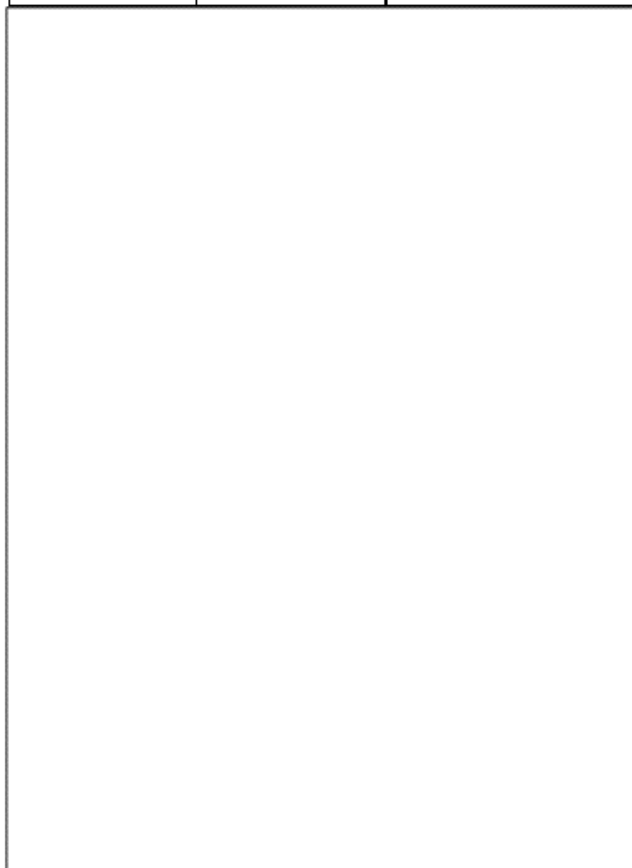
4. INKLINOMÉTERES MÉRÉSEK

Az inklinométer kutak mérését a nagytömegű földmunka megkezdése előtt, az ún. „nullméréssel” indítottuk el. A nullmérés célja a mozdulatlan állapotban lévő cső deformációs alakjának meghatározása, mely referenciaként szolgál a további mérések értékelésekor.



A résfal síkbeli deformációs mozgásmérésének fontosabb adatait az alábbi táblázatban foglaljuk össze:

Mérés ssz.	Dátum	Földkiemelés szintje [mBf]
1. mérés	2020.01.22	110,00
...



1. táblázat: Inklinométer mérési időpontok, földmunkaszintek

Amint az az 1. táblázatból kiolvasható a földmunka február közepén kezdődött és az inklinométer szelvényben már elérte a végleges szintjét. Az inklinométer szelvényében befejeződött az alaplemez építése is (05.28.). Szeptember 22-én megöntötték az első pinceszinti földémet, **október 9-én pedig már a második földémet is**, mely az inklinométer előtti részfalszelvényt támasztja meg.

4.1 Inklinométeres mérés értékelése

A **2020. október 1. és 2020. október 30.** közötti mérési sorozatok elmozdulási görbáját **a 3. tartalmazza** (a tendenciák jobb szemléltetése céljából csak az utolsó 5 mérés eredményét ábrázoltuk). **A 3. ábra az SisGEo műszerrel végzett mérési sorozat eredményeit tartalmazza.** Az ábrán feltüntettük a résfal méretezése során számított, a legmélyebb földkiemelés állapotára prognosztizált elmozdulásokat.

A következők szerint jártunk el az inklinométeres mérések és a fejgerenda hagyományos geodéziai bemérésein együttes értékelése során:

- Az inklinométeres mérés során inklinométer mérőkút felső pontját tekintettük fix pontnak és a fal relatív mozgásait ezen pontokhoz képest állapítottuk meg.
- Az esetleges mérési hibák kiszűrése érdekében elvégeztük az elmozdulások összegzését az inklinométercső tetőpontjára is.
- A fejgerenda bemérési eredményei alapján merevtestszerűen eltoltuk az inklinométeres mérési eredményeket, hogy a fejgerenda mozgása a hagyományos geodéziai mérés alapján és az inklinométeres mérés alapján azonosak legyenek.
- Az inklinométeres mérés a résfal fix ponthoz viszonyított elmozdulását méri, ezért szükséges a mérés eltolása.

Az inklinométer mérési szelvény alapján az előzetesen számított értéket meghaladták az elmozdulások. A mozgások tendenciájának pontosabb vizsgálatához sűrítettük az inklinométeres méréseket március folyamán és megállapítottuk, hogy a mozgások csillapodó tendenciát mutatnak, április elejére a fal nyugalmi állapotba került és április során a talaj lassú alakváltozása következtében normálisnak tekinthető kúszást mutatott.

A fal előtt végzett további földkiemelési, ágyazat- és alaplemez építési munkálatok hatására május közepén újabb mozgások voltak megfigyelhetőek, melyek azonban a munkálatok befejezésével lecsillapodtak, a mozgás sebessége ■■■■ mm/hó értékre esett vissza. Augusztus és szeptember hónap során jellemzően ■■■■ mm/hó értékre csökkent az inklinométerrel meghatározható átlagos mozgás sebessége. Október hónapban kisebb emelkedést mutatott a mozgás sebessége, mely jellemzően ■ mm/hó érték alatt maradt.

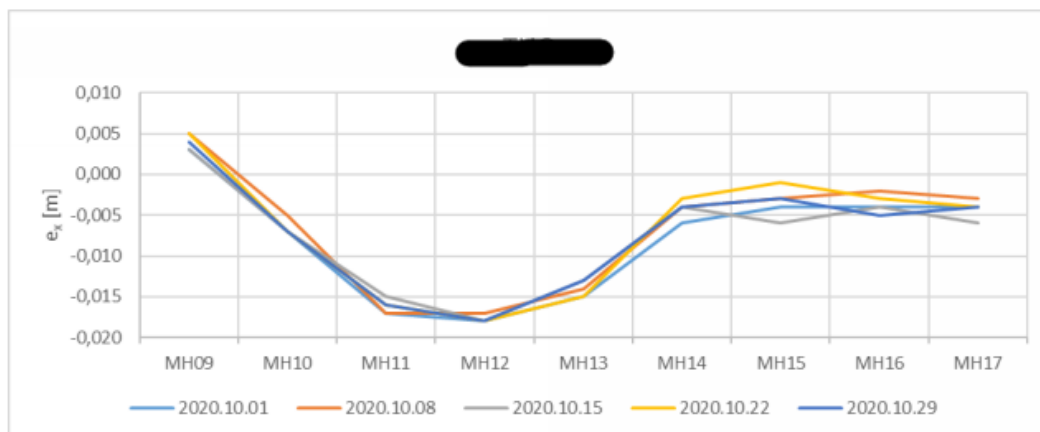
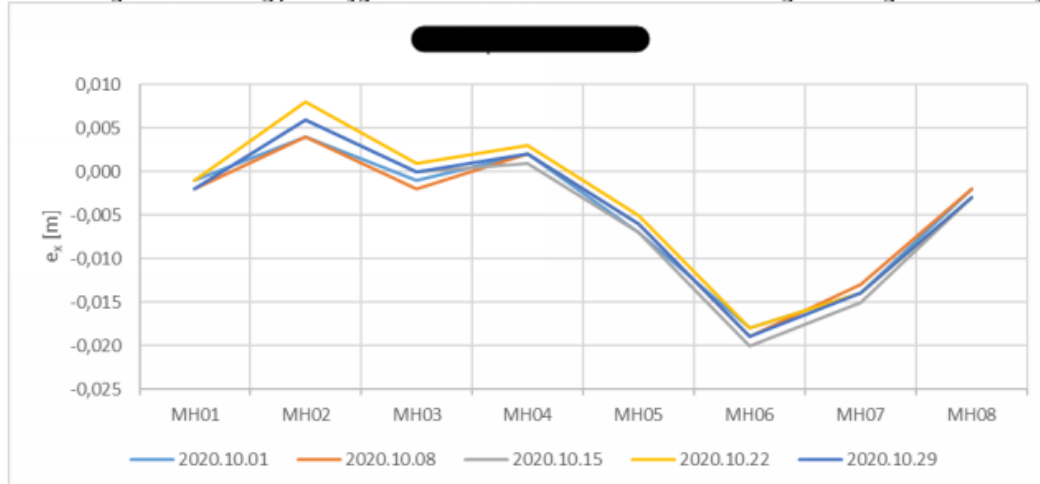
5. RÉSFAL FEJGERENDA, RÉSFAL BELSŐ FELÜLET GEODÉZIAI MONITORING EREDMÉNYEINEK KIÉRTÉKELÉSE

A hagyományos geodéziai méréseket az alábbi bontásban értékeljük:

- Külön értékeljük jelen fejezetben a résfalas munkatérhatároló szerkezet mozgásait,
- illetve a következő fejezetben a szomszédos épületek süllyedés mérését.

A szomszédos épületek süllyedés mérés és a munkatér határoló szerkezetek mozgásvizsgálatának eredményeit a 4. melléklet foglalja össze.

Az alábbi diagramok az egyes fejgerenda szakaszok résfalra merőleges mozgásait mutatják.





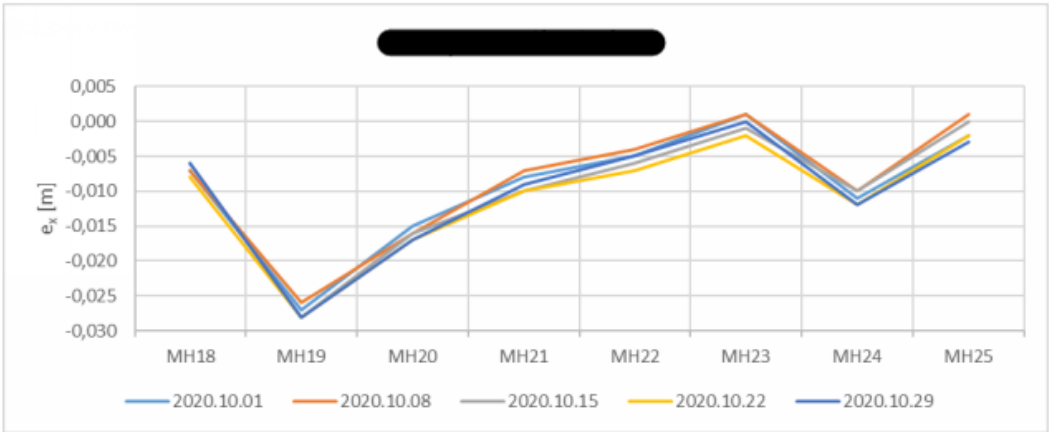
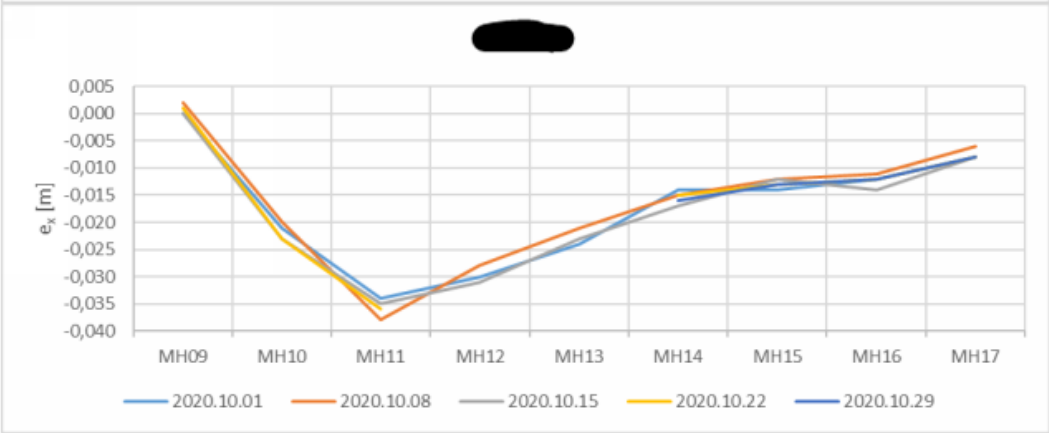
4. ábra: Fejgerenda elmozdulás ábra

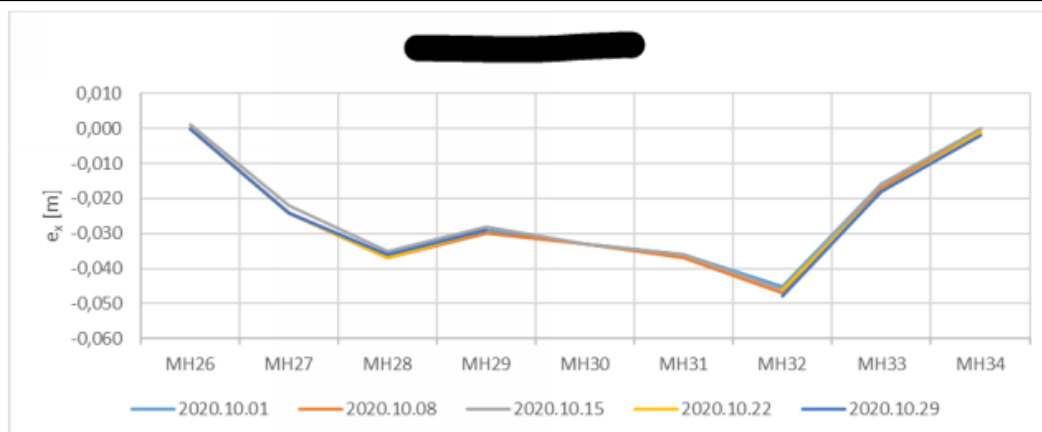
A rögzített elmozdulások jellemzően 5-20 mm közöttiek. Az elmozdulások a várt alaknak megfelelően a sarkokban kisebbek, míg mezőközépen nagyobbak. Az utolsó 5 mérés során nem voltak megfigyelhető érdemi többlet mozgások (4-5-6. ábra).

A fejgerenda alatti szinteken a földkiemelés előrehaladtával folyamatosan vettük fel a mérési pontokat -4,50 mRel és -10,00 mRel szinteken.

A mélyebb síkon mért elmozdulások nagyobbak, mint a fejgerenda szintjén, ami megfelel a résfal várt viselkedésének. Az elmozdulási alakok jól követik a földkiemelés ütemének hatását is.

Érdemi többlet mozgást október hónap során kizárólag a 2. sori horgonyok közelében mértünk a felengedésüket követően (október 15.). Néhány mm többlet mozgás jelentkezett a horgonyok felengedésének hatására a várakozásoknak megfelelően.





5. ábra: -4,50 mRel részal belső sík elmozdulás ábra

Október hónap során az alsó sori geodéziai pontok fokozatosan takarásba kerültek, így azokról érdemi megállapításokat már nem tudunk tenni.

A 8. ábrán az MH31 szelvényben (inklinométerhez legközelebbi szelvény) a két mélységben mért elmozdulásokat mutatja az idő függvényében. Az elmozdulások fokozatosan lecsillapodtak a korábbi hónapokban, de egy lassuló ütemű kúszás továbbra is megfigyelhető a falban.



8. ábra: MH31 geodéziai mérőpont elmozdulásai az idő függvényében
(kék: fejtér szintje; piros: -4,50 mRel; zöld: -10,00 mRel; barna: földkiemelés (jobb tengely); szürke: alaplemez szintje)

6. SZOMSZÉDOS ÉPÜLETEK GEODÉZIAI MONITORING EREDMÉNYEINEK KIÉRTÉKELÉSE

Célunk a munkagödör földkiemelésével párhuzamosan a szomszédos, [REDACTED] mélygarázs lejtő rámpájának esetleges elmozdulásainak, süllyedéseinek nyomon követése, a tervezés során alkalmazott számítási modell ellenőrzése. A geodéziai mérőpontokat az 1. ábra szemlélteti. A monitoring mérésekhez az 1. ábrán T1-T3 sorszámokkal jelölt pontok szolgálnak.

Ezen pontok „0” mérésére 2019.12.14-én került sor. A rögzített elmozdulásokat a „0” méréshez viszonyítva adjuk meg.

A süllyedés maximális mértéke továbbra sem haladja meg a 2 mm-t a rásfal építési munkálatok és földkiemelés jelenlegi – közel teljes mélységű – állapota mellett. A geodéziai mérési eredményeket a 4. melléklet tartalmazza. A geodéziai monitoring rendszerrel rögzített elmozdulások nagyságrendje a mérési pontosság határán vannak.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A rásfal mozgások jelentős mértékben lecsillapodtak a korábbiakhoz képest.

A gödör nagyobb részében kvázi mozdulatlanok lehet tekinteni a rásfalat, nyugalmi állapotba került.

Néhány szelvényben (ahol a 2. sori horgonyok elengedése megtörtént) még kisebb mozgások, lassú kúszás figyelhető meg. Azonban ezen szelvényekben már pince szinten bélésfal és földém is támasztja a rásfalat.

Idővel egyre több geodéziai mérési pontot takar el a felmenő szerkezet, emiatt november hónap során várhatóan tovább csökken a mérhető szelvények száma.

Tekintettel arra, hogy az inklinométer mérés további lassú kúszást mutat a rásfalban, így szükségesnek tartjuk fenntartani az [REDACTED] oldal tárolási területre vonatkozó korlátozásokat. Ennek feloldásáról egy további összefüggő pince szintű földém megtámasztás megléte és az aktuális geodéziai mérések ismeretében lehet döntést hozni.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar
- [2] FEOR - Foglalkozások Egységes Osztályozási Rendszere
- [3] "Engineer" angol wikipédia szócikk
- [4] Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre (2011); ME Földtudományi Kar
- [5] Stille H., Palmström A. (2003): Classification as a tool in rock engineering. Tunneling & Underground Space Techn. 18: 331-345.
- [6] Mohamad, H., Soga, K., Pellew, A. and Bennett, P.J., 2011. Performance monitoring of a secant-piled wall using distributed fiber optic strain sensing. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(12), pp.1236- 1243.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1. NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd Iparban használatos vízminőségek
2. DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István Mérések a gáziparban
3. DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József A biztonságos ívózellátás megteremtésének tervezési eszközei
4. BORBÁS Lajos Dr. Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5. BERENCSI Miklós, BERECZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6. TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7. DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9. BLAZSOVSZKY László A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10. CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11. NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ütügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12. DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13. DR. SZILÁGYI Zsombor Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14. S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15. DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÚRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16. DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17. TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18. FENYVESI Zsolt Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása
19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH Nagyméretű informatikai beruházásoknál

	József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	(fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20.	DR. DIVÓS Ferenc	Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21.	DR. KARÁCSONYI Zsolt	Faanyagok tartós szilárdsága
22.	BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula	Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23.	ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András	Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24.	JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső	Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25.	DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László	Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26.	DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos	Korszerű támszerkezetek tervezése
27.	HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán	Különböző funkciójú épületek klímatechnikája II.
28.	KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint	Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz	Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30.	GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr.	A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31.	LADÁNYI Gábor Dr.	Diagnosztika a karbantartásban
32.	MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András	KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)
2019.		
33.	BLAZSOVSZKY László	Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34.	DR. SZILÁGYI Zsombor	A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35.	FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj.	Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36.	VARRÓ Beáta, DR. KIS András	Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37.	MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György	Munkatér határoló szerkezetek
38.	KORSÓS András, RÁDULY Zsolt	A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39.	GERGELY Edit, DR. BEZEGH András	Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40.	DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr.,	Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)

GERGELY Edit

41. GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klimatechnikája III. Segédlet ipari épületek lég- és klimatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCsó Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Koncepció és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.

2020.

54. DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55. DR. SZILÁGYI Zsombor A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában

56. VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57. KÁDI Ottó A gyalogosközlekedés közúti keresztezései
58. MOLNÁR Szabolcs „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei
59. VÁRDAI Attila Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60. DR. BEJÓ László Szénlábnymom-elemzés készítése a faiparban
61. JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső Szakmai útmutató vízilétesítmény tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához
62. FELLEGI Zsóka, KARAFÁ Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József Munkagödörök és földművek víztelenítése
63. HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához
64. DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Az Informatikai Tervező tervezési segédlete
65. NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén
66. LENGYEL István Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)
67. NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis
68. FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)
69. DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására