

Horváth-Kálmán Eszter,¹  Elek Barbara,²  Bodnár László,³ 
Komlai Krisztina⁴ 

Építési kockázatok és kezelésük nukleáris létesítmények környezetében

Construction Risks and Management in Case of Nuclear Facilities

A világon minden a kockázatról szól, az egyéni döntésektől a globális döntésekig. A kérdés az, hogy egy adott projekt számára ez a kockázat elfogadható, vagy már nem. Az építési projektekre alkalmazott kockázatelemzés bizonyos tekintetben eltér a nukleáris létesítményekre alkalmazott kockázatelemzéstől. A nukleáris létesítmények esetében a kockázat mint olyan elsősorban nukleáris kockázat. Ennek fényében a nukleáris létesítményt érintő beruházások esetében az elvégzendő kockázatelemzést két külön szinten kell elvégezni. Az első szint a hagyományos építési kockázatelemzés, majd második szintként minden kockázati elemet nukleáris kockázati szempontból kell besorolni. A kutatás az építési kockázatok nukleáris kitétségének meghatározására irányult, továbbá ezen kockázatok valós idejű monitoringrendszerrel való csökkentési lehetőségét vizsgálja.

Kulcsszavak: kockázatelemzés, építési kockázat, atomerőművek biztonsága, elfogadható kockázat, valószínűség, geotechnikai monitoringrendszer, valós idejű monitoringrendszer

Everything in the world is about risk, from individual decisions to global manipulations, which is of fundamental importance in a nuclear power plant environment. The question is whether, in a given situation, this risk is acceptable or no longer acceptable. In some respects, the risk analysis applied to construction projects differs from the risk analysis applied to nuclear installations. For nuclear installations, the risk as such is primarily nuclear risk. In view of this, for investments involving a nuclear installation, the risk analysis to be carried out must be carried out at two

¹ Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, e-mail: kalman.eszter@ybl.uni-obuda.hu

² Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, e-mail: elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu

³ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, e-mail: bodnar.laszlo@uni-nke.hu

⁴ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: komlai.kriszti@gmail.com

separate levels. The first level is the traditional construction risk analysis, and then as a second level, each risk item should be classified from a nuclear risk point of view. In this paper, we present the nuclear exposure of construction risks and the possibility of mitigating these risks through a real-time monitoring system.

Keywords: *risk analysis, construction risk, nuclear power plant safety, geotechnical monitoring, acceptable risk, probability, geotechnical monitoring system, real-time monitoring.*

Bevezetés

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 határozzuk meg, továbbá azt, hogy milyen szinteket különítünk el.⁵ Már Karl von Terzaghi is foglalkozott az adott építéskivitelezési projektek által generált kockázatok kérdésével. Mikor és milyen módszerek teszik lehetővé, hogy ezen kockázatok csökkenthetők 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 jár.⁶ Általában a talaj és a víz a két legjelentősebb tényező, amelyek meghatározzák egy adott épület, építmény kockázati szintjeit. A talaj ismerete messze több, mint a talajfizikai állapotok 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 szükséges megtervezni és kivitelezni a telephely speciális körülményeinek figyelembevételével.⁷ Bármilyen szerkezetet tervezünk vagy kivitelezünk, annak kapcsolata van a talajjal és a közetkörnyezettel, így a geotechnikai eredetű kockázatok mindenütt jelen vannak. A geotechnikai paraméterek pontossága jelentős kapcsolattal bír a kockázatok alakulásával, amelyet a természetes rézsűk mozgásának vizsgálatával támasztottak alá. A tervező mérnököknek és a kivitelező mérnököknek két céljuk van minden egyes szerkezettel kapcsolatban:

1. minél gazdaságosabb megvalósítás,
2. rövid és hosszú távú biztonság elérése.

A két szempont egyidejű megvalósítása valahol üti egymást, ha valamit gazdaságosan akarunk megtervezni, akkor a biztonság szintje erősen csökkenhet. Míg ha valamit teljes biztonsággal tervezünk meg, akkor a költségek erősen emelkedhetnek. Vannak olyan lehetőségek, amelyek megteremtik a két elvárás között az összhangot, és jelentősen növelhetik a szerkezetek biztonságát. A végeredmény mindig egy iterációs folyamat során születik meg.⁸

⁵ WAN 2019.

⁶ BAECHER-CHRISTIAN 2003.

⁷ BASSETT 2011.

⁸ WAN 2019.

A budapesti 4. számú metróvonal kivitelezését követően összeállított kutatásban elemzés készült a geotechnikai kockázatok és azok csökkentési lehetőségének tárgyában. A kutatás során kapott eredmény rámutat arra, hogy a talaj, talajvíz és összes egyéb geotechnikai, mérnökgeológiai alapadat ismeretének pontossága nagymértékben befolyásolja a kockázati szintet. Pontos összefüggést írtak fel a geotechnikaifeltárás-sűrűség és a geotechnikai eredetű kockázatok között.⁹

A Szilárd Leó által 1942-ben 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 adja meg az atomenergia békés célú hasznosításának kereteit. 2005. július 4–8. között folyó NAÜ (IAEA) által szervezett diplomáciai konferencia keretén belül módosították az egyezményt. A módosítás a terrorizmus elleni harc miatt vált szükségessé. A módosítást minden ország egyhangúlag elfogadta és aláírta Bécsben. Az egyezmény végrehajtását segítve, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (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.¹⁰

A veszélyes anyagokkal történő munkavégzés, beleértve a radioaktív, sugárzó anyagokat is, jelentős többlet-óvintézkedéseket von maga után az adott erőműben és a teljes telephelyen. Pontos meg kell határozni a biztonságot csökkentő tevékenységeket. Definiálva, hogy melyek veszélyeztetik közvetlenül az emberi életet, és melyek vannak közvetetten hatással rá. Erre ad pontos előírást a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség IAEA-TECDOC-944 számmal kiadott *Guidelines for Integrated Risk Assessment and Management in Large Industrial Areas* címmel, besorolva az egészségkárosító és környezetkárosító veszélyeket. Továbbá e veszélyek kezelésére is ad javaslatokat.¹¹

A kockázatok áttekintése során be kell azonosítani azokat a paramétereket, amelyek nagymértékben befolyásolják az adott létesítmény biztonságát. Továbbá pontosan meg kell határozni, hogy milyen kockázatsökkentő lehetőségek állnak rendelkezésre.¹² Nukleáris erőművek esetében jelentős fontosságú a kockázatok folyamatos elemzése. Kutatásunk célja a nukleáris erőművek építési kockázatainak meghatározása, az építési kockázatok elemzésének bemutatása és az építési kockázat szintjének csökkentési lehetőségeinek bemutatása.

Építési kockázat definiálása

Az építési kockázat szerteágazó. Építési kockázat alatt számtalan kockázati tényezőt értünk a szerkezet állékonyságvesztésétől a projekt kivitelezésének jelentős késedelméig. Sok esetben

⁹ HORVÁTH 2011.

¹⁰ Országos Atomenergia Hivatal [é. n.].

¹¹ International Atomic Energy Agency 1998.

¹² LEROUÉIL 1998; KÁPOLNAINÉ NAGY-GÖDE – TÖRÖK 2022.

a projekt jelentős pénzügyi kockázatát is ide kell sorolni.¹³ 1984-ben R. V. Whitman megteremtette az alapját a geotechnikai eredetű építési kockázatok besorolásának. Az évek alatt az elmélet már kilépett a tisztán geotechnikai eredetű kockázatok kezelésének zárt köréből, és kibővítették különböző egyéb kockázati faktorokkal.¹⁴ 2020-ban J.-L. Briaud három előre definiált határvonalat húzott fel, amely egyértelműsíti az egyes események bekövetkezéséhez tartozó várható halálozási és anyagi veszteségeinek értékét is.¹⁵ A geotechnikai eredetű kockázatok végső soron a szerkezetek tönkremeneteléhez vezetnek. A szerkezetek tönkremenetelének okait meg lehet határozni és bekövetkezésének valószínűségét matematikailag számszerűsített értékkel ellátni, ahogy van mód a kockázatok okainak kategorizálására is.¹⁶ Nemcsak a szerkezetek kockázatairól beszélhetünk, hanem külön kockázata van minden egyes projektnek is. A projekt szempontjából is figyelembe kell vennünk az építési kockázatokat.¹⁷



1. ábra: Az építési kockázat összetettsége

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az építési kockázat szerteágazó fogalom, ahogy az 1. ábra is mutatja, magában foglalja az adott építmény projektszintű kockázatait:

1. Tervezési kockázat: a terv megfelelőségének kockázata.
2. Politikai kockázat: a nagy- és gigaberuházások nemzeti és nemzetközi szintű befolyásolása.
3. Pénzügyi kockázat: a projekt finanszírozásának folyamatosságát biztosító megrendelői háttér finansziális biztonsága, továbbá a projekt költségvetésének tarthatósága.
4. Környezeti kockázat: a telephely és annak közvetlen környezetével kapcsolatos földtani, geológiai, meteorológiai vagy egyéb tényezőkkel eredő kockázatok.
5. Vezetői kockázat: a projekt vezetőinek döntéseiben rejlő kockázat.

¹³ FABER 2008.

¹⁴ WHITMAN 1984.

¹⁵ BRIAUD 2022.

¹⁶ SEBESTYÉN-TÓTH 2014.

¹⁷ KÖHLER 2009.

6. Kivitelezési kockázat: az építési fázisok során történő „elépítési” kockázat, nem megfelelőség.
7. Fizikai kockázat: esetleges előre kitervelt terror/erőszakos cselekmény vagy véletlenszerű esemény, amelynek következtében a projekt szerkezetileg sérül, építésére szánt idő növekszik, építési költsége emelkedik.
8. Logisztikai kockázat: a projekt megvalósításához szükséges teljes alapanyag és/vagy eszközpark beszerzésében és alkalmazásában bekövetkező negatív körülmény vagy akadály.

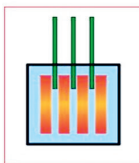
Az építési kockázatok meghatározása és további kezelése már a projekt megindításánál, tervezési fázisban jelentős feladatként definiálható. Az építési kockázatok minden esetben projektspecifikusak. Egyedi eljárásrendet kell követni.

Nukleáris erőművek biztonsága

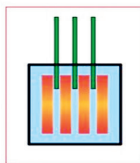
A nukleáris erőművek biztonságán elsődlegesen a nukleáris biztonságot kell érteni. A Tervezési Alapot meghaladó, azaz TAK (Tervezési Alap Kiterjesztése) üzemállapotban bekövetkező nem várt kezdeti események esetében a biztonságot több egymástól elkülönülő módszer garantálja. 3 fő biztonsági funkciót különböztetünk meg, mindhárom biztonsági funkciónak egymagában is képesnek kell lennie biztosítani az erőmű és környezetének biztonságát. Mindhárom fő biztonsági funkció, amelyeket a 2. ábra mutat be, a TAK 1 és TAK 2 üzemállapothoz, azaz a nukleáris energiatermelés üzemzavarához tartozó üzemállapotokhoz tartozó kockázatok csökkentését hivatottak garantálni.

A három biztonsági funkció:

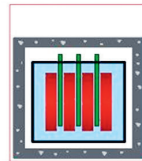
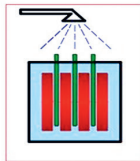
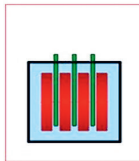
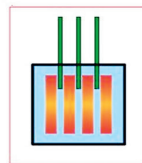
1. **Láncreakció szabályozása és lezárása**



2. **Hűtés normál üzemben és üzemzavar alatt**



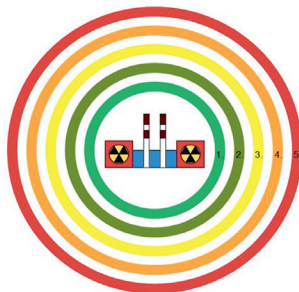
3. **Radioaktív anyagok benntartása**



2. ábra: Nukleáris létesítmények biztonsági funkciói

Forrás: KÁROLYI 2023

A 3. biztonsági funkció lényege a radioaktív anyagok benntartása, amelynek részét képezi a mérnöki gátak sorozata. A legkülső mérnöki gát maga a konténment.¹⁸ 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 nemkívánatos eseményt követően válnak szükségessé. Az alkalmazásuk és céljuk a biztonság fenntartása, helyreállítása, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítése. A biztonsági protokoll további eleme a *mélyléségi védelem*, amelynek öt szintjét különböztetjük meg, ezt láthatjuk a 3. ábrán.



3. ábra: Mélyléségi védelem

Forrás: KÁROLYI 2023

1. Konzervatív tervezés, magas színvonalú kivitelezés és üzemeltetés; a rendellenes működés és a hibák megelőzése.
2. Megfelelő szabályozás, üzemi korlátok és az azok átlépésének megelőzése; a rendellenes működés helyes kezelése és a hibák észlelése.
3. Az automatikus biztonsági rendszerek indulása és a szükséges emberi beavatkozások; a hihető méretezési balesetek kezelése.
4. Kiegészítő mérések és intézkedések; a súlyos balesetek kezelése, a következmények enyhítése és a súlyosság mérséklése.
5. Baleset-elhárítási intézkedési terv; a létesítményen kívülre történő radioaktív kibocsátás következményeinek enyhítése.¹⁹

A nukleáris kockázat egyet jelent a környezet teljes körű védelmével. Nem juthat ki radioaktív anyag a környezetbe, amely esetleg veszélyeztetné a környezetet vagy a környező emberek életét.²⁰

J. Köhler *Risk and Safety in Engineering* című könyvében részletesen ír az építményeket érő hatások kockázatairól, a kockázatok bekövetkezési valószínűségéről. Külön részfejezetet szentelve az atomerőművek kockázatainak – mint kiemelt építmény kiemelt kockázatokkal.

¹⁸ KÁROLYI 2023; RAUL 2017.

¹⁹ KÁROLYI 2023.

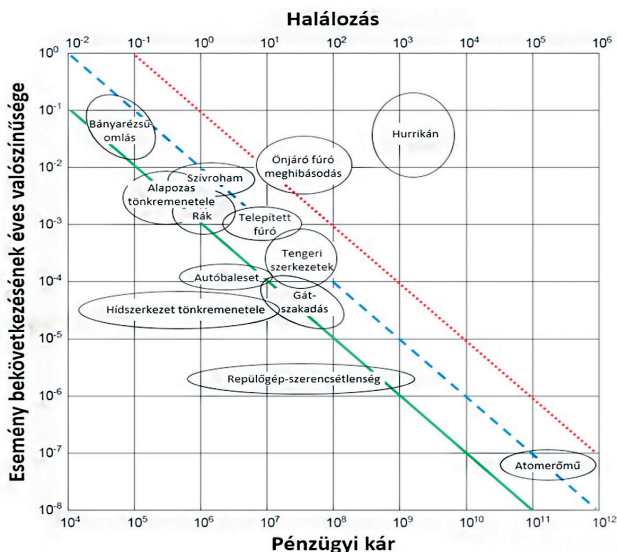
²⁰ International Atomic Energy Agency 2005.

Konklúzióként kimondja, hogy az atomerőművek meghibásodása a rendszereket alkotó alkatrészek és rendszerek egy vagy több meghibásodása miatt következhet be, ezáltal az erőművek általában biztonságosabbá válnak.²¹

Az atomerőművek kritikus rendszere a reaktor hűtését biztosító rendszer és azok szabályozó szelei, amelyek meghibásodása a reaktor hűtésének elvesztéséhez vezethet, ami viszont súlyos következményekkel járhat, például a reaktor károsodásával és esetleges zónaolvadással. Az 5. ábra áttekintést ad a szelepek meghibásodásának eloszlásáról egy működő atomerőmű különböző alrendszereiben. Látható, hogy a legtöbb meghibásodás a csővezeték- és műszer-rendszerekben következik be. További vizsgálatok kimutatták, hogy a fizikai és emberi okok egyaránt fontosak. A szivárgások és a természet okozta meghibásodások a fő fizikai okok, míg az emberi hibák a nem megfelelő karbantartás és az erőmű tervezési hibáiból adódnak.

A nukleáris erőművek esetében megkülönböztetünk külső és belső veszélyeket. A külső veszélyek azok, amelyek 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 kibocsátás esetében 10^{-6} /év előfordulási gyakorisági kritériumnak kell teljesülnie, és biztosítani kell a maradványhő végső hőelnyelőbe szállítását. Ennek elvesztése gyakorisága nem lehet nagyobb, mint 10^{-7} /év. Azaz a *súlyos baleseti üzemi állapot*, amely környezeti szennyezéshez, katasztrófhhoz vezethet, kockázatának éves gyakorisága nem haladhatja meg a 10^{-7} /év értéket. Egy ilyen szintű kockázathoz jelentős mértékű halálozási kockázat és anyagi kockázat is tartozik. A nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemi állapotát helyeztük a bekövetkezési valószínűség, halálozás és pénzügyi kockázat halójába.



4. ábra: Nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemi állapotának kockázata és a hozzá tartozó pénzügyi és halálozási kockázat

Forrás: a szerzők szerkesztése

²¹ KÖHLER 2009.

A 4. számú ábrán látható a nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemállapotához tartozó bekövetkezési valószínűség és a belőle fakadó halálozási és költségvonzat arány. A halálozási arányt a szakirodalomban fellelhető adatok és a jelenlegi demográfiai viszonyok statisztikai elemzése alapján határoztuk meg. A káresemény költségeinek kalkulációját a szakirodalomban fellelhető információk, továbbá az éves termelés kalkulációs adatok alapján számoltuk ki. Leolvasható a 4. ábráról, hogy az atomerőművek súlyos baleseti üzemállapothoz tartozó kockázata igen kicsi, viszont a hozzá tartozó közvetlen vagy közvetett halálozási arány az 1 millió főt is megközelítheti, továbbá a termelés kiesése, károsodás anyagi oldala is dollármilliárdokban mérhető.

Geotechnikai és épületmozgás monitoringrendszer mint a környezet őre

A monitoringrendszer kiválasztása során nélkülözhetetlen 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:

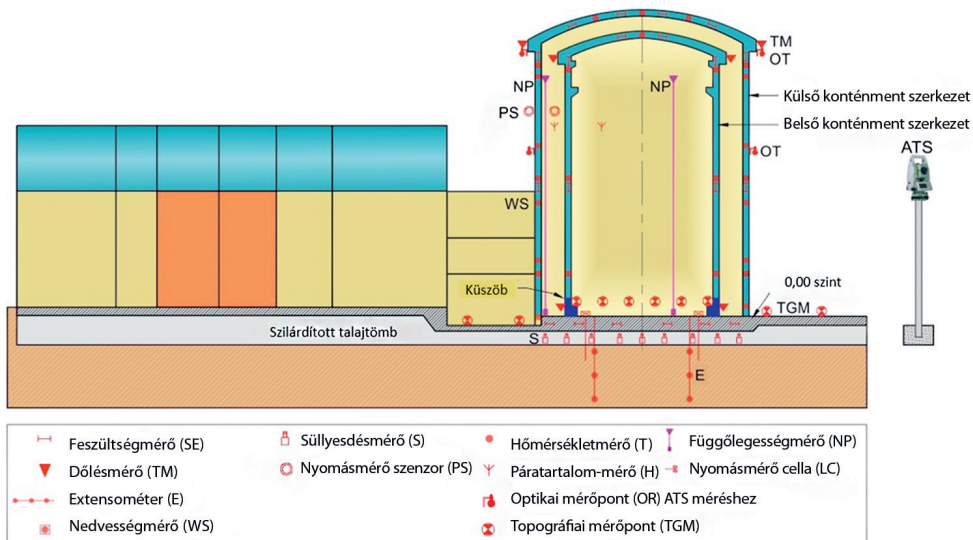
- Mozgásmérések: süllyedésmérés; billenésmérés; csavarodásmérés; alakváltozás-mérés.
- Feszültségmérések: földnyomásmérés; pórusvíznyomás-mérés.
- Időbeni változása minden fent felsorolt mérési eredménynek.

A pontosan megfogalmazott mérési cél meghatározza az épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer során alkalmazandó mérőműszerek fajtáját is. A mérés céljának pontos meghatározását követően szükséges összeállítani a monitoringrendszer műszereivel szemben támasztott követelményeket, azok prioritását. A műszerekkel szemben támasztott követelmények az alábbiak.

- Megbízhatóság: minden esetben pontosan meg kell határozni a műszer által mért adatok pontosság- és felbontóképesség-igényét, továbbá a szabotosságát 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 szükség? A felszín alatt elhelyezendő műszer esetében 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 monitoringrendszer adatkezelés-kiépítésének szintjét.

Épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer elemei

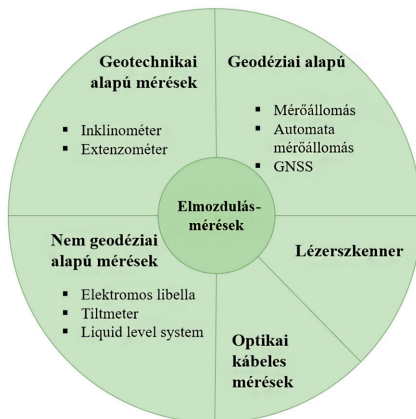
Mint ahogy minden egyes építési beruházás során, így a nukleáris létesítmények esetében is vannak speciálisan mérendő, ellenőrizendő pontok, szerkezeti elemek. Az 5. ábrán láthatók azon javasolt eszközök és mérési pontok, amelyek egy atomerőmű biztonságos, hosszú távú üzemeltetése során szükségesek. Adatokat tudnak szolgáltatni a szerkezeti elemek, beépített anyagok állapotáról, üzemeltetés során bekövetkezett állapotváltozásokról. Ezen javasolt mérőeszközök túlmutatnak a jelenlegi kutatási témán, amely az építési kockázatok csökkentésének lehetősége valós idejű épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer alkalmazásával.



5. ábra: Atomerőművek monitoringrendszerének vázlatterve

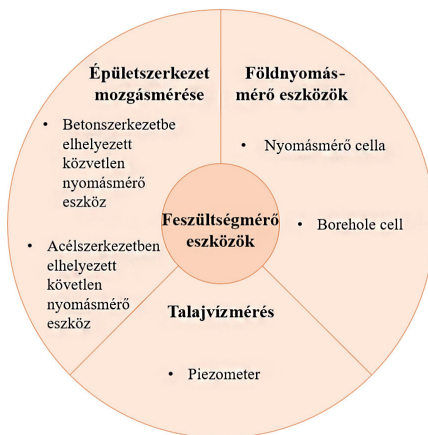
Forrás: Encardio-Rite, Application Note-Online Monitoring of Nuclear Power Plant [é. n.]

A teljes monitoringrendszer elemei közül azokat emeljük ki és tárgyaljuk a továbbiakban, amelyek elősegítik a biztonságos építési beruházásokat, kivitelezési munkákat az atomerőművek és egyéb nukleáris létesítmények közvetlen környezetében. Ahogy azt már az előző fejezetben összefoglaltuk, a mozgásnak több fajtáját lehet speciális műszerekkel mérni. Továbbá a talajszerkezet-kölcsönhatás nyomon követése érdekében regisztrálni kell a feszültségeket, feszültségváltozásokat, továbbá elmozdulásokat. Több monitoring mérési rendszert különböztethetünk meg elmozdulások és alakváltozások mérésére, amelyeket kombinálva érdemes alkalmazni minden egyes monitoringrendszer kiépítése során. Ezen elmozdulási monitoringrendszereket foglalja össze a 6. ábra.



6. ábra: Elmozdulások és alakváltozások mérésére alkalmazható monitoringrendszerek
 Forrás: a szerzők szerkesztése

Az alakváltozások és elmozdulások mellett a másik nagy mérendő terület a feszültség nyomon követése (7. ábra).



7. ábra: Feszültségmérésre alkalmazható monitoringeszközök
 Forrás: a szerzők szerkesztése

A talajszerkezet interakciójának folyamatos elemzése céljából érdemes már a tervezés, kivitelezés időszakában elhelyezni az új kivitelezés alatt álló építmények esetében a feszültségek közvetlen mérését szolgáló monitoringelemeket.²² Ezen szerkezeti feszültségmérők már meglévő szerkezetekre is elhelyezhetők, így nyomon követhető a meglévő szerkezetre

²² ÉRCES-AMBRUSZ 2022.

gyakorolt feszültségnövekmény hatása. Azaz meglévő szerkezetek esetében közvetett módon tudunk feszültséget meghatározni. A betonszerkezetek vizsgálati szakaszán elhelyezett feszültségmérő eszköz képes két fix pont között kialakuló elmozdulásokból, szerkezetre ható feszültségértékeket meghatározni. Acélszerkezetek esetében hegesztéssel vagy ragasztással rögzíthető mérőeszközök alkalmazása lehetséges. Ahogy a betonszerkezetek esetében, úgy az acélszerkezeteknél is elmozdulásmérésekből közvetetten lehet feszültségértékeket meghatározni. Mindkét esetben meghatározható, programozható a mérések gyakorisága. Valós idejű mérési eredmények határozhatók meg az eszközökkel.²³

Adatok kezelése, alkalmazása és riasztás

Egyes mérőeszközök egységes kezelése nélkülözhetetlen a valós idejű monitoringrendszer összeállításához. Minden egyes mérőeszköz mérési eredményét egy felületen, egységes lépésekben és rendszerben kell összeállítani, hogy a kapott mérési eredmények kiértékelése során biztonságos, megalapozott döntést lehessen hozni.

A mérőműszerek által mért adatokat továbbítani kell egy központi datalogger felé, amely összegyűjti az összes eredményt, és továbbítja a központi védett szerverre, az eredmények itt tárolódnak, és a kiértékelés, megjelenítés szinkronizáltan létrejön.

A nemzetközi gyakorlat azt mutatja, hogy a beruházás során három, egymástól független védett szerveren történik meg a monitoringrendszer által mért adatok tárolása. A három védett szerver egyike a beruházó tulajdona, a másik a kivitelező tulajdona, a harmadik pedig a független üzemeltető tulajdona, aki a monitoringrendszert üzemelteti. A szervereken a tárolt adatokat csak egyidejű engedélyezési jelszó megadása mellett lehet módosítani, esetleges adatokat törölni. Ebben az esetben elkerülhető, hogy nem kívánt módosítás történjen a mérési eredményekben.

A monitoringrendszer tervezése során nélkülözhetetlen az adott építmény minden egyes mérési pontjára meghatározni azon kritériumszinteket, amelyek mérföldkőként szolgálnak a monitoringrendszer üzemeltetése során. Egy meglévő létesítmény esetén fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a „0” állapot felvétele számít a kritikus tevékenységnek. Ezért jelentős idejű, legalább fél éves tesztüzem, azaz „0” állapot felvétel szükséges a tényleges kivitelezési munkák megkezdése előtt. A hőmérséklet és talajvíz kompenzációs szintek meghatározása érdekében 1 teljes év szükséges, mint „0” állapot felvétel. A megfelelően alapos „0” állapot meghatározása és a hozzá tartozó hőmérséklet- és talajvíz-ciklikussági görbék meghatározása mellett minimálisra lehet csökkenteni a téves riasztások szintjét.

A monitoringrendszer működtetésének szükséges feltételei:

- Az eredmények megjelenítése egy a vizsgálat létesítményhez elkészített geoinformatikai rendszeren kell hogy megtörténjen.
- A minden egyes mérési típus és pont esetében fel kell tüntetni a meghatározott riasztási szinteket.

²³ ÉRCES et al. 2023.

- A riasztási szintek elérése esetén a geoinformatikai rendszer automatikus riasztást kell hogy kiadjon az érintett szakemberek felé mobiltelefonon és e-mailben egyaránt.
- A tervezett monitoringrendszer alkalmazott elemeit úgy kell meghatározni, hogy azok mérési eredményei egy geoinformatikai rendszerben kezelhetők legyenek.

Összegzés

A mai világban, ahol energiaválság kezd kialakulni, az atomerőművek egy részét valahol leállítják, máshol újakat építenek, vagy éppen fejlesztenek, átalakítanak, esetleg üzemidő-hosszabbítást kezdeményeznek, elengedhetetlen a pontos kockázatelemzés a biztonságos üzemeltetés biztosításához. Új erőművek épülnek, amelyeket gyakran a meglévő, de már az üzemideje végén járó erőművek közvetlen környezetében alakítanak ki. Az új erőművi blokkok megépítése eddig nem látott mértékben növeli meg az üzemelő erőmű biztonságos üzemeltetésének kockázatát. A kockázatelemzés célja pontosan meghatározni minden olyan munkafázist, amely bármilyen szinten is befolyásolhatja a védendő erőmű működését. A kockázatelemzés részét kell hogy képezze a segédtechnológiák, javaslatok és egyéb eszközök pontos leírása, amelyeket a kockázatcsökkentés során alkalmazhatnak. Nukleáris erőművek esetében nem lehet cél a gazdaságosság, ott egyetlen lehetőség van, ami nem más, mint a maximális biztonság. Ennek elérése akkor is nélkülözhetetlen, ha egy másik építési projekt érintettjévé válik a működő atomerőmű. Példa erre, ha a működő atomerőművi blokkok szomszédságában történik az új blokkok kivitelezése. Így csökkenthető minimálisra az atomerőművekre ható kockázatok szintje. Nukleáris létesítmények esetében a biztonság mindenképp feletti, nem megkérdőjelezhető. Esetenként az építési kockázatok okozhatnak olyan előre nem számolt, váratlan helyzeteket, amelyek bizonyos mértékben csökkenthetik az adott nukleáris létesítmény nukleáris biztonságát.

A kutatás során célul tűztük ki, hogy meghatározzuk azon építési kockázatokat, amelyek kockázatot jelenthetnek egy működő atomerőmű környezetében. A kockázatos építési tevékenységeket kockázatelemzéssel vizsgáltuk. A kockázatelemzés során meghatároztuk a lehetséges kockázatcsökkentési lehetőségeket.

Jelenlegi kutatásunk során az épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer kockázatcsökkentő hatását vizsgáltuk, amelynek eredményeképpen megfogalmaztuk, hogy az építési kockázat nukleáris kockázattá fejlődése elkerülésének érdekében a nukleáris létesítmények teljes területén minden egyes beavatkozás, építési tevékenység esetén szükséges a folyamatos monitoringtevékenység. Értve ez alatt a kivitelezési munkák során alkalmazandó valós idejű geotechnikai és épületmozgás monitoringrendszer elemeit is. Minden esetben figyelni kell rá, hogy a monitoringrendszerhez kiválasztott elemei kiegészítsék egymást, továbbá hogy azok mérési eredményei egy geoinformatikai rendszerben kezelhetők legyenek. A mérési eredmények mindegyike egység riasztási rendszerbe kell hogy beépüljön. A monitoringterv részeként elkészítendő a riasztási szintekhez tartozó intézkedési terv. Azon kockázati elemek, amelyek esetében a kockázatcsökkentések végrehajtását követően is közepes és magas kockázati szint határozható meg, javasolt kiegészítő biztonsági intézkedési terv, beavatkozási

javaslat kidolgozása már a monitoringtervezés szintjén. Ennek oka, hogy bizonyos esetekben a kiegészítő biztonsági tevékenységek igényelhetnek többlet mérőeszköz-kiépítést, amelyeket be kell tudni építeni a tervezett monitoringrendszerbe.

Az épületmozgások minden esetben időben eltolva követik a talajtömegben jelentkező mozgásokat, ezért a biztonság fokozása érdekében az épületmozgási méréseket ki kell egészíteni geotechnikai monitoringrendszer-elemekkel. Minden egyes tervezett monitoringrendszernek illeszkednie kell vagy be kell tudni fogadnia a jelenleg működő épületmozgás-mérés elemeit, amennyiben van ilyen a mérési területen. A meglévő mérési pontokat meg kell tartani, be kell építeni a jövőben működő rendszerbe. Egy megfelelően kiépített valós idejű monitoringrendszer alkalmazásával jelentősen, szinte nullára csökkenthető az építési kockázatok valószínűsége nukleáris létesítmények környezetében.

Felhasznált irodalom

- BAECHER, Gregory – CHRISTIAN, John (2003): *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. [H. n.]: John Wiley & Sons Ltd.
- BASSETT, Richard (2011): *A Guide to Field Instrumentation in Geotechnics. Principles, Installation and Reading*. London: CRC Press. Online: <https://doi.org/10.1201/b15432>
- BRIAUD, Jean Louis (2022) : Failure has Consequences. *Geostrata Magazine*, 24(1), 18–20. Online: <https://doi.org/10.1061/geosek.0000047>
- Encardio-Rite, Application Note-Online Monitoring of Nuclear Power Plant* [é. n.]. Online: www.encardio.com/nuclear-power-plant
- ÉRCES Gergő – AMBRUSZ József (2022): Természeti csapásoknak ellenálló épületek. *Polgári Védelmi Szemle*, 14(ksz.), 116–131.
- ÉRCES, Gergő et al. (2023): Robustness of the Fire Safety Network in Buildings. In BODNÁR, László – HEIZLER, György (szerk.): *3rd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference: Book of Extended Abstracts*. Budapest: Ludovika University of Public Service, 68–72.
- FABER, Havbro (2008): Risk and Safety. In *Civil, Environmental And Geomatic Engineering, Lecture notes, Swiss Federal Institute of Technology*. ETH Zurich.
- HORVÁTH, Tamás (2011): Geotechnical Investigation and Risk Assessment at Budapest Metro Line 4. In *1st International Congress on Tunnels and Underground Structures in South – East Europe „Using Underground Space” Croatia*. [H. n.]: [k. n.].
- International Atomic Energy Agency (1998): *Guidelines for Integrated Risk Assessment and Management In Large Industrial Areas, Inter-Agency programme on the Assessment and Management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems (IAEA-TECDOC-994)*. [H. n.]: [k. n.].
- International Atomic Energy Agency (2005): *Assessment of Defence in Depth for Nuclear Power Plants*. Safety Reports Series No. 46. Vienna: IAEA.
- KÁPOLNAINÉ NAGY-GÖDE Fruzsina – TÖRÖK Ákos (2022): Types of Landslides along Lake Balaton Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 66(2), 411–420. Online: <https://doi.org/10.3311/PPci.18615>
- KÁROLYI György (2023): *A nukleáris biztonsági követelmények építészeti és építőmérnöki vonatkozásai*. Budapest: BME, Web lecture.
- KÖHLER, Jochen (2009): *Risk and Safety in Engineering*. Web lectures, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich.

- LEROUEIL, Serge – LOCAT, Jacques (1998): Slope Movements – Geotechnical Characterization, Risk Assessment and Mitigation. In *Proceedings of the Sixth Danube- European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Porec, Croatia, 1998. május 25–29. 95–106. Online: <https://doi.org/10.1201/9781003078173-6>
- Országos Atomenergia Hivatal [é. n.]: *Nukleáris létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok, ionizáló sugárzást létrehozó berendezések védetség felügyelete*. Online: www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_3
- RAUL, Rebek (2017): Iron-Chrome-Aluminum Alloy Cladding for Increasing Safety in Nuclear Power Plants. *EPJ Nuclear Sciences Technologies*, 3(34). Online: <https://doi.org/10.1051/epjn/2017029>
- SEBESTYÉN Zoltán – TÓTH Tamás (2014): A Revised Interpretation of Risk in Project Management. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 22(2), 119–128. Online: <https://doi.org/10.3311/PPso.7740>
- WAN, Wilfred (2019): *Nuclear Risk Reduction: A Framework for Analysis*. Geneva: UNIDIR. Online: <https://doi.org/10.37559/WMD/19/NRR01>
- WHITMAN, Robert (1984): Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(2), 145–188. Online: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1984\)110:2\(143\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1984)110:2(143))