



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

**DR. HORVÁTH-KÁLMÁN ESZTER,
EGYETEMI DOCENS**

**GEOTECHNIKAI EREDETŰ
ÉPÍTÉSI KOCKÁZATOK ÉS
KOCCÁZATCSÖKKENTÉS
LEHETSÉGES MÓDJAI
NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK
KÖRNYEZETÉBEN**

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2023 október 22.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés – a kutatás előzményei.....	3
A kutatásom célkitűzései:.....	5
2. Kockázatok definiálása	6
2.1. Építési kockázat.....	9
2.1.1. Nukleáris kockázat	12
3. Új tudományos eredmények	20
3.1. I. és II. Kutatási terület.....	20
3.2. III. Kutatási terület	29
3.2.1. Kockázatsökkentő tevékenység hatása a kockázatelemzésben	47
3.3. Új tudományos eredmények megfogalmazása.....	50
3.4. Új tudományos eredmények hasznosíthatósága, további kutatások.....	51
4. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.....	52
5. A szerző a témában megjelent további, válogatott tudományos közleményei.....	53
6. Köszönetnyilvánítás.....	55

1. Bevezetés – a kutatás előzményei

A világon minden a kockázatokról szól az egyes emberek döntéseitől a nagy globális helyzetekig.

Mindennek van kockázata. Minden egyes döntésnek vannak pénzügyi, környezeti, szociológiai kockázati elemei. A kérdés az, hogy az adott helyzetben ez a kockázat vállalható vagy már nem vállalható.

A kockázat sokféle lehet, mindig az adott projekt határozza meg a kockázat fajtáját, hogy mire, mire számítjuk ki, továbbá azt, hogy milyen szinteket különítünk el.

Már Karl von Terzaghi is foglalkozott az adott építéskivitelezési projektek által generált kockázatok kérdésével. Azzal, hogy milyen módszerek teszik lehetővé, hogy ezen kockázatok csökkenthetőek legyenek. Már az építési helyszín külön kockázati faktor, ahogy a geotechnikai paraméterek meghatározása is. Továbbá az

eredmények kiértékelése és a kiértékelés módszerének megválasztása is jelentős kockázattal bír.

A talaj és a víz a két legjelentősebb tényező, melyek meghatározzák egy adott épület, építmény kockázati szintjeit. A talaj minél jobb ismerete messze több, mint a talajfizikai paraméterek ismerete. A talajok ásványi összetétele, vízzel való interakciója, szemcseszerkezeti specialitásai mind közrejátszanak az adott környezet teherbíró képességének pontos meghatározásában. Minden egyes szerkezetet az építés helyszínének megfelelően, a speciális körülmények figyelembevételével szükséges megtervezni és kivitelezni.

Bármilyen szerkezetet tervezünk vagy kivitelezünk, annak kapcsolata lesz a talaj- és kőzetkörnyezettel, így a geotechnikai eredetű kockázatok mindenütt jelen vannak. A geotechnikai paraméterek pontossága jelentős kapcsolatban van a kockázatok alakulására.

A kutatási terület jelentősen tágult az évek során, hiszen a nagyberuházások folyamatosan feszegetik a viselhető kockázatok felső határát.

Nukleáris erőművek esetében kiemelkedően fontos a kockázatok folyamatos. Kutatásom célja a nukleáris erőművek geotechnikai eredetű építési kockázatainak definiálása, az építési kockázatok elemzésének bemutatása és az építési kockázatszint csökkentési lehetőségeinek bemutatása.

A kutatásom célkitűzései:

I. kutatási terület: A geotechnikai eredetű építési kockázatok és a nukleáris kockázatok közötti kapcsolat pontos meghatározása.

II. kutatási terület: Nukleáris környezetben alkalmazható geotechnikai eredetű építési kockázatok elemzésének logikai felépítése és összeállítása.

III. kutatási terület: A geotechnikai eredetű építési kockázatok csökkentésének lehetőségei, azok mechanizmusának és mértékének vizsgálata.

2. Kockázatok definiálása

A tervező- és a kivitelező mérnököknek két céljuk van minden egyes szerkezettel kapcsolatban:

- gazdaságosság,
- hosszú és rövid távú biztonság biztosítása.

A két szempont egyidejű megvalósítása van, amikor ellentmond egymásnak. Ha valamit gazdaságosan akarunk megtervezni, akkor a biztonság szintje erősen csökkenhet. Míg, ha valamit teljes biztonsággal tervezünk meg akkor a költségek emelkedhetnek nagyon. Vannak olyan lehetőségek, melyek megteremtik a két elvárás között az összhangot és jelentősen növelhetik a szerkezetek biztonságát. A végeredmény mindig egy iterációs folyamat során születik meg.

Készült kutatás a budapesti 4-es számú metróvonal kivitelezése során jelenlévő geotechnikai kockázatokról és azok csökkentésének lehetőségéről, mely kutatás részletesen rámutat arra, hogy a talaj, talajvíz és az összes egyéb geotechnikai, mérnökgeológiai alapadat ismeretének pontossága nagymértékben befolyásolja a kockázat szintjét. Pontos összefüggés került felírásra a

feltárási sűrűség és a geotechnikai eredetű kockázatok között.

1942-ben Szilárd Leó által megalkotott első atommáglya óta a nukleáris ipar folyamatosan fejlődik. A fejlődéssel pedig együtt jár a folyamatosan szigorodó szabályozási környezet. Az 1980. évi Nukleáris Anyagok Fizikai Védelméről szóló nemzetközi egyezmény megadja az atomenergia békés célú hasznosításának alapkereteit. A 2005. július 4-8. között, a Nemzeti Atomenergia Ügynökség (NAÜ, angolul International Atomic Energy Agency - IAEA) által szervezett Diplomáciai Konferencia keretén belül módosították az előbb említett Egyezményt. A módosítás a terrorizmus elleni harc miatt vált szükségessé. A módosítást minden ország egyöntetűleg elfogadta és aláírta Bécsben. Az egyezmény végrehajtását segítve, a NAÜ kiadta a Nukleáris anyagok és nukleáris létesítmények fizikai védelméről szóló (INFCIRC/225/rev.5, 2011) dokumentumot, amely az egyes állami rendszerek szükséges felépítését, a nukleáris anyagok kategóriába sorolását, a használatban lévő, tárolt, illetve szállított nukleáris anyagok védelmi

követelményeit, valamint a nukleáris létesítmények szabotázs elleni védelmének követelményeit összegzi.

A veszélyes anyagokkal történő munkavégzés, beleértve a radioaktív anyagokat jelentős többletintézkedéseket von maga után az adott erőműben és a teljes telephelyen. Pontosan meg kell határozni a biztonságot csökkentő tevékenységeket. Definiálni kell, hogy melyek veszélyeztetik közvetlenül az emberi életet és melyek vannak közvetetten hatással rá. Erre ad pontos előírást az IAEA-TECDOC-944 számmal kiadott, Guidelines for integrated risk assesement and management in large industrial areas címmel. Ebben kategóriába sorolják az egészség- és környezetkárosító veszélyeket, továbbá javaslatokat adnak ezen veszélyek kezelésére is.

Kutatásom során célul tűztem ki az építési, geotechnikai és a nukleáris kockázat összehangolását. Az építési kockázat elhelyezését a nukleáris kockázat nagyon szigorú és konzervatív rendszerébe. A cél megvalósítása érdekében szükséges meghatározni a geotechnikai eredetű építési kockázat és a nukleáris kockázat definícióit és pontos tartalmi elemeiket.

2.1. Építési kockázat

Az építési kockázat szerteágazó. Építési kockázat alatt számtalan kockázati tényezőt értünk a szerkezet állékonyságvesztésétől a projekt kivitelezésének jelentős késedelméig. Sok esetben a projekt jelentős pénzügyi kockázatát is ide kell sorolni.



1. ábra Építési kockázatok összetettsége

Építési kockázat egy szerteágazó fogalom, ahogy a 1. ábra is mutatja, magába foglalja az adott építmény projekt szintű kockázatait. Úgy mint:

- Tervezési kockázat: a terv megfelelőségének kockázata;
- Politikai kockázat: a nagy és giga beruházások nemzeti és nemzetközi szintű befolyásolása;

- Pénzügyi kockázat: a projekt finanszírozását, folyamatosságát biztosító megrendelői háttér finansziális biztonsága, továbbá a projekt költségvetésének tarthatósága;
- Környezeti kockázat: a telephely és annak közvetlen környezetével kapcsolatos földtani, geológiai, meteorológiai vagy egyéb tényezőből eredő kockázatok;
- Vezetői kockázat: a projekt vezetőinek döntéseiből eredő kockázat;
- Kivitelezési kockázat: az építési fázisokban rejlő „elépítési” kockázat, nem megfelelés;
- Fizikai kockázat: esetleges előre kitervelt terror-, erőszakos cselekmény vagy véletlenszerű esemény, melynek következtében a projekt szerkezetileg sérül, az építésére szánt idő növekszik, illetve az építési költség emelkedik;
- Logisztikai kockázat: a projekt megvalósításához szükséges teljes alapanyag és/vagy eszközpark beszerzésében és alkalmazásában bekövetkező negatív körülmény vagy akadály.

Az építési kockázatok meghatározása és további kezelése már a projekt megindításánál, a tervezési fázisban is jelentős feladatként definiálható. Az építési kockázatok minden esetben projekt specifikusak, emiatt egyedi eljárásrendet kell követni.

A geotechnikai eredetű kockázatok végső soron a szerkezetek tönkremeneteléhez vezetnek. A szerkezetek tönkremenetelének okait meg lehet határozni és a bekövetkezés valószínűségét matematikailag számszerűsített értékkel megadni, valamint van mód a kockázatok okainak kategorizálására is.

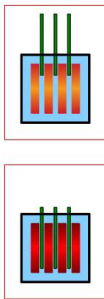
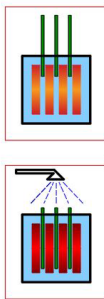

A szerkezetek tönkremeneteli kockázata természetesen kihat a projekt egészének kockázatára is, így abban az esetben, ha az egyes szerkezetek tönkremeneteli kockázatát nincs mód minimalizálni semmilyen kockázatot csökkentő beavatkozással, szerepeltetni kell, mint kockázati tétel a teljes projekt kockázati mátrixában.

2.1.1. Nukleáris kockázat

A nukleáris kockázat egy pontosan meghatározott fogalom, melyhez éves előfordulási valószínűségekkel ellátott és előre definiált lehetséges veszélyek tartoznak.

A nukleáris erőművek biztonságát több egymástól elkülönülő módszer garantálja. 3 fő biztonsági funkciót különböztetünk meg (2. ábra), mindhárom biztonsági funkciónak önmagában is képesnek kell lennie biztosítani az erőmű és környezetének biztonságát.

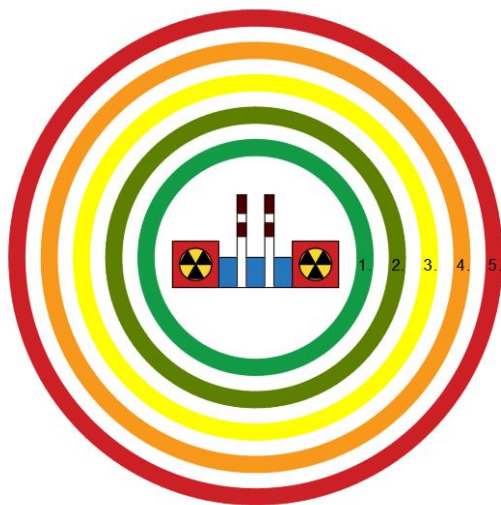
A három biztonsági funkció:

1. Láncreakció szabályozása, lezárása	2. Hűtés: normál üzemben és üzemzavar esetén egyaránt	3. Hermetikus burok: a radioaktív anyagok benntartása
		

2. ábra: Nukleáris létesítmények biztonsági funkciói

A 3. biztonsági funkció lényege a radioaktív anyagok benntartása, melynek részét képezi mérnöki gátak sorozata. A legkülső mérnöki gát maga a konténment.

Ezen felül pedig meg kell különböztetni a Biztonsági rendszert. A nukleáris létesítmények biztonság szempontjából fontos rendszerei közül azokat soroljuk a biztonsági rendszer közé, amelyeket részben vagy kizárólag biztonsági funkciók teljesítése céljából terveztek és építettek be. Minden esetben csak egy kezdeti nem kívánatos eseményt követően válnak szükségessé és



3. ábra: Mélységi védelem

céljuk a biztonság fenntartása, helyreállítása, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítése. A biztonsági protokoll további eleme a Mélységi védelem (3. ábra), melynek 5 szintjét különböztetjük meg:

- Konzervatív tervezés, magas színvonalú kivitelezés és üzemeltetés; A rendellenes működés és a hibák megelőzése.
- Megfelelő szabályozás, üzemi korlátok és az azok átlépésének megelőzése; A rendellenes működés helyes kezelése és a hibák észlelése.
- Az automatikus biztonsági rendszerek indulása és a szükséges emberi beavatkozások.; A hihető méretezési balesetek kezelése.
- Kiegészítő mérések és intézkedések. A súlyos balesetek kezelése, a következmények enyhítésé és a veszély mérséklése.
- Balesetelhárítási intézkedési terv; A létesítményen kívülre történő radioaktív kibocsátás következményeinek enyhítése.

A nukleáris kockázat egyet jelent a környezet teljeskörű védelmével. Nem juthat ki radioaktív anyag a

környezetbe, ami esetleg veszélyeztetné a természetet vagy a környező emberek életét.

Az atomerőművek kritikus rendszere a reaktor hűtését biztosító rendszer és azok szabályozó szelepei, amelyek meghibásodása a reaktor hűtésének megszűnéséhez vezethet, ami viszont súlyos következményekkel járhat, például a reaktor károsodásával és esetleges zónaolvadással.

A nukleáris erőművek esetében megkülönböztetünk külső és belső veszélyeket. A külső veszélyek azok, melyek nem a nukleáris technológiából fakadnak, hanem egyéb külső hatásból. Lehetnek természeti katasztrófákból eredő veszélyek, továbbá emberi tevékenységből eredő veszélyek. Illetve ide tartoznak az építési kockázatok is.

A nukleáris erőművek esetében a nagy vagy korai kibocsátásra a 10^{-6} /év előfordulási gyakorisági kritériumnak kell teljesülnie, és biztosítani kell a maradványhő végső hőelnyelőbe szállítását.

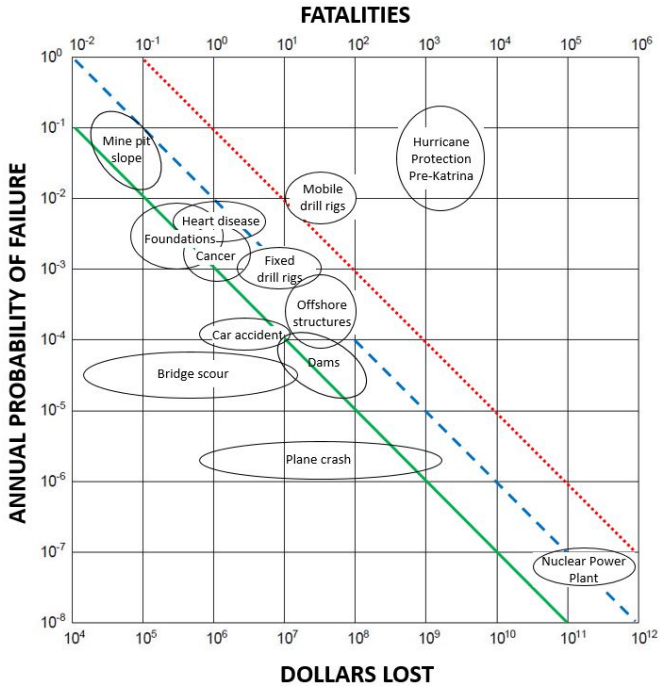
Ennek elvesztésének gyakorisága nem lehet nagyobb, mint 10^{-7} /év valószínűségű. Azaz a Súlyos baleseti üzemállapot, mely környezeti szennyezéshez, katasztrófához vezethet, kockázatának éves gyakorisága nem haladhatja meg a 10^{-7} /év értéket. Egy ilyen szintű kockázathoz jelentős mértékű humán- és anyagi kockázat is tartozik.

A nukleáris erőművek súlyos balesetei üzemállapotát helyeztük a bekövetkezési valószínűség, halálozás és pénzügyi kockázat hálójába.

R.V. Whitman megteremtette az alapját a geotechnikai eredetű építési kockázatok besorolásának. Az évek során az elmélet kilépett a tisztán geotechnikai eredetű kockázatok kezelésének zárt köréből és kibővítésre került különböző egyéb kockázati faktorokkal, minden eseményhez külön társítva a halálozási és anyagi veszteségek értékét. Egy koordináta rendszerben helyeztem el (4. ábra) az Atomerőművek esetleges Súlyos Üzemi Balesetek besorolásba tartozó meghibásodásait, a

hozzá tartozó halálozás és becsült anyagi kár figyelembevételével.

Így leolvashatóvá válik, hogy egy atomerőmű esetében a Súlyos baleseti üzemállapothoz vezető külső veszély 10^{-7} /év bekövetkezési valószínűséggel fordulhat elő, azaz a bekövetkezés valószínűsége minimálisnak mondható. Ezzel szemben a hozzá tartozó 1 millió fő áldozat és a minimum 100 M USD anyagi kár értéke több, mint jelentős.



4. ábra Nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemi állapotának kockázatai, hozzá tartozó pénzügyi és halálzási kockázat (Saját szerkesztésű ábra, R. V. Whitman nyomán)

Nukleáris létesítmények esetében két esetben beszélhetünk geotechnikai kockázatról. Az első eset az atomerőmű tervezése és kivitelezése során következik, kiemelten a kivitelezés alatt.

Minden kivitelezés a talajkörnyezet megváltozásával jár együtt. Ennek során a feszültségek átrendeződnek és elmozdulások alakulnak ki. A folyamat végén kialakul a

talaj "új" stabil állapota, amikor további nagy mozgások már nem várhatóak.

Abban a pillanatban, ha az atomerőmű környezetében az „új” stabil állapotban bármilyen jellegű változás következik be, újból feszültségátrendeződés és ebből fakadóan felszínüllyedés megjelenésével kell számolni.

Feszültség átrendeződés a talajvíz változása miatt, az építési tevékenységből adódó szuperponált talajfeszültségből vagy mély munkagödör nyitásából eredő munkákból várható.

Abban az esetben, ha semmilyen változás nem következik be a vizsgált nukleáris létesítmény környezetében, úgy nem kell további geotechnikai eredetű építési kockázatról beszélnünk.

Viszont abban az esetben, ha a fent említett két eset közül valamelyik fennáll, mindenképp foglalkozni és kezelni kell a geotechnikai eredetű, építési kockázatok miatt történő esetleges eseményeket, hogy ne vagy csak kontrollált körülmények között következzen be további alakváltozás, süllyedés, mely esetlegesen szerkezeti károsodásokat és ezzel együtt nukleáris kockázatot vonhat maga után.

3. Új tudományos eredmények

3.1. I. és II. Kutatási terület

I. kutatási terület: A geotechnikai eredetű építési kockázatok és a nukleáris kockázatok közötti kapcsolat pontos meghatározása.

II. kutatási terület: Nukleáris környezetben alkalmazható geotechnikai eredetű építési kockázatok elemzésének logikai felépítésnek összeállítása.

A nukleáris létesítmények esetében a PSA (Probabilistic Safety Analysis), azaz valószínűségi biztonsági elemzés eljárásrendjét kell követni. Melynek során a kockázatok szintjének számszerűsítését minden esetben előre kitűzött célokkal összehasonlítva határozzák meg. A vizsgálat során a lehetséges scenáriók minden esetben az atomerőmű üzemeltetése során feltételezhetően kialakulható helyzetek és hozzá kapcsolódó események. A PSA elemzés 3 szinten valósul meg.

- PSA 1. szint: Az atomerőművön belüli súlyos baleset kockázatainak meghatározása.

- PSA 2 szint: az atomerőmű súlyos baleset bekövetkezte után a radioaktív-kibocsátás kockázatának pontos számszerűsítése.
- PSA 3. szint: Az atomerőmű potenciális súlyos balesetek esélyének és következményeinek figyelembevételével az egyéni és a társadalmi kockázatok szintjének meghatározása.

Az építési kockázatoknak, beleértve a geotechnikai eredetű építési kockázatokat is, széles körű szakirodalma van. Az értékelést ismert irányelvek szerint szükséges összeállítani, amely egy mátrixban bemutatja a kockázatok valószínűségét és súlyosságát. Az alkalmazott valószínűségi és súlyossági mátrix 5x4 elemet tartalmaz (ld. alább az 1. 2. és 3. táblázatokat). Minden kockázat megítélésénél a következők a kritériumok: gyakoriság, biztonság (élet, természetes és épített környezet, vagyon) és késedelem.

A valószínűség (L) és súlyosság (S) meghatározása részletes elemzés, szakmai tapasztalatok, nemzetközi ajánlások, továbbá a kockázatelemzést végző szakember

mérlegelése alapján történik. A részletes kockázatelemzés nem egzakt tudomány, elkészítéséhez magas szintű ismeretekkel rendelkező szakember szükségeltetik.

Minden műtárgynak, épületnek, építménynek, így az atomerőműveknek is megvan az a minimális és maximális védőtávolsága, melyen belül nem vagy csak korlátozottan lehet bármilyen tevékenységet végezni. A kockázatelemzés során ezen védőtávolságok jelentik azt a lehatárolást, melyen belül minden egyes tevékenységet külön kell szerepeltetni és pontosan meghatározni. Előfordulnak olyan esetek, amikor egy adott tevékenységnek nem jelentős a többletkockázata, ugyanakkor a tevékenység eredményeként kialakult új helyzet már akár komoly kockázattal bír.

Minden egyes projekt esetében fontos a kockázatok teljes körű felsorolása és definiálása, hogy semmilyen negatív körülmény ne kerülhesse el a figyelmet. Ehhez a projekten dolgozó szakértői csapat alapadatként a tárgyi projektről kapott terveket áttekinti, értelmezi és szakmailag mérlegeli.

Az építési és geotechnikai kockázatelemzés során csak azon tevékenységeket határozzuk meg, melyek építési feladatokból vagy pedig geotechnikai eredetű anomáliákból alakulnak ki. A geotechnikai kockázat jelentős része csökkenthető további helyszíni vizsgálatokkal, mérnöki számításokkal és megfelelő intézkedésekkel. A kockázatelemzés során, mint kockázatcsökkentő intézkedési tételek vannak ezen vizsgálatok, mérnökgeológiai felmérések vagy segédtechnológiák feltüntetve.

Az építési kockázatok esetében, melyek részét képezik a geotechnikai eredetű építési kockázatok is, a PSA elemzésből származó valószínűségi érték adja az alapját az építési kockázatelemzés valószínűségi (L) besorolásnak. A PSA mindhárom szintjének megfelelő elemzését iterációs folyamatként el kell végezni. Vannak olyan esetek, amikor a kockázatelemzés mindhárom szintjére szükség van. Minden esetben az adott építéskivitelezési fázis határozza meg, hogy mely szint vizsgálendő.

1. Táblázat A valószínűség besorolása (L)

1 – Gyakori	A projekt során ismételten tapasztalható gyakori kockázatból származó hatás, amelyet alátámasztanak a felmérések, a projekt és más események statisztikái.
2 – Valószínű	A projekt során várhatóan többször tapasztalható kockázatból származó valószínűleg előforduló hatás, amelyet alátámasztanak a felmérések, a projekt és más események statisztikái.
3 – Eseti	A projekt során tapasztalható kockázatból származó eseti hatás, amelyet alátámasztanak a felmérések, a projekt és más események statisztikái.
4 – Nem valószínű	A projekt során nem valószínű kockázatból származó hatás, amelyet alátámasztanak a felmérések, a projekt és más események statisztikái.
5 – Valószínűtlen	A projekt során a valószínűtlen kockázatból származó hatás, amelyet alátámasztanak a felmérések, a projekt és más események statisztikái.

2. Táblázat Kockázat súlyosságának besorolása nukleáris erőművek esetén (S)

1- Katasztrófális	Több haláleset sérülés vagy betegség miatt, azonnali vagy késleltetett esetben egyaránt. Kémiailag veszélyes vagy radioaktív anyag a létesítményen kívülre jutása; életbe lép a Vészhelyzetkezelési- nukleáris balesetelhárítási intézkedési terv, melynek része a mérnöki gát, ezen felül további biztonsági rendszerek együttese, mint a területileg lehatárolt módon történő lakossági evakuálás és egyéb egészségmegővási intézkedési kötelezettségek. Hét napot meghaladó termelés kiesés. Összes veszteség meghaladja a €100 millió értéket.
2 – Nagy	Egy haláleset, sérülés vagy betegség miatt, azonnali vagy késleltetett esetben egyaránt. Az adott nukleáris létesítmény tervezési alapját módosító kockázat, mely esetében a nukleáris létesítmény tervezési alapjában történik károsodás, módosulás melynek következtében a telephelyen lokális ionizáló sugárzás vagy radioaktív szennyezés történhet. Egy nap és hét nap közötti termelés kiesés, munka vagy berendezés károsodása miatt. Összes veszteség €20 millió fölötti, de €100 millió alatti értékű.
3 – Jelentős	Jelentéskötelezett sérülés, betegség vagy veszélyes körülmény. A sérülés miatt a kiesés az egy műszakot meghaladja, de rövidebb, mint 1 munkanap.

	Híhető méretezési balesetek, melyek kezelése szükségessé válik. Az automatikus biztonsági rendszerek elindulása következhet be, továbbá szükségessé válhat emberi beavatkozás. Összes veszteség €1 millió fölötti, de €20 millió alatti értékű.
4 – Kicsi	Kis sérülés. Nincs időkiesés a sérülés miatt vagy a megsérült személy kezelés után még ugyanabban a műszakban visszatér a munkába. Jelentős késést nem okozó kár a munkában vagy a berendezésben. Összes veszteség, kár max. €1 millió.

3. Táblázat: Kockázatfelmérés besorolás mátrixa (RI)

Kockázat súlyossága/ Valószínűség	1 – Katasztrofális	2 – Nagy	3 – Jelentős	4 – Kicsi
1 – Gyakori	1	2	3	4
2 – Valószínű	2	4	6	8
3 – Eseti	3	6	9	12
4 – Nem valószínű	4	8	12	16
5 – Valószínűtlen	5	10	15	20

4. Táblázat: Kockázat index (RI), besorolása és jele (RR)

Kockázat index (RI)	Kockázat besorolás	Jel (RR)
1 – 4	Nagyon nagy	V
5 – 9	Nagy	H
10 – 14	Közepes	M
15 – 29	Kicsi	L

A kockázat valószínűségének és súlyosságának meghatározása után a felmérési mátrix segítségével megkapjuk a kockázati indexet.

$$\text{Kockázat index (RI)} = \text{Előfordulás valószínűsége (L)} \times \text{Kockázat súlyossága (S)}$$

$$\text{RI} = \text{L} \times \text{S}$$

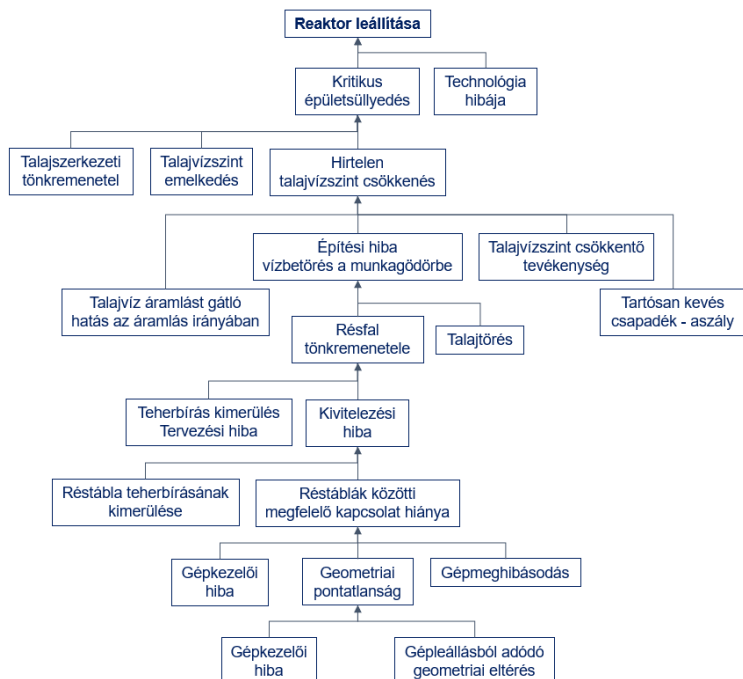
A kockázati indexet az „induló kockázat” és a kockázatcsökkentő intézkedések után „maradó kockázat” esetekre is meghatározzuk.

A cél minden projekt esetben a kockázatok elfogadható, minimális szinten tartása.

5. Táblázat: Kiinduló kockázatok mátrixa

Geotechnikai eredetű építési kockázatok nukleáris létesítmények környezetében mátrix táblázata						
Includó esetek						
Ref. kód	Kockázat	L	S	RI	RR	Megjegyzés
Építési kockázatok						
P-1	Résfal geometriai egyenletlensége	3	3	9	H	
P-2	Mély munkagödör vízleltetésének előkészítése során hirtelen csökken a talajvíz szintje felszín-süllyedést eredményezve a környezetben	3	2	6	H	
P-3	A talajvíz kívánt szintre történő csökkentése során jelentős talajvízszint csökkenés a háttér területeken, mely jelentős süllyedési pontpát alakít ki	3	1	3	V	
	Földkiemelés során talajtörés következik be	3	2	6	H	
	Földkiemelés során résiáraelmozdulás/rés talitörés következik be, melynek hatására talajvíz betörés következik be a mély munkagödörbe és jelentős süllyedéseket eredményez a háttér területeken	3	1	3	V	
P-5	Talajvízszint mélyen tartása során bekövetkező talajtörés	4	1	4	H	

Mely táblázat minden egyes L oszlopba bekerülő értékét a PSA elemzés alapján megállapított kockázati érték határozza meg, aminek alapja a hibafa elemzése.



5. ábra: Hibafaelemzés egy esetleges geotechnikai eredetű építési kockázat meghatározására

A hibafa elemzésből kiolvasható, hogy a gépkezelői (emberi hiba) vagy a gép esetleges leállása/leállítása miatti geometriai eltéréséből adódó hibák, hogyan vezethetnek

odáig, hogy az erőművi blokkot esetlegesen nagyobb süllyedésértékek detektálása miatt le kell állítani.

A hibafaelemzés során valószínűségi számítási alapon értékekkel ruházzuk fel az egyes események bekövetkezését, így megállapítható, hogy a teljes eseményfolyam milyen valószínűséggel fut végig.

Továbbá megállapítható, hogy hol érdemes megállítani a folyamatot, hová van lehetőség kockázatcsökkentő tevékenységet beépíteni.

3.2. III. Kutatási terület

III. kutatási terület: A geotechnikai eredetű építési kockázatok csökkentésének lehetőségei, azok kockázatcsökkentési mechanizmusának és mértékének vizsgálata.

A kockázatok csökkentésének két fő iránya létezik. A kockázatok csökkentésének elsődleges módja a kockázatot jelentő esemény folyamatos nyomonkövetése, monitoring módszerek alkalmazása. Másodlagos módja a

nem várt esemény korrigálása segédtechnológiák alkalmazásával.

A kockázatot jelentő esemény folyamatos nyomonkövetésének előnye, hogy a nemkívánt esemény bekövetkezése előtt lehetőség nyílik a korrekcióra, technológiai váltásra. Így megelőzhetővé válik vagy jelentősen csökkenthető a nem kívánatos esemény kártétele.

Abban az esetben, ha monitoring rendszer kialakítása nélkül, vagy csak csökkentett kézi méréses módszerrel történik a monitoring, akkor a nem kívánatos esemény bekövetkezését követően van szükség a létesítmény eredeti állapotának helyreállítására a megfelelő segédtechnológiák alkalmazásával.

A nukleáris létesítmények esetében elsődleges, hogy a kockázatok szintje minimális legyen. Ebből adódik, hogy a kockázatok elkerülhetősége nélkülözhetetlen tevékenység. Minden tevékenységnek van kockázata, a

kockázati tényezők meghatározása és nyomonkövetése jelenti a biztonságos megoldást.

A monitoring rendszer kiválasztása során fontos megállapítani, hogy pontosan mi a mérés célja, a mérés eredményéből milyen következtetéseket kívánunk a feldolgozás során levonni, pontosan mit kívánunk mérni vele.

A mérnöki gyakorlatban három nagy csoportra tudjuk osztani a mérhető elemeket:

- Mozgásmérések:
 - süllyedésmérés;
 - billenésmérés;
 - csavarodás mérés;
 - alakváltozás mérés.
- Feszültségmérések:
 - földnyomás mérés;
 - pórusvíznyomás mérés;
 - víznyomás mérés.
- Időbeni változása minden fentebb felsorolt mérési eredménynek.

A pontosan megfogalmazott mérési cél meghatározza az épületmozgás és geotechnikai monitoring rendszer során alkalmazandó mérőműszerek fajtáját is.

A mérés céljának pontos meghatározását követően szükséges összeállítani a monitoring rendszer műszereivel szemben támasztott követelményeket és azok prioritását.

A műszerekkel szemben támasztott követelmények:

- **Megbízhatóság:** Minden esetben pontosan meg kell határozni a műszer által mért adatok pontosság- és felbontóképesség igényét, továbbá a szabatosságát és a deviációját.
- **Mérési eredmények valós idejű feldolgozása:** A mért eredmények feldolgozási gyorsasága nukleáris létesítmények környezetében megköveteli a valós idejű feldolgozást. Azaz a mérés pillanatában láthatóvá válik a mért eredmény, késlekedés nélkül kapunk képet a vizsgált építmény helyzetéről, állapotáról.
- **Műszer mérési élettartama:** A műszerek kiválasztása során figyelembe kell venni a műszer

időtállóságának kritériumait, hogy milyen környezetben kell elhelyezni.

Kültéri vagy beltéri elhelyezésre van e szükség? A felszín alatt elhelyezendő műszer esetében, hogy talajvíz alatt vagy felett kell, hogy mérjen? Továbbá, hogy a talajvíz vagy a talaj agresszivitása milyen fokú.

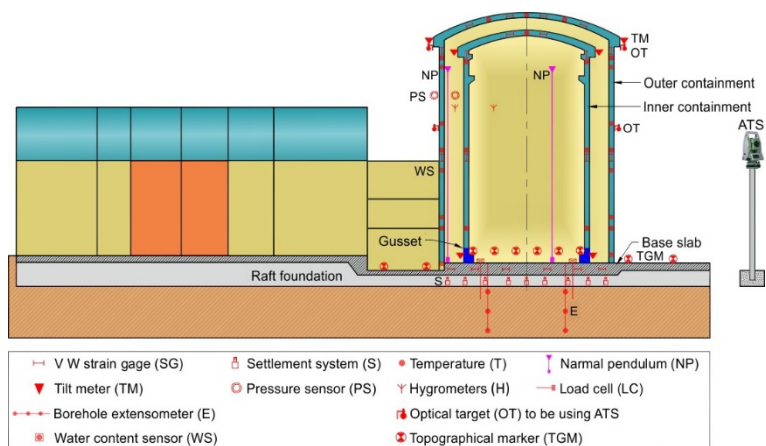
- Adatkezelés módja: Az adatok gyűjtése és azok továbbítása a meghatározott szerverre/tárolóhelyre meghatározza a monitoring rendszer adatkezelés kiépítésének szintjét.

Mint ahogy minden egyes építési beruházás során, úgy a nukleáris létesítmények esetében is vannak speciálisan mérendő, ellenőrizendő pontok és szerkezeti elemek.

Az 6. ábrán látható azok a javasolt mérendő tulajdonságok és mérési pontok, amelyek egy atomerőmű biztonságos hosszútávú üzemeltetése során szükségesek.

Adatokat tudnak szolgáltatni a szerkezeti elemek, beépített anyagok állapotáról, az üzemeltetés során bekövetkezett állapotváltozásukról. Ezen javasolt mérőeszközök

túlmutatnak a jelenlegi kutatási témán, mely a geotechnikai eredetű építési kockázatok csökkentésének lehetősége valós-idejű épületmozgás és geotechnikai monitoring rendszer alkalmazásával.



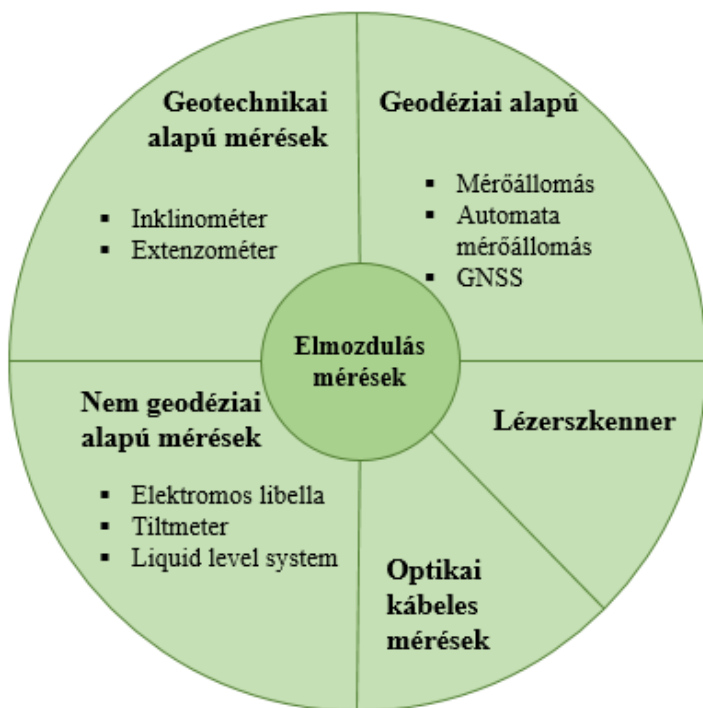
6. ábra: Nukleáris létesítmények mérőműszer típusainak és elhelyezésének sémarajza-Encardio Rite

A teljes monitoring rendszer elemei közül azokat emelném ki és tárgyalom a továbbiakban, melyek elősegítik a biztonságos építési beruházásokat, kivitelezési munkákat az atomerőművek és egyéb nukleáris létesítmények követlen környezetében.

Ahogy az már összefoglalásra került a mozgásnak több fajtáját lehet speciális műszerekkel mérni.

Mérni kell a talaj-szerkezet kölcsönhatás nyomonkövetése érdekében a feszültségeket, feszültség változásokat, továbbá elmozdulásokat.

Több monitoring mérési rendszert különböztethetünk meg elmozdulások és alakváltozások mérése esetén, melyeket kombinálva érdemes kialakítani minden egyes monitoring rendszert.



7. ábra: Elmozdulás mérő műszerrendszerek csoportosítása

Az elmozdulás, alakváltozás monitoring rendszer csoport (7. ábra):

1. geodéziai alapú monitoring rendszer: A hagyományos geodéziai alapokon nyugvó mozgásmérés alkalmas épületek, csomópontok megfelelő gyakorisággal történő mérésére. A mérés során eredményként az adott mérési pont X, Y, Z irányú elmozdulását kapjuk. Az automata mérőállomás esetében fix mérőpontok vannak telepítve. Automata mérőállomással történő mérés valós idejű eredményt ad a mérési pontok X, Y, Z irányú helyzetéről. Ide soroljuk még a műholdas elmozdulásmérési eszközöket, mely az építmények előre definiált fix pontjainak helyzetét képesek folyamatosan meghatározni. A mérés során a fixen telepített mérési pontok szabadon láthatóak kell, hogy legyenek. Azaz a mérés csak kültérben megvalósítható. Beltéri alkalmazása nem megvalósítható. A mérések eredményeinek feldolgozása a gyártók által meghatározott hibahatárral és feldolgozási idővel lehetségesek, mely esetenként több napot is igénybe vehet.

2. nem geodéziai alapú mozgásmérés: A nem geodéziai alapokon történő mozgásmérések két alapvető elven működnek:
- Libella elmozdulásán alapuló billenés mérés, mely segítségével meghatározható a szerkezetek, szerkezeti elemek elmozdulása a vízszintestől. A vízszintestől való elmozdulás pedig meghatározza a vizsgált szerkezeti elem helyzetét. Az elektromos libella vagy elektromos libellalánc, tiltméter vagy a liquid leveling system egy libella elmozduláson alapuló eszköz, mely a vízszintes helyzeten történő installálást követően tudja megmondani a szerkezet alakváltozását, billenését. Ezen eszközök mindegyike valós idejű mérési eredményt ad.
 - Távolság megváltozásán alapuló elmozdulásmérések, amikor a fixen rögzített szerkezeti elemek között történt távolság változás adja a szerkezeti elemek elmozdulás értékének alapját.

3. geotechnikai alapú mozgás mérés: A geotechnikai mozgásmérések hamarabb mutatják ki a talajkörnyezetben kialakuló elmozdulásokat, például talajtörés, felszínsüllyedés, rézsűcsúszás, esetleges gátszakadás, mint annak tényleges bekövetkezése. Ezen folyamatok a talajkörnyezet nyírószilárdságának kimerülése következtében alakulnak ki. A mérés alapján a talajkörnyezetben kialakuló feszültség és alakváltozás változásokat határozzuk meg. Ezek ismeretében előre jelezhető a talajkörnyezetben kialakuló alakváltozások és tönkremenetek (felszínsüllyedés, rézsűcsúszás). Ennek következtében a folyamatos monitoring rendszer jelentősen növeli az adott építési technológia biztonságát. Ide tartoznak az inklinométerek, extenzométerek, melyek mindegyike valós idejű mérési eredményeket képes szolgáltatni.
4. lézershakker: A komputerek folyamatos fejlődése, fejlesztése lehetővé teszi a

lézerszenkerek elterjedését, azok felhasználási területének kiterjedését. A felmérés gyakoriságára semmilyen korlátozó tényező nincs. A vizsgálat hátránya, hogy az eszköz belső terekben fixen telepítendő, ha valós idejű mozgásmérés céljából kerül használatra. Ennek következménye, hogy minden felmérési helyiségbe külön lézerszenker felszerelése szükséges, mely jelentős költségvonzattal bír.

5. optikai kábellel történő mozgásmérés: A mozgások és elmozdulások regisztrálásában jelentős irányt képviselnek az optikai kábelek alkalmazásával folytatott mozgásmérések, melyek már nem csak kutatási szinten adnak megfelelő eredményeket, hanem tényleges vizsgálati helyek, alkalmazások is bizonyítják megfelelő működésüket. A mérés alapját az optikai kábelen leadott jel sebessége és minőségének változása adja a vevő egységben. Mivel a hullámhosszok minden kábel esetében pontosan meghatározottak, így minimális elmozdulás, deformáció esetén is

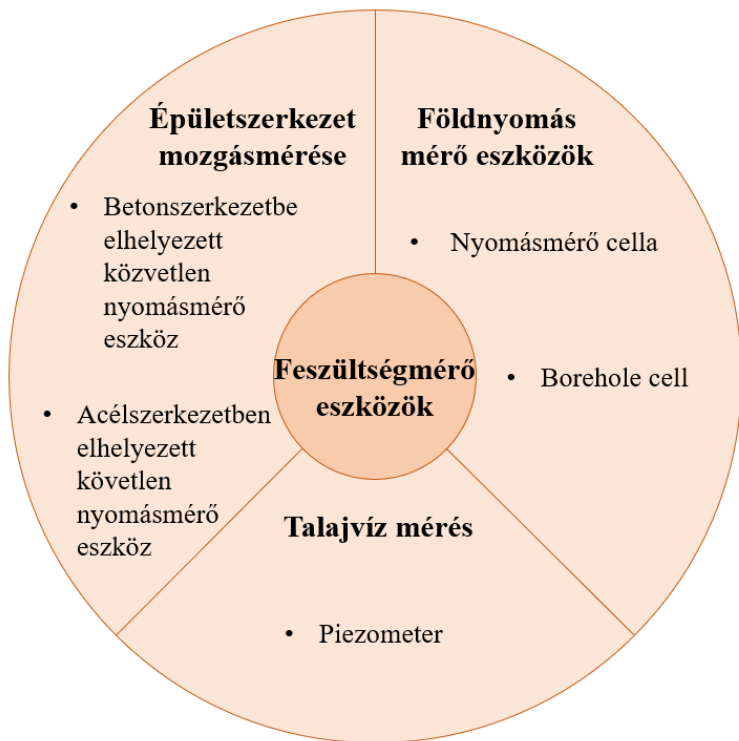
érzékelhető a hullámhossz változása, ami megadja a szerkezet elmozdulását mikrométer nagyságrendben. A mérés technikai irány jelentős, folyamatosan fejlődik. A mérések által szolgáltatott eredmények valós idejűek.

Az alakváltozások és elmozdulások mellett a másik nagy mérendő terület, a feszültségek mérése. A feszültségek mérését végezhetjük a földtömegben, továbbá a talaj- és rétegvizek terhelő hatásának meghatározása céljából is.

A földtömegben kialakuló feszültségek meghatározására alkalmas az egyedileg elhelyezett nyomásmérő cella vagy a fúrólyukba mélyített nyomásmérő cella rendszer (borehole), mely 45° irányeltérésekkel 360° -ban folyamatosan regisztrálja a talajkörnyezetben kialakuló nyomás értékét, így meghatározható belőle a talajban kialakuló feszültségellipszoid, a tényleges felszültségtér. Az elmozdulások, alakváltozások alakulását minden esetben a feszültségek értékének változása előzi meg. Azaz a talajokban kialakuló feszültségváltozások előre jelzik a talajtömegben várható elmozdulásokat, azok irányát és következtethetünk az értékére.

A talajokban kialakuló feszültségértékek a talajokban kialakuló elmozdulások alapadataként szolgál. Mind az egyedileg elhelyezett nyomásmérő cella, mind pedig a borehole cella real-time eredményeket képes szolgáltítani, így valós idejű monitoring rendszer részeként alkalmazható.

A talajban kialakuló feszültségtér pontos meghatározását egészíti ki a piezométer, mely a talaj- vagy rétegvíz okozta nyomás mérésére szolgáló monitoring eszköz, ami szintén képes valós időben adatot szolgáltatni. A három eszköz, a nyomásmérő cella, borehole cella és piezométer együttesen 360° fokban képes X,Y,Z irányban meghatározni a mérési pontokban a talajban kialakuló feszültségteret, így pontos képet adva a talaj terheltségéről.



8. ábra: Feszültségmérő eszközök csoportosítása

Új építmények esetében a talaj-szerkezet interakciójának folyamatos elemzésének céljából érdemes már a tervezés és kivitelezés időszakában elhelyezni a feszültségek közvetlen mérésére szolgáló monitoring elemeket. Ezen szerkezeti feszültségmérők már meglévő szerkezetekre is elhelyezhetők, így nyomonkövethető a meglévő

szerkezetre gyakorolt feszültségnövekedés. Meglévő szerkezetek esetében közvetett módon tudunk feszültséget meghatározni. A betonszerkezetek vizsgálati szakaszán elhelyezett feszültségmérő eszköz képes két fix pont között kialakuló elmozdulásokból a szerkezetre ható feszültségértékeket meghatározni.

Acél szerkezetek esetében hegesztéssel vagy ragasztással rögzíthető mérőeszközök alkalmazása lehetséges. Ahogy a beton szerkezetek esetében úgy az acél szerkezeteknél is elmozdulás mérésekből közvetetten lehet feszültség értékeket meghatározni.

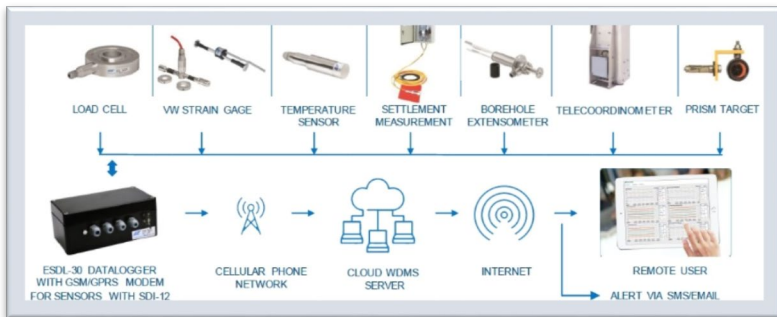
Mindkét esetben a mérések gyakorisága jól meghatározható, programozható. Az eszközökkel valós idejű mérési eredmények határozhatók meg.

Adatok kezelése, alkalmazása és riasztás:

Egyes mérőeszközök egységes kezelése nélkülözhetetlen a valós idejű monitoring rendszer összeállításához.

Minden egyes mérőeszköz mérési eredményét egy felületen, egységes léptékben és rendszerben kell összeállítani, látni, hogy a kapott mérési eredmények

kiértékelése során biztonságos, megalapozott döntéseket lehessen hozni.



9. ábra: Mért eredmények továbbítása, megjelenítése

A mérőműszerek által mért adatokat továbbítani kell (9. ábra) egy központi datalogger felé, mely összegyűjti az eredményeket és továbbítja a központi védett szerver számítógépeknek, melyeken az eredmények tárolódnak és a kiértékelés, megjelenítés szinkronizáltan létrejön.

A nemzetközi gyakorlat azt mutatja, hogy a beruházás során 3 egymástól független védett szerveren történik meg a monitoring-rendszer által mért adatok tárolása.

A 3 védett szerver egyike a Beruházó tulajdona, a másik a Kivitelező tulajdona, a harmadik pedig a Független

Üzemeltető tulajdona, aki a monitoring-rendszert üzemelteti.

A szervereken a tárolt adatokat csak egyidejű engedélyezési jelszó megadása mellett lehet módosítani, esetleges adatokat törölni. Ebben az esetben elkerülhető, hogy bármelyik fél belenyúlhasson, saját érdekei szerint módosíthassa a mérési eredményeket, emellett minden pillanatban a legfrissebb adatokkal tudnak dolgozni.

A monitoring rendszer tervezése során nélkülözhetetlen az adott építmény minden egyes mérési pontjára meghatározni azon kritérium szinteket, melyek mérföldkőként szolgálnak a monitoring rendszer üzemeltetése során. Egy meglévő létesítmény esetén fontosnak tartom megjegyezni, hogy a „0” állapot felvétele számít a kritikus tevékenységnek. Ezért jelentős idejű, legalább fél éves tesztüzem, azaz „0” állapot felvétele szükséges a tényleges kivitelezési munkák megkezdése előtt. Vannak esetek, amikor a fél év nem elégséges, például a hőmérséklet és talajvíz kompenzációs

szintek meghatározása érdekében 1 teljes év is szükségessé válhat.

A megfelelően alapos „0” állapot meghatározás és a hozzá tartozó hőmérséklet és talajvíz ciklikussági görbék meghatározása mellett minimálissá lehet csökkenteni a téves riasztások szintjét is. Az eredmények megjelenítése egy a vizsgálat létesítményhez elkészített geoinformatikai rendszeren történik.

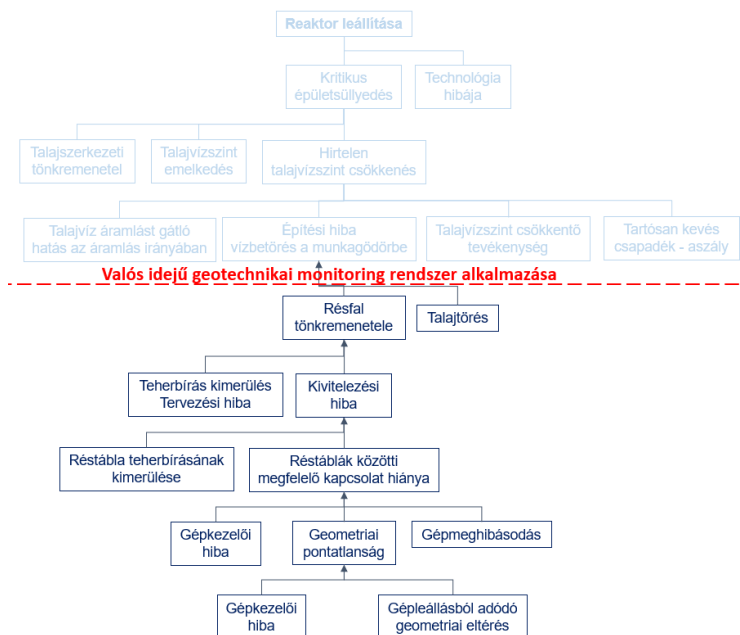
Minden egyes mérési típus és pont esetében fel kell tüntetni, hogyan kerüljenek a meghatározott riasztási szintek.

Adott esetben, a riasztási szintek elérése esetén a geoinformatikai rendszer automatikus riasztást kell, hogy kiadjon meghatározott emberek felé mobiltelefonon és e-mailben egyaránt.

A tervezett monitoringrendszer elemeit úgy kell meghatározni, hogy azok mérési eredményei egy geoinformatikai rendszerben kezelhetőek legyenek.

3.2.1. Kockázatsökkentő tevékenység hatása a kockázatelemzésben

Geotechnikai eredetű építési kockázatok esetében a kockázatelemzés alapján az alap kockázatok valós idejű geotechnikai- és épületmozgás monitoring rendszer alkalmazása mellett 25-50 % közötti értékkel csökkenthetőek.



10. ábra: Valós idejű geotechnikai monitoring rendszer módosító hatásának bemutatása a hibafa elemzésen

6. Táblázat: Maradó kockázatok mátrixa

Geotechnikai eredetű építési kockázatok nukleáris létesítmények környezetében mátrix táblázata												
Induló esetek						Maradék esetek						
Ref. kód	Kockázat	L	S	RI	RR	Csökkentés	L	S	RI	RR		
Építési kockázatok												
P1	Résfal geometriai egyenletlensége	3	3	9	H	Résfalak geometriai ellenőrzése	4	3	12	M		
P2	Mély munkagödör vízretelenségek előkészítése során hirtelen csökken a talajvíz szintje felszín/süllyedést eredményezve a környezetben	3	2	6	H	A kivitelezés előtt elkészített valós idejű geotechnikai és talajvíz monitoring rendszer alkalmazása	4	4	16	L		
P3	A talajvíz kiáramlást okozó csökkenése során jelentős talajvízszint csökkenés a háttér területeken, mely jelentős süllyedési kockázatot okozhat	3	1	3	V	A kivitelezés előtt elkészített valós idejű geotechnikai és talajvíz monitoring rendszer alkalmazása	5	3	15	L		
	Földkiemelés során talajlőrés következik be	3	2	6	H	A talajszervezet állapotának folyamatos ellenőrzése, monitoringozása, a kivitelezést megelőzően elkészített valós idejű monitoring rendszer alkalmazása	4	3	12	M		
	Földkiemelés során réstaleim-ozdulás/réstálórás következik be, melynek hatására talajvíz betörés következik be a mély munkagödörbe és jelentős süllyedéseket eredményez a háttér területeken	3	1	3	V	A talajszervezet állapotának folyamatos ellenőrzése, monitoringozása, a kivitelezést megelőzően elkészített valós idejű monitoring rendszer alkalmazása	5	3	15	L		
P5	Talajvíz szint mélyen tartása során bekövetkező talajlőrés	4	1	4	H	A talajszervezet állapotának folyamatos ellenőrzése, monitoringozása, a kivitelezést megelőzően elkészített valós idejű monitoring rendszer alkalmazása	5	3	15	L		

Valós idejű monitoring rendszer alkalmazása mellett „nem valószínű” a felvetett geotechnikai eredetű kockázatok bekövetkezésének valószínűsége.

3.3. Új tudományos eredmények megfogalmazása

I. tézis:

Meghatároztam az építési kockázat és a nukleáris kockázat közötti kapcsolatot, melynek eredményeképpen kialakítottam a geotechnikai eredetű kockázatok kockázatelemzését nukleáris létesítmények környezetében.

Tézishez tartozó publikációk: [T1]; [T2]; [T3]; [T4]; [T5]; [T6]

II. tézis:

Meghatároztam a geotechnikai eredetű építési kockázatok okozta nukleáris kockáz halálozási és pénzügyi vonatkozását, mely alapját jelenti az építési kockázatok valószínűség (L) alapú besorolásának nukleáris létesítmények környezetében.

Tézishez tartozó publikációk: [T2]; [T3]; [T4]

III. tézis:

Elkészítettem egy a nukleáris létesítmény közvetlen környezetében kialakítandó mélymunkagödör nyitásának kockázatelemzését, mely során számszerűen kimutattam, hogy a valós idejű monitoring rendszer alkalmazása 25-

50%-kal csökkentette a nukleáris létesítményre számított kockázatok szintjét.

Tézishez tartozó publikációk: [T1]; [T2]; [T3]

IV. tézis:

A vizsgálati eredmények alapján meghatároztam, hogy a manuális mérések nem tudják csökkenteni az építési kockázatok szintjét, melynek oka, hogy nem képesek nyomonkövetni szükséges sűrűséggel a változásokat, továbbá nincs benne automatikus figyelmeztető rendszer.

Tézishez tartozó publikációk: [T1]; [T2]; [T3]; [T5]

3.4. Új tudományos eredmények hasznosíthatósága, további kutatások

A nukleáris területen végzett építési tevékenységek kockázati tényezőjének meghatározása lehetőséget biztosít a kutatás további pontosítására.

A jelenleg világszerte jelen lévő energia igény szükségessé teszi további erőművek építését.

Kutatásom során a nukleáris létesítmények környezetében végzett építési tevékenységek kockázataival foglalkoztam. A kutatás eredménye kiterjeszhető lehet

veszélyes ipari létesítmények, üzemek, erőművek környezetének építési kockázatainak besorolására.

A jövőben fontosnak tartanám a veszélyes ipari létesítmények környezetében történő építési tevékenységek kockázatainak besorolását és kezelési lehetőségeit.

4. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[T1] **Horváth-Kálmán Eszter**, Horváth Tibor.: Integrált monitoring rendszer- Használatiminta-oltalom, Bejelentés dátuma: 2022.09.26., Lajstromszám: 5646

[T2] **Eszter Horvath-Kalman**, Elek Barbara, „*Risks and the managment of construction in the environment of nuclear facilities*” , Acta Technica Jaurinensis (2023)
<https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00707>

[T3] **Eszter Horvath-Kalman**, Tibor Horvath, Barbara Elek, „Construction and deep construction risks in a nuclear power plant environment”, ITA-AITES World Tunnel Congress 2024, Shenzhen, China, 19-25 April 2024

[T4] **Eszter Horváth-Kálmán**; B. S. Ahmmad, Construction risks in a nuclear power plant environment, Hungary, Ybl Journal (2023)- Befogadó nyilatkozattal, megjelenés alatt

[T5] **Eszter Horváth-Kálmán**; T. Horváth; B. Elek, Mitigation of construction risk in a nuclear power plant and environment, Hungary, Ybl Journal (2023)- Befogadó nyilatkozattal, megjelenés alatt

[T6] Elek Barbara, Bodnár László, **Horváth-Kálmán Eszter**, „Bázaszati hulladékkezelő létesítmény tározójának kockázatelemzése” , Biztonságtudományi Szemle, Ipar- és üzembiztonság 2023. V. évf. 2. szám pp. 107-121

<https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/331>

5. A szerző a témában megjelent további, válogatott tudományos közleményei

[1] F. Kápolnainé Nagy-Göde, Á. Török, **E. Horváth-Kálmán**, Magaspartok állékonyságelemzése
ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY 3-4 pp. 1-14. ,14 p. (2023)
<https://doi.org/10.1556/096.2023.00104>

[2] T. Horváth; **E. Horváth-Kálmán**; V. Józsa, Veszélyes

hulladéktároló geotechnikai felülvizsgálata; In: Tompai, Z - Szendefy, J; Takács, A; Török, Á (szerk.) Geotechnika 2019 Konferencia; Budapest, Magyarország : Konferencia Iroda Bt. (2019) 120 p. p.

[3] F. Kápolnainé Nagy-Göde, Á. Török; **E. Horváth-Kálmán**; Geostatistical analysis of slope movement monitoring time series of Balatonakarattya-Balatonkenese high bank; In: Hatvani, IG; Erdélyi, D; Fedor, F (szerk.) GeoMATES '22 International Congress on Geomathematics in Earth- and Environmental Sciences : the 22nd Congress of Hungarian Geomathematicians; Pécs, Magyarország : MTA Pécsi Akadémiai Bizottság (MTA PAB) (2022) 90 p. p. 40 , 1 p.

[4] F. Kápolnainé Nagy-Göde,; Á. Török; **E. Horváth-Kálmán**; The stability analysis of a steep slope at a lake; Hungary In: Anon, (szerk.) Proceedings of 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation : Toward synergy at site characterisation; Budapest, Magyarország : [s.n.] (2021) p. & , 6 p.

[5] **E. Horváth-Kálmán**; Mérnökgeológiai adottságok kockázatelemzése és a földtani veszélyforrások geotechnikai monitoringja In: XI. FÖLDTANI VESZÉLYFORRÁSOK KONFERENCIA (2017)

[6] E. Kálmán; Geotechnical Monitoring of a Tunnel in the Kiscelli Clay in Budapest; In: Nuri, Bilgin; İstanbul, Teknik Üniversitesi. Maden Fakültesi. Maden Mühendisleri Bölümü.; Maden, Mühendisleri Odası. İstanbul Şubesi.; İstanbul, Teknik Üniversitesi. Maden Fakültesi. Dekanlık (szerk.) Proceedings of the 2nd Symposium on underground excavations for transportation Ankara, Törökország : TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2007) 604 p. pp. 509-516. , 8 p.

6. Köszönetnyilvánítás

A jelen összeállításban szereplő tudományos eredményeket alátámasztó kutatómunkám során nyújtott folyamatos konzultációért, segítségért és nem utolsósorban a türelemért szeretnék köszönetet mondani férjemnek és kollégámnak Dr. Horváth Tibornak.

Kiemelten köszönöm családomnak, hogy a kutatómunkámra tekintettel voltak és minden támogatást megadtak.