A rendezvény támogatói:

MECSEKÉRC Zrt.

KÖMÉRŐ

GEO-FABER ZRT

ROTAQUA

KÖZGÉP

Geo-Log

Golder Associates

A NEMZETI RADIOAKTÍVHULLADÉK-TÁROLÓ (NRHT) ELSŐ KÉT KAMRÁJA KIALAKÍTÁSÁNAK FÖLDTUDOMÁNYI, BÁNYÁSZATI ÉS TECHNOLÓGIAI EREDMÉNYEI

A NEMZETI RADIOAKTÍVHULLADÉK-TÁROLÓ (NRHT) ELSŐ KÉT KAMRÁJA KIALAKÍTÁSÁNAK FÖLDTUDOMÁNYI, BÁNYÁSZATI ÉS TECHNOLÓGIAI EREDMÉNYEI

MTA Pécsi Akadémiai Bizottság
X. sz. Föld- és Környezettudományok Szakbizottság
Földtani és Bányászati Munkabizottság
előadói napja

2012. június 13., Pécs

A Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) első két kamrája kialakításának földtudományi, bányászati és technológiai eredményei

MTA Pécsi Akadémiai Bizottság X. sz. Föld- és Környezettudományok Szakbizottság
Földtani és Bányászati Munkabizottság
és társrendezői
által szervezett előadói nap kiadványa

Társrendezők:

MECSEKÉRC Környezetvédelmi Zrt.
Magyarhoni Földtani Társulat (MFT)
Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Mecseki Szervezete (OMBKE)
Magyar Geofizikusok Egyesülete Mecseki Csoportja (MGE)
MTA PAB VI. sz. Műszaki Tudományok Szakbizottsága Környezetmérnöki Munkabizottsága

Helyszín:

MTA Pécsi Akadémiai Bizottság székháza
(7624 Pécs III. Jurisics M. u. 44. I. emeleti nagy előadó)

Az előadói nap támogatói:

GEO-FABER Műszaki Vállalkozó Zrt.
7633 Pécs, Esztergár L. út 19.

Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft.
1142 Budapest, Rákospatak u. 79/b.
www.geo-log.hu

Golder Associates (Magyarország) Környezetvédelmi
és Geotechnikai Zrt.
1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.
www.golder.hu

Kőmérő Kft.
7633 Pécs, Esztergár L. út 19.
www.komero.hu

KÖZGÉP Építő- és Fémszerkezetgyártó Zrt.
1239 Budapest, Haraszti út 44.
www.kozgep.hu

MECSEKÉRC Környezetvédelmi Zrt.
7633 Pécs, Esztergár L. út 19.
www.mecsekerc.hu

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft.
2040 Budaörs, Puskás Tivadar u. 11.
www.rhk.hu

Rotaqua Geológiai-, Bányászati-, Kutató-, Mélyfúró Kft.
7673 Kővágószőlős, Hrsz.: 0222/22
www.rotaqua.com

Szerkesztette:
Sámson Margit, Hámos Gábor

Borítóterv:
Dályay Virág

Címlapfotó:
András Eduárd

Nyomda:
Molnár Nyomda és Kiadó Kft.
(7622 Pécs, Légszeszgyár u. 28.)

A kötetben közölt cikkekért a szerzők vállalják a szakmai felelősséget.

„A Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) első két kamrája kialakításának földtudományi, bányászati és technológiai eredményei” című előadói nap programja

Sorszám	Időpont	Szerzők	előadás
A	***$8^{00} – 9^{30}$***	***Regisztráció, poszterek elhelyezése***	
	$9^{30} – 9^{35}$	*PAB Földtani és Bányászati Munkabizottság Elnöke*	*Megnyitó*
1	$9^{35} – 9^{55}$	Kereki Ferenc (RHK Kft.)	A radioaktív hulladékok elhelyezésének helyzete Magyarországon
2	$9^{55} – 10^{10}$	Nagy Noémi, Kónya József (Debreceni Egyetem)	Gázfejlődés lehetőségei a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékokból a tárolására használt szénacél hordókban és konténerekben
3	$10^{10} – 10^{25}$	Czakó Sándor, Kelemen István (CK-Trikolor Kft.)	Párhuzamosan folyó üzemeltetés és kivitelezés egymásra gyakorolt hatásának biztonsági vizsgálata és kockázatainak elemzése
4	$10^{25} – 10^{40}$	Dankó Gyula, Benedek Kálmán, Bőthi Zoltán, Mező Gyula, Takács Tamás (Golder Zrt.)	A bátaapáti NRHT üzemeltetési engedélykérelmét megalapozó biztonsági értékelés földtani vonatkozásai
5	$10^{40} – 10^{55}$	Balla Zoltán (szakértő)	3D földtani modell építése az NRHT gránittestjére
	$10^{55} – 11^{00}$	Török Ákos (BMGE)	Török Ákos, Görög Péter (szerk.): Kőzetmechanika és kőzetkörnyezet szerepe a radioaktív hulladéklerakók kialakításánál - a Terc könyvkiadónál megjelenő könyv ismertetése.
	$11^{00} – 11^{20}$	*Kérdések, hozzászólások*	
B	***$11^{20} – 11^{40}$***	***Kávészünet***	
6	$11^{40} – 11^{55}$	Szebényi Géza, Török Patrik, András Eduárd (MECSEKÉRC Zrt.), Balla Zoltán (szakértő), Maros Gyula (MFGI)	Az NRHT első kamramezejének földtani jellemzése
7	$11^{55} – 12^{10}$	Csicsák József, Ország János, Csurgó Gergely (Mecsekérc Zrt.), Rotárné Szalkai Ágnes, Szőcs Teodóra (MFGI), Korpai Ferenc (Golder Zrt.)	Bátaapáti vízföldtani monitoring mérések eredményei
8	$12^{10} – 12^{25}$	Törös Endre, Prónay Zsolt, Tildy Péter (MFGI)	A szeizmikus mérési eredmények szerepe és helye a Bátaapáti tárolókamrák tervezésében és kialakításában
9	$12^{25} – 12^{40}$	Hegedűs Sándor, Szongoth Gábor (Geo-Log Kft.)	Mélyfúrás-geofizikai szelvények korrelációja a kamrafúrásokban
10	$12^{40} – 12^{55}$	Somodi Gábor, Rátkai Orsolya, Kovács László (Kőmérő Kft.)	A tárolókamrák geotechnikai viszonyainak előrejelzése és a megvalósulás
	$12^{55} – 13^{15}$	*Kérdések, hozzászólások*	
C	***$13^{15} – 14^{15}$***	***Ebédszünet***	
11	$14^{15} – 14^{30}$	Berta József, Friedrich Zsolt, András Eduárd (MECSEKÉRC Zrt.), Molnár Péter (RHK Kft.), Kovács László (Kőmérő Kft.)	A Bátaapáti 1-2 tárolókamra térkiképzési munkái
12	$14^{30} – 14^{45}$	Andrássy Máriusz, Korpai Ferenc (Golder Zrt.), Molnár Péter (RHK Kft.)	Az EDZ hidraulikai vizsgálata a Bátaapáti NRHT vágatainak környezetében
13	$14^{45} – 15^{00}$	Szűcs István (Geopárd Kft.), Bakai János (Geopolita Kft.)	A Bátaapáti 1-2 tárolókamra környezetének szeizmoakusztikus monitoring rendszere
14	$15^{00} – 15^{15}$	Kovács László (Kőmérő Kft.)	A tárolókamrák környezetének primer és szekunder kőzetfeszültség-viszonyai
15	$15^{15} – 15^{30}$	Deák Ferenc, Kovács László, Mészáros Eszter (Kőmérő Kft.)	A kamraépítés kapcsán végzett extenzométeres mérések eredményeinek értékelése
	$15^{30} – 15^{45}$	*Kérdések, hozzászólások*	
D	***$15^{45} – 16^{05}$***	***Kávészünet***	
16	$16^{05} – 16^{15}$	Fedor Ferenc, Ács Péter (Geochem Kft.)	A Bátaapáti NRHT építése során felhordott lövellt beton pórusszerkezet és permeabilitás vizsgálata
17	$16^{15} – 16^{30}$	Frigyesi Ferenc, Nagy Gábor, Miskolczi Rita (MECSEKÉRC Zrt.)	Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében (építési, gépészeti, villamos munkák)
18	$16^{30} – 16^{40}$	Peterka László, Peresztegi Csilla (Közgép Zrt.)	Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében (építési munkák)
19	$16^{40} – 16^{50}$	Szilassy László (Közgép Zrt.)	Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében (gépészeti munkák)
20	$16^{50} – 17^{00}$	Peterka László, Szilassy László, Barosi Mihály (Közgép Zrt.)	Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében (villamos munkák)
	$17^{00} – 17^{15}$	*Kérdések, hozzászólások*	
	$17^{15} – 17^{25}$	***Zárszó***	
	$17^{25} – 18^{00}$	***Poszter szekció***	

„A Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) első két kamrája kialakításának földtudományi, bányászati és technológiai eredményei”
című előadói nap poszterei

Szerzők	Poszter
András Eduárd, Török Patrik, Szebényi Géza (MECSEKÉRC Zrt.)	Magfúrások adatain alapuló vágatprognózisok szerepe a bátaapáti NRHT létesítése során
Buocz Ildikó, Görög Péter, Rozgonyi-Boissinot Nikoletta, Török Ákos (BMGE)	Kőzettestek közvetlen nyírószilárdsági vizsgálata a Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló kőzeteinek példáján bemutatva
Deák Ferenc, Kovács László (Kőmérő Kft.), Vásárhelyi Balázs (Vásárhelyi és Társa Bt.)	Különböző kőzettest-osztályozási módszerek összehasonlítása a Bátaapáti radioaktívhulladék-tároló esetében (angol nyelvű)
Gyalog László, Füri Judit, Maros Gyula (MFGI)	A kamrák földtani dokumentálása (NRHT, Bátaapáti)
Kovács László, Deák Ferenc, Somodi Gábor (Kőmérő Kft.)	3D-s optikai kőzetfelület-leképező rendszerek földtudományi alkalmazási lehetőségei
Mónus Péter, Tóth László (MTA CSFK GGI)	Mikroszeizmikus monitorozás és a földrengésveszélyeztetettség meghatározása a bátaapáti tároló környezetében, 2002-ben
Somodi Gábor, Kovács László, Máté Kornél (Kőmérő Kft.)	A Bátaapáti NRHT tárolókamráiban telepített kőzetmechanikai-geotechnikai megfigyelő rendszer elemei
Szebényi Géza, Török Patrik, András Eduárd (MECSEKÉRC Zrt.), Kovács László (Kőmérő Kft.)	Az adatgyűjtés-értékelés rendszere a Bátaapáti 1-2 tárolókamra tervezésének és kialakításának folyamatában

ELŐADÁSOK KIVONATAI

A radioaktív hulladékok elhelyezésének helyzete Magyarországon

KEREKI FERENC

RHK Kft., 2040 Budaörs, Puskás T. u. 11. kereki.ferenc@rhk.hu

Abstract

Public Limited Company for Radioactive Waste Management (PURAM) is responsible for the final disposal of radioactive waste, the interim storage of spent nuclear fuel, for the back-end of the fuel cycle and for the decommissioning of nuclear facilities.

Currently there are several institutions in which radioactive materials are used in the field of medicine, agriculture, industry, education and research and due to this fact radioactive waste is produced. These are the so called small scale producers. The generation rate of this kind of waste in Hungary is 10-15 m^3 annually. The L/ILW generated by the small scale producers is received and disposed in our Radioactive Waste Treatment and Disposal Facility near the village of Püspökszilágy. It is approximately 40 km North-East from Budapest. Currently a capacity increasing and safety upgrading program is carried out in the facility.

Due to the fact that the Püspökszilágy Radioactive Waste Treatment and Disposal Facility could not be extended so that it could receive the waste generated in the NPP, a new repository was needed for the NPP origin L/ILW. After collecting all the necessary licenses of the National Radioactive Waste Repository at Bátaapáti the surface part of the facility had been finished by 2008. The underground part will be finalized this year and after the operational license is issued for the final disposal, the first packages will be disposed of by the end of 2012.

The spent nuclear fuel is stored in a Modular Vault type Dry Storage Facility near the NPP site in Paks. As of January 2012, 7027 spent fuel assemblies were stored and the facility can be extended according to the needs of the NPP.

Concerning the back-end of the fuel cycle we do not have a high level approved strategy. We use the direct disposal option as a reference scenario in our national program. This serves as a basis for the cost calculations.

A research program was started near the village of Boda in order to find a suitable site for hosting a deep geological repository for the high level radioactive wastes and spent nuclear fuel. This claystone formation was found to be potentially suitable for this purpose. The main aim of the investigations is to designate the location of an underground research laboratory, which can be a part of a future repository.

Kulcsszavak

radioaktívhulladék-tároló, kiégett fűtőelem, radioaktívhulladék-kezelés, RHK Kft.

BEVEZETÉS

A hazánkban keletkező radioaktív hulladékok végleges elhelyezését, a kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolását és a nukleáris üzemanyag-ciklus lezárását, valamint a nukleáris létesítmények leszerelését jogszabályi felhatalmazás alapján a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK Kft.) végzi.

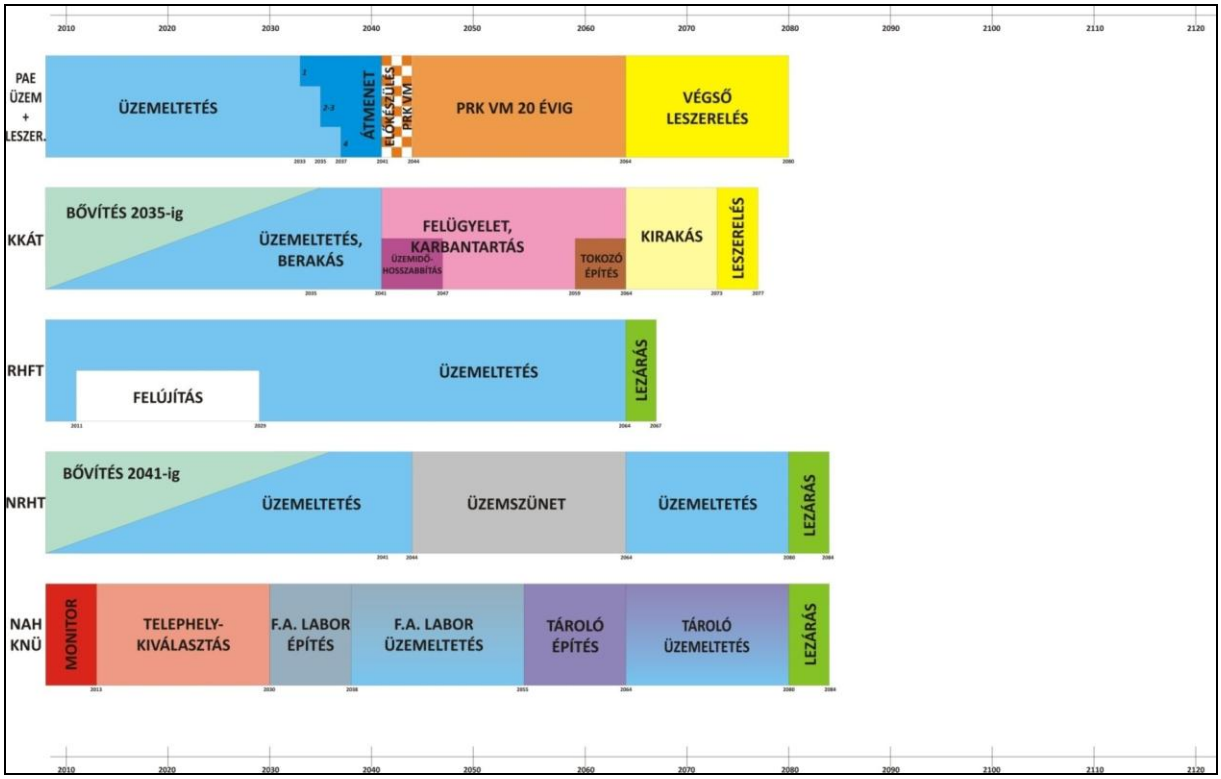
Az atomtörvény 62. §-ának (1) bekezdése szerint a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (továbbiakban: KNPA vagy Alap) elkülönített állami pénzalapként finanszírozza a feladatok végrehajtását. Az Alappal az Országos Atomenergia Hivatalt (továbbiakban: OAH) felügyelő miniszter rendelkezik, az OAH az Alap kezelője.

A radioaktív hulladékok elhelyezésével és a kiégett nukleáris üzemanyagok kezelésével és elhelyezésével kapcsolatos hosszú távú elképzelések a közép és hosszú távú tervekben jelennek meg, amelyek a radioaktív hulladékokra vonatkozó- a kor technikai színvonalának megfelelő kezelést, elhelyezést elfogadó – programokhoz kapcsolódnak.

2010-ben került felülvizsgálatra a radioaktív hulladékok és a kiégett üzemanyag kezelésével és elhelyezésével kapcsolatos tevékenység és készült el a „Megalapozás a hazai radioaktív hulladékok és kiégett fűtőelemek kezelésének és elhelyezésének új programjához ” című dokumentum, amelyben négy különféle megoldás elemzése után került kiválasztásra a közép- és hosszú távú tervek alapjaként az a verzió, amit az 1. ábra „Nr. 3. Hazai közvetlen elhelyezés, rövid leszerelés (PRK VM 20 év)” mutat be és amelynek leglényegesebb kiinduló megállapításai:

- az atomerőmű üzemideje húsz évvel meghosszabbításra kerül,
- a leszerelés a primerkör 20 éves védett megőrzése után kezdődik,
- a kiégett fűtőelemek feldolgozás nélkül, a nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú radioaktív hulladékkal együtt itthon kerülnek mély geológiai tárolóba.

A táblázatban az erőmű és az egyes tárolók működésének időbeli ütemezését és keresztkapcsolataikat is leolvashatjuk. A Paksi Atomerőmű leszerelése 2080-ban fejeződik be, az NRHT és a nagy aktivitású radioaktívhulladék-tároló lezárása 2084-ben esedékes.



Jelmagyarázat: NAH: Nagy Aktivitású Hulladék, KNÜ: Kiégett Nukleáris Üzemanyag
1. ábra: Hazai közvetlen elhelyezés, rövid leszerelés (PRK VM 20 év)

1. TÁROLT HULLADÉKOK

Az országban csak a Püspökszilágyban üzemelő Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (továbbiakban RHFT) létesítményben van véglegesen elhelyezett radioaktív hulladék a nem atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok részére.

Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (továbbiakban NRHT) felszíni létesítményeiben az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású, szilárd halmazállapotú radioaktív hulladékok átvételével a felszín alatti tárolást készítik elő a technológiai rendszerek, a sugár- és környezetellenőrző rendszerek üzembe vételével.

A paksi atomerőmű területén átmenetileg tárolnak kis, közepes és nagy aktivitású hulladékokat, továbbá kiégett fűtőelemeket. Az energiatermelés során elhasznált üzemanyag-kazetták minimum 3 évre a pihentető medencékbe, majd ezt követően a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába (továbbiakban KKÁT) kerülnek 50 éves átmeneti tárolásra.

Az országban ezen kívül az izotóp- és sugárforrás alkalmazók létesítményeiben is tárolnak elhasznált sugárforrásokat ideiglenesen.

Véglegesen, előkészítő jelleggel, vagy ideiglenesen elhelyezett radioaktív hulladékok, valamint a kiégett üzemanyag mennyiségét és a tároló létesítmények kapacitását mutatja be a 1. táblázat a 2012. január 1-jei állapotnak megfelelően.

1. táblázat – Intézmények, létesítmények, tárolási kapacitások és anyagmennyiségek áttekintése (2012. január 1.)

HELYSZÍN	INTÉZMÉNY, LÉTESÍTMÉNY	KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ HULLADÉK				NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK		KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG			
		Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség		Tárolási kapacitás	Elfoglalt tárolási kapacitás	Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség	
		bruttó m^3	db 200 l-es hordó	bruttó m^3	db 200 l-es hordó	m^3	m^3	db	tU	db	tU
PÜSPÖKSZILÁGY, KISNÉMEDI	RHFT (szilárd hulladék)	5040	---	5 040	---	---	---	---	---	---	---
PAKS	PA Zrt. telephely (szilárd hulladék)	---	12 741	---	8 770	222,8	96,5	---	---	---	---
	PA Zrt. telephely (folyékony hulladék)	10 020**	---	7 401	---	---	---	---	---	---	---
	PA Zrt. pihentető medencék	---	---	---	---	---	---	2 600	308,4*	1 714	203,3*
	KKÁT	---	---	---	---	---	---	7 200	854,1*	7 027	820,3
BÁTAAPÁTI	NRHT (szilárd hulladék)	épül	épül	…	2 400	---	---	---	---	---	---

* A kiégett üzemanyag nehézfém egyenértékét (tájékoztató adat) kazettánként 118,62 kg U nehézfém-mennyiséggel számolva
** Korábban a tartályok névleges kapacitását adták meg

2. KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VÉGLEGES ELHELYEZÉSE

2.1. Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése az RHFT-ben

A radioaktív hulladékok az izotóptechnika hazai alkalmazásával egyidejűleg jelentek meg. Ezeket kezdetben az alkalmazásban élen járó MTA Izotóp Intézet területén tárolták. 1960-ra készült el a solymári kísérleti izotóptemető, így a radioaktív hulladékok országos összegyűjtése 1960-ban kezdődhetett meg. A kísérleti tároló kapacitása hamar kimerült, így a létesítést követő tíz év elteltével, egy új radioaktív hulladéktároló (az RHFT) létesítése vált szükségessé.

Az új létesítmény Püspökszilágyon készült el 1976. december 22-én 3 540 m^3 kapacitással. A tárolót műszakilag a földfelszín közelében épített medencés, illetve csőkutas kialakítással valósították meg.

Természetes elképzelésként adódott a paksi atomerőmű üzembelépésekor, hogy az atomerőmű üzemeltetése és lebontása következtében keletkező hulladékot Püspökszilágyon lenne célszerű véglegesen elhelyezni, hiszen itt működött az ország egyetlen kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére kijelölt létesítménye. Az atomerőművi hulladékok mennyisége azonban lényegesen meghaladta az RHFT kapacitását, így a beszállítások közötti időszakban megtörtént a tárolókapacitás kibővítése. A létesítmény bővített tárolókapacitása összesen 5 040 m^3.

További jelentős mérföldkőnek tekinthető az RHFT vonatkozásában, hogy a létesítmény üzemeltetését és engedélyesi feladatait átvette 1998-ban az RHK Kft jogelődje. A munka a hulladéktároló biztonságának teljes körű értékelésével kezdődött. A biztonsági értékelés alapján határozták meg azokat a tennivalókat, amik a létesítmény hosszú távú biztonságának biztosításához szükségesek. Több, biztonságnövelő program is elkészült azóta, amelyek közül kiemelt szerepet kapott a 2005 végén jóváhagyott, meghatározva a telep további rekonstrukciós feladatait. A program első fázisának fő feladata négy cella demonstrációs célú kirakása, a kirakott hulladék átválogatása volt, beleértve a szükséges infrastruktúra kialakítását és a munka engedélyeztetését is. A négy medence hulladékainak visszatermelésével, feldolgozásával, minősítésével és újra elhelyezésével megvalósított demonstrációs program 2010-ben sikeresen lezárult, beleértve a program folytatásához szükséges előkészítő tevékenységek egy részét is (kamrafeltáró munkák összegző értékelése, a további munkákat megalapozó biztonsági értékelés, hatósági engedély megszerzése a program folytatásához). A vissza nem helyezett hulladékok pillanatnyilag a központi átmeneti hulladéktároló épületben találhatók. A cellabontási munkák keretében elvégzett lépések eredményeként jelentős – 76 m^3 bruttó – tároló hely felszabadítás vált lehetővé.

A jövő szempontjából a folyamatos üzemeltetés a cél. Az RHFT a továbbiakban kizárólag a nem atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezését szolgálja. A hosszú élettartamú hulladékok tárolását csak átmenetileg oldja meg. A kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezésére vonatkozó feladat ellátása szabad tárolási kapacitás nyerésével válik lehetségessé a jövőben, ezért ez kiemelt célnak minősül így folytatni kell a tárolómedencéken belüli térfogat-felszabadítás gyakorlatát jogi, műszaki, gazdasági és lakossági elfogadási szempontokat is figyelembe véve. Így kell lehetővé tenni olyan mértékű szabad tárolási kapacitás kialakítását, mely hosszú távon megoldja a hazai izotóp-felhasználók radioaktív hulladékainak a telephelyen történő fogadását.

2.2. Az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezése a Bátaapáti NRHT-ban

2.2.1. Előzmények

Miután a püspökszilágyi létesítmény oly mértékű bővítése, ami az atomerőmű teljes igényét kielégítené lehetetlen, 1993-tól útjára indult a Tárcaközi Célprojekt (később Nemzeti Projekt), melynek célkitűzése az erőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezésének megoldása lett. Ennek keretében – a környezetben élő lakosság véleményét is figyelembe véve – megkezdődött a telephely-kiválasztás előkészítése.

1996-ban a földtani, műszaki biztonsági és gazdasági vizsgálatok záródokumentuma Üveghuta térségében javasolt további vizsgálatokat a felszín alatti, gránitban történő elhelyezésre, melyek 1997-ben kezdődtek meg. A földtani kutatásokról zárójelentés készült 2003. év végén, melynek fő megállapítása szerint „A Bátaapáti (Üveghuta) telephely a rendeletben megfogalmazott valamennyi követelményt teljesíti, így földtanilag alkalmas kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére." Ezt a dokumentumot az illetékes földtani hatóság, a Magyar Geológiai Szolgálat Dél-Dunántúli Területi Hivatala véleményezte és határozattal elfogadta.

A 2004-2007 közötti időszakra készült föld alatti kutatási terv célkitűzése a tárolót befogadó kőzettérfogat kijelölésére irányult. A föld alatti kutatási munkák 2005 februárjában a lejtaknák mélyítésével megkezdődtek.

A felszíni telephelyi létesítmények tekintetében a munkák zöme 2007-2008-ra koncentrálódott. Ennek keretében a központi és a technológiai épület 2008 közepén elkészült. A felszíni létesítmények hivatalos átadása 2008. október 6-án, az első hulladékszállítás a technológiai épületbe pedig 2008. december 2-án valósult meg.

A felszín alatti létesítmények tekintetében 2009. év végére elkészültek a lejtősaknák a hozzátartozó összekötő vágatokkal és technológiai vágatokkal együtt. A tárolókamrák térségét körbevevő un. „Nagyhurok" vágatai 2010 elején készültek el. A bányászati tevékenységekkel együtt és azokkal párhuzamosan folytatódtak a felszín alatti mérések és elkészültek a vonatkozó jelentések.

A 2011. évben befejeződtek a Nyugati-lejtősakna nagy teherbírású útburkolatának építési munkái, továbbá elkészültek a Nyugati-alapvágat, a Tárolói szállítóvágat és a zsompok útburkolatai is. Megépítésre került a nyugati portálépület, amely megteremtette a kapcsolódást a felszín alatti technológiai tevékenységek felszíni zárásához. A térkiképzési tevékenység keretében augusztusra az I-K1 jelű tároló kamra majd szeptemberre az I-K2 jelű tároló kamra is kialakításra került.

Az RHK Kft. már korábban megkezdte az NRHT felszín alatti létesítményeire is kiterjedő üzembe helyezési engedélyezési eljárásának előkészítését. Folyamatban van az üzembe helyezést megelőző biztonsági értékelés (ÜMBJ-2) elfogadása. Ez a dokumentum az első tárolókamra (I-K1) üzembevételére vonatkozik.

A tároló alapvető rendeltetése az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése, beleértve az atomerőmű lebontásából származó hulladékokat is. A létesítmény további tervezését, méretezését, megvalósításának és üzemeltetésének időbeli ütemezését hozzá kell igazítani a paksi atomerőmű követelményeihez és figyelembe kell venni tervezési szinten a bővíthetőséget is.

A közeljövő feladatai között szerepel, hogy 2012 végére üzembe kell helyezni a Bátaapátiban létesülő NRHT felszín alatti tárolóterének első tárolókamráját. A felszín alatti tárolóba első időszakban az ún. „történelmi" hulladékokat tartalmazó hordók kerülnek konténeres formában elhelyezésre (a

történelmi elnevezés a hulladékok előéletének nem teljes körű ismeretére vonatkozik, emiatt elengedhetetlen a hulladékos hordók konténerben való elhelyezése, és betonnal való kiöntése). Ezért meg kell oldani a vasbeton konténerek térkitöltő betonnal való feltöltését az ehhez szükséges eszközök beszerzésével és üzembe állításával. A hulladékos hordók tartalmának előírt véletlenszerű ellenőrzéséhez – az indokolatlan többlet hulladékkal járó, felbontással való vizsgálat helyett – roncsolásmentes (pl. radiográfiai) vizsgáló módszer bevezetését tervezzük.

Az első tárolókamra üzembe vételével párhuzamosan elindul az NRHT létesítése III. ütemének megalapozása: mindez egy olyan új tárolókoncepció és elhelyezési rendszer kidolgozását és létesítési engedélyeztetését jelenti, amely lehetővé teszi minél több tárolótér kialakítását, valamint a tárolókamrák minél hatékonyabb helykihasználását a rendelkezésre álló térrészben. A PA Zrt. és az RHK Kft. elkezdett egy közös munkát, mely – a jelenlegi vasbeton konténeres elhelyezés helyett – egy új típusú hulladékcsomagnak (kompakt fémkonténer) a tárolókamrákban kialakított vasbeton medencében történő elhelyezését irányozta elő. A projekt első lépéseként egy döntés előkészítő tanulmány készül, mely megvizsgálja, hogy az új hulladék elhelyezési rendszert figyelembe véve az áttérés milyen ütemben, milyen műszaki koncepció (kamrakialakítás, geometria, mérnöki gátrendszer, logisztika) mentén valósulhat meg.

3. A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG ÁTMENETI TÁROLÁSA

3.1. Előzmények

A nukleáris üzemanyagciklus bármely változatát figyelembe véve a ciklus elemeként figyelembe kell venni a kiégett kazetták néhány évtizednyi átmeneti tárolását, ami lehetővé teszi a kiégett kazetták további kezelését, mivel az idő múlásával a kiégett kazetták remanens hőteljesítménye és sugárzása megfelelő mértékben csökken.

3.1.1. Az erőművi kiégett üzemanyag átmeneti tárolása

Magyarországon a paksi atomerőmű üzembe helyezését megelőzően is képződött kiégett nukleáris üzemanyag egyrészt a KFKI AEKI kutatóreaktorában1959 óta, másrészt a BME NTI oktatóreaktorában 1971 óta. Mennyiségi és minőségi változást hozott a paksi atomerőmű üzembe helyezése, ahol 1982-ben megkezdődött az energetikai célú reaktorokban a nukleáris üzemanyag kötegek kiégetése.

A paksi atomerőmű Műszaki Tervének elfogadásakor érvényes előirányzat az volt, hogy az erőmű pihentető medencéiben tárolt kiégett üzemanyag-kazettákat 3 éves pihentetés után a Szovjetunió térítésmentesen visszafogadja és reprocesszálja úgy, hogy a feldolgozás minden végterméke a Szovjetunióban marad.

Az erőmű első blokkjának üzembe helyezését követően a visszaszállítási feltételeket a Szovjetunió többször módosította. A paksi atomerőmű a változó feltételeknek megfelelve 1989-1998 között összesen 2331 db kiégett üzemanyagköteget szállított vissza a Szovjetunióba (később Oroszországba).

A visszaszállítás első éveiben, az Európában, illetve a Szovjetunióban bekövetkezett politikai és gazdasági változások miatt felmerült, hogy a kiégett kazetták visszaszállításának gyakorlata az egyre szigorodó feltételek fenntartásával sem folytatható sokáig. Döntés született arról, hogy a Szovjetunióba történő kiégett üzemanyag visszaszállítás lehetőségének megtartása mellett valóságos hazai alternatívát kell előkészíteni. A KKÁT létesítésére a GEC Alsthom MVDS (Modular Vault Dry Storage: moduláris, aknás száraz tároló) típusát választották az erőmű szakemberei.

A megfelelő engedélyek birtokában a KKÁT üzembe helyezése 1997-ben megtörtént és kiégett üzemanyagkötegekkel történő feltöltése is megkezdődött.

Ezek után a KKÁT folyamatos üzemeltetése párhuzamosan zajlott a bővítéssel és ez a tevékenység ma is folyamatban van. 2008-ban került átadásra a KKÁT 12-16. modulja, ezzel a létesítményben elhelyezhető kiégett üzemanyag-kazetták száma 7200-ra bővült.

A KKÁT III. ütem 1. fázisa (17-20 kamrák) 2011 decemberében elkészült. Az építészeti átadás-átvételi bejárásra 2011. december 20-án került sor, majd 2012. február 23-án az OAH NBI kiadta a használatbavételi engedélyt. Az új létesítményrészre vonatkozó üzembe helyezési engedélykérelmet 2012. március 1-én került benyújtásra az OAH NBI-nek.

A KKAT alapvető célja a kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolásának biztosítása a létesítmény bővítésével és folyamatos üzemeltetésével. Gondoskodni kell a KKÁT olyan mértékű bővítéséről, ami az atomerőmű üzemidejének meghosszabbításához igazodik, beleértve a létesítmény engedélyeinek meghosszabbítását is. A kiégett üzemanyag-kazetták átmeneti tárolása az üzemanyagciklus elválaszthatatlan része, függetlenül attól, hogy az üzemanyagciklus zárásának melyik változata kerül kiválasztásra a jövőben.

3.1.2. A nem atomerőművi eredetű kiégett üzemanyag átmeneti tárolása és kezelése

A KFKI AEKI-ben üzemeltetett kutatóreaktorában (BKR) és a BME NTI oktatóreaktorában is keletkezik kiégett üzemanyag.

A KFKI AEKI adatszolgáltatása szerint a kiégett fűtőelemek első részletének Oroszországba történő visszaszállítása 2008 folyamán megvalósult. A BKR üzemidejének végéig képződő további kiégett fűtőelemek átmeneti tárolására az oroszországi visszaszállítás figyelembe vételével elegendő hely szabadult fel, illetve áll rendelkezésre.

A következő években az Oroszországba történt 2008-as kiszállítási tevékenység után a Magyarországon képződő, illetve az első visszaszállítás után még itt maradt kiégett üzemanyag-kazetták későbbi – várhatóan 2013-as – oroszországi kiszállítását, vagy ugyanezen kazetták hazai végleges elhelyezését a továbbiakban kell előkészíteni, illetve megvalósítani.

A BME NTI tekintetében ki kell dolgozni a kiégett üzemanyagkötegek épületből történő kiszállítási technológiáját. Célszerűnek látszik a reaktorból kiemelésre kerülő besugárzott üzemanyagkötegek oroszországi kiszállítása a KFKI AEKI kiégett fűtőelemeivel együtt. Ahhoz, hogy az átrakás következtében a zónából kikerülő besugárzott fűtőelemeket átmenetileg tárolni lehessen, szükség van az eljárás megtervezésére, engedélyeztetésére. A BME NTI besugárzott fűtőelemei így a továbbiakban együtt kezelhetők a KFKI AEKI kiégett fűtőelemeivel.

4. A NAGY AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG VÉGLEGES ELHELYEZÉSE

4.1. Előzmények

Magyarországon nagy aktivitású radioaktív hulladékok az 1960-as évektől kezdődően keletkeznek. Az ilyen típusú, intézményi eredetű hulladékokat korábban – ellenkező (tiltó) rendelkezések hiányában- Püspökszilágyra szállították, míg a kutató reaktor kiégett fűtőelemeit a KFKI AEKI területén tárolták és tárolják ma is.

A paksi atomerőmű üzembe helyezése új helyzetet teremtett, mivel az erőmű üzemeltetése és lebontása meghatározó módon hozzájárul a hazai nagy aktivitású radioaktív hulladékok és az országban keletkező kiégett üzemanyag mennyiségéhez.

A hazánkban rendelkezésre álló – erőművi és nem erőművi – kiégett nukleáris üzemanyaggal kapcsolatos előzményeket a 4. fejezetben találjuk.

Magyarországon a nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló kutatási program 1993 végén a Nemzeti Projekt kereteiben – a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) vizsgálatával – kezdődött, majd annak 1995 márciusában történő befejeződése után egy önálló kutatási program keretében folytatódott. Ennek középpontjában (1996-98 között) a BAF-ban létesített földalatti laboratóriumban végzett vizsgálatok álltak. Az uránbánya bezárására vonatkozó kormányzati döntés következtében a bányából megközelíthető földalatti laboratórium 1998 végén bezárásra került. A korabeli zárójelentés szerint nem merült fel olyan körülmény, amely a nagy aktivitású radioaktív hulladékok BAF-ban történő végleges elhelyezése ellen szólna.

A kialakult helyzetben az RHK Kft. újragondolta a nagy aktivitású hulladéktároló kialakítására irányuló tevékenységeket, és 2000-ben egy – az ország teljes területére kiterjedő – földtani pásztázó kutatást (screeninget) bonyolított le. A vizsgálati eredmények alapján továbbra is a Bodai Aleurolit Formáció bizonyult a nagy aktivitású hulladéktároló legígéretesebb befogadó kőzetének.

A fentiek alapján az RHK Kft. kutatási programot készített a magyarországi nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok elhelyezésére alkalmas telephely és egy új földalatti kutatólaboratórium helyszínének kijelölésére a Nyugat-Mecsekben. A programot az Alappal rendelkező miniszter 2003-ban elfogadta és a munkák ennek alapján megkezdődtek.

2004-ben készült el a kiégett atomerőművi és egyéb üzemanyag-kötegek, valamint a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére vonatkozó koncepcióterv (TS(R)/6/25). 2005-től kezdődően a pénzügyi erőforrások csökkenésével arányosan csökkent az elvégzett munkák mennyisége is. A rendelkezésre álló pénzügyi eszközök 2006-2010-ben már csak a környezeti monitoring, a meglévő infrastruktúra és az informatikai rendszer folyamatos üzemeltetését és néhány tanulmány elkészítését tették lehetővé.

2008-ban készült el „A BAF kutatás hosszú távú programját aktualizáló tartalmi, pénzügyi és ütemezési koncepció" (RHK-N-016/08 2008. december). Ezt a dokumentumot az RHK Kft. felkérésére a svájci NAGRA 2009-ben véleményezte. A koncepció megállapításai 2009-ben beépültek a „Megalapozás a hazai radioaktív hulladékok és kiégett fűtőelemek kezelésének és elhelyezésének új programjához" című dokumentumba. Ezzel egyidejűleg a koncepció megállapításainak további felülvizsgálatát a fentiekben jelzett dokumentum megalapozottan előirányozta. Ettől a felülvizsgálattól azt várjuk, hogy a telephely kiválasztásával kapcsolatban a vonatkozó biztonsági értékelés eredményeit figyelembe véve reálisabb kutatási program kerül kialakításra és így annak költségei csökkenhetnek. A NAGRA észrevételeket is figyelembe véve az RHK Kft. a jövőben – több ütemben – fogja a koncepcióterv felülvizsgálatát elvégezni, így az esetleges költségcsökkenés is – ennek megfelelően – csak a későbbiekben fog realizálódni.

2010-ben egy zárójelentés elkészítésével – bár az eredetileg kitűzött célját a pénzügyi korlátok miatt nem érte el – lezárult a 2003-ban indult kutatási program; az I. felszíni kutatási fázis – melynek célja általános helyszínminősítés és célterület rangsorolás volt – 1. szakasza zárult le. 2010-ben és 2011-ben ezen kívül már csak monitorozási tevékenységekre került sor.

Alapvető stratégiai cél, hogy a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésének minden problémáját Magyarországon kell megoldani, függetlenül attól, hogy a szakmai szempontból azonos kategóriába sorolható kiégett nukleáris üzemanyaggal mi történik, azaz milyen üzemanyagciklus-zárási stratégiát választ az ország.

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezése érdekében az ország területén stabil, mély geológiai formációban kialakítandó tároló létesítésére kell felkészülni. Az egységes nemzetközi álláspont szerint egy ilyen tároló felhasználható a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezésére, de alkalmas a kiégett üzemanyag reprocesszálási hulladékainak befogadására is. A referencia szcenárió az üzemanyag-ciklus lezárására a kiégett üzemanyag-kazetták közvetlen hazai elhelyezése.

Ezt erősítik azok a nemzetközileg is elfogadott elemzések, amelyek a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezésének, illetve újra feldolgozásának költségeit elemezve a közvetlen elhelyezést ma még gazdaságosabbnak tekintik.

Nyilvánvaló azonban, hogy az üzemanyagciklus-zárási stratégia kiválasztására vonatkozó tevékenységet nem lehet elhanyagolni, folyamatosan figyelni kell az üzemanyagciklus-zárási stratégia területén bekövetkező fejleményekre. A referencia szcenárió folyamatos ellenőrzése vezethet el annak esetleges alapvető revíziójához, támaszkodva a cikluszárási tevékenységekkel összefüggő – Magyarország számára is releváns – nemzetközi gyakorlat figyelembevételére.

A közeljövő feladatai közé tartozik, hogy az RHK Kft. 2012-ben megalapozza a BAF felszíni kutatás I. fázis 2. szakaszának megindítását. Ehhez szükséges a BAF eddigi kutatásai során az RHK Kft.-nél összegyűlt szakmai és kutatás módszertani adatok, értékelések és tapasztalatok teljességének vizsgálata, a program kereteinek rögzítése és ehhez illeszkedő feladatterv kidolgozása, továbbá az I. fázis 2. szakaszára földtani kutatási terv elkészítése.

Gázfejlődés a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékokban a tárolására használt szénacél hordókban és konténerekben

Gas production in the steel containers disposing nuclear waste of low and intermediate level

NAGY NOÉMI, KÓNYA JÓZSEF

Debreceni Egyetem, Kolloid- és Környezetkémiai Tanszék, Izotóplaboratórium, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.
nagy.noemi@science.unideb.hu, konya.jozsef@science.unideb.hu

Abstract

The gas evolution processes of nuclear waste of low and intermediate level is determined by the processes ad follows:

- *corrosion processes of metals*
- *microbiological degradation of organic matter*
- *radiolysis of water*
- *radon and helium as products the alpha decay of uranium and transuranium elements.*

In this presentation, the determining processes, corrosion and microbiological degradation will be discussed. The rate of gas production, the quantity of the gas, and the available quantities for gas formation will be estimated in a scenario for 100,000 years. Since the rate of corrosion and microbiological degradation strongly depends on pH, the change of the environmental pH is essential.

Kulcsszavak

gázfejlődés, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, fémkorrózió, mikrobiológiai degradáció

BEVEZETÉS

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló koncepciók közös sajátsága, hogy a tárolásra acél hordókat, ill. tartályokat, vasbeton vagy acél konténereket használnak. A hordók közti üregeket cementpéppel töltik ki. Az acélkonténerek használata esetén azokat beton, ill. cementezett környezett veszi körül, a velük érintkezésbe kerülő csurgalékvíz a teljes tárolót körülvevő, alapvetően szintén beton alapanyagú környezetből származik.

Víz/nedvesség jelenlétében a tárolóedényekből és a bennük elhelyezett hulladékból egyaránt fejlődhetnek gázok. Nagy nyomás esetén ezek károsíthatják a konténereket és a mérnöki gátakat, a geoszférába kiáramló gázok magukkal vihetnek radioaktív gázokat, illetve az oldat kinyomásával oldott radioaktív komponenseket. A gázfejlődés tehát potenciális szennyező forrás, illetve többlet sugárterhelést okozhat a bioszférában. A keletkező gyúlékony gázok további veszélyforrást jelenthetnek.

A radioaktív hulladékból cementezett környezetben, víz jelenlétében történő gázfejlődést alapvetően az alábbi folyamatok határozzák meg:

- fémek korróziós folyamatai
- mikrobiológiai degradációs folyamatok
- a víz radiolízise
- az urán és transzuránok alfa-bomlása révén keletkező hélium, radon.

Ez utóbbi két folyamat kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék esetén számottevő gázfejlődést nem okoz.

Dolgozatunkban a felsorolt folyamatok közül részletesebben a meghatározó jelentőséggel bíró korróziós és mikrobiológiai degradációs folyamatokkal foglalkozunk. Megbecsüljük a gázfejlődés sebességét, az összesen fejlődött gáz mennyiségét, illetve a különböző időpontokban még rendelkezésre álló acél mennyiségét egy alapforgatókönyvben megadott környezeti paraméterek esetén százezer év időtartamra. Mivel a gázfejlődési folyamatok közül a korróziós folyamatok a pH-tól erősen függenek, ezért a környezet pH-jának változása alapvető jelentőségű. Egy acélkonténerben elhelyezett négy, átlagos hulladék-összetételű, teljesen tele levő (200 l) hordót vizsgálunk.

1. A HULLADÉK ÖSSZETÉTELE ÉS A KELETKEZŐ GÁZOK

A Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású hulladék jellemzően az alábbi összetevőket tartalmazza: fém, műanyag, textil, fa, hőszigetelő anyagok, egyéb (gumi, papír, üveg). A tárolás során ezeket az anyagokat acél hordókban, illetve konténerekben helyezik el.

Gázfejlődés szempontjából a fémeket, ill. a szerves anyagokat kell figyelembe venni. A szerves anyagokon belül meg kell különböztetni a cellulóz-alapúakat (textil, fa, papír), illetve a szénhidrogén alapú műanyagokat. A nemfémes szervetlen anyagokból (hőszigetelő anyag és üveg) gáz nem fejlődik.

A gázfejlődést kiváltó kémiai és biológia folyamatokat alapvetően két tényező határozza meg: a tárolási környezet oxigénnel való ellátottsága, vagyis a kiindulási aerob körülmények, amelyek a hordók lezárása után elég gyorsan (kb. egy év múlva) anaerob jellegűre változnak. A másik fontos tényező az a folyamat, amelynek során a cementezett környezetre jellemző paraméterek (pH-ra és az oldott ionok koncentrációja) milyen ütemben veszik fel a földtani környezetre jellemző értékeket.

2. A FÉMEK KORRÓZIÓS FOLYAMATAI

Az acél tárolóedények és a hulladékban levő fémeszközök korróziója hidrogén gáz fejlődésével járó folyamat. Az acél korróziós folyamatait alapvetően a pH és a kloridkoncentráció, illetve a cementkő karbonátosodása határozza meg. A beton pórusvizére jellemző pH-n (≈12,5) az acélok a passzivitás tartományában vannak, így azok korróziója kismértékű [1]. Ha azonban a hulladék különböző fémeket tartalmaz, azok is korrodálódnak.

Az egyéb fémek közül ki kell emelni az alumíniumot és a cinket, amelyeket aerob környezetben oxidréteg véd a korróziótól. A védő oxidréteget azonban a cementezett környezetre jellemző lúgos pH-jú oldat lebonthatja, amely az alumínium, ill. cink (horgany) gyors feloldódásához, és ezzel párhuzamosan hidrogénfejlődéshez vezet [2,3].

A szerves anyagok lebomlásánál keletkező szerves savak és komplexképző anyagok ugyancsak növelhetik a korróziós folyamatok sebességét. A teljes fejlődő hidrogéngáz mennyiségére azonban ez nincs hatással, azt a jelenlevő fémek relatív mennyisége határozza meg.

3. MIKROBIOLÓGIAI DEGRADÁCIÓS FOLYAMATOK

A radioaktív hulladékban levő szerves anyagok a mikroorganizmusok számára táplálékot jelentenek, miközben felhasználják, le is bontják azokat kisebb molekulákra. A körülményektől függően a lebontási folyamat fő végtermékei a szén-dioxid (aerob környezet) vagy a metán (anaerob környezet). A szén-dioxid cementezett körülmények között nem jelenik meg gázként, mert a cement

pórusvizében oldott kalciumionokkal csapadékot képez. Ez a reakció hozzájárul a cement gyorsabb karbonátosodásához, a pH csökkenéséhez. Az anaerob környezet egyébként is csak a lezárást követően mintegy egy évig áll fent, ezután a metán képződése a meghatározó folyamat.

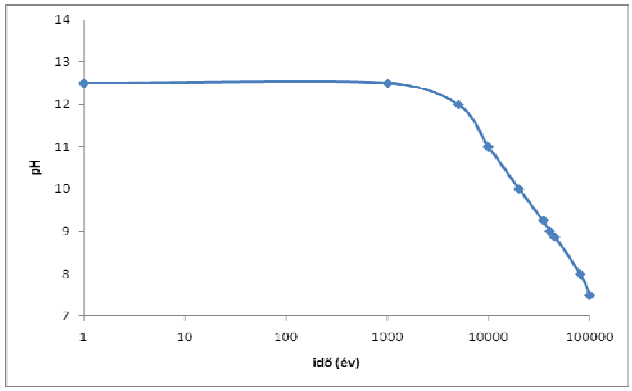
Kis mennyiségben keletkezhet kén-hidrogén, ammónia és nitrogén. A paksi hulladék vizsgálatánál csak nitrogént találtak, ami a levegőből kerül a hordókba [4]. A kén-hidrogén egyébként esetleges képződés esetén sem jelenik meg gázként, mert a szén-dioxidhoz hasonlóan a cementezett környezetben, ill. a csurgalékvízben levő ionokkal a szulfidcsapadékok válnak le.

A mikrobiológiai degradáció sebessége jelentősen eltér a szerves anyag minőségétől függően. A műanyag-alapú hulladékok lebomlási sebessége kb. két nagyságrenddel kisebb, mint a cellulóz alapú hulladékoké.

4. A GÁZFEJLŐDÉS ÜTEMÉNEK BECSLÉSE

Mint már láttuk, a gázfejlődési folyamatok szempontjából a fémkorróziónak és a mikrobiológiai degradációnak van jelentősége. Erre a két folyamatra az alábbi modellrendszert alkalmaztuk: négy átlagos összetételű hordót helyeztünk el egy acélkonténerben és erre számítottuk ki a fejlődő gáz mennyiségét. A fémek anyagi minőségéről sajnos nincs adat, ezért két szélső esetet vizsgáltunk meg: csak tiszta acélra, ill. tiszta alumíniumra esetet. Ez utóbbi esetben az acél a hordók és a konténer anyagából származik. A kapott adatokat átszámítottuk a 2010. évi paksi hulladékleltárban szereplő összes kis és közepes aktivitású hulladékra.

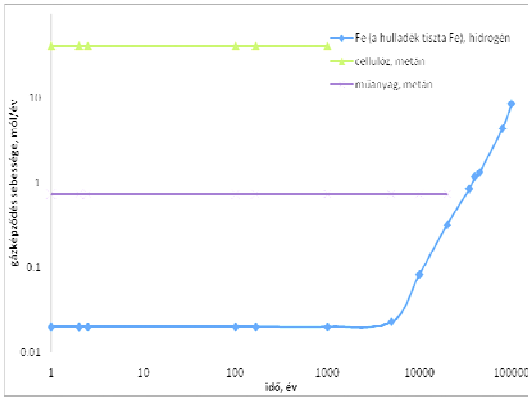
Mivel a gázfejlődési folyamatok közül a korróziós folyamatok a pH-tól erősen függenek, ezért a pH-változás alapvető jelentőségű. A becsléshez használt pH-változás – idő függvényt [5] az 1. ábrán mutatjuk be.



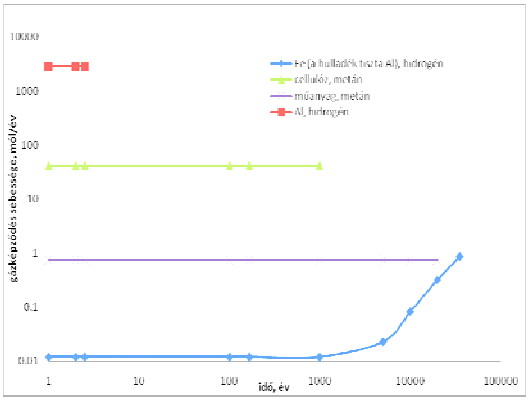
1. ábra: A pH várható változása az idő függvényében [5]

Mivel a hulladékban levő fém kémiai minőségéről semmiféle adattal nem rendelkezünk, két esetet vizsgáltunk meg: az egyik esetben feltételeztük, hogy a fém hulladék teljes egészében acél, a másik esetben pedig azt, hogy a fémhulladék teljes mértékben alumínium. Ilyenkor az acél a hordók és a konténer anyagából származik.

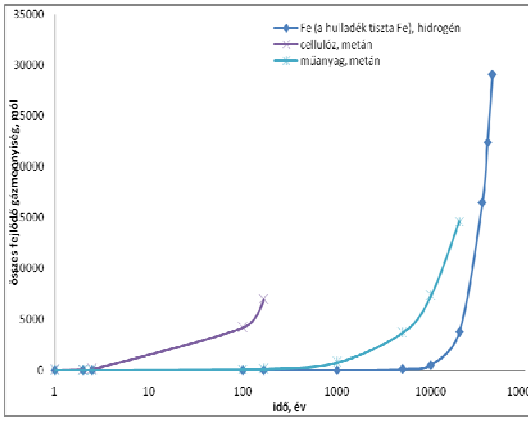
Az egyes időpontokban rendelkezésre álló anyagmennyiségeket a 4. ábrán mutatjuk be. Ezen az ábrán mindkét fenti esetre bemutatjuk a rendelkezésre álló vas és alumínium mennyiségét. Ha a hulladék mindkét fémet tartalmazza, és azok aránya ismert, akkor a két eset közötti interpolációval pontosabb becslést tehetünk. A gázfejlődés sebességét a két különböző esetre a 2. és a 3. ábra mutatja.



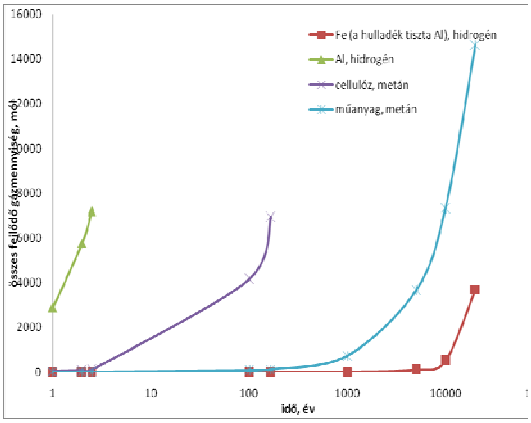
2. ábra: A gázfejlődés sebessége az idő függvényében négy átlagos hulladék-összetételű, teljesen megtöltött hordóban +acélkonténerben, ha a hulladékban levő fém teljesen acél. A pH-változás az 1. ábrának megfelelő



3. ábra: A gázfejlődés sebessége az idő függvényében négy átlagos hulladék-összetételű, teljesen megtöltött hordóban +acélkonténerben, ha a hulladékban levő fém teljesen alumínium. A pH-változás a 1. ábrának megfelelő.



4. ábra: Az egyes időintervallumokig képződött gáz integrális mennyisége a különböző gázképződési folyamatokra négy átlagos hulladék-összetételű, teljesen megtöltött hordóban +acélkonténerben, ha a hulladékban levő fém teljesen acél. A pH-változás az 1. ábrának megfelelő.



5. ábra: Az egyes időintervallumokig képződött gáz integrális mennyisége a különböző gázképződési folyamatokra négy átlagos hulladék-összetételű, teljesen megtöltött hordóban +acélkonténerben, ha a hulladékban levő fém teljesen alumínium. A pH-változás az 1. ábrának megfelelő.

A 2. és 3. ábráról látható, hogy a gázfejlődés sebessége a pH-tól csak a korróziós folyamatok esetén változik. Ez az alumínium esetén (3. ábra) nem jelenik meg, mivel az alumínium < 3 év alatt feloldódik, amikor még a pH állandó, 12,5.

A különböző időpontokban fejlődő teljes gázmennyiséget folyamatonként a két különböző fémet tartalmazó hulladék esetére a 4. és 5. ábrán mutatjuk be.

A 4. és 5. ábráról látható, hogy a teljes gázfejlődés kb. 22 000 mól metán/4 hordó és 11 000 vagy 30 000 mol hidrogén/4 hordó, attól függően, hogy a hulladék fémtartalma alumínium vagy acél. Ez megfelel 540 m^3 standard állapotú metánnak és 270 vagy 735 m^3 standard állapotú hidrogénnek a négy hordóra vonatkoztatva. A Paksi Atomerőmű Zrt. 2010 végén 8 541 hordó hulladékkal rendelkezett [6]. Ez 2 170 négyes hordócsomagnak felel meg. A teljes hulladékmennyiségből tehát 1 171 800 m^3 metán, 585 900 m^3, vagy 1 594 950 m^3 hidrogén fejlődhet a teljes lebomlásig. Ezek az adatok standard állapotra vonatkoznak. A tárolóban várható 18 bar nyomás esetén [5] 25ºC-on ez 65 100 m^3 metánnak, és 32 550 m^3, vagy 88 608 m^3 hidrogénnek felel meg.

KÖVETKEZTETÉSEK

A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladéktárolóban fellépő gázképződési folyamatokat az alábbiak szerint foglalhatjuk össze.

1. A tömörített és nem tömörített hulladék behordózása száraz állapotban, aerob körülmények között (levegőn) történik. Itt száraz körülmények között a korrózió lényeges gázfejlődést nem eredményez, mindössze a levegő nedvességtartalmával lejátszódó reakciók vezetnek kevés hidrogén fejlődéséhez. A szerves anyag hidrolízisét szintén a levegő nedvességtartalma, ill. a mikrobiológiai tevékenység indítja el. Amíg az aerob körülmények fennállnak, addig a hidrolízis során keletkező monomerek szén-dioxiddá alakulnak. A hordók lezárása után az oxigén egy éven belül elfogy. Az esetleges tömítetlenségből származó oxigén-beáramlás helyi jelenség. A lezárás után a hordók általában cementezett környezetbe kerülnek, ami az acél korróziósebességét és a mikrobiológiai aktivitást csökkenti. A 2. táblázat adatai az utolsó sort kivéve ilyen környezetre vonatkoznak. Cementezett környezetben a szén-dioxid kalcium-karbonát formájában kicsapódik, tehát nem jelenik meg gázként, viszont a folyamat a beton pórusvizének pH-ját csökkenti, ami kedvezőtlen.

2. Az oxigén elfogyásával az anaerob körülmények között metán-képződés veszi át a szerepet. A szerves anyag lebomlásában igen jelentős eltérés van a természetes anyag, a cellulóz és a műanyagok lebomlása között. A cellulóz teljesen kb. 170 év alatt bomlik le, míg a műanyagok lebomlása több tízezer (kb. 35 000) évig tart.

3. A hordók nélkül acélkonténerekbe cementezett szerves hulladékra is a fentiekben elmondottak érvényesek. Szeretnénk azonban felhívni a figyelmet a savas oldatok cementezésére és a pH ellenőrzésére, mivel a pH csökkenése jelentős korróziós veszélyt jelent és ennek megfelelően a hidrogénfejlődés sebességének növekedését vonja maga után.

4. Ha az elhelyezés során cementezett környezetet használunk és a hulladék alumíniumot vagy cinket tartalmaz, akkor ezeknek a fémeknek a gyors korróziója miatt néhány évig jelentős mennyiségű hidrogén gáz fejlődésével kell számolni.

5. A szerves anyag lebomlása és az egyéb fémek korróziójának befejeződése után az acélszerkezetek korróziója várható [7], ami jelentősen gyorsul, ha a tárolóban a körülmények (pH, kloridkoncentráció) közelednek a geológiai környezet jellemző értékeihez. pH-7,3-nél az acél korróziójának sebessége kb. három nagyságrenddel nagyobb, mint pH=12,5 esetén.

IRODALOM

[1] Pourbaix M. 1966: Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions, Pergamon Press, Oxford.

[2] Moreno, L., Skagius, K., Södergren, S., Wiborgh, M. 2001: PROJECT SAFE Gas related processes in SFR, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm

[3] Wiborgh M, Höglund L O, Pers K, 1986: Gas Formation in a L/ILW Repository and Gas Transport in the Host Rock. Nagra Technical Report 85-17.

[4] Molnár M. 2003.: Kis és közepes aktivitású radioaktívhulladék-tárolók gázterének vizsgálata, Ph.D. értekezés, Debrecen.

[5] Kónya J., M. Nagy N. 2011: Gázfejlődés lehetőségei a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékokból a tárolására használt szénacél hordókban és konténerekben, Kutatási jelentés

[6] Elter E. (szerk.) 2010: A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése, tárolása és elhelyezése, Éves jelentés.

[7] M. Nagy N., Kónya J. 2011: Gázfejlődés lehetőségei a radioaktív hulladékok tárolására használt acél konténerekből a cementezésre jellemző kémiai környezetben, Kutatási jelentés.

Párhuzamosan folyó üzemeltetés és kivitelezés egymásra gyakorolt hatásának biztonsági vizsgálata és kockázatainak elemzése

Risk assessment and safety review of interaction of parallel operation and construction

CZAKÓ SÁNDOR , KELEMEN ISTVÁN

CK-Trikolor Kft., 1023 Budapest, Török u. 2.,
czako.dnv@t-online.hu; kelemen.dnv@t-online.hu

Abstract

The analysis of potential interactions between the processes of operation and erection activity of the facility has importance from the point of safety, because the processes are parallel in time and they are in the vicinity of each other in space, this way both the processes can have adverse consequences on the other one. Safety can be vulnerable as consequences of failures, faults either in the erection activity, or in the operation process itself. The consequences of the interactions in both directions have been analysed by HAZOP and LOPA method. All together 9 scenario having "high" risk ranking have been identified and connecting to these ones 4 safety upgrade recommendation have been made.

Kulcsszavak

radioaktivitás, hulladéktemető, biztonsági értékelés, kockázatelemzés

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elemzési munkát, amely az RHK ÜMBJ-hez kapcsolódott, a Golder Zrt. megrendelése alapján CK-Trikolor Kft. végezte.

Az NRHT építési és üzemeltetési munkái akkor fognak párhuzamosan folyni, amikor megvalósul az építés II. ütemének 3. szakaszához tartozó 2 db tárolókamra kialakítása, és az egyikben elkezdődik a tárolás, míg az építéshez tartozóan egy védőkamra kihagyásával elkezdődik a harmadik kamra kihajtása. A jövesztés a korábbi munkáknak megfelelően fúrásos-robbantásos módszer alkalmazásával történik. Az üzemeltetés megkezdésétől kezdve az építés csak a tárolókamrák építésére korlátozódik.

Az üzemeltetés és az építés kölcsönhatásának, egymásra gyakorolt hatásának biztonsági elemzésére a HAZOP (HAZards and OPerability) elemzés és az ezt kiegészítő LOPA (Layer of Protecion Analysis) módszer került alkalmazásra. Az elemzési eljárás kétirányú megközelítést alkalmazott: egyik irányból az üzemi rendszerek elemzése alapján keresett olyan következményeket, amelyek direkt hatásukban vagy következményükben átterjedhetnek az építési zónára, vagy valamilyen hatást gyakorolhatnak az építés folyamatára, másik irányból az építés egyes fázisait, műveleteit elemezte annak azonosítása céljából, hogy azok lehetnek-e kihatással az ellenőrzött zónában végzett tevékenységekre. Értelemszerűen, mindkét esetben a tervezett működésektől való eltérések következményeinek meghatározása volt az elemzés célja.

A HAZOP elemzés nemzetközileg elfogadott módszer, amelyet az IEC 61882 szabvány és a hazai MSZ-09-960614-87 szabvány előírásainak megfelelően kell alkalmazni és elvégezni. A nemzetközileg alkalmazott LOPA (Layer of Protecion Analysis) egy a védelmi szintek elemzésére szolgáló eljárás, amelyet az IEC 61511 szabvány szerint kell végrehajtani. A LOPA egy fél-kvantitatív kockázatelemző módszer, amely kiválasztott veszélyes eseményláncok kockázatainak meghatározására nagyságrendi becslést alkalmaz. Mint fél-kvantitatív eljárás olyan numerikus

bemeneti értékekre van szüksége, mint az esemény frekvenciák és hiba valószínűségi értékek, amelyek a kockázatok konzervatív becsléséhez szükségesek. Az elvégzett HAZOP elemzésből kapott eredmények alapján a LOPA eljárás során végrehajtott számítással becsült kockázati érték összehasonlításra kerültek egy az üzemeltető által jóváhagyott tolerálható kockázati értékkel. Ez alapján eldönthetővé vált, hogy a meglévő védelmi szintek megfelelőek-e, vagy további kockázatcsökkentésre van-e szükség.

A HAZOP és a LOPA elemzés munkaülései a vizsgált szakterület tervezőinek, szakértőinek és bizonyos esetekben a Mecsekérc Zrt. szakembereinek részvételével és bevonásával történtek.

Az elemzés a párhuzamosan folyó üzemeltetés és kivitelezés során vizsgált kölcsönhatást magas kockázat szempontjából kilenc eseményben (ún. szcenárióban) azonosította. A kilenc szcenárió részletes elemzése alapján négy biztonságot növelő javaslat került megfogalmazásra.

A bátaapáti NRHT üzemeltetési engedélykérelmét megalapozó biztonsági értékelés földtani vonatkozásai

The geological aspects of the performance assessment underlying the operational permitting of the radioactive waste repository at the Bátaapáti site

DANKÓ GYULA, BENEDEK KÁLMÁN, BŐTHI ZOLTÁN, MEZŐ GYULA, TAKÁCS TAMÁS

Golder Associates (Magyarország) Zrt., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.
gdanko@golder.hu; kbenedek@golder.hu; zbothi@golder.hu; gmezo@golder.hu; ttakacs@golder.hu

Abstract

The assessment of the long-term safety of a radioactive waste repository requires a hierarchical framework of investigations, interpretation of results and integration of concepts. This approach has been used for the performance assessment of the low and intermediate level radioactive waste (LILW) repository at Bátaapáti. Information originating from the geological and hydrogeological investigation program was the basis for the development of the conceptual hydrogeological model for the site. This concept was then applied to hydrogeological models to investigate the characteristics of the engineered barrier system (EBS), the possible transport pathways of contaminants in the geosphere and the interaction between the engineered and the natural barriers. The total system performance assessment models were then developed based on these results. By investigating the possible evolutions of the system as scenarios, the long-term safety of the disposal system has been justified. The performance assessment models were also used for sensitivity and uncertainty analysis to investigate the robustness of the system, to derive waste acceptance criteria and to provide input for further design and investigations.

Kulcsszavak

radioaktivitás, hulladéktemető, gránit, vízföldtan, biztonsági értékelés

BEVEZETÉS

A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) I–K1 kamrájának üzemeltetési engedélykérelmének megalapozásaképpen biztonsági értékelést végeztünk [1]. A biztonsági értékelés az elhelyezési rendszer alkalmasságának megítéléséhez alkalmazandó eszköz a nemzetközi ajánlások és a hazai jogszabályok alapján.

Az elhelyezési rendszer hosszú távú, végső lezárását követő viselkedését vizsgáló biztonsági értékelés egy magas szinten integrált, kvantitatív értékelési módszer, amely figyelembe veszi a természetes és műszaki gát elemeken belül végbemenő folyamatokat, az azokat befolyásoló eseményeket, és a kapcsolódó bizonytalanságokat. Egy ilyen vizsgálat elvégzéséhez elengedhetetlenül szükséges egy olyan információbázis, amelynek kialakításakor figyelembe vették a biztonsági értékelés speciális igényeit.

A felszíni és felszín alatti földtani, vízföldtani és geotechnikai kutatások során elvégzett vizsgálatok eredményei alapján alakítottuk ki a telephely vízföldtani koncepciómodelljét [2]. Ennek a koncepciónak a felhasználásával fejlesztettük ki azokat a numerikus vízföldtani modelleket, amelyek segítségével vizsgáltuk a tároló lezárását követően kialakuló tercier állapotban várhatóan kialakuló áramlási rendszert és annak megfelelő szennyezőanyag-terjedést, a műszaki gátrendszer elemeinek a viselkedését, valamint a természetes gátak és a műszaki gátrendszer lehetséges kölcsönhatásait.

A biztonsági értékelés geoszféra moduljának – a kamrából kijutott radioaktív izotópok földtani környezetben bekövetkező terjedését leíró modell részének – kialakításakor a vízföldtani

koncepciómodellre, valamint az elvégzett vízföldtani modellezések eredményeire építettünk [1, 3]. Ebben figyelembe vettük a lehetséges tercier állapotokat a műszaki gátrendszer elemeinek kialakításának, illetve tulajdonságaik időbeli alakulásának függvényében.

A biztonsági értékelés eredményeképpen igazoltuk az elhelyezési rendszer megfelelőségét az I–K1 kamra tekintetében [1]. A biztonsági értékelés során rendszer-elemzést is végeztünk, amelynek kapcsán érzékenység-vizsgálattal, valamint bizonytalanság-elemzéssel vizsgáltuk a rendszer robosztusságát, valamint meghatároztuk a biztonságot legnagyobb mértékben befolyásoló tényezőket. A kapott eredmények lehetővé tették a földtani környezetre vonatkozó kritériumok felülvizsgálatát [4] a műszaki gátrendszer elemeire, valamint a hulladékra vonatkozó követelmények felállítását, pontosítását. Az eredmények tehát visszakapcsolást jelentenek a további vizsgálatok irányítását, valamint a tároló műszaki kialakításának az optimalizálását illetően.

1. KUTATÁSI EREDMÉNYEK HIERARCHIKUS INTEGRÁCIÓJA

A radioaktívhulladék-elhelyezési rendszerek kialakítása során átfogó kutatási programot hajtanak végre, melynek célja a tároló földtani környezetének olyan részletességű megismerése, amely megbízható alapot biztosít a lezárást követő állapot során bekövetkező szennyezőanyag-terjedés előrejelzésére. A Bátaapátiban kialakítás alatt álló tároló esetén a felszíni és felszín alatti kutatási program során rengeteg földtani, vízföldtani és geotechnikai információt gyűjtöttek össze.

Ezek az adatok azonban térben és időben pontszerűnek tekinthetők, így első lépésként azokat önállóan, egymástól függetlenül, a vizsgálatot végző szakemberek közvetlen bevonásával kell kiértékelni úgy, hogy azok térben és/vagy időben kiterjeszthetővé váljanak, azaz a fel nem tárt térrészek vonatkozásában is előrejelzést adjanak. Az ilyen értelmezett, kiterjesztett adatokat a következő lépésben – még mindig az egyes szakterületek körén belül – egymással össze kell vetni, a köztük lévő összefüggéseket fel kell tárni, és azok felhasználásával a kiterjesztést újból el kell végezni. Az így előálló, értelmezett adathalmazt, és annak leírását tekinthetjük szakterületi modellnek.

Az integráció következő szintjét képviseli, amikor a különböző szakterületi modelleket hasonlítják össze egymással, feltárva a köztük lévő összefüggéseket, illetve esetleges ellentmondásokat. Az ellentmondások feloldását követően alakul ki a terület földtani képe. Ez egy statikus – a képződményeket és a köztük lévő kapcsolatrendszert leíró – modell, amely földtani térképéken, szelvényeken, vagy akár 3D-s numerikus modelleken ábrázolható, és a további kutatások alapjául szolgálhat [5].

Az előzőekben ismertetett – különböző integrációs szintet képviselő – modellek mindegyike pillanatfelvételnek tekinthető, amely nem hordoz időbeliséget tartalmazó információt magában (kivéve az egyes képződmények kapcsolatrendszerének leírását). Amennyiben az egyes szakterületeken belül rendelkezésre álló adatokat feldolgozzák abból a szempontból, hogy mikor milyen folyamatok alakították ki a jelenleg tapasztalt állapotot, akkor azzal az információ bázis már történetiséget, időbeliséget is tartalmaz, és tovább segítheti a különböző szakterületi modellek együttes értelmezését.

Végül a vízföldtani koncepciómodell kialakításakor mindezeket az értelmezéseket figyelembe veszik, és egy dinamikus (időben változó), folyamat-szemléletű, prediktív jellegű modell fejlesztésére törekednek. Ebben a földtani képződményeket vízföldtani szerepük szerint csoportosítják, és annak megfelelően veszik figyelembe a szennyezőanyag-terjedés leírásához. A biztonsági értékelés geoszféra modellje az így kialakított koncepciómodellen alapul, azt részben tovább egyszerűsíti, másrészt pedig kiegészíti olyan információkkal, mint a műszaki gátrendszer lehetséges hatásaival, a vizsgált időszakon belül potenciálisan bekövetkező folyamatokkal, eseményekkel, és azok hatására bekövetkező változásokkal.

2. VÍZFÖLDTANI MODELLEZÉS EREDMÉNYEI

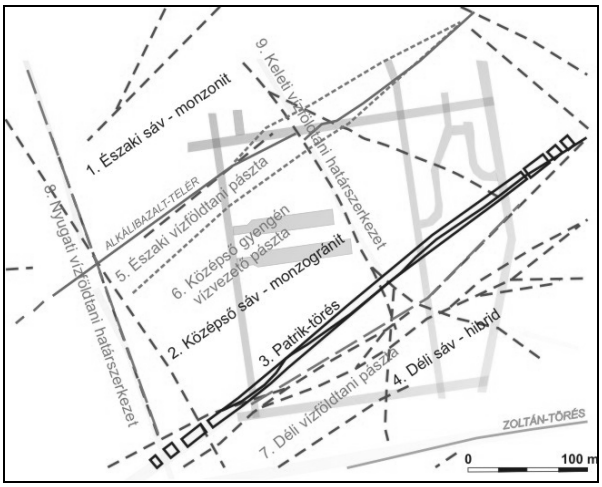
A földtani és vízföldtani kutatás eredményei alapján 2007-ben alakítottuk ki a területnek azt a vízföldtani koncepciómodelljét [2], amelyet az azóta elvégzett vizsgálatok többnyire igazoltak, kisebb mértékben pontosítottak, illetve árnyaltak. A megalapozott, többszörösen igazolt koncepciómodell kialakítása és alkalmazása a vízföldtani modellezések során kiemelt jelentőségű. Csak egy ilyen alapokon fejlesztett numerikus modell eredményei tekinthetők elfogadhatónak, a további kiértékelések szempontjából megbízhatónak.

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a jelenleg elfogadottnak tekintett vízföldtani koncepciómodellt [6] alapján. A tároló befogadó kőzete a Mórágyi Gránit Formáció granitoid kőzettípusaiból áll. A repedezett gránit két egységből áll, az alsó üde kőzettípusból, illetve az abból fokozatosan kifejlődő, felső mállási kéregből. Mivel a mállási kéreg vízvezető képessége magasabb a fekü kőzeteknél, és azokat lepelszerűen borítja, ezért a felszínről beszivárgó vizek jelentős részét oldalirányban a völgyek felé tereli el, korlátozva ezzel az alatta lévő egységek utánpótlódását, kiegyenlítve a hidraulikus potenciálokat, valamint mérsékelve az áramlási rendszer érzékenységét a felszíni folyamatoktól (pl. klímaváltozástól, topográfia megváltozásától).

Az üde grániton belül egy hierarchikus repedésrendszer figyelhető meg. Ennek legnagyobb léptékű – és a telephely alkalmassága szempontjából legmeghatározóbb – elemei a több száz méteres / kilométeres horizontális kiterjedésű, közel vertikális településű, vízföldtanilag torlasztó–szigetelő jellegű, általában agyagos magzónával rendelkező és azt egy vagy két oldalról, erősen repedezett, magas vízvezető képességű kárzónával követő töréses zónák [6]. Ezek kialakulása strike-slip elmozdulásokhoz, és azok többszöri felújulásához kapcsolódik. Mivel ezek a szerkezetek K–Ny-ias (néhol ÉK–DNy-ias) és É–D-ies csapású elemeket is magukban foglalnak, így összességében a területet egymástól hidraulikailag elkülönülő (vagy csak nagyon korlátozott kapcsolatban álló) térrészekre osztják, azaz a telephely vízföldtani blokkosodását idézik elő.

A vízföldtani blokkokon belül ÉK–DNy-i csapású zónák, vízföldtani pászták különböztethetők meg (1. ábra). A pászták két csoportba sorolhatók vízvezető képességük alapján: léteznek kifejezetten magas vízadó képességű zónák, illetve közöttük kevésbé magas vízvezető képességű térrészek. A kettőt egymástól az egyedi repedések transzmisszivitás-eloszlása alapján lehet elkülöníteni.

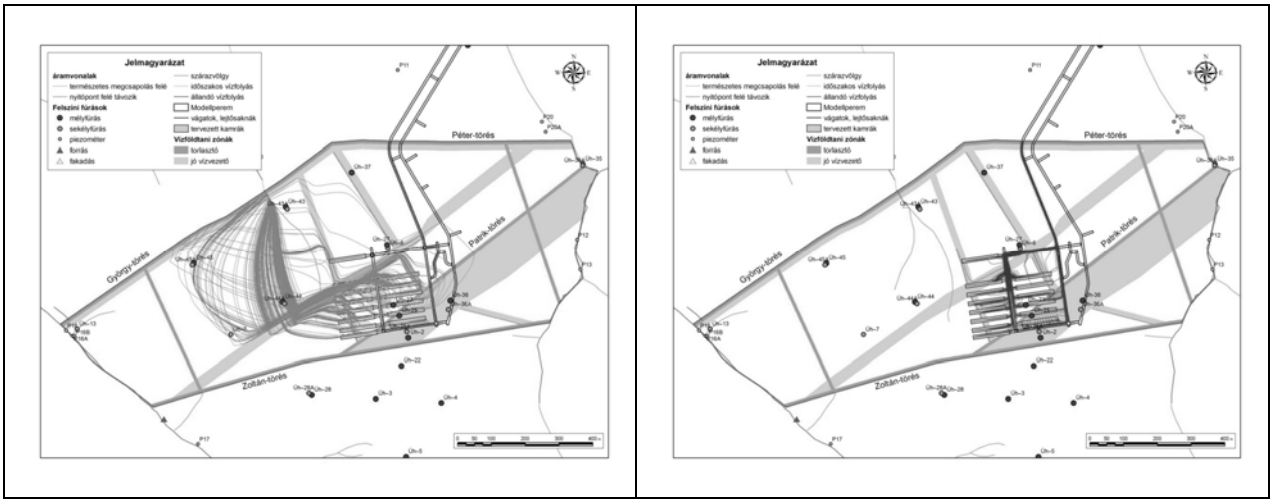
Ezt a zónás felépítést tovább árnyalják az általában ÉÉNy–DDK irányítottságú, térben erősen heterogén, szakadozott, általában aszimmetrikus felépítésű – Ny-i oldalukon torlasztó–szigetelő, míg K-i oldalukon magas vízvezető képességű – szerkezetek. Az I. kamramező területén két ilyen zóna, a Keleti, illetve Nyugati vízföldtani határszerkezet ismert, és ezek a kamrák kialakítását erősen befolyásolják.



1. ábra: Az I. kamramező környezetében elkülönített vízföldtani szerkezetek

Az üzemeltetési engedélykérelemhez készített biztonsági értékelés alapjául szolgáló numerikus vízföldtani modelleknél [7-9] ezt a vízföldtani koncepciómodellt használtuk fel. A vízföldtani modelleket két, egymástól jelentősen eltérő megközelítést alkalmazó modellezési rendszerben alakítottuk ki, melyeket egymás kiegészítéseképpen alkalmaztunk. A gránit repedésrendszerében lejátszódó hidraulikai és transzport folyamatok leírására alkalmasabb az egyedi repedések rendszerét sztochasztikusan kezelő DFN (Discrete Fracture Network) megközelítés. Ugyanakkor az ilyen modellek nagyobb térrészek vizsgálatára kevésbé alkalmasak, illetve az eredményeik is nehezebben értelmezhetőek. Az ekvivalens porózus modellek (EPM – Equivalent Porous Model) determinisztikus megközelítésűek, könnyebben átláthatóak, nagyobb térrészek, illetve a műszaki gátrendszernél alkalmazott porózus anyagok vizsgálatára alkalmazhatóak hatékonyan.

A numerikus vízföldtani modellek egyik legfontosabb feladata a tároló lezárását követően kialakuló tercier állapot áramlási rendszerének, valamint abban a kamrából kibocsátott szennyezőanyagok terjedésének az előrejelzése. Az erre vonatkozóan elvégzett vizsgálatok kimutatták, hogy a telephelyen potenciálisan két, egymástól jelentősen eltérő áramlási rendszer (2. ábra) alakulhat ki a megközelítő vágatoknak a torlasztó–szigetelő szerkezetek harántolási helyén kialakítandó vízgátak (torlasztói dugók) ekvivalens vízvezető képessége (illetve annak időbeli alakulása) alapján [7, 10]. Amennyiben a torlasztói dugók megfelelően vízzáróak, akkor a radioaktív izotópok terjedése a földtani környezet repedésrendszerén keresztül valósul meg. Ez az állapot általában hosszú terjedési idővel és nagymértékű retardációval jár, ami kedvező a hosszú távú biztonság megítélése szempontjából [11]. Amennyiben azonban a torlasztói dugók kialakítása nem megfelelő, vagy degradációjuk hatására idővel túl magas vízvezető képességűvé válnak, akkor a szennyezőanyag-terjedés a vágatok mentén – egy sokkal gyorsabb és sokkal kisebb retardációjú terjedési útvonalon – következik be.



2. ábra: Az I. kamramező területéről indított árampályák a tercier állapotban megfelelően (bal), illetve nem megfelelően (jobb) működő torlasztói dugók esetén

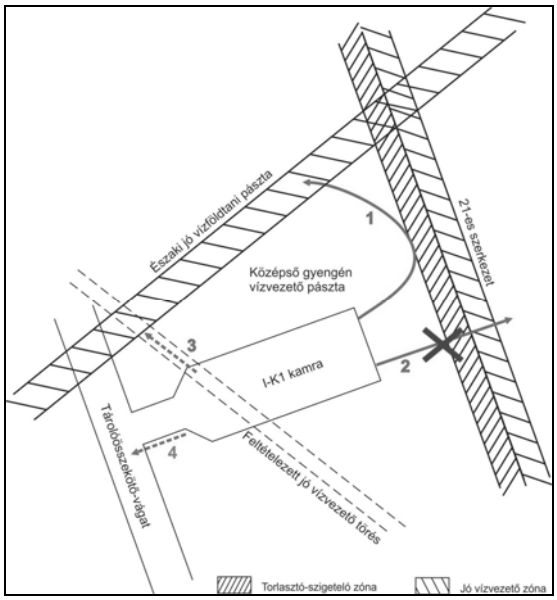
A vízföldtani modellezés eredményeit nem csak általános információként használtuk fel a biztonsági értékelésnél, hanem azok egy részét közvetlen input paraméterként is alkalmaztuk a modellezés során [12, 13]. Ilyen közbülső eredménynek tekinthetőek a lehetséges árampályák geometriai és hidraulikai paraméterei, a konzervatív viselkedésű szennyezőanyagokra számított elérési idő és a hígulás mértéke, valamint a különböző vízföldtani pásztákon belüli transzmisszivitás-eloszlás és Markovi-típusú átlépési valószínűségek a különböző transzmisszivitású repedések között.

3. A BIZTONSÁGI ÉRTÉKELÉS GEOSZFÉRA MODULJA

A biztonsági értékelés geoszféra moduljának kialakításakor [1, 14] arra törekedtünk, hogy a területre rendelkezésre álló információk – elsősorban az előzőekben bemutatott integrációs folyamat

végeredményeképpen előálló numerikus vízföldtani modellezések eredményei alapján – minél közvetlenebbül és átláthatóan kerüljenek felhasználásra.

A kamrából történő kibocsátásnál négy lehetséges esetet (3. ábra) határoztunk meg, amelyek közül az I–K1 kamra esetében egyet minden forgatókönyv esetén kizártunk (ez a Keleti vízföldtani határszerkezet vízvezető zónája felé mutatna, amelyet azonban a Ny-i oldalán található torlasztó–szigetelő tulajdonságú rész elhatárol a kamrától), egyet csak abban a hipotetikusnak tekinthető esetben vizsgáltunk, amelyben egy jó vízvezető szerkezet harántolásával számoltunk, míg a vágatok felé történő kibocsátást a nem megfelelő torlasztói dugó esetét vizsgáló szcenárióknál alkalmaztuk. Azaz a normál forgatókönyvben kizárólag azzal számoltunk, hogy a kibocsátás a kamra közvetlen földtani környezetét alkotó Középső, gyengén vízvezető pászta irányába történik.



3. ábra: A biztonsági értékelés során figyelembe vett szennyezőanyag kibocsátási útvonalak az I–K1 kamrából

Innen a radioaktív izotópok – általában hosszú terjedési útvonalat megtéve és ahhoz tartozó hosszú transzport idővel – az Északi vízföldtani pászta magas vízvezető képességű zónájába kerülnek. Ezen belül a transzportjuk nem csak horizontálisan csapásirányban, hanem vertikálisan a gránit mállási kérge felé is megvalósul. Végül a mállott grániton belül a szennyezőanyag-terjedés már igen gyorsan megvalósul a kamrát tartalmazó vízföldtani blokk egyetlen ismert felszíni megcsapolási pontja, a Gyurika-fakadás felé. Ez utóbbi két képződményen belül a radioaktív izotópok terjedése felgyorsul, retardációjuk mértéke lecsökken, ugyanakkor azonban jelentős hígulást is szenvednek, ami a bioszférában jelentkező aktivitás-koncentrációjukat, illetve abból számított effektív dózisukat mérsékli.

A gránit repedésrendszerén belül megvalósuló szennyezőanyag-terjedés matematikai modelljénél két megközelítés kombinációját alkalmaztuk [1]: a párhuzamos 1D csőelemeket a különböző transzmisszivitású repedésekben végbemenő transzport leírására, illetve a Markovi átlépési valószínűségeket a különböző transzmisszivitású repedések térbeli kapcsolatrendszerének modellezésére. A két megközelítés kombinációja képes pontosan leképezni a valóságban végbemenő bonyolult térbeli szennyezőanyag-terjedési viszonyokat és megvalósítani azt a teljes elhelyezési rendszert vizsgáló biztonsági modellen belül.

4. A BIZTONSÁGI ÉRTÉKELÉS MEGÁLLAPÍTÁSAI A TERÜLET FÖLDTANI FELÉPÍTÉSÉRE VONATKOZÓAN

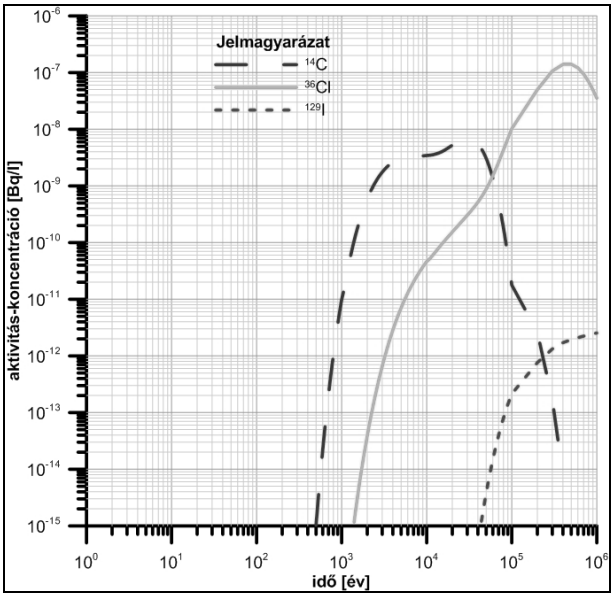
Az elmúlt években elvégzett biztonsági értékelések rávilágítottak a bátaapáti telephely kedvező adottságaira, de egyúttal felhívták a figyelmet azokra a tényezőkre, amelyeket a további kutatások,

valamint a tároló továbbépítése során figyelembe venni szükséges. Ezek közül az egyik legfontosabb, hogy a terület felépítése rendkívül heterogén, komplex, így az előrejelezhetőség, az információk térbeli kiterjeszthetősége erősen korlátozott. Az ilyen földtani adottságok esetén kiemelt jelentősége van a koncepciómodellek kialakításának, mivel azok segítségével még feltáratlan területekre is lehet megalapozott előrejelzéseket tenni.

A primer állapotban jellemző vízföldtani blokkosodása a területnek igen kedvező viszonyokat teremt a radioaktívhulladék-elhelyezés számára. A cél tehát olyan műszaki gátrendszer kialakítása, amely a tároló lezárását követő tercier időszakban az eredetihez minél hasonlóbb áramlási rendszer kialakulásához és fenntartásához vezet. Ennek eléréséhez kiemelt szerepe van a torlasztói dugók megfelelő kialakításának, amelyekre vonatkozóan jelenleg csak koncepcionális szintű tervekkel rendelkezünk [10, 11]. A másik kedvezőtlen tényező lehet a műszaki gátrendszerben alkalmazott cementes anyagok hatására kialakuló alkalikus csóva, amely idővel degradálhatja a torlasztó–szigetelő szerkezetek duzzadó agyagásványait [15], megszűntetve azok vízzáróságát és ezáltal kialakítva egy új – potenciálisan kedvezőtlenebb – áramlási rendszert.

A vízföldtani blokkokon belüli kiegyenlített hidraulikus potenciál viszonyok, amelyek a primer állapotra jellemzőek, mérséklik az advektív terjedés jelentőségét, és a hosszú távú biztonság szempontjából kedvezőbb diffuzív folyamatok relatív felerősödéséhez vezetnek [11]. Az egyik kiemelkedő jelentőségű retardációs folyamat a területen a mátrixdiffúzió [16, 17], amelynek létezését az elvégzett terepi vizsgálatok [17-19] egyértelműen igazolják. A nyomjelzéses vizsgálatok eredményeinek felhasználásával készített prediktív modellek [17] – amelyeknél a természetes hidraulikus gradienssel és a figyelembe veendő több százezer éves időtartammal számoltunk – azt mutatják, hogy megfelelően hosszú árampálya esetén a Középső gyengén vízvezető pásztán belül kizárólag a hosszú felezési idejű, konzervatív viselkedésű izotópok juthatnak a bioszférába figyelembe veendő koncentrációban **(**4. ábra**).**

Az üzemeltetési engedélykérelem kapcsán elvégzett biztonsági értékelések [1, 4] igazolták a telephely alkalmasságát az I–K1 kamrában elhelyezni kívánt hulladékok vonatkozásában és lehetővé tették a kamrák létesítésére vonatkozó kritériumok felülvizsgálatát, módosítását, valamint követelmények megfogalmazását a műszaki gátrendszer egyes elemeinek vonatkozásában. A kapott eredmények alapján lehetőség van a további vizsgálatok irányítására, és a tároló továbbépítése során a műszaki gát elemek kialakításának optimalizálására.



4. ábra: A biztonsági értékelés által meghatározott aktivitás-koncentrációja a hosszú felezési idejű, konzervatív radioaktív izotópoknak a geoszféra–bioszféra határfelületen

IRODALOM

[1] Dankó Gy., Benedek K., Bőthi Z., Kamera R., Mező Gy., Papp H., Takács T., Gyöngyösi P., Gáti Magyar, R., Reszler H., Romenda T., Rosenfeld S. (2012.): Üzembe helyezést megelőző biztonsági jelentés (I–K1 tárolókamra). — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–005/12.

[2] Benedek K., Bőthi Z., Mező Gy., Molnár P. (2009.): Compartmented flow at the Bátaapáti site in Hungary. — Hydrogeology Journal, 17, pp. 1219-1232.

[3] Bőthi Z., Benedek K., Dankó Gy., S.Tombor K., Goldsworthy, M., Paris, B. (2008.): A biztonsági értékelés geoszféra modelljének aktualizálása. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–017/08.

[4] Dankó Gy., Baksay, A., Benedek, K., Bőthi, Z., Molnár, P. (2011.): A vízföldtani kritérium felülvizsgálata. — Kézirat, Golder Associates (Magyarorszag) Kft., Budapest, RHK–K–025/11.

[5] Aczél F., Bőthi Z., Mező Gy. (2008.): Jelentés a telephely 3D modelljeiről. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–064/08.

[6] Molnár P., Szebényi G., Kovács L. (2010.): Előzetes földtani értékelés az MTD 2. módosításához. — Kézirat, Budapest, RHK–K–108/10.

[7] Mező Gy. (2009.): Az első két kamra engedélyeztetését megalapozó vízföldtani modell. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–158/09.

[8] Benedek K. (2009.): Az első két kamra paramétereit származtató vízföldtani modell. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–159/09.

[9] Mező Gy., Aczél F. (2011.): Transzportmodell. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–103/11.

[10] Kovács B., Bőthi Z., Molnár P., Dankó Gy. (2010.): Lezárási koncepció fejlesztése. — Kézirat, Golder Associates, RHK–K–093/09.

[11] Bőthi Z. (2010.): Effects of compartmentalized hydraulic conditions on geological disposal systems. — International Joint Conference on Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC–CONTI), 2010, Temesvár, Románia, pp. 287-293.

[12] Bőthi Z., Takács T. (2009.): Lakossági sugárterhelés számítása. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–198/09.

[13] Bőthi Z. (2009.): Biztonsági értékeléshez szolgáltatott adatok kezelése. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–194/09.

[14] Bőthi Z., Dankó Gy., Benedek K., Molnár P., Mező Gy. (2010.): A földtani gát leképezése a Bátaapáti-telephely (Dél-Dunántúl) biztonsái értékelési modelljében. In: Balla Z. (szerk.): A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2009. — MÁFI, Budapest, pp. 367-378.

[15] Aczél F., Molnár P., Dr. Varsányi Z-né (2010.): Hidrogeokémiai modell I. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–160/09.

[16] Andrássy M., Bőthi Z., Dankó Gy., Mező Gy., Molnár P. (2010.): Diffúziós vizsgálat a Bv–1 vágathatásfúrásban. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–152/10.

[17] Molnár P., Benedek K., Bőthi Z., Korpai F., Mező Gy., Bartha A. (2010.): Transzportparaméterek pontosítása. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–137/10.

[18] Molnár P., Benedek K., Bőthi Z., Korpai F., Mező Gy., S.Tombor K. (2008.): Transzportparaméterek meghatározása. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–161/08.

[19] Mező Gy., Andrássy M., Bőthi Z., Kamera R. (2011.): Eltérő transzmisszivitású egyedi repedések push-pull vizsgálata. — Kézirat, Golder Associates, Budapest, RHK–K–089/11.

3D földtani modell építése az NRHT gránittestjére

Construction of a 3D geological model for the granite body of the NRWR at Bátaapáti

BALLA ZOLTÁN

zgballa@gmail.com

Abstract

The National Radioactive Waste Repository (NRWR) at Bátaapáti is located in a monzogranite body with monzonite and hybrid rock in it. This body is intersected by fault zones. The 3D geological model has been constructed in AutoCAD, and consists of 6 horizontal and 8 zigzag-like vertical sections. Spaces between the horizontal and vertical sections have remained unfilled since there is no method to construct 3D surfaces of the geological boundaries in an intrusive environment. The 3D model can be useful in the designing further tunnels and repository chambers. It gives possibility to construct geological sections in any directions by means of intersecting the model.

Kulcsszavak

gránit, metszet, modell, szelvény, törés

BEVEZETÉS

Az Üveghutai-telephely kutatása során keletkezett földtani ismereteket térképsorozaton és földtani térmodellben összesítettük. Az 1:5 000-es földtani térmodell első változatait [1], [2], [3] pauszokon készítettük, s utólag digitalizáltuk, majd áttértünk a számítógépes térbeli szerkesztésre.

A földtani szelvények és szinttérképek=metszetek együttes szerkesztése mindig is alapfeltétele volt konkrét földtani modellek létrehozásának. *Földtani követelmény*, hogy a szerkesztett rajzok támaszkodjanak a földtani adatokra és álljanak velük összhangban, továbbá legyenek földtanilag értelmesek. *Ábrázoló geometriai követelmény*, hogy a szerkesztett rajzok geometriailag legyenek pontosak.

3D SZELVÉNY- ÉS METSZETSZERKESZTÉS

A modellkészítéshez a Mecsekérc AutoCAD alkalmazását írta elő. Az AutoCAD a szerkesztés ábrázoló geometriai követelményének teljesítéséhez nyújt segítséget. A földtani követelmények teljesítését csak ez által, közvetve támogatja.

A 3D földtani modell elemei 8 db *függőleges szelvény* és 6 *vízszintes metszet*. A szelvényvonalak fúrásokon át futnak, ezért zömmel cikkcakkosak. A metszetek a 200, 150, 100, 50, 0 és –20 m Bf szintre készültek.

A modellhez András Eduárd (Mecsekérc) elkészítette a modell metszetekből és a töréspontokon külön-külön síkokba tagolt szelvényszakaszokból álló térbeli vázát; felvitte a fúrásokra az észlelt földtani határokat és a megfigyelt települések (kőzethatárok, lapos palásság) szelvénysík menti áldőlését; beépítette a vágatok földtani térképeit.

Az elkészült váz síkjaiban (metszetek és egyenes szelvényszakaszok) megszerkesztettem a töréseket és földtani határokat. A szerkesztéshez kiválogattam azokat a töréseket, amelyeket ábrázolhatónak véltem. A földtani határok közül első lépésben a monzogránit és a monzonitos+hibrid

kőzetek határát vettem figyelembe, kiegészítve a nagyobb intrúziókat alkotó leukokrata monzogránitok körvonalával.

A szerkesztést két irányból indítottam: alulról, a vágattérképek és felülről, a völgyekben lévő felszíni kibúvások felől. A vágattérképeket felülvizsgáltam abból a szempontból, mi az, amit ténylegesen, vágatban észleltek, és mi az, amit szerkesztéssel kaptak. A szerkesztést néhol módosítottam. A völgybeli határokat dőlés mentén lefelé extrapolálva meghatároztam az egyes metszetek szintjére eső határpontokat.

A szelvényeket fúrási adatok alapján szerkesztettem, a fúrások közötti szakaszokon a vágattérképekről és a völgyekből kapott határokra támaszkodtam.

A kapott modellben a metszetek és szelvények köze kitöltetlenül maradt, mivel nincs módszer arra, hogy intruzív eredetű földtani határokat a függőleges és vízszintes síkokban kapott nyomvonalaik alapján felületként is megszerkesszünk. A modell ettől függetlenül háromdimenziós, mivel minden egyes pontjához x, y, z koordináták tartoznak.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 3D földtani modell a Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló körzetének igen részletes kutatásának eredményeit összesíti, a földtani kép egészét és részleteit ábrázolva. Szerkesztése során a földtani kép és szerkezet számos elemére új fény derült. Így tisztázódott, hogy a már a korábbi modellbe is beépített antiform tengelye nem a kamramezőktől DK-re [1], [2], [3], hanem azoktól ÉNy-ra helyezkedik el, s maguk a kamramezők az antiformtól DK-re eső flexura köztes szárnyán, DK-i dőlésű blokkban vannak.

A modell felhasználható további vágatok és tároló kamrák tervezéséhez, szükség esetén tetszőleges síkokkal elmetszhető, s a szelvényekben és metszetekben lévő nyomvonalak metszéspontjai alapján megszerkeszthető az adott síkok földtani képe.

IRODALOM

[1] Balla Z. 2009: Földtani-tektonikai modell. Közreműködés 3D modellezésben. Jelentés a 2008V-214. számú, Üh-186/2008. kódjelű szerződés FA80801 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1466; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-070/09.

[2] Balla Z. 2010a: Geológiai-tektonikai modell 2. 3D/4D modellek aktualizálása. Jelentés az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1475; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-036/10.

[3] Balla Z. 2010b: Geológiai-tektonikai modell 3. 3D/4D modellek aktualizálása. az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1477; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-095/10.

Kőzetmechanika és kőzetkörnyezet szerepe a radioaktív hulladéklerakók kialakításánál – könyvismertetés

Rock mechanics and rock masses: their role in the design of radioactive waste repositories – a book

TÖRÖK ÁKOS

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., torokakos@mail.bme.hu

Abstract

The world-wide accepted solution for final and long-term disposal of radioactive waste is the emplacement in geological disposal facilities. The long-term safety of the repository depends on several parameters from which the mechanical properties of rock masses is one of the most important. The present book gives an overview of the rock mechanical parameters and rock properties that influences the design and the construction of deep seated disposal facilities by using the Hungarian example of Bátaapáti site, where low- and intermediate level radioactive wastes will be disposed underground in granitic rock masses. The chapters of the book entitled "Rock mechanics and rock masses: their role in the design of radioactive waste repositories" (eds. Á. Török, P. Görög) provide information on: the possibilities of radioactive waste disposal (Á. Török), the geological conditions of Bátaapáti repository (G. Szebényi, G. Hámos, P. Török, E. András, L. Kovács, P. Molnár), rock mass classification (B. Vásárhelyi), geotechnical documentation (F. Deák, G. Somodi), uniaxial compressive strength and shear strength test methodologies (P. Görög), statistical analysis of rock mechanical parameters of granitic samples (I. Barsi, P. Görög, Á. Török), direct shear strength tests (I. Buocz, P. Görög, N. Rozgonyi-Boissinot, Á. Török), determination of failure criteria of rocks (B. Vásárhelyi, L. Kovács). The book is only a selected overview of current research, but ongoing works and a comparison with the results of other international research will offer a wider utilisation of these findings.

Kulcsszavak

kőzetmechanika, gránit, radioaktív hulladék elhelyezés, laboratóriumi vizsgálatok

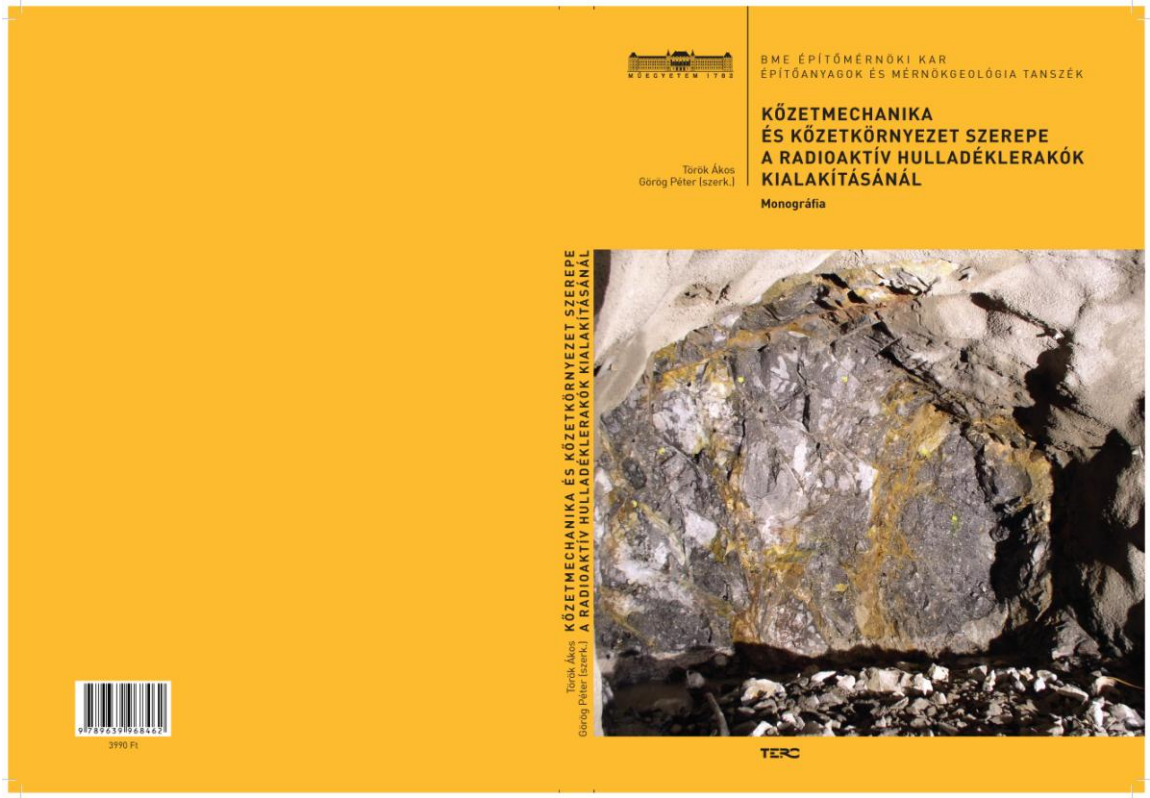
BEVEZETÉS

Az atomenergia felhasználása 1954-ben kezdődött, a Szovjetunióban az első atomerőmű beüzemelésével. Az azóta eltelt közel 60 évben a világ energiatermelésében egyre nagyobb szerepet kapott az atomenergia, hiszen jelenleg az emberiség által felhasznált energia közel 14%-a az atomerőművekből származik. Az atomerőművi felhasználás során azonban az energiatermelés mellett radioaktív hulladék is keletkezik, habár ez a hulladék mennyiségét tekintve sokkal kisebb, mint a hagyományos (szén) erőművekben keletkező hulladékok. Összehasonlításként 1 GW energia termelése során a szénerőműveknél körülbelül átlagosan 300 ezer tonna hamu keletkezik, amelyben átlagosan 400 tonna toxikus fém található. A környezeti hatások közé sorolható még a 6,5 millió tonna széndioxid és nagyságrendileg 5000 tonna egyéb mérgező gáz is. Ez szemben áll az atomerőművekben 1 GW energia előállításakor átlagosan keletkező körülbelül 25 tonna kiégett fűtőelem és további pár száz köbméter egyéb hulladékkal. A relatív kis mennyiség ellenére a radioaktív hulladékok hosszú távú kezelése és biztonságos tárolása a XXI. század egyik legnagyobb környezeti kihívásává vált. Az egyik és a világban ma már leginkább elfogadottnak tekintett megoldás a hulladékok kőzetkörnyezetbe történő elhelyezése.

Hazánkban ennek megoldására született két lerakó terve, amelyek közül a Püspökszilágyi mellett található lerakó a kis aktivitású hulladékok befogadására szolgál, míg a paksi atomerőmű kis- és közepes aktivitású hulladékainak elhelyezésére egy másik helyszín a Mórágyi-rög területe bizonyult

megfelelőnek. A több mint 10 éves felszíni és felszín alatti kutatást követően 2008-ban megkezdődhetett a Bátaapáti térségében elhelyezkedő kis- és közepes aktivitású hulladékok befogadására alkalmas Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló építése. A tároló biztonságát sok más tényező mellett a kőzetkörnyezet mechanika tulajdonságai befolyásolják döntően.

A „*Kőzetmechanika és kőzetkörnyezet szerepe a radioaktív hulladéklerakók kialakításánál*” című Török Ákos és Görög Péter szerkesztésében a *Terc kiadónál* megjelent kötet [1] a területen dolgozó mérnökök, kutatók, gyakorlati szakemberek (egyetemi és ipari hátterű) már évtizedes tapasztalatainak és vizsgálati eredményeinek egy részét mutatja be, kezdve a radioaktív hulladékok elhelyezési lehetőségeitől, a földtani viszonyokon át egészen a helyszíni és laboratóriumi kőzetmechanikai mérésekig.



A KÖNYV FELÉPÍTÉSE, FEJEZETEI

A kötet felépítésében követi a nemzetközi gyakorlatot. Első fejezete áttekintést ad a „Radioaktív hulladékok elhelyezésének lehetőségei”-ről (szerző: Török Ákos, BME). Ez a bevezető fejezet ismerteti a hazai és a nemzetközi helyszíneket és a tárolás módozatait, kiemelve a kőzetkörnyezet hosszú távú szerepét a hulladéktárolók biztonsági rendszerében. „A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladéktároló földtani alkata és az első két tárolókamra kialakításának földtani tapasztalatai” c. fejezet szerzői Szebényi Géza, Hámos Gábor, Török Patrik, András Eduárd-Mecsekérc Zrt, Kovács László – Kőmérő Kft, Molnár Péter – RHK Kft részletesen ismertetik a tároló térségének földtani viszonyait. Külön kitér a szerkezetföldtani-vízföldtani vizsgálatok eredményeire és a tárolókamrák kivitelezése során nyert új geológiai információkra és azok hasznosítására a kamrák végleges kialakítása során.

A „Kőzettest osztályozások” fejezetben a szerző Vásárhelyi Balázs (PTE) áttekintést ad az RMR, a Q, valamint a GSI módszerről és ezek alkalmazhatóságáról Bátaapátiban. A vágat és kamara kihajtás során alkalmazott geotechnikai dokumentációs eljárást ismerteti a 4. fejezet. A szerzők Deák Ferenc és Somodi Gábor (Kőmérő Kft) bemutatják a kőzettest osztályozás gyakorlati alkalmazását és a

JointMetriX3D, valamint a ShapeMetriX3D szoftver rendszerek alkalmazhatóságát „A Bátaapáti NRHT geotechnikai vágatdokumentálás gyakorlati kivitelezésének áttekintése” c. fejezetben.

A laboratóriumi kőzetfizikai-kőzetmechanikai vizsgálatokat bemutató fejezetek közül az első a két leggyakoribb módszer a nyomó- és közvetlen nyírószilárdsági vizsgálatokat tekinti át: Görög Péter (BME) „Egyirányú nyomószilárdsági vizsgálat és közvetlen nyírószilárdsági vizsgálatok módszertani áttekintése”. A laboratóriumi mérések során nagy mennyiségű kőzetfizikai adat keletkezett. Ezen adatok statisztikai feldolgozását és az adatok közötti korrelációt mutatja be a kötet 6. fejezete: „A Bátaapátiból származó granitoid minták kőzetfizikai vizsgálati adatainak statisztikai értékelése” szerzők: Barsi Ildikó, Görög Péter, Török Ákos (BME).

Hazánkban először készültek közvetlen tagoltság menti nyírószilárdsági vizsgálatok a Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló kőzetkörnyezetének elemzéséhez. „A Kőzettestek közvetlen nyírószilárdsági vizsgálata a Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló kőzeteinek példáján bemutatva” c. fejezetben, a kísérlet módszertani leírása mellett az eltérő felületi tulajdonságokkal rendelkező gránitos minták nyírószilárdsági eredményeit is bemutatják a szerzők: Buocz Ildikó, Görög Péter, Rozgonyi-Boissinot Nikoletta, Török Ákos (BME). A kötet legvégén Vásárhelyi Balázs (PTE), Kovács László (Kőmérő Kft.) a Mohr-Coulomb elmélet és a Hoek-Brown-féle tönkremeneteli kritériumokat elemzik az „Ép kőzet törési határgörbéjének meghatározása” c. fejezetben.

A kötetbe még számos más kutatási eredmény is helyet kaphatott volna, de a terjedelmi és időbeli korlátok miatt ezeket majd később, más formában tesszük közzé.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kötet megjelentetésével az volt a célunk, hogy a területről felhalmozott ismeretanyag szélesebb körben is eljusson az érdeklődőkhöz. A könyv azzal a nem titkolt szándékkal is készült, hogy bemutassa a hazai kutatások egy szeletét összehasonlítva a nyugat-európai és skandináv országokban zajló vizsgálatokkal. Kiemelve azt, hogy ezen országok mellett Magyarországon is intenzív kutatás folyik a radioaktívhulladék-tárolók témakörében. Bízunk benne, hogy az ebben a kötetben összegyűjtött információk lehetővé teszik a további hasonló feladatok megoldását, a jövőben tervezett tárolók kőzetkörnyezetének pontosabb megismerését. Ez hazánkban azért is fontos, mert még előttünk áll, megoldandó feladatként, a nagy aktivitású hulladékok országon belüli elhelyezésének kérdése is.

IRODALOM

[1] Török Á, Görög P. (szerk.) 2012: Kőzetmechanika és kőzetkörnyezet szerepe a radioaktív hulladéklerakók kialakításánál. Terc Kiadó, Budapest, 150p.

Az NRHT első kamramezejének földtani jellemzése

First chamber area of the National Radioactive Waste Repository at Bátaapáti — geological overview

SZEBÉNYI GÉZA[1] –TÖRÖK PATRIK[1] –ANDRÁS EDUÁRD[1] –BALLA ZOLTÁN[2]. –MAROS GYULA.[3]

[1]Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,szebenyigeza@mecsekerc.hu, torokpatrik@mecsekerc.hu, andraseduard@mecsekerc.hu; [2]zgballa@gmail.com;
[3]Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, maros.gyula@mfgi.hu

Abstract

Surface-based geological investigation of the Bátaapáti nuclear waste repository site was conducted between 1997 and 2003. Underground investigations have been carried out during excavation of the access tunnels (2005-2008). The forming of the 1st and 2nd depository chambers and the installation of the operational systems were carried out during 2011-2012, within the construction of the II/3 phase of the National Radioactive Waste Repository. This repository is intended for final disposal of low and intermediate level radioactive waste. The host rock of the repository is monzonite and monzogranite of the Mórágy Granite Formation of Early Carboniferous age. Crystalline rocks are intersected by Lower Cretaceous alkaline volcanic dykes. Hydrogeological and geotechnical properties are strongly influenced by large scale tectonic zones with complex inner structure and extensive development of fault gouge and breccia. Geological, hydrogeological and geotechnical investigations were performed in the frame of the investigation programme of the National Radioctive Waste Repository in Bátaapáti and financed by the Hungarian Agency for Radioactive Waste Management (PURAM).

Kulcsszavak

radioaktivitás, hulladéktemető, törések, gránit, vízföldtan, léptékfüggőség

1. Előzetes adatok

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolására többoldalú mérlegelés alapján a Bátaapáti melletti telephely került kiválasztásra. Bátaapáti Szekszárdtól 26 km-re DNy-ra helyezkedik el. A Bátaapáti telephely és környezete földrajzilag a Geresdi-dombsághoz, földtanilag a Mórágyi-röghöz tartozik, ÉNy-on a Keleti-Mecsekre terjed át. A telephely ennek középső részén található.

A felszíni kutatás szakasza 2003-ban fejeződött be [2]. Ennek eredményei alapján a kutatási területen kijelölt sokszög határain belül a szakhatóság földtani alkalmasságot állapított meg. A megközelítő vágatrendszer lejtősaknákkal történő kihajtása jelentette a felszín alatti kutatási fázist, mely a jóváhagyott tervvel összhangban 2004 végén indult meg, és 2008 közepén zárult [3].

A lejtősaknák utolsó szakaszának kihajtása közben készített kutatási zárójelentés [3] és a teljes hosszban történő kivitelezést követően elkészített kutatásvezetői összefoglaló [4] alapján elmondható, hogy a felszín alatti kutatás teljesítette feladatát és bizonyította, hogy a természeti viszonyok nem zárják ki a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának kialakítását a Bátaapáti telephelyen.

A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) létesítésének I. üteme („kishurok") érvényes engedélyezési terv és az elfogadott kiviteli terv alapján 2008-2009 között zajlott [11] (Jakab et al 2009), a II. ütem 1. és 2. szakasza („nagyhurok" és végleges vízkezelési rendszer, valamint az első két kamra nyaktagi része) 2010 júniusában fejeződött be [19].

Az NRHT létesítés II. ütem 3. szakaszában került sor az NRHT üzemi rendszereinek kivitelezésére és az I. kamramezőben az 1-2. tároló kamra (2011. szeptemberig befejezett) kialakítására. ([21], [25], [26]).

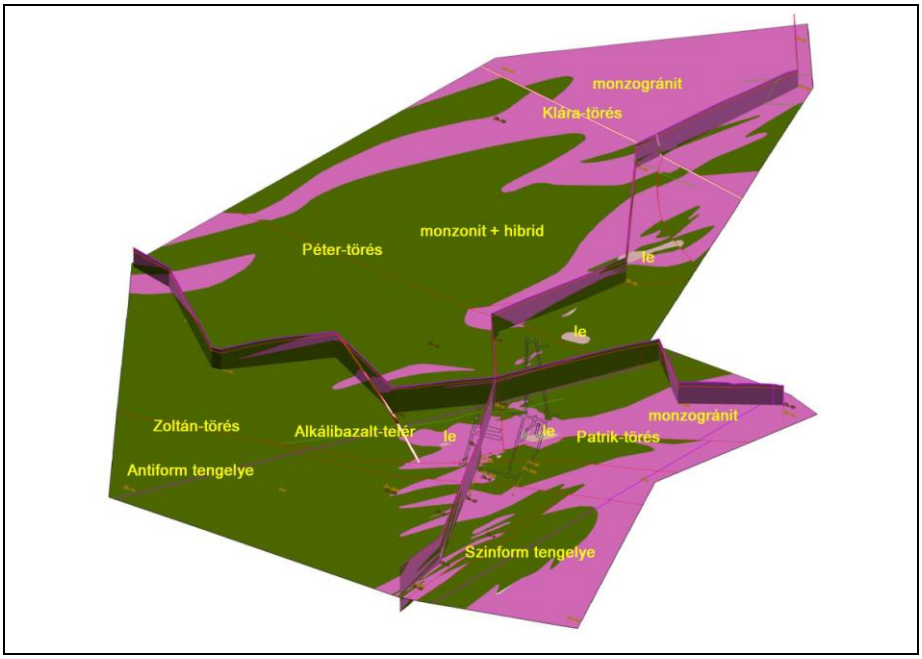
A kiértékelés következő szintjét az integráló szakmai értékelések jelentik. A „kishurok" elkészültét követően elkészült a földtani értékelés összefoglalása [17]. A 2010. május 31-i időpontban rendelkezésre álló adatok („nagyhurok") figyelembevételével 2010-ben készült szakmai összegzés [15], amit 2011. májusában kamraprognózis jelentés [18], majd 2012. április 24-i adatzárási időponttal a napokban elkészített földtani összefoglaló követett [22]. Végül az NRHT létesítése 2008-2012 közötti időszakról az összefoglaló földtani jelentést [24], 2012. június elején kapta meg a Pécsi Bányakapitányság. A kisméretarányú földtani modellezés Balla Zoltán [5], [6], [7], a szerkezetföldtani szintézis elsősorban Maros Gyula [13], [14] nevéhez kapcsolódik.

A tároló földtani alkatát az Erdélyi Műszaki Tudományos Társaság (EMTT) XIII. Bányász, Kohász, Geológiai (BKG) Konferenciáján [10], az első két kamra kialakítás előzetes földtani tapasztalatait a XIII. Székelyföldi Geológus Találkozón [20], míg az adatgyűjtés és –értékelés rendszerét az első két kamra kialakításának folyamatában az EMTT XIV. BKG Konferenciáján [23] ismertettük.

2. A telephely földtani-tektonikai áttekintése

A telephely a Kelet-Mecsek délkeleti szegélyén, az ópaleozoos metamorfitokból álló Mecsekalja-övtől délre, a Mórágyi Gránit 338 millió évesnek meghatározott ([12], [9]) kőzeteiben létesült. A Mórágyi Gránit uralkodóan granitoid, alárendelten dioritoid intruzív kőzetekből áll, és azokat átszelő, de velük genetikai kapcsolatban álló savanyú teléres kőzetváltozatokat tartalmaz. Kis volumenű, de a tároló szempontjából jelentőséggel bíró képződmények az alsó-kréta Rozsdásserpenyői rétegtani egységbe sorolható, változatos összetételű, szubvulkáni alkálibazalt telérkőzetek. A Mórágyi Gránit granitoid kőzeteiben a dioritoid kőzetek a Mecsekalja-öv csapásával párhuzamosan, ÉK–DNy-i csapásba rendeződött, lefelé kiszélesedő lencseszerű sávokban helyezkednek el.

Az eltérő kémizmusú kőzetek között átmeneti, kontaminált összetételű kőzetváltozatok alakultak ki [3] (Balla et al. 2008).



1. ábra A Bátaapáti telephely egyszerűsített földtani modellje

A fenti képződmények szerkezeti fejlődéstörténete változatos, többszöri felújulások sorát mutató, gyakran még csapás mentén is változékony kitöltésekkel jellemezhető szerkezeti képet eredményezett. A terület tektonikájának legalapvetőbb vonása az eltolódásos jellegű, fonatos-szigmoidális szerkezetek jelenléte a makroméretektől a mikroméretekig. Ezek a szerkezetek bonyolult csatornahálózatos vízvezető rendszert alkotnak.

A kőzettani összetételnél lényegesen erősebben hatnak a vízföldtani és a geotechnikai viszonyokra a tektonikai szerkezetek [17]. A telephely tektonikai és vízföldtani jellegét is lényegében az elsőrendű tektonikai szerkezetek (törészóna nyalábok) eloszlási törvényszerűségei szabják meg. A terület tektonikájának legalapvetőbb vonása az eltolódásos jellegű, fonatos-szigmoidális szerkezetek jelenléte a makroméretektől a mikroméretekig, amelyek felépítésük következtében bonyolult csatornahálózatos vízvezető rendszert alkotnak.

A telephelyet K–Ny-i csapású torlasztó-szigetelő, ÉK–DNy-i és ÉÉNy–DDK-i csapású vízvezető szerkezetek vízföldtani blokkokra osztják. A telephely tektonikai irányaiban a Mecsekalja-öv csapásával megegyező szerkezetek mind vízföldtani, mind pedig geotechnikai szempontból jelentősek, mivel ehhez az irányhoz kapcsolhatók a legmagasabb vízvezetőképesség-értékek és a legvastagabb gyengült zónák is.

A kedvező kőzettani összetétel ellenére a kutatási területen érdemleges színesfém vagy radioaktív fém ércindikáció, illetve ércesedést kísérő regionális hidrotermális kőzetátalakulás nincs [16].

A felszíni földtani kutatás eredményei alapján a telephelyet földtani-tektonikai blokkokra tagolták [1], [2]. A felszín alatti földtani kutatás méretarányában a kőzettani blokkokra tagolás helyett a földtani sávok és vízföldtani pászták kombinációjából álló, torlasztó-szigetelő zónák által vízföldtani egységekre (blokkokra) osztott [8] felépítési sémára épül a vízföldtani modellezés.

3. Az I. kamramező jellemzése

Az I. kamramező a Péter-törés és a Zoltán-törés, mint torlasztó-szigetelő zónák közötti szerkezeti/vízföldtani egységben helyezkedik el, harántolja a Patrik-törés, és mind északi, mind pedig déli szegélyén jó vízvezető pászta húzódik. Mind a keleti mind pedig a nyugati oldalán ún. vízföldtani határszerkezetek, határzónák követhetők. Az I. kamramező nyugati szárnyán lévő un. Nyugati vízföldtani határszerkezet pontos vonalvezetése (főként a leglényegesebb déli végén) fúrási harántolás hiányában bizonytalan.

A I. kamramező területe földtani szempontból változékony, legfontosabb jellemzője a sávos földtani felépítés és a pásztás-zónás vízföldtani jelleg, amit ÉK-DNy és ÉÉNy-DDK csapásirányú tektonika hozott létre.

Kőzetanyaguk alapján három ÉK–DNy-i sávot különíthetünk el: az északit, a középsőt és a délit.

Az északi monzonitos sávban dioritoid kőzetek (monzonit, kontaminált monzonit) és azokat ÉK–DNy-i csapással metsző alkálibazalt-telér települnek. Az alkálivulkanit-telér ÉK–DNy-i csapású, átlagos dőlésiránya 318º/72º, vastagsága 0,60–1,90 m. A kőzettelért csapásmenti és ÉNy–DK-i irányú törések szabdalják, amelyek mentén néhány méteres elvetések észlelhetők. A telér a törések mentén helyenként zúzott, változó mértékben agyagásványosodott. A telér fősíkjának csapásvonala nem lineáris, hanem a tektonikus szabdaltság miatt erősen változékony, lépcsősen elvetett. Az északi sáv monzonitos kőzetei többnyire épek, kevéssé repedezettek, kedvező geotechnikai adottságokkal. Az alkálivulkanit-telér mentén húzódik a 20-ÉK-DNy jelű igen jó vízvezető képességű szerkezet, és a monzonitok nem túl gyakori, de nyitott törései is magas vízvezetőképességűek.

Az északi sáv fokozatosan kapcsolódik a középső monzogránit sávhoz, amelybe alárendelten kisebb leukokrata monzogránit testek nyomultak be. Ez a kőzetsáv uralkodóan monzogránitos összetételű. ÉNy felől fokozatos átmenettel, hibrid kőzetváltozatokkal (kontaminált monzonit, kontaminált monzogránit) fejlődik ki a monzonitokból. Ebben az átmeneti sávban gyakran képződtek elnyújtott, pár méter vastag szienit lencsék is. A középső sávot DK-ről a Patrik-törés zárja le, ahol újból megjelennek a néhányszor tíz méter hosszúságú, elnyújtott monzonit makrolencsék, kisebb leukokrata monzogránit benyomulások. A középső sáv DK-i kétharmada homogén, lényegében száraz, míg ÉNy felé haladva megnövekszik a repedezettség és megjelenik a víz is. A Tároló összekötő vágat D-i irányból kihajtott szakaszán a geotechnikai állapot a Patrik-törést elhagyva fokozatosan javult, majd a vágat mintegy 70 m-es szakaszán át (50-120 fm között) kifejezetten kedvező geotechnikai tulajdonságú képződményekben haladt. Csak a sáv ÉNy-i határához közeledve jelentkeztek újra a III. kőzetosztályba tartozó, repedezett, tagoltabb képződmények. A Nyugati-alapvágatban a Patrik-törés környezetében a geotechnikai viszonyok eloszlása hasonlóképpen alakult, bár itt az átmeneti zóna szélesebbnek bizonyult. A törés határától mind északi, mind pedig déli irányban több tíz méteren át III. kőzetosztályba sorolt, repedezett, helyenként agyagos törésekkel átjárt kőzetek fordultak elő.

Az első két tárolókamra teljes egészében a középső (monzogránitos) kőzettani sávban helyezkedik el. A további kamratelepítések számára is ez a sáv biztosítja a legkedvezőbb feltételeket.

A Patrik-törés (17-ÉK-DNy) választja el a középső kőzettani sávot a délitől. Ez egy elsőrendű jelentőségű, változékony belső felépítésű, 10–15 m vastag törészóna. Morfológiája szigmoidális–fonatos: átkarbonátosodott monzogránit makrolencsékből és többszörös agyagos magzónából áll. A magzóna általában lemezes-lencsés-breccsás szerkezetű, agyagos, karbonátos polimikt breccsa kitöltésű. A Patrik-törés csapása uralkodóan ÉK–DNy-i, meredek dőlésű, dőlésiránya főként DK-i, de gyakran ÉNy-i lapok is mérhetők benne. Belső felépítésében laza, breccsás, nyitott, DNy-i dőlésirányú, ÉNy–DK-i szerkezetek is előfordulnak. A Patrik-törés (17-ÉK-DNy) a Nagyhurok vágatrendszerének egyértelműen legmeghatározóbb jelentőségű geotechnikai objektuma. A Patrik-törés mind a Nyugati-alapvágatban, mind a Tároló összekötő vágattal történt harántoláskor 15 m hosszúságban gyengült, V. kőzetosztályba sorolható kőzetek formájában jelentkezett, ebből több mint 10 m-t tett ki az uralkodóan agyagos törészóna.

A déli kőzettani sávot változó összetételű kőzetek alkotják: ÉNy-on a monzogránitból kiindulva, DK-i irányban előbb kontaminált monzogránit, majd kontaminált monzonit jelentkezik, amit a Btr-2 fúrás adati alapján leukokrata monzogránit harántol. Mivel egyik fő kőzettani típus sem tekinthető uralkodónak, ezért összefoglalóan „hibrid” elnevezéssel illethetők a kőzetek. Geotechnikai adottságaik általában kedvezőek, azonban nagy gyakorisággal fordulnak benne elő nyitott, igen jó vízvezető képességű szerkezetek. Ebben a zónában több jelentős ÉK-DNy-i csapásirányú rendszerhez tartozó vízvezető szerkezet húzódik, melyből a legnagyobb vízhozamú önálló azonosítót kapott (18-ÉK-DNy). A Btr-fúrások tapasztalatai alapján a vízvezető csatornarendszer változékony. A szerkezeti igénybevétel mellett a jó vízvezetőképességű „csatornák” igen gyakran kisebb-nagyobb monzonit-testekkel is kapcsolatot mutatnak.

A kamramezőnek a keleti szárnyán a 21-ÉÉNY-DDK jelű, a nyugati szárnyán a 22-ÉÉNy-DDK jelű jelentős szerkezet követhető. Ez utóbbit elsősorban vízföldtani adatok alapján definiáltuk.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

[1] Balla Z., Chikán G., Dudko A., Gyalog L., Horváth I., Kókai A., Koloszár L., Maros Gy., Marsi I., Pálfi É., Palotás K., Rálisch L.-né, Rotárné Szalkai Á., Tóth Gy., Vető I. (MÁFI), Molnár P., Tungli Gy. (Golder Associates Magyarország Kft.), Buda Gy., Ditrói-Puskás Z. (ELTE), Mező Gy., Szilágyi G. (BKMI) 1998: Telephelykutatás és alkalmassági vizsgálat zárójelentése. Üveghuta, 1997-1998. — Kézirat, Magyar Állami földtani Intézet, Budapest, Tekt. 582; OFGA, Budapest, T. 19344

[2] Balla Z., Albert G., Chikán G., Dudko A., Fodor L., Forián-Szabó M., Földvári M., Gyalog L., Havas G., Horváth I., Jámbor Á., Kaiser M., Koloszár L., Koroknai B., Kovács-Pálfy P., Maros

Gy., Marsi I., Palotás K., Peregi Zs., Rálisch L.-né, Rotárné Szalkai Á., Szőcs T., Tóth Gy., Turczi G. (MÁFI); Prónay Zs., Vértesy L., Zilahi-Sebess L. (ELGI); Galsa A., Szongoth G. (Geo-Log); Mező Gy., Molnár P. (Golder); Székely F. (Hygecon); Hámos G., Szűcs I., Turger Z. (Mecsekérc); Balogh G., Jakab G., Szalai Z. (MTA FKI) 2003: Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program. A felszíni földtani kutatás zárójelentése, Bátaapáti (Üveghuta), 2002–2003, I–III. kötet. — Kézirat, Országos Földtani és Geofizikai Adattár: T:20914; Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1102; Bátatom Kft., Budapest, BA-03-156.

[3] Balla Z., Császár G., Földvári M., Gulácsi Z., Gyalog L., Horváth I., Kaiser M., Király E., Koloszár L., Koroknai B., Magyari Á., Maros Gy., Marsi I., Musitz B., Rálisch E., Rotárné Szalkai Á., Szőcs T., Tóth Gy., Berta J., Csapó Á., Csurgó G., Gorjánácz Z., Hámos G., Hogyor Z., Jakab A., Molnos I., Ország J., Simoncsics G., Szamos I., Szebényi G., Szűcs I., Turger Z., Várhegyi A., Benedek K., Molnár P., Szegő I., Tungli Gy., Madarasi A., Mártonné Szalay E., Prónay Zs., Tildy P., Szongoth G., Gacsályi M., Moskó K., Kovács L., Mónus P., Vásárhelyi B. 2008: *Bátaapáti hulladéktároló felszín alatti létesítményeinek előkészítési munkái 2004–2007. A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése. – Kézirat, Mecsekérc Zrt.,* Budapest, 2008., RHK Kft. Irattára, Paks, RHK–K–082/08

[4] Balla Z. 2008: Értékelő jelentés a létesítési engedély földtani megalapozásához. — Kézirat, 2008. január. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. RHK Kft. Irattára, Paks, RHK–K–028/08

[5] Balla Z. 2009: Földtani-tektonikai modell. Közreműködés 3D modellezésben. Jelentés a 2008V-214. számú, Üh-186/2008. kódjelű szerződés FA80801 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1466; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-070/09.

[6] Balla Z. 2010A: Geológiai-tektonikai modell 2. 3D/4D modellek aktualizálása. Jelentés az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1475; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-036/10.

[7] Balla Z. 2010B: Geológiai-tektonikai modell 3. 3D/4D modellek aktualizálása. az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1477; RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-095/10.

[8] Benedek K.(2010: Az első két kamra paramétereit származtató vízföldtani modell. — Kézirat. 2010. február. RHK Kft., Paks, RHK-K-159/09, p. 16., 18.

[9] Gerdes A. (2006): Report on the LA-ICP-MS U-Pb dating of four borehole samples from the Mecsek Mountain granitoids. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1304.

[10] Hámos G., Szebényi G., Molnár P. 2011: A bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló földtani alkata. — In: Wanek F, Gagyi P. A. (ed's.) 2011: Előadáskivonatok. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Gyergyószentmiklós, 2011. március 31.-április 3., [Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, 13th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Gheorgheni, March 31-April 3, 2011], Abstract kötet: 194-197. old.

[11] Jakab A., Deák F., Kovács L., Maracsik Z., Máté K., Németh L., Rátkai O., András E., Szamos I., Szebényi G., Török P., Gyalog L., Borsody J., Füri J., Gulácsi Z., Király E., Maros Gy., Rálisch E., Szabadosné Sallay E. 2009: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló feltáró vágatai térkiképzése 1. ütem. Vágatdokumentációs jelentés „kishurok". – Kézirat, 2009. június, Kőmérő Kft. – Mecsekérc Zrt. – Magyar állami Földtani Intézet, Pécs–Budapest. RHK Kft. Irattára, Paks, RHK–K–040/09

[12] Klötzli, U. S., Buda Gy., Skiold, T. (2004): Zircon typology, geochronology and whole rock Sr-Nd isotope systematics of the Mecsek Mountain granitoids in the Tisia Terrane (Hungary). — Mineralogy and Petrology 81 (1–2), pp. 113–134.

[13] Maros Gy., Koroknai B., Palotás K., Musitz B., Füri J., Borsody J., Kovács-Pálffy P., Kónya P., Viczián I., Balogh K., Pécskay Z. 2010: Brittle Fault Zones in the Mórágy Granite: New Structural and K–Ar Data (Törészónák a Mórágyi Gránitban: új szerkezeti és K–Ar-adatok). — A MÁFI Évi Jelentése 2009, pp. 91–112.

[14] Maros Gyula, Borsody János, Füri Judit, Koroknai Balázs, Palotás Klára, Rálischné Felgenhauer Erzsébet 2012: A Mórágyi-rög ÉK-i részének szerkezetföldtani értékelése a töréses szerkezetekre — Kézirat, 2012. február 28., Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest
[15] Molnár P., Szebényi G., Kovács L. 2010: Előzetes földtani értékelés az MTD 2. módosításához, – Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, RHK Kft. Adattár, Paks: RHK-K-108/10
[16] Szebényi G., Hámos G., András E., Török P., Barabás A. 2009a: Ásványi Nyersanyagkutatás összefoglaló zárójelentése. – Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattára, Paks. RHK–K–046/09
[17] Szebényi G., Hámos G., András E., Török P., Majoros Gy., Szamos I., Molnár P., Benedek K., Kovács L. 2009B: Összefoglaló értékelő jelentés a felszín alatti létesítés tervezése és a biztonsági jelentés számára – Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2009. december, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-181/08
[18] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011A: Kamraprognózis (I-K1 és I-K2 kamra). – Kézirat. 2011. május 31., Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft., Paks. RHK-K-147/10
[19] Szebényi G., Török P., András E., Szamos I., Kovács L., Deák F., Jakab A., Máté K., Rátkai O., Gyalog L., Borsody J., Füri J., Gulácsi Z., Maros Gy., Rálisch E., Molnár P. 2011B: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló feltáró vágatai térkiképzése II. ütem 1-2. szakasz. Vágatdokumentációs jelentés —„nagyhurok”. – Kézirat. Mecsekérc Zrt. - Kőmérő Kft – MÁFI - Golder, Pécs-Budapest, 2011. december, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-048/10M01
[20] Szebényi G., András E., Kovács l., Molnár P. 2011C: Bátaapáti — az első két tárolókamra kialakításának földtani tapasztalatai (Bátaapáti — overview of the construction of 1st and 2nd chamber). — Előadáskivonat. In: Rübel T. (ed.) 2011: XIII. Székelyföldi Geológus Találkozó, Gyergyószentmiklós, 2011. szeptember 22-25. (The XIIIth Geologist Meeting in Szeklerland, Gheorgheni, 22-25 September 2011), Abstract kötet: 55-62 old.
[21] Szebényi G., Török P., András E., Szamos I. (Mecsekérc Zrt.), Gyalog L., Borsody J., Füri J., Gulácsi Z., Maros Gy. (MÁFI) Deák F., Jakab A., Kovács L., Máté K. (Kőmérő Kft.) 2012A: Az NRHT I-K1 és I-K2 tárolókamra vágatdokumentációs jelentése — Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2012. február. RHK Kft. Irattár, Paks: RHK–K–075/11M01
[22] Szebényi Géza, Török P., András E. (Mecsekérc Zrt.), Korpai F. (Golder), Kovács L. (Kőmérő Kft.) 2012B: Az I. kamramező kamratelepítési viszonyai (előterjesztés). — Kézirat. 2012. május, Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattár, Paks: RHK-K-047/12M01
[23] [24]Szebényi G., Török P., András E., Kovács L. 2012C: Az adatgyűjtés-értékelés rendszere a Bátaapáti 1-2 tárolókamra tervezésének és kialakításának folyamatában. — Előadáskivonat. In: Wanek F. (ed) 2012: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Arad, 2012. március 29.-április 1., [Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, 14th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Arad, March 29-April 1, 2011], Abstract kötet: pp. 216-220.
[24] Szebényi G., Török P., Hámos G., András E., Szamos I., Miskolczi Rita (Mecsekérc Zrt.), Gulácsi Z., Maros Gy. (MÁFI), Mező Gy., Korpai F. (Golder), Kovács L. (Kőmérő) 2012D: Földtani összefoglaló jelentés. NRHT létesítés 2008-2012. — Kézirat. 2012. június, Pécs-Budapest, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-020/12.
[25] Török P., Berta J., Szebényi G., Sütő R., Szamos I. (Mecsekérc Zrt.); Rátkai O., Kovács L. (Kőmérő Kft.) 2012A: Az I-K1 tárolókamra műszaki kivitelezési és vizsgálati dokumentációs jelentése. — Kézirat. 2012. május, Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattár, Paks: RHK-K-006/12M01
[26] Török P., Berta J., Szebényi G., Sütő R., Szamos I. (Mecsekérc Zrt.); Rátkai O., Kovács L. (Kőmérő Kft.) 2012B: Az I-K2 tárolókamra műszaki kivitelezési és vizsgálati dokumentációs jelentése. — Kézirat. 2012. május, Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattár, Paks: RHK-K-013/12M01.

Bátaapáti vízföldtani monitoring mérések eredményei

Results of the hydrogeological monitoring of Bátaapáti, Hungary

CSICSAK JÓZSEF[1], ORSZÁG JÁNOS[1], CSURGÓ GERGELY[1], ROTÁRNÉ SZALKAI ÁGNES[2], SZŐCS TEODÓRA[2], KORPAI FERENC[3]

[1]Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár Lajos út 19.
csicsakjozsef@mecsekerc.hu; orszagjanos@mecsekerc.hu; csurgogergely@mecsekerc.hu
[2]Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.
szalkai.agnes@mfgi.hu; szocs.teodora@mfgi.hu
[3]Golder Associates (Magyarország) Zrt., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.,
fkorpai@golder.hu

Abstract

The mining activity and the development of surface serving facilities carried out under the research program on final disposal of low and intermediate nuclear power plant waste have significantly changed the natural environment, including surface and groundwater systems, as well as the water balance of the region. The Environmental, Geological and Hydrogeological Monitoring System have been developed with the aim of registering the various spatial and timely changes concerning both natural geological processes and unnatural ones that arise as an outcome of the excavations. Our intention is to understand and typify these processes by using the objects created during park construction. The changes of groundwater levels, water chemistry, surface water levels and the development of hydro-meteorological parameters were continuously studied at surface streams, meteorological stations and at surface and subsurface observation wells that were created by heading and underground space development. By evaluating these measurements, the natural and the heading-induced effects have been separated, besides their extent and tendencies have also been determined.

Kulcsszavak

kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, gránit, vízföldtan, monitoring

BEVEZETÉS

A vízföldtani monitoring mérései Bátaapáti térségében a felszíni földtani kutatás részeként 1997 évtől kezdődtek meg. 2005. márciustól a telephelykutatás részeként, a felszín alatti kutatási program monitoring projekt keretein belül, majd az NRHT létesítési időszakában külön tevékenységként folytatódott. A környezeti hatásvizsgálatok előkészítésére, a környezetvédelmi engedélyhez szükséges hatástanulmányok összeállításának megalapozására a tároló tágabb térségében végzett kiegészítő vizsgálatok szintén beépültek a monitoring-rendszerbe. A monitoring-rendszer a kutatás előre haladásával, a mindenkori kutatási fázisok céljának megfelelően — elsősorban a kutatás során a felszínen létesített objektumok felhasználásával — folyamatosan bővült. A felszín alatti mérőhelyek kialakítása 2005-től kezdődően a megközelítő vágatok kialakításával, a felszín alatti kutatások előrehaladásával egyidejűleg történt.

A telephelykutatás szakaszában a monitoring üzemeltetésének célja az elhelyezési környezet megismerése, a környezet alapállapotának felmérése és a természetes változások meghatározása volt, egyidejűleg adatokat szolgáltatott a telephely jellemzésének különböző fázisaihoz.

A felszín alatti kutatás megindulásával megkezdődött a felszín alatti üregrendszer kialakítása, amely jelentősen megváltoztatta a felszíni és felszín alatti vizek áramlási rendszerét, jellemző sajátosságait. A létesítési szakasz felszíni és felszín alatti vizekre kiterjedő monitoringjának célja a felszín alatti üregrendszer kialakítása által okozott változások, illetve ezek hatásterületének

meghatározása, a változás mértékének jellemzése. Ennek megfelelően a monitoring legfontosabb feladata az üregrendszer kialakítása során létrejövő depresszió kialakulásának és hatásának vizsgálata.

1. A FELSZÍN ALATTI TÉRKIALAKÍTÁS HATÁSA A FELSZÍNI MONITORING MÉRÉSEKBEN

A vízföldtani monitoring-rendszer két részből tevődik össze, a felszíni, illetve a felszín alatti vízföldtani monitoringból.

A felszíni vízföldtani monitoring a tároló környékén a felszínen (a korábbi felszíni földtani kutatás, illetve a feszín alatti kutatások kiegészítő felszíni munkái során) létesített objektumokon történő mérések alapján a felszíni és a felszín alatti vizek rendszerének (mennyiségi és minőségi állapotának), kapcsolatának, és a térség vízháztartásának hosszabb távú vizsgálatát szolgálja. Ez hidrometeorológiai méréseket, felszíni vízfolyások állandósított műtárgyakon (bukókon), valamint hossz-szelvény mentén végzett vízállás-vízhozam méréseit, felszín alatti vizek vízszint- és potenciálszint változásainak regisztrálását, felszíni és felszín alatti vizek kémiai vizsgálatát foglalja magába. A mérési helyszínek objektumai (kutatási célú ásott kút, sekély- és mélyfúrások, kútpárok, kútcsoportok, vízhozammérő műtárgyak, meteorológiai állomás) gondos tervezés alapján kerültek kijelölésre, olyan helyeken, ahol azok egyaránt jellemezik a felszíni és felszín alatti vizek vízháztartását és a felszín alatti vizek áramlási viszonyainak térbeli alakulását, mind a természetes, mind a létesítés során a megváltozott állapotban.

A felszín alatti vízföldtani monitoring a kutatóvágatban végzett rendszeresen ismétlődő méréseket foglalja magába. Célja a gránit repedéshálózatán belül a fő áramlási pályák, és a torlasztó zónák pontosítása, valamint a térkiképzés hatására a gránittesten belül kialakuló változások irányának és nagyságának térbeli és időbeli azonosítása. A térkiképzéssel párhuzamosan telepített monitoring elemek — vízforgalmi mérések a természetesen fakadó víz és a kibocsátott víz mennyiségi mérések, a kutatóvágatok körüli térrész hidraulikai nyomásváltozásának és a vízvezető képesség változásának mérése megfigyelőkutakban, az előfúrásokból primer eredetű, majd a fúrások észlelőkutakká alakításával rendszeresen ismételt vízmintavételekkel vízgeokémiai vizsgálatok végzése — folyamatos adatszolgáltatást nyújtottak a vágatbiztosítás tervezéséhez, valamint a depressziós tér kialakulásáról. A felszín alatti objektumokon kialakított mérési helyek úgy lettek kiválasztva, hogy a hosszú távú ellenőrzést is lehetővé tegyék.

2. FELSZÍNI VIZEK

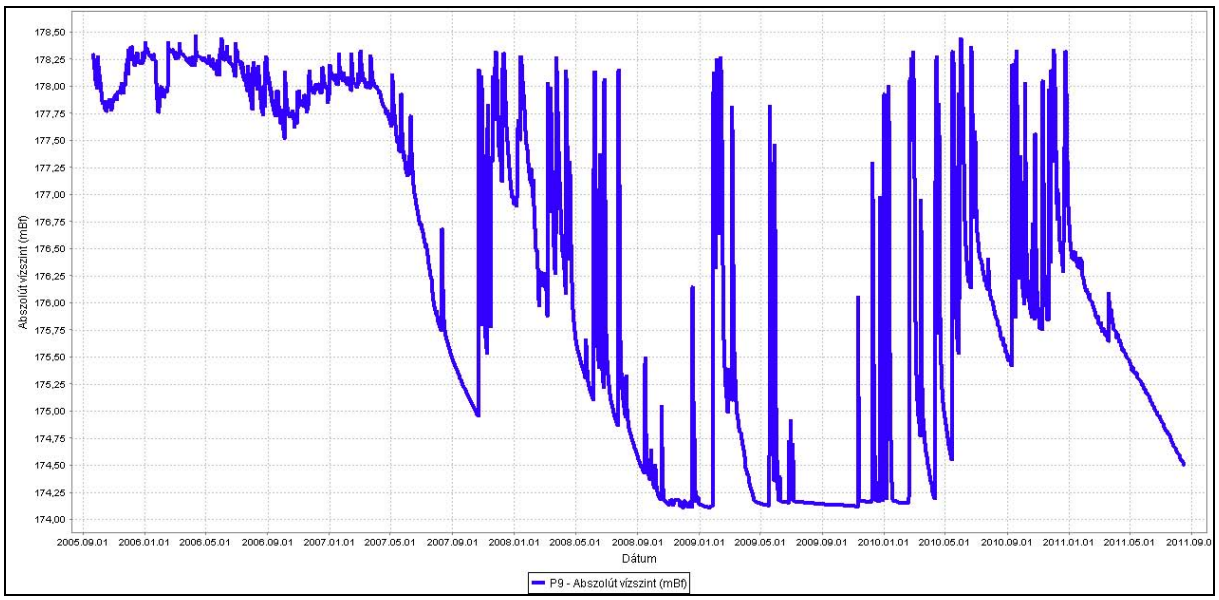
A felszíni vizekben megfigyelt természetes változékonyság gyakran meghaladja a vágat hatására bekövetkező változásokat. Emiatt a vízfolyásokon kialakított mérőszelvényekben mért vízhozamok eddig nem mutattak szignifikáns változásokat a hozamukban. A 2010. évi rendkívüli csapadéktöbblet miatt csak valószínűsíteni lehet, hogy a Mészkemence-völgy felső szakaszán elhelyezkedő B1 bukó, a Cserdülői-völgy alsó szakaszán elhelyezkedő B3 bukó, illetve az Éva-völgy felső szakaszain elhelyezkedő B4 és B7 bukók alapvízhozamára hatással lehet a felszín alatti térkialakítás.

3. FELSZÍN ALATTI VIZEK

A felszín alatti térkiképzés megkezdésével, 2005 elejétől az áramlási rendszer megváltozott, a hasadékvizek és a talajvíz az üregrendszer felé kezdett áramlani. A vágatokban fakadó felszínre emelt víz mennyisége többszörösen felülmúlja a természetes utánpótlódást, ezért egy fokozatosan kiteljesedő depressziós tér jött létre.

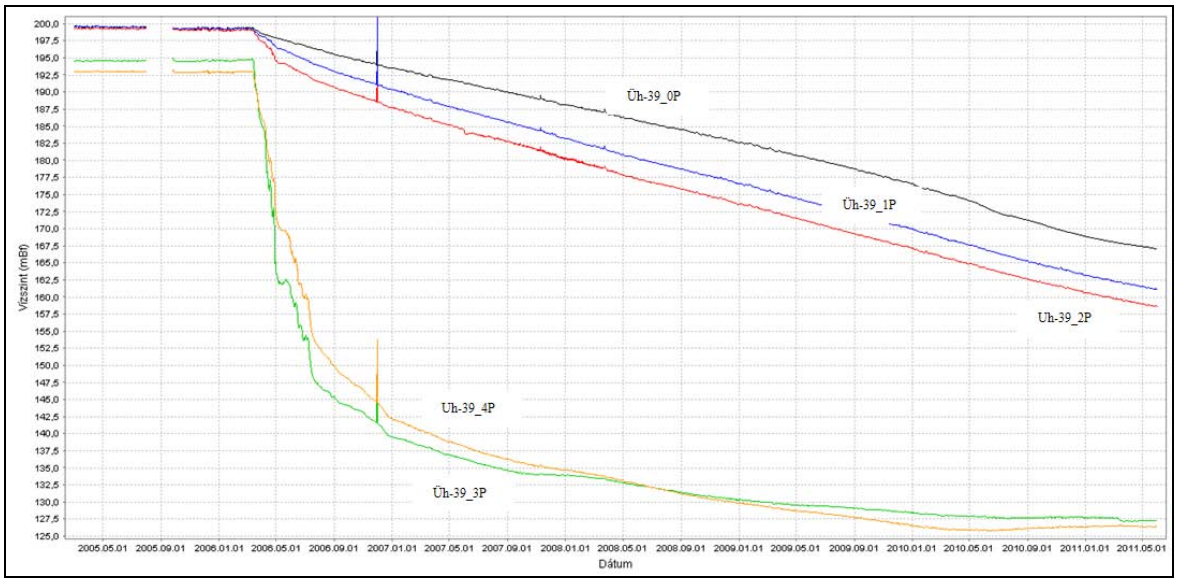
A talajvízszint csökkenése főleg 2007. évben, illetve ezt követően jelentkezett, és több megfigyelőkút teljes leszáradását eredményezte. A 2010. évi bőséges csapadék hatására azonban két figyelőkútban (P2, Üh-16) újra megjelent a talajvíz.

P9 és a P10 észlelőkútban a vízszintcsökkenésen kívül az észlelőkút vízjárásának jellege is teljesen megváltozott. Az erózióbázis alá süllyesztett talajvízszint miatt a beszivárgás változásának hatására az eredeti értékek többszörösére nőtt a vízszintingadozás (1. ábra).



1. ábra Vágathajtás hatására bekövetkező vízszintcsökkenés a P9 megfigyelőkútban

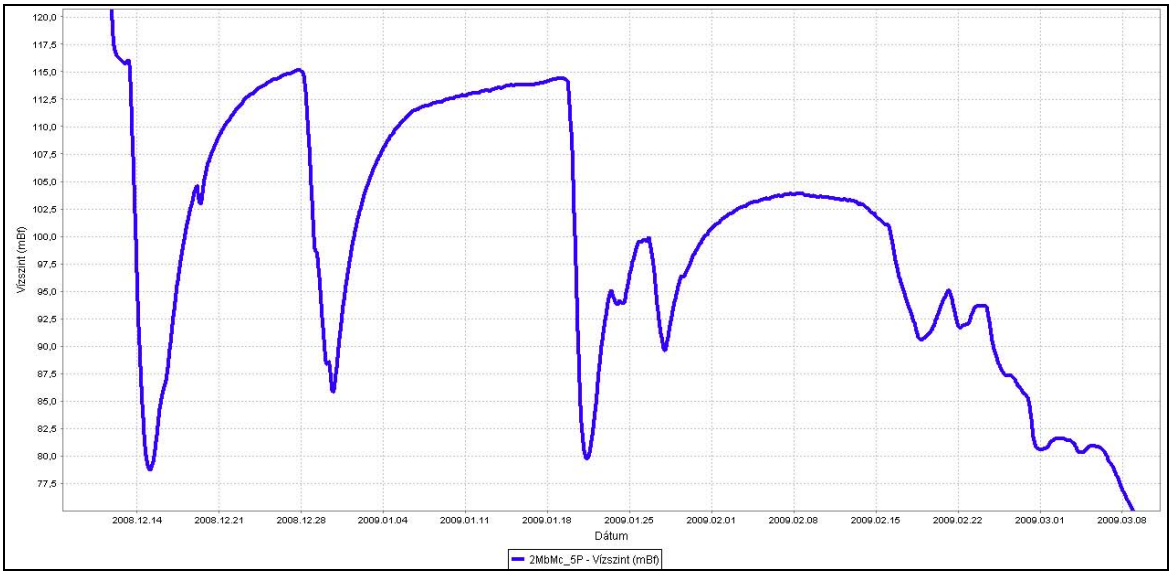
A monitoring-rendszer vízszint-potenciálszint mérései igazolták a kutatási időszakban már megismert vízföldtani képet, amely szerint az áramlási rendszert befolyásoló gránittest jól elkülönülő blokkokra tagolódik. A blokkokat elválasztó torlasztó-szigetelő zónák két oldalán elhelyezkedő fúrások nem reagáltak egymásra, míg a blokkokon belül meglehetősen közvetlen hidraulikai kapcsolatok voltak kimutathatók. A vágathajtás során a hasonló vízföldtani tulajdonságokkal jellemezhető blokkokat elválasztó torlasztó-szigetelő szerkezeti zónák (Klára-törés, Péter-törés), illetve torlasztó-szigetelő alkálivulkanit-telér harántolásakor hirtelen jelentős, több tíz méteres potenciálszint csökkenés jelentkezett. A függőleges fúrások különböző mélységben megfigyelt zónái nem azonos mértékben reagáltak a térkiképzésre. A legfelső szakaszokon a vágathajtás hatása nem, vagy csak alig jelentkezett. A szintes vágatok mélységéhez közeledve (~0 mBf) egyre nagyobb mértékű volt a megfigyelt potenciálszint csökkenés (2. ábra).



2. ábra Potenciálszintváltozás az Üh-39 megfigyelőkútban

A felszín alatti térkiképzéstől távolabbi területeken, illetve a csak közvetett kapcsolattal rendelkező megfigyelőkutakban kisebb mértékű, illetve fokozatosan kialakuló potenciálesés tapasztalható.

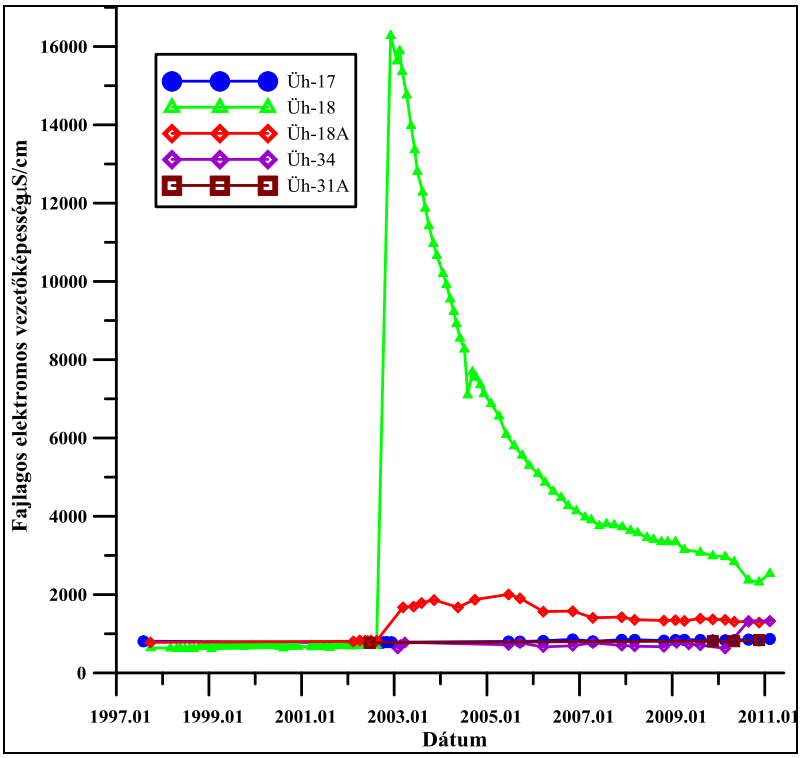
A vágat frontjával azonos hidraulikai egységbe tartozó megfigyelőkutakban gyakran a vágat megcsapoló hatásán kívül az elvégzett munkálatok (pl.: cementezés, előfúrás, stb.) közvetlen hatását is nyomon követhettük. A 3. ábra a BeN-7 előfúrás és kapcsolódó munkáinak hatását mutatja be az Üh-2 megfigyelőkútban.



3. ábra Potenciálszintváltozás az Üh-39 megfigyelőkútban

A felszín alatti vizek vízkémiai összetétele a felszín alatti térkiképzésből adódó áramlási rendszer megváltozása miatt nem változott markánsan. Természetes állapotban nagyon kis változékonyság jellemzi a vízkémiai összetételt. Ennek megfelelően már kismértékű változások is könnyen felismerhetők. Mind a felszíni, mind a felszín alatti objektumokban végzett vízkémiai vizsgálatok a vizsgálati idősorban a vizek fiatalodására utalnak, amely többnyire csak közvetetten, de a vágathajtás által megváltozott felszín alatti vízáramlással hozható kapcsolatba.

2002 őszén, az áramlási rendszerek végpontjai körzetében végbemenő transzport-folyamatok jellemzésére és az ottani transzport-paraméterek meghatározására három területen NaCl tartalmú, nagy só tartalmú nyomjelző vizet nyomtak be a felszín alatti vizekbe. A telephelyi észlelőkút egyik tagja, az Üh–18 kút üzemelt jeladó kútként, míg a felszíni vízminőségi monitoring két sekélyfúrása (Mó–7A, az Üh–32A) és az Üh–18A telephelyi észlelőkút is megfigyelő kútként üzemelt. A nyomjelzéses vizsgálatok után a három vizsgálatban részt vett észlelőkút vizében nagyon gyengén látszik az öregebb víz hatása, mely rövid időn belül megszűnik. A többi, a nyomjelzéses vizsgálatban részt vett kutaktól távolabbi kutakban a hatás mintegy egy évvel később és általában nagyon kismértékű fiatalodásként jelentkezik. Bár a mért értékek közelítenek az eredeti állapothoz, a 2002-ben beinjektált nagy só tartalmú nyomjelző hatása az Üh–18, Üh–18A és Üh–32A kutakban máig észlelhető (4. ábra).



4. ábra A fajlagos elektromos vezetőképesség időbeli változása a telephelyi észlelőkutak vizeiben

A felszín alatt, a vágatrendszer menti fúrások és vízfakadások víztípusainak térbeli eloszlása változatos, de egy-egy ponton időben (főleg a hosszabb idősoroknál követhető ez nyomon) szinte mindenhol állandó volt. Térbeli eloszlásukra egyfajta övezetesség jellemző. A lejtősaknákban 350-400 fm-ig (~120-130 m Bf) a fakadó vizek között szinte mindegyik fajta víztípus megtalálható, a fúrások vize viszont egységesen Ca-Mg-HCO_3-os összetételt mutat, itt tehát a vízfakadások eredményeinek értékelése nehézkes.

A Mg-Ca-HCO_3-os vizek nagyjából 400 fm-től jelennek meg és ilyen vizekkel találkozunk 550-600 fm-ig (~105-110 m Bf), a Klára-törés torlasztó zónájáig. A Klára-töréstől délre egy kevert zóna következik nagyjából 1100-1150 fm-ig (~55-60 m Bf), amelyben a kisebb Ca-Mg-HCO_3-os és Mg-Ca-HCO_3-os övek felváltva követik egymást, de az egyes kisebb öveken belül a vízfakadások és fúrások víztípusai teljesen megegyeznek. 1100-1150 fm-től (~55-60 m Bf) az alapvágatok szintjéig (~ –5-+5 m Bf) a lejtős vágatokban kizárólag Mg-Ca-HCO_3-os vizeket észleltünk, és ezek jellemzőek a Nagyhurok ÉNy-i részére is.

A Patrik-törés és a hozzá tartozó szerkezetek vízföldtani határt jelentenek, ugyanis ezek mentén és tőlük délre jelennek meg a nátriumban gazdag vizek. Az egyetlen stabilan Na-Mg-HCO3-os összetételű vízfakadásunk az NAC0237BO volt a Nyugati-alapvágat déli végén, amelyhez a vízfakadásból mért legidősebb δD- (~-93 ‰) és δ^{18}O-eredmények (~-13 ‰) is tartoznak.

A stabilizotópos eredményeket tekintve a holocén vizek (δ^{18}O~ –9—10 ‰) a Klára-törésig egyértelműen domináltak a fúrások esetében, majd a jelentős torlasztó/törészónák megjelenésétől kezdődően egyre gyakoribbak lettek a kevert vizek, de továbbra is a holocén vizek hányada volt nagyobb, egészen a Péter-törésig.

A Péter-törést követően szinte kizárólagossá váltak a holocén-pleisztocén kevert vizek, és foltszerűen a pleisztocén vizek. A „legnegatívabb” értékeket az alapvágatok szintjén, a Patrik-törést délről kísérő eltolódásos törésövből származó mintákon mérték (δD~–80—100 ‰, δ^{18}O~–12—13,5 ‰), illetve hasonlóak az eredmények a Bm-3 és BeK-14 fúrások vizében is

Ugyanilyen eloszlást mutatnak a fakadó vizek stabilizotópos adatai, közülük a KC1525BO és az NC0819BF pontokat említenénk: ezek anomálisan idősebb vizeket csapolnak meg, ami lokális feláramlásra utal. Előbbi pont stabilizotópos összetétele már a pleisztocén korú vizekre jellemző, amilyeneket az alapvágatokban észleltünk, és ott is csak a Patrik-törés zónájában illetve attól délre.

KONKLÚZIÓK

Az NRHT kutatási, létesítési fázisában kialakított monitoring rendszer eredeti célja – a rendeletekkel, hatósági engedélyekkel összhangban – a Bátaapátiban létesülő, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló létesítmény kutatási, kivitelezési időszakának környezeti ellenőrzése, amely alkalmas a környezeti elemekre gyakorolt hatások megfigyelésére, ellenőrzésére, az okozott változások nyomon követése volt. A kialakított működő monitoring rendszer tapasztalataira építve elmondhatjuk, hogy a rendszer alkalmas a 62/1997. (XI.26.) IKIM rendelet előírásai szerinti, illetve a környezetvédelmi engedély 3.02.11 pontjában megfogalmazott komplex környezetellenőrzési feladatok ellátására, kiszolgálására a:

- a földtani, vízföldtani kutatáshoz kapcsolódó;
- a sugárvédelemhez tatozó;
- hagyományos környezetellenőrző monitoring ellenőrző feladatok ellátására.

E mellett a rendszer folyamatos, kidolgozott üzemeltetési rendjén keresztül biztosítja a térkiképzéssel megindult, de még le nem zajlott tranziens folyamatok követését, ellenőrzését továbbá meglévő elemei a felszín alatti tároló üzembe helyezését követően a hosszú távú környezetellenőrzési feladatok ellátására is alkalmasak.

IRODALOM

[1] Balla Z., Császár G., Földvári M., Gulácsi Z., Gyalog L., Horváth I., Kaiser M., Király E., Koloszár L., Koroknai B., Magyari Á., Maros Gy., Marsi I., Musitz B., Rálisch E., Rotárné Szalkai Á., Szőcs T., Tóth GY., Berta J., Csapó Á., Csurgó G., Gorjánácz Z., Hámos G., Hogyor Z., Jakab A., Molnos I., Ország J., Simoncsics G., Szamos I., Szebényi G., Szűcs I., Turger Z., Várhegyi A., Benedek K., Molnár P., Szegő I., Tungli Gy., Madarasi A., Mártonné Szalay E., Prónay Zs., Tildy P., Szongoth G., Gacsályi M., Moskó K., Kovács L., Mónus P., Vásárhelyi B. (2008): Atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló felszín alatti létesítményeinek előkészítési munkái. A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése. — Kézirat, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–082/08, Paks.

[2] Ország J. et. al. 2009: A monitoring hálózat (felszíni és felszín alatti) méréseinek összefoglaló értékelése — Kézirat, MECSEKÉRC Zrt., Pécs, RHK–K–006/09.

[3] Ország J. et. al. (2009): Értékelő zárójelentés a monitoring eredményekről — Kézirat, MECSEKÉRC Zrt., Pécs, RHK–K–007A/09.

[4] Csicsák J., Andrássy M., Bankovics A., Csapó Á., Csősz S., Csurgó G., Csúzdi Cs., Dányi L., Darvas K., Deák F., Demény K., Fehér Z., Dr. Gorjánácz Z., Gubányi A., Dr. Gulyás P., Hámos G., Dr. Juhász P., Dr. Kevey B., Dr. Kiss B., Kontschán J., Korpai F., Kovács L., Kutas J., Lazányi E., Málnás K., Merkl O., Mészáros E., Mészáros F., Moskó K., Dr. Müller Z., Nagy P., Németh J., Ország J., Póta Á., Ronkay L., Rotárné Sz. Á., Somodi G., Szalai Z., Szatmári L., Szél Gy., Szőcs T., Szulimán Sz., Szűcs A., Dr. Szűcs I., Turger Z., Dr. Várkonyi T. 2012: Monitoring értékelő jelentése az NRHT létesítése keretében telepített környezetellenőrző mérésekről — Kézirat, MECSEKÉRC Zrt., Pécs, 2012. április, RHK–K–094/11

A szeizmikus mérési eredmények szerepe és helye a Bátaapáti tárolókamrák tervezésében és kialakításában

The functional role of seismic measurement on planning and forming depository chambers at Bátaapáti

TÖRÖS ENDRE[1], PRÓNAY ZSOLT[1], TILDY PÉTER[1]

1Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14
toros.endre@mfgi.hu; pronay.zsolt@mfgi.hu; tildy.peter@mfgi.hu

Abstract

Preliminary characterization of geotechnical and hydro-geological parameters of surrounded rocks of underground constructions is primarily essential for their planning and preventive maintenance. Considerable geophysical measurements were carried out in Bátaapáti beforehand the real excavation and installation of depository chambers on the surface, in boreholes and between the galleries of surrounded area of planned disposal site. From operational point of view the most beneficial parameters were the seismic velocities originated from the transmission of boreholes and the "small loop" galleries. The aim of this presentation is to show the correlation between the rock mechanics data from the continuous profiling of the galleries with the seismic velocities resulted from the perimeter on the tomographic maps. The cell by cell correlation has shown that the correlation values between RQD and S-wave velocities were more than 90%. Based on this project the application of seismic velocities especially the S-wave velocities are recommendable for characterization of granite conditions instead of or as a complementation of using rock mass classification systems. The connection between support categories applied and the seismic velocities were investigated as well. As a consequence it was proven that estimating support categories from S-wave velocity is not less reliable as any other current method. Furthermore the hydro-geological correspondence of granite masses is predictable by Vp/Vs.

Kulcsszavak

szeizmikus P-sebesség, S-sebesség, szeizmikus tomográfia, RQD, RMR, Q, vágatbiztosítási kategóriák, vízföldtani paraméterek

BEVEZETÉS

A felszín alatt kialakított mérnöki létesítmények tervezéséhez és a már meglévők fenntartásához elengedhetetlenül szükséges az objektumot körülvevő kőzettér geológiai viszonyainak, a kőzetek geotechnikai és vízföldtani jellemzőinek előzetes megismerése. A Bátaapáti tároló kamrák kialakítása előtt jelentős mennyiségű geofizikai mérések történtek a felszínről, a fúrólyukakban, vagy a tároló környezetének feltáró vágataiban. Ezek közül a bányászati, a földalatti térségek kialakításának és fenntartásának szempontjából jól használható eredményre a felszíni kutatás során mélyített fúrólyukak-, leginkább azonban a kishurok és a feltáró vágatpárok között meghatározott szeizmikus sebességek meghatározásával jutottunk. Ez utóbbi mérések eredményeire épül az előadás.

A szeizmikus mérés során az ún. kishurokkal körülhatárolt térrész szeizmikus tomográf átvilágítását végeztük el, melynek során meghatároztuk a szeizmikus P- és S-hullámok terjedési sebességeinek eloszlását az átvilágított terület belsejében. Ez lehetővé tette, hogy a szeizmikus tomográfiából származó sebesség értékeket összehasonlíthassuk a területet határoló vágatokból származó nagyszámú geotechnikai paraméterrel.

1. A GEOTECHNIKAI PARAMÉTEREK ÉS A SZEIZMIKUS SEBESSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSÁNAK KORLÁTAI

Általános korlátok:

- A bevetítési távolság: a kőzetfizikai paraméterek a már kifejtett, a vágat helyén levő gránitra vonatkoztak, míg a szeizmikusak a terület belsejére.
- A vágat környezetében kialakult az EDZ (Excavation Disturbed Zone) zóna, amit a kőzetfizikai paraméterek nem vesznek figyelembe.
- Időeltérés: a szeizmikus méréseket a vágathajtás után hónapokkal végeztük. Időközben a víztartalom megváltozott, a gyengült zónákat elinjektálták.

A tomográfia módszertani korlátai:

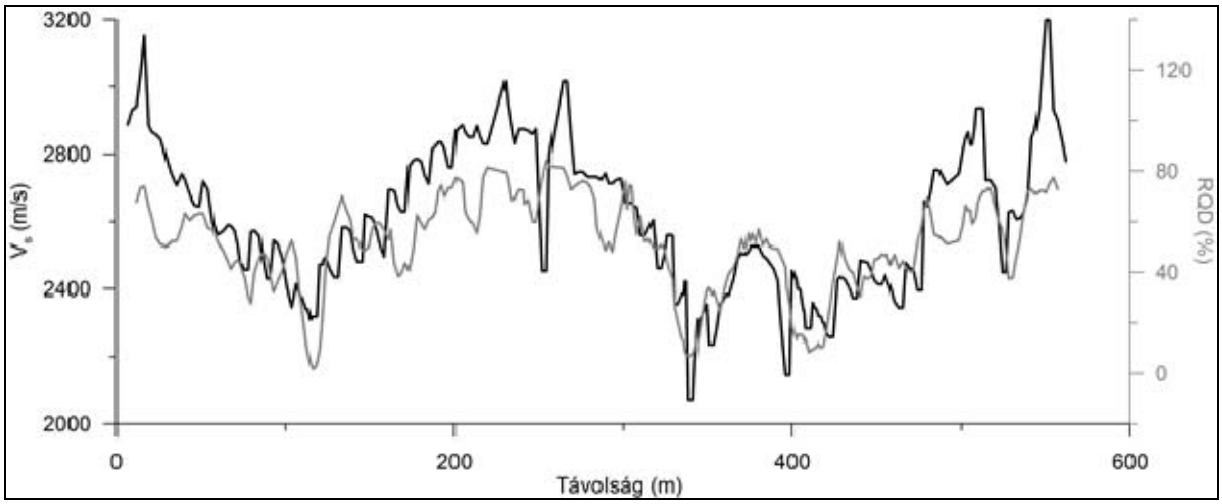
- Véges felbontóképesség: a szeizmikus mérések felbontóképességét, a sebességet adottnak véve, a hullámhossz határozza meg. A hullámforrás jellemzői és a frekvencia szelektív csillapodás behatárolják a hasznos frekvenciasávot.
- Egyenetlen sugáreloszlás: a vágatok által meghatározott nem izomorf geometria okozza. Ráadásul a hullámok nem egyes vonalban tejednek, útjukat a sebességeloszlás határozza meg (Fermat-elv), e miatt a kis sebességű helyeket igyekszik elkerülni a hullám.
- A tomográf algoritmus a hibákat a mező szélére, a sugarakkal irány szerint legkevésbé lefedett helyre söpri ki.
- A hosszú sugárutak simító hatása.
- Az integrált sebességből kell differenciális sebességet számolni.

A geotechnikai adatok problémái:

- Időeltérés: a szeizmikus méréseket a vágathajtás után hónapokkal végeztük. Időközben a víztartalom megváltozott, a gyengült zónákat elinjektálták
- A vágat környezetében kialakult az EDZ (Excavation Disturbed Zone) zóna, amit a kőzetfizikai paraméterek nem vesznek figyelembe.
- Az RQD értékek relatívak: a kőzet anyagát nem veszik figyelembe. Becsült és diszkrét értékeket is használ. Irány és skálafüggő értékeket adnak.

2. EREDMÉNYEK

Általában elmondható, hogy a szeizmikus sebesség függ a kőzet anyagától, repedezettségétől, folyadék- vagy gáztartalmától és a feszültségtől. A vizsgálatok eredményeképpen megállapíthatjuk, hogy az S-sebességet elsősorban a repedezettség befolyásolja. A vágat mentén celláról cellára sorban elvégzett korreláció értéke az S-sebesség és az RQD között 78%, míg a simított adatokon 90% fölötti, addig P-sebesség esetén értéke 64% és 78%. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy az S-sebességekből az RQD 90% pontossággal megjósolható. A legjobb korrelációt az RQD és az S-sebesség között találtuk, értéke több mint 90%. Jó, vagy elfogadható a korreláció a P-sebesség értékekre is, ami az egyéb helyekről – ahonnan nincs S-hullám sebesség információ – származó sebességértékek felhasználhatóságát igazolja. Az egyes paraméterek közötti korrelációs értékek az 1. táblázatban láthatók.



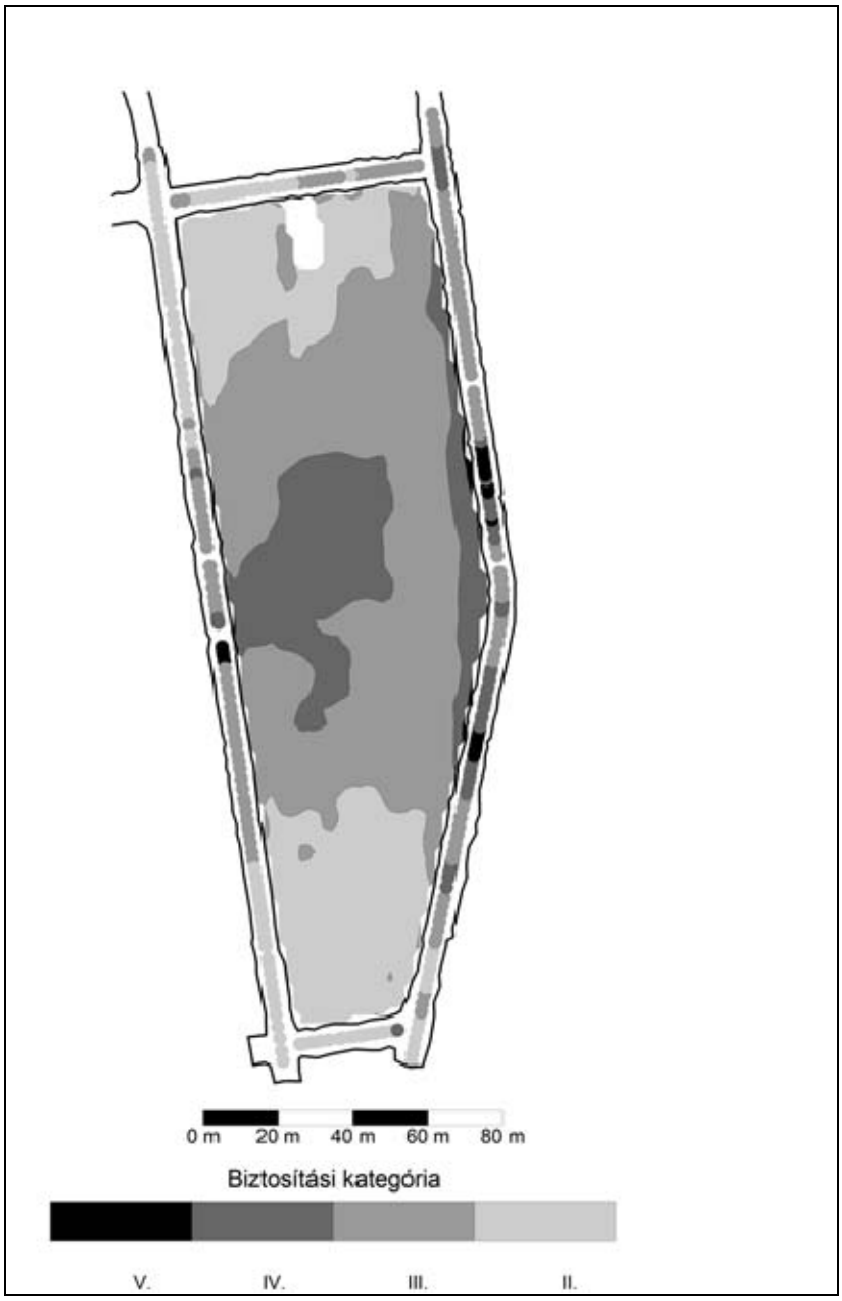
1. ábra Az S-sebesség és az RQD kapcsolata pontról pontra

	RQD	RMR	Log(Q)	$RQD_{smoothed}$	$RMR_{smoothed}$	$Log(Q_{smoothed})$
Vs	78,4%	74,0%	58,1%			
Vp	63,8%	60,8%	42,1%			
$Vs_{smoothed}$				91,1%	89,6%	87,8%
$Vp_{smoothed}$				76,9%	76,4%	80,0%

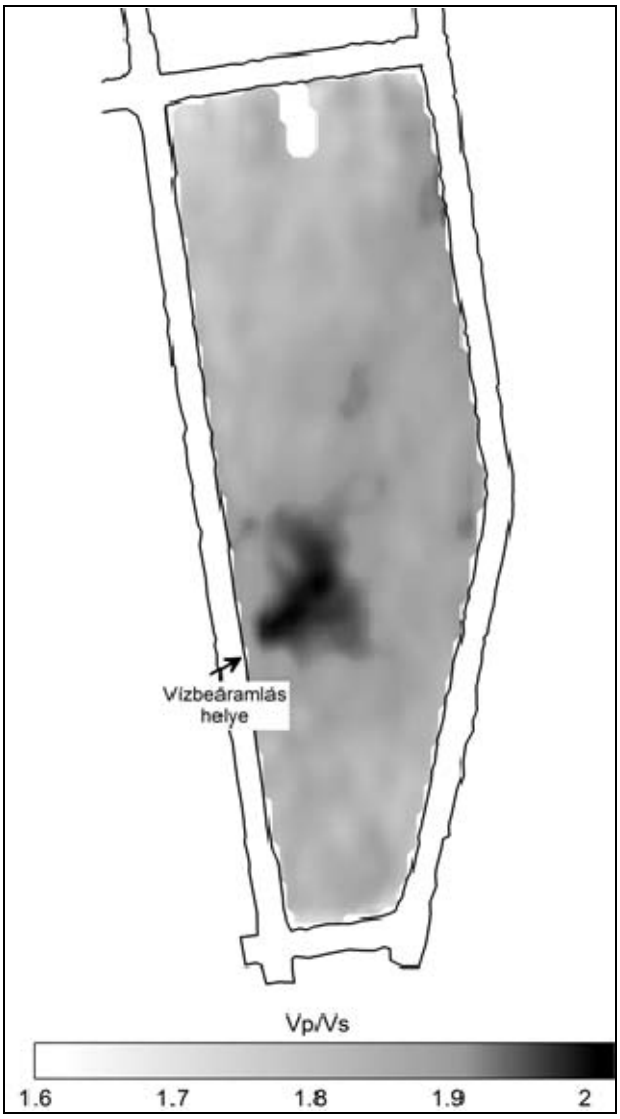
1. táblázat A sebességek és a geotechnikai paraméterek korrelációja

A kőzetek osztályozásának egyik célja, hogy segítségükkel a fejtési üreg biztosításának kategóriáit kialakítsuk. Mivel a kőzetosztályozás és a sebességek kapcsolatát sikerült meghatározni, megvizsgáltuk, hogy mi az összefüggés közvetlenül a kőzetbiztosítás és az S-sebesség között. Megállapítottuk, hogy közvetlenül a sebességből meghatározni a kőzetbiztosítási kategóriákat semmivel sem megbízhatatlanabb, mint hagyományosan az RMR-ből vagy Q-ból. Az S-sebességekből számított biztosítási kategória térkép a 2. ábrán látható.

Az előadás bemutatja a v_p/v_s arány és a hidraulikai paraméterek összefüggését is. Mivel, a P-hullámmal ellentétben, az S nem terjed folyadékokban és gázokban, ezért sebessége gyakorlatilag független a folyadéktartalomtól, ezért a v_p/v_s a víztartalommal arányos. A 3. ábrán látható anomália közelében, a nyíllal jelölt helyen a vágatban erős vízbeáramlást észleltek, amit a mérés idejére a vágat közvetlen környezetében már elinjektáltak.



2. ábra S-sebességből számított biztosítási kategória térkép és a ténylegesen alkalmazott kategóriák



3. ábra vp/vs arány kapcsolata a víztartalommal

IRODALOM

[1] Barton N., 1993, Application of Q-system and index tests to estimate shear strengths and deformability of rock masses, Workshop on Norwegian Method of Tunnelling., New Delhi, 66-84

[2] Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineerin,. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z. T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

[3] Deere, D., U. and Deere, D., W., 1988: The rock quality designation (RQD) index in practice, In Rock classification systems for engineering purposes (ed. L. Kirkaldie). ASTM Special Publications 984, 91-101, Philadelphia, Am. Soc. Test. Mat.

Mélyfúrás-geofizikai szelvények korrelációja a kamrafúrásokban

Geophysical well-log correlation in the pilot holes of disposal galleries

HEGEDŰS SÁNDOR, SZONGOTH GÁBOR

Geo-Log Kft., 1145, Budapest, Szugló u. 54., posta@geo-log.hu

Abstract

During the 10 year period of the surface researches Geo-Log Ltd. did the well logging in 62 drills, it was about 10000 meter. The research had been succesfull, the underground storage rooms handing over did in september 2011.

The geophysical well-logging provides substantial information on surface geophysics, geology, tectonics and hydrogeology during surface geophysical exploration. Some of the geophysical measurements (e.g.gamma ray) shows the rocks petrological properties, while resistivity and acoustic wave shows the rocks geotechnical condition first of all.

Avery effective and prompt rock body classification can be served from the resistivity and acoustic wave measurements, which complements and highly helps to evaluate the information from the core investigation and pressure tests.

These methods were made suitable for the considerably changed conditions of underground measurements.

Furthermore, we developed the method of predicting the physical properties of rocks based on geophysical well-logging.

We made a correlation between 6 drills that deepend in the storage rooms and their enviroment. The correlation shows well the changes in the rocks conditions.

Kulcsszavak

mélyfúrás-geofizika, gránit, RMR-kőzettestosztályozás, fajlagos elektromosellenállás-mérés, kőzetbesorolás, akusztikus sebességszelvényezés, akusztikus lyuktelevíziós-mérés

BEVEZETÉS

A felszíni kutatás során a mélyfúrás-geofizika alapvető információkat szolgáltatott a felszíni geofizika, a földtan, a tektonika és a hidrogeológia számára [1,2,4,6]. A felszín alatti bányaterekből kihajtott fúrások vizsgálata során a hangsúly — a fentiek mellett — a geotechnikai információszolgáltatásra került át. A felszíni vizsgálatok során már bebizonyosodott, hogy az elektromos és az akusztikus módszerek nagyon jól tükrözik a gránit geotechnikai állapotát (mállási öv, töréses zónák, egyedi repedések). Ezen felismerés alapján több tanulmányt készítettünk a kőzetmechanikai és geotechnikai paraméterek számszerű meghatározásának lehetőségéről és módszereiről [3,5]. A fenti mérési módszereket technikailag alkalmassá tettük a felszín alatti kutatás jelentősen megváltozott körülményei (pl. vízszinteshez közeli fúrás) között történő mérésre, és kidolgoztuk a kőzetállapot-előrejelzés mélyfúrás-geofizikára alapozott módszerét. Az alábbiakban ismertetjük a felszín alatti kutatás során — a kamrafúrásokból vett — végzett tevékenységet, az alkalmazott módszereket és eszközöket, valamint néhány példán keresztül bemutatjuk a szolgáltatott geotechnikai és hidrogeológiai információkat.

1. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK, MŰSZEREK ÉS A MÉRÉSEKBŐL NYERT INFORMÁCIÓK

A vízzel telített magfúrásokban (vágattengely és vízföldtani fúrások) végzett vizsgálatok és a belőlük származtatott információk:

- Fajlagos ellenállás (10 és 40 cm potenciál) — kőzetállapot-előrejelzés (RMR = Rock Mass Rating = kőzettest-osztályozás, Q = Quality).
- Természetes gamma — petrológia.
- Lyukátmérő — fúrólyuk állapota (pl. kavernák).
- Hőmérséklet, differenciálhőmérséklet — vízbeáramlási helyek.
- Akusztikus hullámkép — longitudinális (Vp) és transzverzális (Vs) sebesség, Poisson-szám, Young- modulus, nyírási modulus, Strength-index, egytengelyű nyomószilárdság.
- Akusztikus lyuktelevízió:
  — fúrás átmérője (72 vagy 144 irányban), ovalitás.
  — fúrás dőlése, iránya.
  — repedéssűrűség (repedés/m).
  — reflexiós amplitúdóátlag.
  — repedések települése (dőlés, irány).
  — repedések osztályozása (nyitott, zárt, félig nyitott stb.)
  —ezen adatok statisztikus feldolgozása (rózsadiagram, hisztogram, pólussűrűség-diagram).

A szonda- és az injektálást ellenőrző fúrásokban üzemszerűen csak fajlagos ellenállásmérés történt (néha akusztikus hullámkép felvétel is), az extenzométeres fúrásokban ez kiegészült az akusztikus hullámkép- és ferdeségméréssel.

Az EDZ fúrások közül a talpi fúrásokban akusztikus lyuktelevíziós, a szárazfúrásokban optikai lyuktelevíziós méréseket végeztünk (OBI: Optical Borehole Image).

- Optikai lyuktelevízió:
  — repedéssűrűség (repedés/m).
  — repedések tipizálása (eredeti, vágathajtás).
  — anyagi minőség (gránit, torkrét beton

2. A VÁGATTENGELYFÚRÁSOK MÉRÉSEINEK ÉRTELMEZÉSE

Az 1. ábrán — jellemző példaként — a BK1–3 kamrafúrásban készült mérési sorozatot mutatjuk be. Az elvégzett mérések alapján elkészítettük a petrológiai, a hidrogeológiai és a geotechnikai kiértékelést.

A petrológiai értelmezést alapvetően a természetes-gamma mérésből készítettük el a Mecsekérc Zrt.-től kapott rétegsort figyelembe véve. A harántolt kőzetet három kategóriába soroltuk a mért természetes-gamma intenzitás alapján:

- magas (50 μR/h feletti érték) — káliföldpát-tartalmú aplittelér.
- közepes (35–50 μR/h közötti érték).
- alacsony (35 μR/h alatti érték) — plagioklász-tartalmú aplittelér.
- 20 μR/h alatt — elagyagosodott zóna

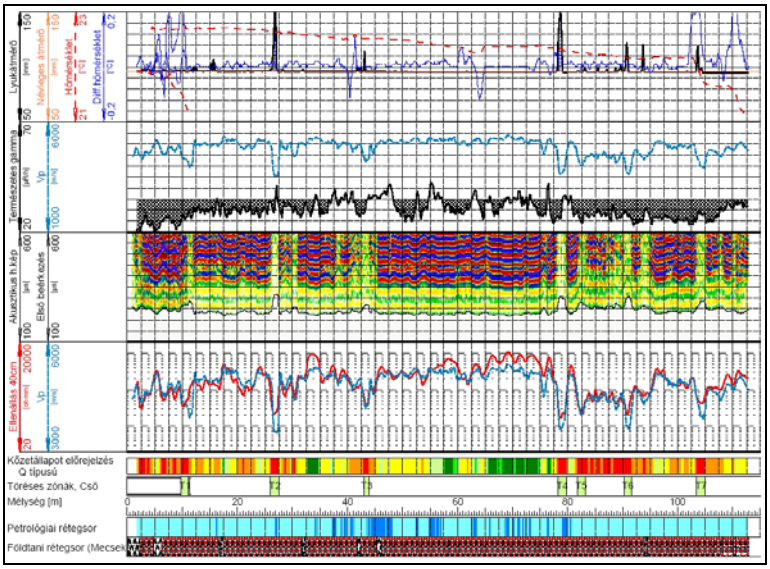
A természetesgamma-szelvény magas, illetve alacsony értékű szakaszai általában azonosíthatóak voltak a magokon talált elváltozásokkal. Ritkább esetben a magokon nem látszott elváltozás határozott természetesgamma-anomália esetében sem. Ezt valószínűleg szemmel nem azonosítható, utólagos urándúsulás okozta.

A lyukátmérő-szelvény jelzi az egyes nyitott repedéseket, illetve az erősen töredezett, a törésekből kihulló anyagú szakaszokat, a bemutatott példán több jelentős kaverna azonosítható.

A hőmérséklet általában egy szűk tartományban mozog, a tárolótér környezetében ez az érték 19–21 °C. A tényleges hőmérsékletet torzítják — különösen a vízszinteshez közeli fúrásoknál — az esetleges utántöltések, illetve a fúrás végén megjelenő levegővel töltött szakaszok. Az ilyen zavaró hatások ellenére a hőmérsékletmérés kitűnően megmutatja a vízbetörési helyeket. Minden egyes hő-

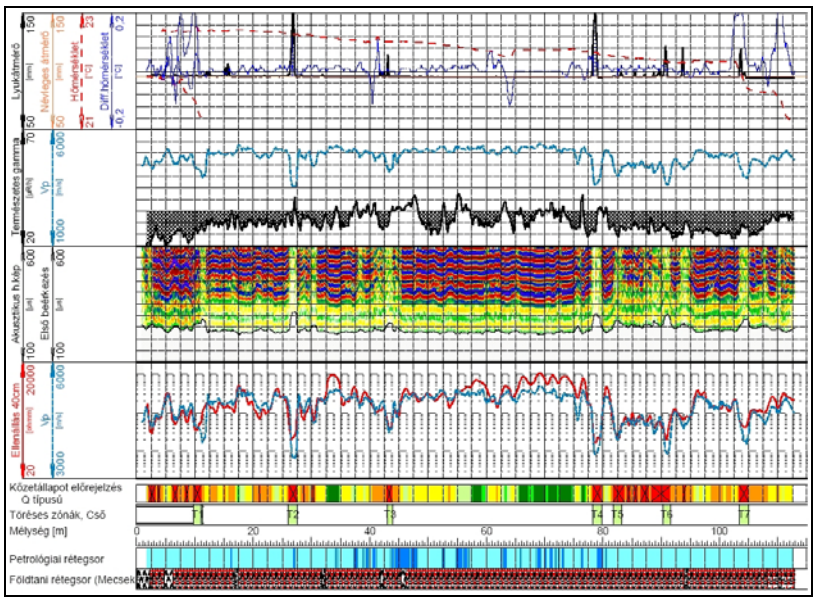
mérsékletanomália, amit a differenciálhőmérséklet-görbe látványosan jelez, egy-egy vízbeáramlással kapcsolatos. A hőmérsékletkülönbség — ami legtöbbször csak néhány tized fok — kapcsolatban van a bejutó víz mennyiségével, de a pontos mennyiség nem határozató meg, mivel a hőmérsékletváltozás függ a fúrás távolabbi részéből származó víz mennyiségétől és hőmérsékletétől is. Az általunk észlelt hőmérsékletváltozások az esetek többségében jól pontosították a Golder Associates Kft. pakkeres nyomásméréséből származó 10 m-es vízbetörési intervallumokat.

Az elektromos ellenállás és az akusztikus hullámképszelvények, valamint az akusztikus lyuktelevíziós felvétel alapján kijelöltük a töréses zónákat (T1, T2,…, T7) és elkészítettük a kőzettest osztályozást (lásd 4.fejezet).



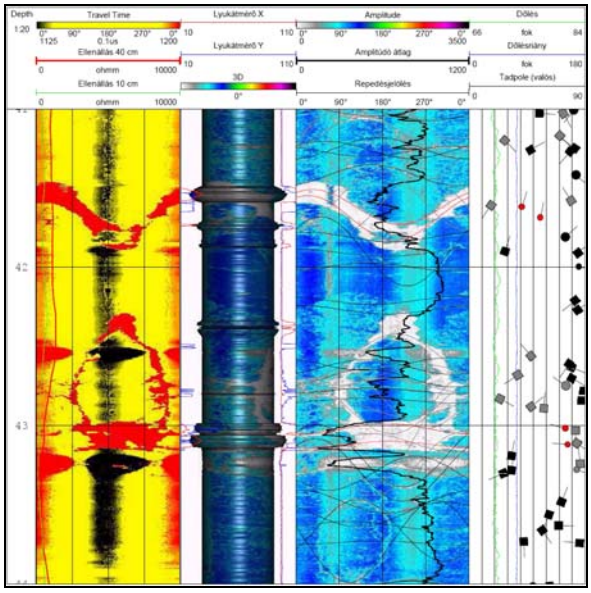
1. ábra A BK3–1 fúrás komplex szelvény

Az akusztikus hullámkép szelvények alapján meghatároztuk a beérkezési időket, majd kiszámítottuk a longitudinális (Vp) és transzverzális (Vs) sebességet. A kétféle sebességből, valamint — sűrűségmérés hiányában, a fajlagos ellenállásból tapasztalati összefüggés alapján meghatározott — sűrűségszelvényből, az ismert összefüggések felhasználásával kiszámítottuk a kőzetmechanikai paramétereket (nyírási modulus, strength-index, Bulk-modulus, stb.) [8].

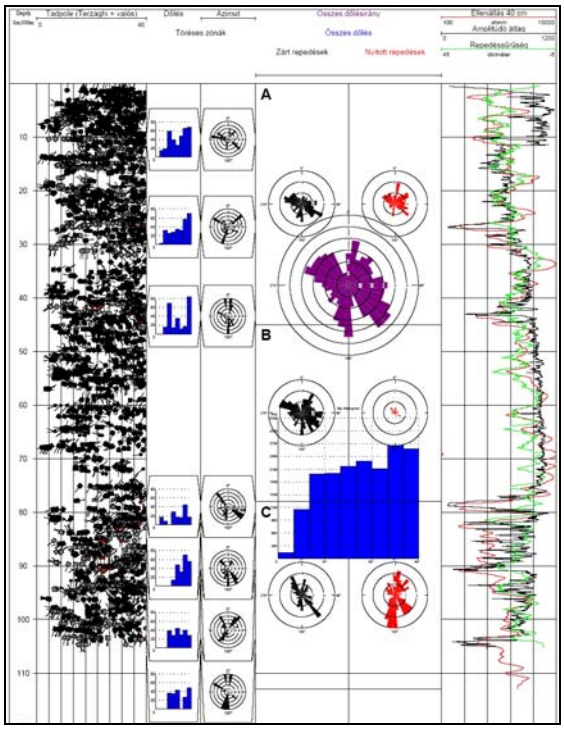


2. ábra Kőzetfizikai paraméterek a BK3–1 fúrásban

Az akusztikus lyuktelevíziós felvételek feldolgozását a felszíni méréseknél kialakított struktúrában végeztük [2,7]. 10 cm-es sűrűséggel meghatároztuk a fúrás dőlésszögét és dőlésirányát, ezután kijelöltük az egyes repedések települését és a repedések minőségét (3. ábra). Megszerkesztettük a repedéssűrűség- és az amplitúdóátlag szelvényt, elkészítettük a repedésstatisztikákat (4. ábra), valamint a pólussűrűség diagramot [7].



3. ábra BK1–3 fúrás akusztikus lyuktelevíziós felvétele és értelmezése

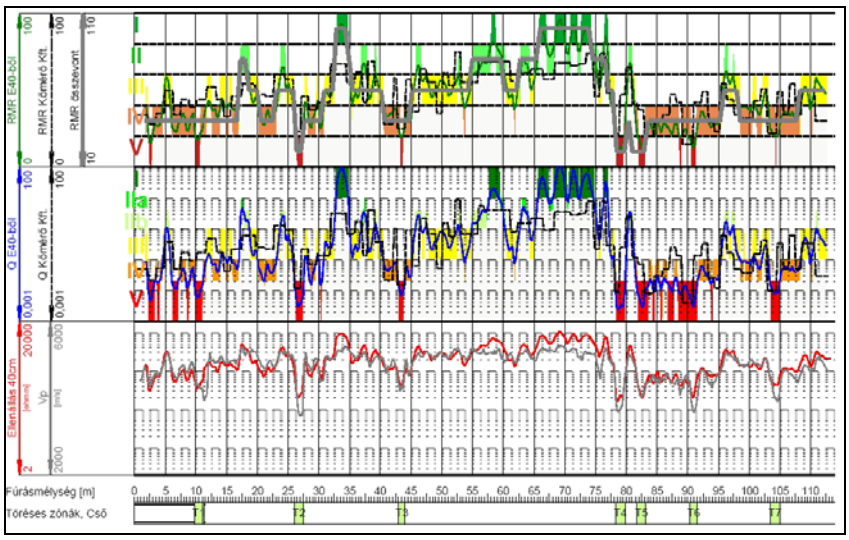


4. ábra A BK1–3 fúrás BHTV repedésstatisztikái

3. KŐZETTEST-OSZTÁLYOZÁS

A több mint 10 000 m felszíni fúrás mérése és értelmezése során egyértelművé vált, hogy a granitoid típusú kőzetekben (de minden bizonnyal valamennyi kemény, repedezett kőzetben) az elekt-

romos ellenállás és az akusztikus hullámkép típusú mérések rendkívül jól tükrözik a kőzet geotechnikai állapotát. A felismerés után 8 darab felszíni fúrás mélyfúrás-geofizikai szelvényei és RMR-rendszerű kőzettest-osztályozása [3,5] összehasonlítása alapján megállapítottuk néhány elektromos és akusztikus elven alapuló módszer regressziós kapcsolatát a kőzetállapottal [3,5]. Az összefüggések alapján a felszín alatti fúrásokban eleinte kísérleti céllal, de rendszeresen, később megbízás alapján készítettünk a mélyfúrás-geofizikai mérésekre alapozott kőzetosztály-előrejelzést (5. ábra).



5. ábra Kőzetállapot-előrejelzés a BK3–1 fúrásban (RMR-, Q-típusú)

Az alsó mezőben a fajlagos elektromos ellenállásszelvényt és a Vp kőzetsebességet olyan skálán ábrázoltuk, hogy a két görbe lehetőleg minél jobban illeszkedjen egymásra. Az illeszkedés jósága egyben a mérések ellenőrzését is szolgálja. Abban az esetben, ha a két — eltérő fizikai alapokon nyugvó — görbe jellege és szintje közel esik egymáshoz, a mérések alkalmasak kvantitatív számításokra. A középső mezőben a Q-, a felső mezőben az RMR-típusú kőzettest-osztályozásokat ábrázoltuk. Összehasonlítás céljából mindkét mezőben feltüntettük a magleírásra alapozott (Kőmérő Kft.) és az ellenállásszelvény (E40) alapján számított kőzettest-osztályozásokat. A felső mezőben az automatikusan kijelölt kőzetosztályozás mellett ábrázoltunk egy összevont osztályozást is, ahol figyelembe vettünk néhány fejtési szempontot is (lehetőleg ne legyen 2–5 méternél rövidebb értékelési intervallum, és két kőzetosztály ugrás).

Látható, hogy a kétféle módszerrel készült osztályozás jellegében jól egyezik, csak 66,0–73,0 m között van egy kőzetosztály eltérés (itt a magleírás rosszabb kőzetállapotot ad meg).

4. KORRELÁCIÓS KÍSÉRLET A I-K1 ÉS I-K2 TÁROLÓKAMRA ÉS EZEK KÖRNYEZETÉBEN MÉLYÍTETT FÚRÁSOK KÖZÖTT

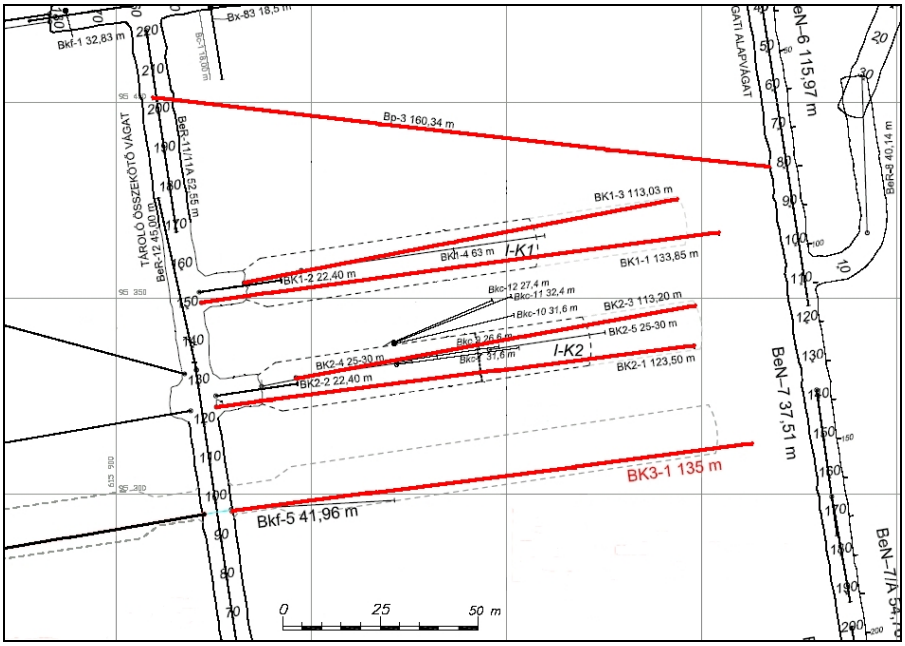
A leendő kamramezőben viszonylag sok fúrás létesült egymással nagyjából párhuzamosan, egymástól nem nagy távolságban, ami kínálta a lehetőséget a fúrások közti korrelációra.

A korrelációs kísérletet az I-K1 és I-K2 tárolókamra, valamint a jövőben létesülendő I-K3 kamra előfúrása és a közeli Bp–3 potenciálfúrás között készítettük el. A fúrások elhelyezkedése a 6. ábrán látható. A korrelációhoz az elektromos ellenállás és az akusztikus sebesség szelvényeket használtuk fel.

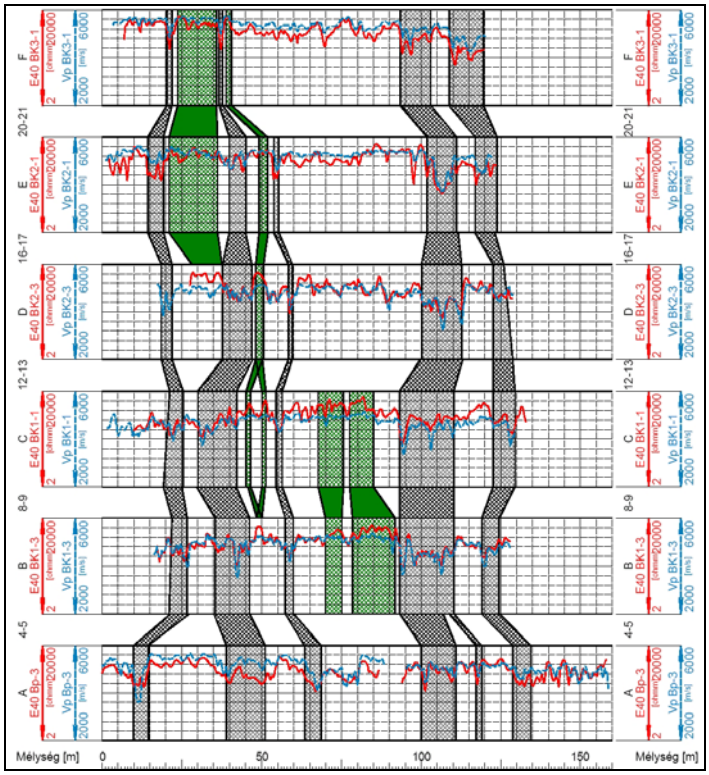
Az I-K1 és I-K2 tárolókamrában 2–2 darab100 méternél hosszabb negatív dőlésű fúrás létesült. A fúrások elrendezése a kamrán belül: 1-es a kamra közepén alul, a 3–as felette ~0,5–1 méterrel. A két kamra párhuzamosan fut egymással, a tengelyek távolsága ~27 m. Az I-K1 és I-K2 kamrák és a jövőben létesítendő I-K3 kamra előfúrása, valamint a Bp-3 fúrás közötti korreláció a 7. ábrán látható. Az ábrából megállapítható, hogy a töréses zónák, különösen a kisebb repedések nyomon követése ebben a

földtani környezetben (gránit típusú kőzet) igen nagy kihívás, ugyanis a töréses zónák iránya kiszámíthatatlanul változik.

Mivel az egyes kamrákban mélyült fúrások közötti távolság csak ~2,5 méter, ezért a korreláció jobb eredményt ad a kamrákon belül, mint a kamrák között, a távolság növekedésével az egyezés fokozatosan romlik. Mindezek ellenére a fúrásokban kb. 100 méternél harántolt erősen töréses zóna jól követhető a szelvényen és a görbék a zónák vastagságát is jól jelzik.



6. ábra A korrelációban részt vevő fúrások helyszínrajza



7. ábra A Bp–3, BK1–1, BK1–3, BK2–1, BK2–3 és BK3–1 fúrások korrelációja az E40 elektromos és Vp akusztikussebesség-görbék alapján (töredezett kőzet:rács, épp kőzet:sötét)

ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható, hogy a különböző fúrásokban végzett mélyfúrás-geofizikai mérések nagyon sok — a többi szakterület számára nélkülözhetetlen — információt szolgáltattak, ezzel jelentősen segítették a felszín alatti tárolókiképzési munkákat. Mindezek ellenére a mérések csak a fúrások egy kb. fél méteres sugarú környezetét tudják vizsgálni, ezért az így megszerzett információt (sebesség, RMR, stb.) célszerű lenne átvilágításos módszerekkel (pl. szeizmika) kiterjeszteni a teljes kutatási térre, legalább ott, ahol ez lehetséges (Nagyhurok).

IRODALOM

[1] SZONGOTH G., GALSA A. 2003: Áramlás és hőmérséklet mérések komplex értelmezése az 1998–2003-ban végzett összes mérés alapján. Geo-Log Kft. — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1001; Bátatom Kft., Budapest, BA–03–82.

[2] SZONGOTH G., ZILAHI-SEBESS L., GALSA A., BÁNNÉ GYŐRI E., LENDVAY P., BARTHA Z. 2003: Mélyfúrás-geofizikai adatok integrált értelmezése (Az 1996–2003-ban végzett összes mérés alapján) — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1059; Bátatom Kft., Budapest, BA–03–62.

[3] SZONGOTH G., ZILAHI-SEBESS L., SZÜCSI P. 2004: Geotechnikai jellemző (RMR) meghatározása mélyfúrás-geofizikai mérésekből — Kézirat, Jelentés, Geo-Log Kft., Budapest, Bátatom Kft. Adattár BA–04–02.

[4] SZONGOTH G., ZILAHI-SEBESS L., SZÜCSI P., BÁNNÉ GYŐRI E., GALSA A. 2006: A felszíni kutatás fúrásainak összesítő mélyfúrás-geofizikai értelmezése (minőségi teljesítés). — Kézirat, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1335; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–097/06.

[5] SZONGOTH G., SZÜCSI P. 2007: Kőzettest osztályozás mélyfúrás-geofizikai mérésekből — Mérnökgeológia–Kőzetmechanika 2007, Műegyetemi Kiadó, Budapest, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 4. 175-183. (Szerkesztette: Török Á. & Vásárhelyi B.)

[6] SZONGOTH G., ZILAHI-SEBESS L., SZÜCSI P. 2008: A felszín alatti fúrásokban végzett mélyfúrás-geofizikai vizsgálatok összefoglaló értékelése. Jelentés. — Kézirat, Geo-Log Kft., Budapest

[7] ZILAHI-SEBESS L., SZONGOTH G. 2008: Az akusztikus lyukfaltelevíziós mérésekből nyerhető geotechnikai információk — Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008, Műegyetemi Kiadó, Budapest, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7. 243-252. (Szerkesztette: Török Á. & Vásárhelyi B.)

[8] SZONGOTH G., HEGEDŰS S. 2010: Kőzetmechanikai paraméterek meghatározása a felszín alatti mélyfúrás-geofizikai mérésekből — Kézirat, Jelentés, Geo-Log Kft., Budapest, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks RHK-K-056/10.

A tárolókamrák geotechnikai viszonyainak előrejelzése és a megvalósulás

Prognosis and realization of geotechnical conditions of the L/ILW repository chambers at Bátaapáti

SOMODI GÁBOR, RÁTKAI ORSOLYA, KOVÁCS LÁSZLÓ

Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,
somodigabor@komero.hu, ratkaiorsolya@komero.hu, kovacslaszlo@komero.hu

Abstract

Three pilot boreholes per chambers were drilled in 2010 to discover the hydrogeological, geotechnical and geology features of the repository chambers area. The prediction of rock mass condition of the I-K1 and I-K2 repository chambers was based on the geotechnical documentation of the cores of pilot holes. The spatial variability of geotechnical parameters, however, is extremely changeable in the Mórágy Granite Formation. For decreasing this uncertainty, a new approach based on statistical analysis was applied. The subsequent geotechnical documentation of each cut has clearly showed that the quality of prognosis became much better due to the new method. The foreseen rock mass classes correspond to the values documented in practice in 70-75% of cases. The difference between the predicted and actual rock mass class was not once higher than one rock mass class. So the geotechnical prognosis proved to be able for establishing with high reliability the preparation of construction works. It can be concluded the accuracy of geotechnical prognosis primarily depends on the number of pilot boreholes and their spatial distribution inside the section of repository chambers.

Kulcsszavak

geotechnikai prognózis, kőzetosztályozás, kutatófúrás, vágatbiztosítás, vágatdokumentálás, bizonytalanság, térbeli kiterjesztés, Mórágyi Gránit Formáció

BEVEZETÉS

A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) első két tárolókamrája (I-K1 és I-K2) az ún. Nagyhurok-vágatrendszerrel feltárt I. kamramezőben, a Tároló Összekötő vágat északi részének keleti oldaláról indítva, 2011-ben létesült. A vonatkozó létesítési engedély egy-egy tárolókamra teljes hossz-szelvénye mentén legalább 3 db, teljes magvétellel mélyített előfúrás kialakítását írta elő. Így a kamrák kivitelezésének megindítása előtt, 2010 őszén kamránként 2-2 db hosszú, a teljes hossz-szelvényt feltáró (BK1-1, BK1-3, BK2-1, BK2-3), illetve 1-1 db, a nyaktag és a kónuszos tag zónáját feltáró rövid előfúrás (BK1-2, BK2-2) létesült. Ezek célja az volt, hogy az elvégzett komplex (földtani, geotechnikai, lyukgeofizikai és pakkeres) vizsgálatok eredményei alapján pontosabban lehessen előrejelezni a tárolókamrák várható földtani-tektonika, geotechnikai és vízföldtani viszonyait. A vizsgálati eredmények alapján előzetes kamraprognózis készült [3], amit a további, már a kamrahajtással párhuzamosan lemélyített rövidebb előfúrások (BK1-4, BK2-4, BK2-5) eredményei alapján pontosítottak [4]. Az előadásban a geotechnikai viszonyok előrejelzésével és annak igazolódásával kapcsolatos kérdéseket vizsgáljuk.

1. A GEOTECHNIKAI MINŐSÍTÉS FOLYAMATA ÉS HIBALEHETŐSÉGEI

A lejtősaknák és szintes vágatszakaszok kihajtása kapcsán kialakult egy kétfázisú geotechnikai minősítő eljárásrend. Ennek első fázisaként az aktuálisan kihajtandó vágatszakaszokat 50-130 m-es előfúrásokkal tárták fel. E fúrások maganyagából prognosztizálták a vágathajtás várható geotechnikai körülményeit, és tettek javaslatot az alkalmazandó fogásmélységekre. Mivel a biztosítástervezés alapját képező Barton-féle Q módszer egyes részparamétereit a fúrási maganyagból csak rendkívül szubjektív módon és igen nagy hibával lehet meghatározni, ezért ehhez az RMR minősítési rendszert hasz-

nálták. A második fázisban a vágathajtás során minden robbantást követően elvégezték a fogások szisztematikus geotechnikai minősítését. A kölcsönös ellenőrizhetőség és a szubjektivitás csökkentése érdekében ennek során párhuzamosan alkalmazták a Q és az RMR módszereket. A végleges biztosítási rendszer meghatározása már ezen eredmények alapján történt meg.

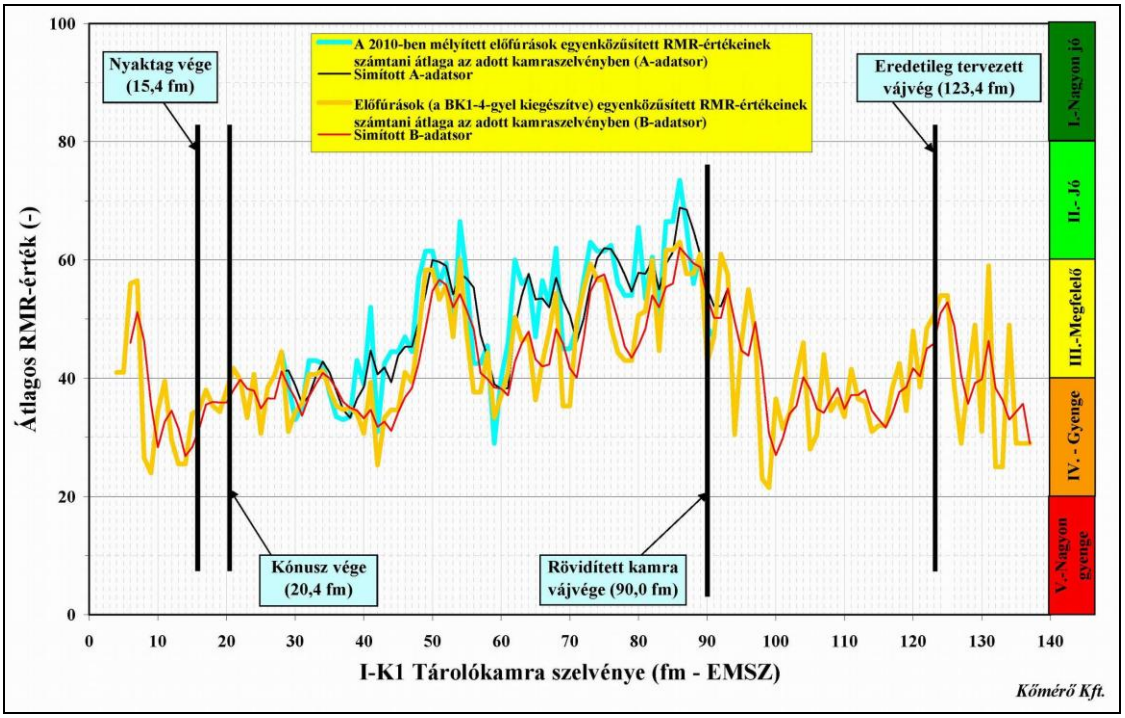
A 21-33 m^2 szabad szelvényterületű térségek kapcsán egységesen minden vágatszakaszra csak egy-egy előfúrás esett (sőt a lejtősaknák esetében általában csak az egyikben mélyült előfúrás). Így az előfúrási eredményeket közvetlenül, minden korrekció nélkül lehetett felhasználni a vágatban várható geotechnikai körülmények előrejelzésére. Már ebben az időszakban is számos, elkerülhetetlen hibalehetőség, bizonytalanság vált ismertté. Azon túlmenően, hogy az RMR-módszer egyes részparamétereit fúrási maganyagon és vágatban eltérő módon kell meghatározni, a legnagyobb mértékű bizonytalanságot a Mórágyi Gránit igen nagyfokú természetes változékonysága, illetve az erre visszavezethető léptékhatás okozta. Amíg egy-egy fogás geotechnikai minősítési eredménye minden esetben egy átlagolt érték (amiben a vájvég teljes szelvénye mellett a fogáshoz tartozó palást minden, nagy változékonyságú részlete is benne van), addig az előfúrások e részterületek közül valamelyiket tárják fel. Általános esetben ez az átlagnál akár lényegesen jobb, akár rosszabb geotechnikai állapotú terület is lehet. Minthogy azonban a fúrások kapcsán meghatározott adatok általában felnagyítják a gyengébb zónák hatásait, ezért az volt az általános tapasztalat, hogy a vájvégen meghatározott RMR-értékek alapján átlagosan fél-egy kőzetosztálynyival magasabb minősítési értékek adódnak, mint a fúrásokból. Ezzel ellentétes értelmű (és egyes esetekben ugyancsak nagyfokú) hibalehetőséget tartogat azonban a fúrólyukiránnyal közel párhuzamos, tehát a fúrással nem feltárható zónák jelenléte, amelyek jelentősen, kedvezőtlen irányban befolyásolhatják az adott vágatszakasz geotechnikai és statikai viszonyait. Ilyen esetekben éppen ellentétes értelmű hiba is előfordulhat a prognózisban. További bizonytalanságot jelent a magdokumentálás során, hogy a jelenlegi dokumentációs és kutatási lépések mellett a repedések valódi térbeli orientációja nem határozható meg, továbbá hogy az előfúrásban meghatározott vízbelépési körülmények a későbbi injektálások hatására jelentős mértékben változhatnak.

2. A GEOTECHNIKAI KAMRAPROGNÓZIS

Természetesen a már említett egyedi kamra-előfúrások kapcsán is elkészült a maganyag RMR-rendszerű, a földtani, lyukgeofizikai és vízföldtani vizsgálatok eredményeit is figyelembe vevő geotechnikai minősítése. Az a kérdés azonban, hogy hogyan kezelhetők az egyes szelvénykeresztmetszeteket feltáró előfúrások egymástól sokszor jelentősen eltérő geotechnikai minősítő értékei, első ízben csak a tárolókamrák nagyobb szelvényei és az ezzel összefüggésben lemélyítendő 3-3 kamra-előfúrás kapcsán merült fel. A probléma azért is érdemel kiemelt figyelmet, mert a geotechnikai viszonyok pontos előrejelzése nem csak a kivitelezés során fontos; ez képezi például a kivitelezési szerződések megkötésének, illetve a biztosítóelemek beszerzésének alapját is. A közvetlen értékelési gyakorlat ilyen esetekben való használhatatlanságát jól jellemzi, hogy a kiviteli terv [1] függelékeként ilyen elvek alkalmazásával elkészült egy előzetes geotechnikai prognózis, amely a gyakorlatban ultrakonzervatívnak, a valós viszonyok előrejelzésére alkalmatlannak bizonyult.

A probléma kezelésére a Kőmérő Kft. egy új értékelési eljárást dolgozott ki, és közölt a kamraprognózisban [3]; [4]. Értelemszerűen ez az új eljárás sem képes a Mórágyi Gránit természetes változékonyságából adódó, igen magas szintű bizonytalanság teljes megszüntetésére. Ennek elsődleges oka, hogy nem határozható meg olyan egyértelmű irány, ami mentén a fúrások tengelyirányához viszonyítva jelentősebb távolságra kiterjeszthetők lennének a geotechnikai viszonyok. Így a kamránként lemélyített 3-3 előfúrás adatai az előrejelzéshez – statisztikai értelemben – elégtelennek minősíthetők, és csak jelentős bizonytalansággal terhelve teszik lehetővé a kvantitatív prognózis felállítását. További hibalehetőséget jelentett az is, hogy a negatív dőléssel kialakított előfúrások, inkább a statikai szempontból kevésbé kritikus talpszelet állapotáról adtak előzetes információt, mint a kalottéról. Minthogy egy adott szelvény biztosítási módjáról az elsőként kialakított, statikai szempontból kiemelt jelentőségű kalott geotechnikai viszonyai alapján kell döntést hozni (ez a mértékadó szelvényrész), ezért a feltáró fúrások informativitása ebben a vonatkozásban korlátozott.

A természetes változékonyság számszerűsítése érdekében az első lépésben megvizsgáltuk az azonos kamrák feltárására mélyített előfúrások RMR-adatainak egymáshoz viszonyított alakulását. Azt találtuk, hogy egy-egy meghatározott kamraszelvény esetében a lemélyített, a kezdőpontnál egymástól 4-5 m-re, a kamrák végénél pedig már közel 8-11 m-re futó hosszú előfúrás maganyagából meghatározott RMR-érték eltérése gyakran meghaladja akár a két kőzetosztálynak megfelelő 40-et is [3]. Ezt követően – Geiger János bevonásával – autokorrelációs, illetve keresztkorrelációs vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy pontosabban leírhassuk a feltárt képződmények fúrástengely-irányú, illetve arra merőleges irányú változékonyságát. Első lépésként valamennyi előfúrás esetében meghatároztuk, hogy az egész kamrafolyóméterekhez milyen RMR-értékek rendelhetők. Az előkészített adatsorok a kamrák hossztengelye mentén 1 m-es felbontású prognózis elkészítését tették lehetővé.



1. ábra: Az I-K1 tárolókamra geotechnikai viszonyainak előrejelzése.

A kvantitatív prognózis elkészítéséhez az adott kamrakeresztmetszetet feltáró három előfúrás egyenközűsített geotechnikai minősítő értékeinek számtani átlagát számítottuk ki, majd a kamratengely mentén háromelemes mozgóátlag-képzéssel további matematikai simítást alkalmaztunk (1. ábra). Így már megalapozott becslés volt adható az egyes kamraszelvényekben várható geotechnikai állapot alakulására, és ezzel – a kiviteli terv előírásait figyelembe véve [1] – az adott fogásban alkalmazandó jövesztési és biztosítási rendszerre vonatkozólag is. A kapott eredményekből mindkét kamrára háromosztatú ábrákat készítettünk, amelyek felső sávja a simított adatsorokból kapott kőzetosztály-besorolást, második sávja a korrigálatlan, harmadik sávja pedig a kiviteli terv előírásai szerint korrigált jövesztési prognózist tartalmazza. Az elvégzett elemzések alapján megalapozott becslés volt adható arra nézve is, hogy az egyes, rövidített kamrahosszal kihajtott kamrák esetében milyen arányban kerülhet sor a két- illetve a háromfázisú jövesztésre.

A kamraprognózisnak feladata volt az is, hogy vizsgálja a létesítési engedélyben rögzített geotechnikai kritériumok teljesülését is. A prognózisban közölt eredmények szerint az I-K1 és I-K2 tárolókamrák esetében a földtani és hidrogeológiai vizsgálati eredmények alapján lerövidített, 90, illetve 101 m-es hosszal történő kialakításnak a létesítési engedélyben rögzített geotechnikai feltételek szerint nem volt akadálya [4]

3. A TÁROLÓKAMRÁBAN ALKALMAZOTT GEOTECHNIKAI MINŐSÍTÉS ELEMEI

A kamrahajtás során mind a kalott, mind a talpszelet minden egyes fogásában – a korábban is alkalmazott RMR és Q rendszerű empirikus módszerek alkalmazásával – elvégeztük a feltárt kőzetzóna geotechnikai minősítését. A kamrák geotechnikai dokumentálása során összegyűjtött, kiértékelt adatokat a [5] jelentés részletesen ismerteti.

A korábban kialakult kategorizálási rend egy új elemmel bővült. Mivel a gyakorlatban tarthatatlannak bizonyult a kiviteli terv azon előírása, miszerint a IV. és V. kőzettest osztályokban a kalott fejtését két részletben (bal és jobb kalott) kell elvégezni, ezért a tervezők menet közben egy új, IV.A jelű kőzetosztályt vezettek be. Az indoklás szerint amennyiben a kalott keresztmetszeti területének maximum 66%-a IV. kőzetosztályba sorolható, úgy a kalott fejtése során kialakuló igénybevételeket a kiviteli tervben meghatározott biztosítószerkezet nagy biztonsággal képes viselni. A tervezők szerint ez a megállapítás attól függetlenül igaz, hogy a IV. kőzetosztályú kőzet a kamra kalottjának mely részén, milyen eloszlásban található meg. Ezzel a módosítással lehetővé vált a kalott egy lépésben történő fejtése, illetve annak biztosítása a IV. kőzetosztályra kiírt anyagokkal és méretekkel. A IV.A kőzetosztály kritériumainak való megfelelés vizsgálata ettől kezdve szintén a Kőmérő Kft. geotechnikai dokumentálóinak feladata volt.

A kamrahajtás időszakában a geotechnikai dokumentálás rendszerét több új elemmel korszerűsítettük. Harmadik, független módszerként bevezettük a GSI (Geological Strength Index) paraméter közvetlen meghatározását. A GSI módszer alapját képezi minden, a Hoek-Brown töréselméleten alapuló tervezési munkának. Éppen ezért a kamrák geotechnikai dokumentálása során nagyon fontos volt ennek a módszernek az önálló, más módszerektől független meghatározása. (Korábban, a közvetlen meghatározás előtt a tervezéshez szükséges GSI értékeket a másik két módszer adatbázisaiból csak jelentős hibával lehetett származtatni). Az új módszer minél egyszerűbb és objektívabb alkalmazhatósága érdekében automatikus működésű munkalapokat dolgoztunk ki. Ezen kívül a kamrahajtás időszakában a korábban alkalmazott, 3D-s modellalkotást lehetővé tevő JointMetriX3D rendszert a korszerűbb ShapeMetriX3D-vel váltottuk fel. Ez a rendszer – amellett, hogy jelentősen csökkentette a helyszíni dokumentálás időszükségletét is – a vájvégek és az oldalfalak esetében egyaránt lehetővé tette a torzulásmentes 3D-s modellalkotást. E rendszer lehetőséget nyújtott teljesen újszerű feldolgozásokra, elemzésekre is [2]. Egy új szoftverrel például biztosítottuk több fogás, azaz egy teljes kamraszakasz egyidejű, georeferált 3D-s megjelenítését is.

4. A KAMPRAPROGNÓZIS ÉS A KAMRADOKUMENTÁCIÓS ADATOK ÖSSZEVETÉSE

Az [5] dokumentumban rögzített kamradokumentációs adatrendszer birtokában elvégeztük a prognosztizált, illetve ténylegesen meghatározott geotechnikai viszonyok összevetését. Ennek eredményeként azt tapasztaltuk, hogy a fentiekben bemutatott bizonytalanságok ellenére a kidolgozott új eljárás a gyakorlatban jól alkalmazhatónak bizonyult. A minden egyes egész folyóméterre kiszámított várható geotechnikai minősítő értékek alapján meghatározott várható kőzettest osztályok mindkét kamra esetében 70-75%-ban megegyeztek a megfelelő fogásokban ténylegesen dokumentált kőzettest osztályokkal. Egyetlen esetben sem fordult elő, hogy a várt és a tényleges minősítési kategória között egy kőzetosztálynál nagyobb eltérés legyen. A kivitelezési technológia szempontjából a legkedvezőtlenebb esetnek azt tekinthettük, ha az előrejelzést III. kőzetosztályt mutatott (kőzethorgonyzás, két jövesztési fázis), majd ennek ellenére IV. kőzetosztálynak megfelelő technológiával (rácsos ívtámok, osztott kalott) kellett kialakítani az adott fogást. Ilyen eset az I-K2 kamrában nem volt, az I-K1 kamrában összesen 9 méteres szakaszon állt elő. Ennek oka egy olyan, a kamra tengelyével csaknem párhuzamosan húzódó, majd haránttörések által elvetett agyagos törészóna volt, amit a feltáró fúrások nem harántoltak.

Az új módszerrel készült geotechnikai prognózis az ismertetett eredmények tükrében hatékonynak tekinthető, így ezzel várhatóan a továbbiakban is megfelelő megbízhatóságú geotechnikai előre-

jelzés adható majd a további kamrák kialakítására. A fentieknek megfelelően a bizonytalanság tovább is csökkenthető lenne a fúrások számának növelésével, valamint azzal, ha a fúrások közül legalább kettő a kalottban, megfelelő magasságban kerülhetne kialakításra.

IRODALOM

[1] Benkovics I., Takáts F., B. Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Dr. Kereki F., Ropoli L., Szebényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolci R., Vrászlai F., Kulcsár L., Thomas A., Hersvik D., Megyeri T.,, Németh Gy., Lowson A., 2010: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-Tároló feltáró vágatai térkiképzése. Kiviteli Terv, II. Ütem 3. szakasz: I-K1 és I-K2 tárolókamra. AJKMK00009D000C. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt. Mott McDonald Kft., 2010. szeptember 24., RHK Kft. Adattára. RHK-K-123C/09.

[2] Deák F., Somodi Gábor, Kovács László 2012: A JointMetriX3D és a ShapeMetrix3D által szolgáltatott információk összefoglaló értékelése. Kézirat, Kőmérő Kft., Pécs. RHK Kft. Adattár, Paks. RHK-027/12.

[3] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011/a: Kamraprognózis. Az I-K1 és I-K2 tárolókamra létesítésének várható viszonyai (az RHK-K-147/10 számú dokumentum előzetes összefoglalója). Előterjesztés – 2011. január 23.

[4] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011/b: Kamraprognózis jelentés (I-K1 és I-K2 kamra). – Kézirat. 2011. május 31., Mecsekérc Zrt., RHK Kft. Adattár, Paks. RHK-K-147/10.

[5] Szebényi G., Török P., András E., Szamos I. (Mecsekérc Zrt.), Gyalog L., Borsody J., Füri J., Gulácsi Z., Maros Gy. (MÁFI) Deák F., Jakab A., Kovács L., Máté K. (Kőmérő Kft.) 2012.: Az NRHT I-K1 és I-K2 Tárolókamra kivitelezés vágatdokumentációs jelentése. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt., Pécs, 2012. február; RHK Kft. Adattára. RHK-K-075/11M01.

A Bátaapáti 1-2 tárolókamra térkiképzési munkái

Underground Works of Bátaapáti 1st and 2nd Repository Chamber

BERTA JÓZSEF, FRIEDRICH ZSOLT, SÜTŐ RÓBERT

Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,
bertajozsef@mecsekerc.hu; friedrichzsolt@mecsekerc.hu; sutorobert@mecsekerc.hu

Abstract

Between 2005 and 2008 two ca. 1,700 m long inclined access tunnels and also seven cross-galleries, examination chambers and transformer chambers and sump chambers were made. These tunnels, galleries and vaults were made within the final disposal of low and intermediate radioactive waste survey project.

After the examined area had been said to be suitable, Bátaapáti National Radioactive Waste Repository (NRWR) started to be realised. Firs the southern and western base galleries and the 8th cross gallery – the so called "small loop" – then the repository galleries – so called "big loop" – and the galleries of the final water treatment system (pump chambers, sumps) and the neck of the first two repository chambers were made.

The mining works of the 1st and 2nd repository chambers were in 2011. During this the cone enlarging to the final section of the repository chambers belonging to the necks were made. After it the repository chambers were built. The repository chambers were made side by side, parallel in two phases (calotte and invert). In a part of the 1st repository chamber the calotte also was made in two phase (left calotte, calotte enlarging).

The two repository chambers were built under different geologic-tectonic conditions with different tunnel supporting technology. The chamber prognoses made on the basis of the test results of cored pilot drillings, full section test drillings and the tests made in them and on the drilled cores helped the design of the supporting technology.

Pre-groutings were necessary in a part of both repository chambers due to fulfil the strict transmittivity values and the water inlet limit.

Optical convergence measuring sections were installed in both repository chambers with predetermined frequency. With the frequent measuring of these sections the decreasing of the movement of the environment and the adequacy of both the design and the building could be verified.

We built in long-term geotechnical monitoring equipment in the 2nd repository chamber so as to observe the movement of the rock and the supporting elements. These supply data for the design of further repository chambers too.

It was an individual task to build the chamber closing shuttered reinforced concrete end-wall. The mining works of the repository chambers were finished with it. After it the repository chamber works continue and finish with the building of the floorboard and the system accessories of the final technology of the 1st repository chamber.

Due to the strict deadlines the building co-ordination of the repository chambers, the building of the monitoring systems, the pre-groutings was made with preliminary and weekly scheduling.

Kulcsszavak

bányászati térkiképzés, tárolókamrák, injektálás, vizsgálatok, ütemterv

BEVEZETÉS

A kis és közepes aktivitású atomerőművi radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére a Bátaapáti melletti Nemzeti Radiaoktívhulladék-tároló (NRHT) felszín alatti tárolókamráiban kerül sor.

A Bátaapáti NRHT felszín alatti tereinek építését egy felszíni és egy felszín alatti kutatás előzte meg. Ennek során 2005-2008 között kialakításra került két, egyenként kb. 1 700 m hosszú, 10%-os dőlésű lejtősakna, közöttük 7 db összekötővágattal továbbá 5 db vizsgálati célokra szolgáló oldalkamra, 4 db transzformátorkamra, 2 db víztároló és vízkezelő zsompvágat. A felszín alatti kutatás eredményei alapján készített zárójelentés hatósági elfogadása után elkészített és engedélyezett létesítési terv [1] alapján kezdődött meg 2008-ban az alapvágatok és a 8. összekötővágat (kishurok) építése. Ezt követően 2009-2010-ben készültek el a tárolói vágatok (nagyhurok), a vízkezelési rendszer vágatai (szivattyúkamrák, zsompok), valamint az első két kamra nyaktagi része.

A kiviteli terv [1] elkészülte után 2011 januárjában kezdődtek meg az I-K1 és az I-K2 tárolókamrák térkiképzési munkái. 2011 októberében a tárolókamrák zárófalazatainak megépítése után a térkiképzés befejeződött. 2012 áprilisára elkészült az I-K1 tárolókamra padozata, majd májusra a végleges technológiai rendszerek telepítése, szerelése is befejeződött.

1. A TÁROLÓKAMRÁK KIVITELEZÉSE

2011-ben került sor az I. keleti kamramező 1. és 2. tárolókamra bányászati térkiképzési munkáira. Ennek során elkészültek a Tároló összekötő vágatból nyíló un. nyaktagokhoz kapcsolódóan a kónuszos bővítések 33 m^2-es szelvényről 97 m^2-es szelvényre, majd megépültek a tárolókamrák 97 m^2-es szelvényméretben és elkészültek a zárófalazatok. A tárolókamrák egymással párhuzamosan két építési fázisban (kalott, talpszelet) készültek. A 1. tárolókamrában egy szakaszon a kalott is két fázisban készült (bal kalott, kalott bővítés).

A tárolókamrák építését magfúrások előzték meg, amik információkat adtak a kamraprognózisok [1] elkészítéséhez.

Mindkét tárolókamrában szükség volt egy-egy vágatszakaszon előinjektálásra a szigorú transzmisszivitási értékek és a vízbelépési korlát teljesítése miatt.

Mindkét tárolókamrában – előre meghatározott gyakorisággal – telepítésre kerültek optikai konvergencia mérő szelvények, melyek rendszeres bemérésével figyelték a térkiképzés okozta kőzetmozgásokat. Ezek alapján megállapítható volt, hogy a mozgások a homlok előrehaladásával lecsengtek. Rendkívüli mozgások, kőzetkörnyezet-tönkremenetelek nem történtek.

Az I-K2 tárolókamrában hosszú távú geotechnikai monitoring elemek kerültek beépítésre a kőzet, és a biztosító szerkezetek mozgásainak megfigyelésére. Ezek a további tárolókamrák tervezéséhez is adatokat szolgáltatnak.

2. ELŐFÚRÁS - KAMRAPROGNÓZIS

A kamrák kialakítását magfúrásos előfúrások mélyítése és azokban, ill. a magokon végzett vizsgálatok előzték meg. Az előfúrásokból nyer adatok alapján elkészült a kamraprognózis [3], mely információt szolgáltatott a térkiképzés feltételeit befolyásoló vízföldtani, földtani-tektonikai, geotechnikai körülményekről.

Az előfúrások feladata a kamrakialakításhoz szükséges elsődleges földtani, tektonikai, geotechnikai és hidrogeológiai alapadatok biztosítása, az előinjektálást igénylő szakaszok kijelölése, a vizsgált érintetlen kőzettestek hidrodinamikai jellemzőinek megismerése, esetlegesen mélységi vízminta vétele, a vizsgált kőzettestek geotechnikai tulajdonságainak vizsgálata, minősítése volt a vágathajtás (kőzetosztály prognózis, ajánlott fogásmélység javaslat) szempontjából.

Az I-K1 tárolókamrában 3 vágathomlokról 4 db előfúrás, az I-K2 tárolókamrában 4 homlokról 5 db előfúrás mélyült.

A kamraprognózis nagy pontossággal jelezte a várható kőzetminőséget, az injektálandó szakaszokat, segítve ezzel az építés operatív tervezését, ütemezését.

3. ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIA

Az alkalmazott térkiképzési és biztosítási módszer az NMT-re (Norwegian Method of Tunneling — norvég alagútépítési módszer, alagutak és vágatok biztosítására) épül, és alapjaiban a Barton et al. (1993) által kidolgozott és nemzetközileg elismert NGI-Q kőzetosztályozási rendszert követi és használja. Ebben a módszerben kitüntetett fontosságú a harántolandó kőzettestek megfelelő geotechnikai minősítése és osztályozása. A harántolt kőzettestek osztályozása elsődlegesen az előfúrások magdokumentációjakor, végleges formájában pedig a vágathajtás során a fogásonként elvégzett geotechnikai dokumentáláskor történt. Ezek alapján öt biztosítási technológia állt rendelkezésre (D-I.; D-II; D-III.; D-IV.; D-V.), ill. a kivitelezés időszakában bevezetése került a D-IV.A technológia.

A tárolókamrák építése (jövesztés, biztosítás) a Kiviteli terv 4. függelék: Jövesztési technológiai terv és kiegészítései [4], [5], [6], [7], [8] alapján történt. A kivitelezés során a tervezői művezetés keretében 11 tervezői nyilatkozat került kiadásra, melyek módosították a kivitelezés egyes lépéseit.

A kamrák építésekor rugalmasan alkalmazkodtunk a kőzetviszonyokhoz, a kőzetköpeny teherviselő képességének megtartása érdekében kőzetkímélő robbantásos jövesztési technológiát alkalmaztunk.

A biztosítás fő elemei: acélszál erősítésű lőttbeton, kőzethorgony, a D-IV. és D-IV.A technológiánál két rétegben beépített acélháló, rácsos tartó. Töredezett, felszakadásra hajlamos kőzetben acél előtűző nyársak kerültek beépítésre.

A két tárolókamra különböző földtani-tektonikai környezetben, különböző vágatbiztosítási technológiával épült. Az I-K1 tárolókamra túlnyomóan IV. kőzetosztályú kőzetben, az I-K2 tárolókamra túlnyomóan III. kőzetkategóriájú kőzetben haladt.

Biztosítási technológiák		CD-átmenet	D-II.B	D-III	D-IV.	D-IV.A
I-K1	Hossz (m)	5,0	0,0	21,5	24,45	23,55
I-K2	Hossz (m)	5,0	4,0	68,5	0,0	8,10

Az I-K1 tárolókamrában először jelentkező IV. kőzetosztályban 16,45 m hosszon – a kiviteli tervnek megfelelően – a kalott két fázisban került kialakításra (bal kalott, kalott bővítés). Az ennek során szerzett tapasztalatok alapján megfogalmazott tervezői nyilatkozat és kiviteli tervmódosítás [7] szerint bevezetésre került a D-IV.A technológia, amely bevezette és szabályozta a IV. kőzetosztályban a teljes kalott egy fázisban való kialakítását.

A C-D átmeneti szakasz mindkét kamránál kétrétegű acélháló és ívtámok felhasználásával történt három építési fázisban: kalott magszelvény – állandó szelvényméretttel, folyamatos emelkedéssel, kalott bővítés – a végleges kalott folyamatosan bővülő mértére, talpszelet – a végleges talpszelvény méretére.

A robbantólyukak fúrása a robbantásos jövesztéshez két fúrókaros, szerelőkosaras ATLAS COPCO L2C típusú önjáró, elektrohidraulikus fúrókalapácsokkal felszerelt fúrókocsival történt. A fúrókocsi a pontos fúrás kivitelezés érdekében lézeres irányítással és TCAD rendszerű, számítógéppel volt felszerelve. Komplett vágatirányítási rendszer alkalmazása (TMS és Atlas Copco Tunnel Manager Lite) biztosította a pontos kivitelezést, amely a digitális térbeli nyomvonal alapján felügyelte mind a

vágatbeli fúrások helyzetét, mind a vágathajtás szelvényének irány és szinttartását, egy, a vágatban elhelyezett mérőállomás és a fúrókocsiban lévő számítógépes rendszer kapcsolatával (Tunnel Manager Lite).

A jövesztés fúrásos, robbantásos technológiával történt, kőzetosztályonként különböző fogáshosszal kőzetkímélő robbantási technológiával. Ennek során az egy fokozatban robbantott töltet nagysága nem haladta meg a 15 kg-ot, a kontúrlyukakban csökkentett átmérőjű és tömegű robbanótöltetek kerültek elhelyezésre. A robbantás elektromos gyutaccsal indított kezelésbiztos töltényezett robbanóanyaggal történt.

A lerobbantott kőzet kiszállítása nagy teljesítményű gumikerekes gépekkel történt. A kőzet felrakását 3 m^3-es kanalú homlokrakodók, a kiszállítást 10 m^3-es puttonnyal felszerelt bányabeli dömperek végezték.

A vágatbiztosítás egyik alkotórésze a lőttbeton héj. A lőttbeton alapanyagát a felszíni telephelyen lévő saját betonüzem biztosította. A nyersbetont 3 és 6 m^3-es mixerek szállították a vájvégre és nagyteljesítményű távirányításos betonlövő berendezéssel végezték a gyorsító adalékkal kevert beton beépítését.

A vágatbiztosítás másik eleme a vágatpalástra merőlegesen beépített, 4,0 m hosszú, teljes hosszon cementalapú habarccsal rögzített kőzethorgony. Ennek beépítési sűrűsége III. kőzetosztálynál 1,5 x 1,0 m; IV. kőzetosztálynál 1,0 x 1,0 m. Azon horgonylyuk furatokba, melyekből vízbelépés jelentkezett IBO horgonyok kerültek beépítésre. Ezen horgonyok hossztengelyében furat van, amin keresztül injektálásos módszerrel lehet beépíteni és rögzíteni őket a furatban, elzárva ezzel a vizet adó repedéseket.

4. ELŐINJEKTÁLÁS

A tárolókamrába történő vízbeáramlás megengedhető mértékét a hosszú távú biztonsági elemzés által megfogalmazott elvárások alapján 5 l/perc/kamra értékben határozták meg. Az előfúrásokból, illetve szondafúrásokból nyert információk alapján előinjektálást kellett végezni ott, ahol a pakkerteszt eredménye szerint a transzmisszivitás értéke > 2*10-7 m^2/s, ami körülbelül 0,2 Lugeon értéknek felel meg.

Az I-K1 kamrában egy szakaszon volt szükség, injektálásra 77,60–88,20 m között fél szelvényben. Aa kamragátnál végzett mérések szerint a kamra teljes hosszán 1,4 l/min víz szivárog be. Az I-K2 kamrában egy szakaszon volt szükség, injektálásra 28–53 m között. Az injektálás három szakaszban került kivitelezésre. Az első és az azt kiegészítő második injektálásra a 28,40 m-es vájvégről került sor. Ezt követően a 32,40 méteres homlokról történt a harmadik előinjektálás, ami eredményre vezetett. A tárolókamra nyaktagjában telepített vízhozammérő gátnál végzett mérések szerint a kamra teljes hosszán 0,5 l/min víz szivárog be.

Injektáló anyagként csak olyan, környezetvédelmi engedéllyel rendelkező alap- és adalékanyagokat lehetett használni, amelyek kielégítik a tervezett tároló hosszú távú biztonságával kapcsolatos egyéb szempontokat is (izotópmegkötő képesség, gáz- és kolloidképző tulajdonságok, pH, toxicitás, hosszú távú mechanikai és kémiai stabilitás). Ennek megfelelve Rheocem 900 SR mikrocement került alkalmazásra a tárolókamrák injektálásánál. Az I-K2 tárolókamrában alkalmazásra került MEYCO 320T kolloidális silicagél is a mikrorepedések elzárására.

5. ZÁRÓFALAZAT

A tárolókamra végső hosszának meghatározása valamint a tárolókamra záróhomlokának biztosítása a hosszú távú biztonsági követelmények, az építtetői és gazdaságossági követelmények figyelembe vételével történt, a Pécsi Bányakapitányság által kiadott szakhatósági állásfoglalásban foglaltak alapján. Ennek megfelelően a „21-ÉÉNy-DDK" jelű agyagos zónát sem a tárolókamra sem a kamra záróhomlokába épített biztosító szerkezet (kőzethorgony) nem közelíti meg 5,0 m-nél jobban. A tárolókamra záróhomlokának kialakítása a Kiviteli terv II. ütem 3. szakasz 4. módosítás – I-K1 és I-K2 tárolókamra záróhomloka (AJKMK 00009D000G) című tervmódosításban [8] foglaltak szerint készült.

A vasbeton zárófalazaton a kizsaluzás után hajszálrepedések jelentkeztek, melyeket gipszpogácsák elhelyezésével figyeltek. Tervezői nyilatkozatokban került meghatározásra a repedések figyelemmel kísérése, majd elrendelve a repedések cementtejes lezárása, ami meg is történt.

6. ÜTEMEZÉS

A két tárolókamra térkiképzési munkái párhuzamosan történtek. Az építési fázisok (kalott, talpszelet) kialakításának sorrendjét a kiviteli terv tartalmazta. Ez azonban nem számolt az esetleg szükséges előinjektálásokkal és azok időigényével. Így a kivitelezés során – figyelembe véve az előzetes ütemtervet – többször is átdolgozásra került az egyes kamrák építési fázisainak sorrendje. Ennek során az alábbi szempontokat és eseményeket kellett figyelembe venni.

- TNY-KT-2/3-DOC/01 jelű tervezői nyilatkozat, amely a két tárolókamra C-D átmeneti szakasz elővágatainak egyidejű jövesztését szabályozta.
- Az I-K1 tárolókamra 28,4m-től fúrt BK1-4 magfúrás.
- Az I-K2 tárolókamra 28,4m-től fúrt BK2-4 és a 75,3m-től fúrt BK2-5 magfúrás.
- Az I-K1 tárolókamrában a 77,6–88,2m között elvégzett előinjektálás.
- Az I-K1 tárolókamrában a 28,4–53,0m között elvégzett előinjektálás.
- Az I-K2 tárolókamrában telepítésre kerülő CSIRO cellás mérési rendszer és az extenzométeres szelvény telepítése. Ezek kivitelezéséig az I-K1 tárolókamra kalottja nem közelíthette meg a telepítési szelvényt. A szelvény telepítése után az I-K1 tárolókamra kalottjával el kellett haladni a telepítési szelvény mellett, hogy csak annak hatásáról történjen adatgyűjtés.

A fentieket figyelembe véve az egyes kamrákon belül is ütemezni kellett a kalott és a talpszelet építésének sorrendjét, valamint az I-K1 tárolókamra 31,6–48,05 m közötti szakaszán a bal kalott és a kalott bővítés egymásutániságát.

KONKLÚZIÓK

A tárolókamrák építési technológiáját az előfúrások alapján készített kamraprognózis alapozta meg. Az elkészült két tárolókamra alapvetően különböző földtani-tektonikai környezetben épült. Az alkalmazott jövesztési-biztosítási technológia megfelelőnek bizonyult, a rendszeres optikai konvergencia mérések alapján. Az alkalmazott géppark megfelelően szolgálta ki a kivitelezési igényeket. Az előinjektálásokkal sikerült elérni a szigorú vízbelépési kritériumok teljesítését. Az 1. és 2. tárolókamrák építése során szerzett tapasztalatok nagyban segíthetik majd a tervezett további tárolókamrák sikeres és eredményes építését.

IRODALOM

[1] Fábián M., Bakainé Papp K., Bogár J., Brandmüller I., Buócz Z., Keszerice V., Kovács L., Livo L., Mátrai Cs., Molnár I., Molnár P., Szebényi G., Vásárhelyi B., Viczencz O. 2010: A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja (ETV–Erőterv Zrt.). – 2. módosítás.— Kézirat, Fábián&Fábián Kft., Budapest, RHK Kht., Paks. RHK–K–27D/07.

[2] Benkovics I., Takáts F., B. Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Dr. Kereki F., Ropoli L., Szebényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolci R., Vrászlai F., Kulcsár L., Thomas A., Hersvik D., Megyeri T.,, Németh Gy., Lowson A., 2010: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-Tároló feltáró vágatai térkiképzése. Kiviteli Terv, II. Ütem 3. szakasz: I-K1 és I-K2 tárolókamra. AJKMK00009D000C. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt. Mott McDonald Kft., 2010. szeptember 24., RHK Kft. Adattára. RHK-K-123C/09.

[3] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011: Kamraprognózis jelentés (I-K1 és I-K2 kamra). – Kézirat. 2011. május 31., Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattár, Paks. RHK-K-147/10.

[4] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra 1. módosítás AJKMK00009D000D — Kézirat, 2011. január, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123D/09.

[5] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra 2. módosítás AJKMK00009D000E — Kézirat, 2011. január, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123E/09.

[6] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra kiegészítés AJKMK00009D000F — Kézirat, 2011. április, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123F/09.

[7] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti NRHT Kiviteli terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra létesítési munkáihoz (AJKMK00009D000C) Tárolókamrák 2D-s numerikus modellezése (IV.A K.o.) — Kézirat, 2011. április, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-024/11.

[8] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra záróhomloka 4. módosítás AJKMK00009D000G — Kézirat, 2011. június, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123G/09.

Az EDZ hidraulikai vizsgálata a Bátaapáti NRHT vágatainak környezetében

Hydraulic testing of the EDZ around the tunnels of the Bátaapáti repository

ANDRÁSSY MÁRIUSZ [1], KORPAI FERENC[1], MOLNÁR PÉTER[2]

[1]Golder Zrt., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi u. 54., mandrassy@golder.hu; fkorpai@golder.hu;
[2]RHK Kft., 2040 Budaörs, Puskás Tivadar u. 11., molnar.peter@rhk.hu

Abstract

The Bátaapáti repository is intended for the final disposal of low and intermediate level radioactive waste. During the construction of the access tunnels and the first two disposal galleries, several hydraulic tests were carried out in shallow boreholes to investigate the surroundings of the tunnels. Repository construction will impose changes in the mechanical conditions of the near-field environment. Blasting will initiate the formation of cracks and fractures in the host rock around the disposal galleries in a zone called the Excavation Damaged Zone (EDZ). Temporary effects can also be observed in the host rock, beyond the damaged rock, in the zone called Excavation disturbed Zone (EdZ). As a result of hydraulic testing programme of the EDZ, thickness, transmissivity, connectivity and extent of the EDZ have been determined. The knowledge of the extent, characteristics and processes of the EDZ is of utmost importance in regard of the assessment of the long-term safety of the repository.

Kulcsszavak

EDZ, pakkeres vizsgálat, vágathajtás, megváltozott tulajdonságú zóna, repedések, vízvezető képesség

BEVEZETÉS

A vágathajtás, a felszín alatti térkiképzés hatására módosulnak a befogadó képződmények eredeti tulajdonságai. A fúrásos-robbantásos vágathajtás közvetlen hatására az üreg körül a kőzet megrepedezik, föllazul. Megváltozik a képződmények vízvezető képessége, a vízáramlás iránya és a vízgeokémiai környezet jellege.

A vágatok körüli megváltozott tulajdonságú zóna kiterjedésének, jellemzőinek és folyamatainak megismerése alapvető fontosságú a hulladéktároló hosszú távú radiológiai biztonságának megítélése szempontjából. Az Európai Bizottság szervezésében 2003-ban megrendezett CLUSTER (Club of Underground Storage, Testing and Research) konferencia áttekintette az addigi eredményeket [1]. Javaslatot tettek az EDZ egységes definíciójára [2], az alábbiak szerint:

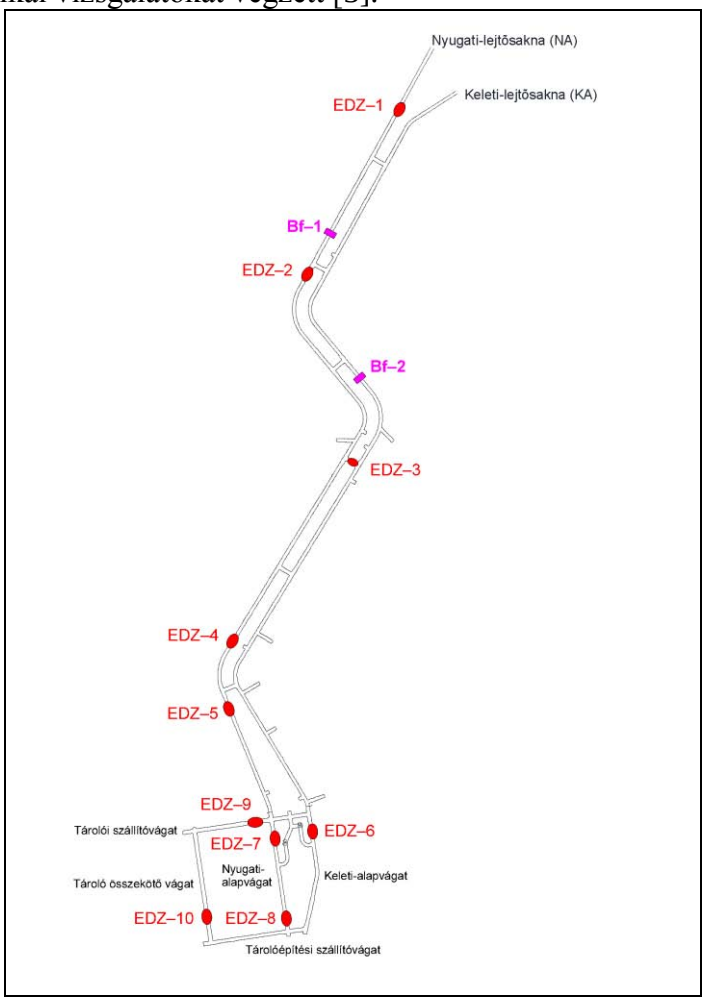
„The *Excavation Disturbed Zone* (EdZ) is a zone with hydromechanical and geochemical modifications, without major changes in flow and transport properties." [Az *üregképzés által zavart zónában* (EdZ) hidromechanikai és geokémiai változások történnek, azonban az áramlási és transzportparaméterek nem módosulnak jelentős mértékben.]

„The *Excavation Damaged Zone* (EDZ) is a zone with hydromechanical and geochemical modifications inducing significant changes in flow and transport properties. These changes can, for example, include one or more orders of magnitude increase in flow permeability." [Az *üregképzés által károsított zónában* (EDZ) hidromechanikai és geokémiai változások történnek, amelyek következtében az áramlási és transzportparaméterek jelentős

mértékben módosulnak. Így például egy vagy több nagyságrenddel megnő a vízáteresztő képesség.] Mint látható, a definíció megkülönbözteti az *üregképzés által károsított zónát* (EDZ-t) az *üregképzés által zavart zónától* (EdZ).

1. PAKKERES HIDRAULIKAI VIZSGÁLATOK

Bátaapátiban 2005–2006-ban két vágatszelvényben (Bf-1 és Bf-2, 1. ábra) 8-8 db, egyenként 10 m mély sugaras EDZ-fúrás létesült. E fúrásokban az alapmérést követően két hónap, majd egy év elteltével ismétlő mérések zajlottak. A sugaras EDZ-fúrások hidraulikai vizsgálata alapján egyértelművé vált, hogy az EDZ vastagsága a lejtősaknák mentén nem haladja meg a 0,5-0,8 m-t, és kiterjedése az idővel sem növekszik. Ezt követően 2008 áprilisában a lejtősaknákban 5 szakaszon (EDZ-1–5), 21 és 25 m^2-es keresztszelvényű vágatokban, összesen 50 db 1–2 m mélységű fúrólyuk mélyült, amelyekben a Golder egy- és kétpakkeres hidraulikai vizsgálatokat végzett [3].



1. ábra: Az EDZ hidraulikai vizsgálatára kiválasztott vágatszakaszok

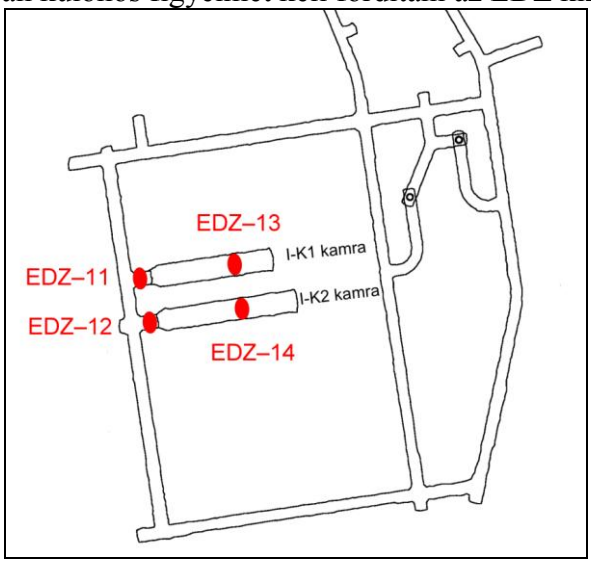
2009 januárjában a Keleti-alapvágat 34–42 fm közötti szakaszán, februárban a Nyugati-alapvágatban 24–30 fm között, áprilisban pedig a Nyugati-alapvágat 225–236 fm közötti szakaszán (EDZ-6–8), 21 m^2-es szelvényű szintes vágatokban létesültek újabb fúrólyukak a főtében, a palást felső és alsó részén, valamint a vágattalpon [4]. Az EDZ hidraulikai vizsgálata a tároló I. kamramezőjét feltáró, 33 m^2-es szelvényű szintes vágatokban folytatódott, a korábbi pakkeres mérésekkel egyező metodikával, de kissé megnövelt fúrásszámmal. 2009-ben került sor a Tárolói szállítóvágat 21–34 fm közötti szakaszának

(EDZ–9) vizsgálatára [5]. Ezt követően 2010-ben a Tároló összekötő vágat 57–75 fm közötti szakaszán (EDZ–10) történtek újabb mérések [6].

A különféle szempontok alapján kiválasztott 10 vágatszakaszon (1. ábra) összesen 34 db lyukpár és 22 db L-alakban elrendezett lyukhármas létesült a vágattalpon, a palást alsó és felső részén, valamint a főtében. Az összesen 134 db fúrólyuk mindegyikében két pakkeres hidraulikai mérés történt: a fúrólyuk 0,0–0,57 m közötti szakaszán az EDZ-t, a 0,57 m-től kb. 1,15 m-ig tartó alsó szakaszon pedig az alapkőzet vízvezető képességét vizsgáltuk.

2010 decemberében az addig lefolytatott mérések eredményének integrált értékelése alapján a Golder elkészítette az EDZ összefoglaló jellemzését [7]. Értékelték az EDZ kialakulását és tulajdonságait a különböző kőzettípusok, vágatszelvényméret, biztosítási kőzetosztály és a vágathoz viszonyított helyzet (talp, palást, főte) függvényében. Megállapítottuk, hogy az EDZ tulajdonsága függ a vágat szelvényméretétől és a helyi kőzettani sajátosságoktól. Javasoltuk az egymásrahatás-vizsgálatok és a szkenneléses hidraulikai mérések számának növelését [7].

A tárolókamrák 33 m^2-es szelvényű nyaktagjában az EDZ-vizsgálatok 2010. 10. 28. – 11. 07. között zajlottak [8]. A 96 m^2-es szabad szelvényű tárolókamrákban az EDZ fúrásainak vizsgálata 2011. 06. 06. és 2011. 09. 20. között történt, szakaszonként általában két napos intervallumokban [9]. A két kamra nyaktagjában szelvényenként 11 fúrás, míg a kamrák belsejében már 19 fúrás mélyült az EDZ vizsgálatának céljából, a helyszíneket a 2. ábra szemlélteti. A kamrákban elvégzett vizsgálatokat összefoglaló jelentést a Golder 2012-ben készítette el, melyben megállapítottuk, hogy az EDZ a kamrákban is egy jó konnektivitású, jó vízvezető képességű, összefüggő repedésrendszert alkot, ezért a nyaktagokban tervezett záródugó kialakítása során különös figyelmet kell fordítani az EDZ kizárására [10].



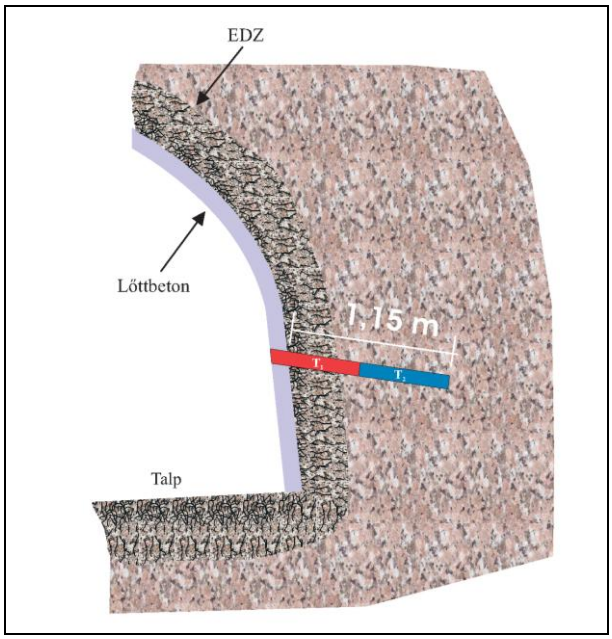
2. ábra: Az EDZ vizsgálati helyszínek a kamrák környezetében

2. EREDMÉNYEK

A vizsgálati szakaszok elhelyezkedését az EDZ-fúrásokban a 3. ábra mutatja be. Az egyedi hidraulikai vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az EDZ transzmisszivitása jellemzően 3×10–8 és 3×10–4 m2/s között változik, és átlagosan 7×10–6 m2/s. A vizsgált vágatszakaszok között kisebb eltérések mutatkoztak:

- a vágat szelvényméretének növekedésével az EDZ vízvezető képessége is növekszik;

- a már eleve repedezettebb, mállottabb, esetleg agyagos repedéskitöltésű kőzetekben a kialakuló EDZ vízvezető képessége is mérsékeltebb, mint a jobb kőzetosztályba sorolt képződményekben;
- az EDZ vízvezető képessége kevésbé függ az alapkőzet kifejlődésétől, kőzettípusától;
- a vágattalpon az EDZ vízvezető képessége 2–3-szor nagyobb, mint a palástón és a főtében, és a talpi lyukakban fordultak elő kiugróan magas, 3×10–4 m2/s-nál is nagyobb transzmisszivitási értékek.

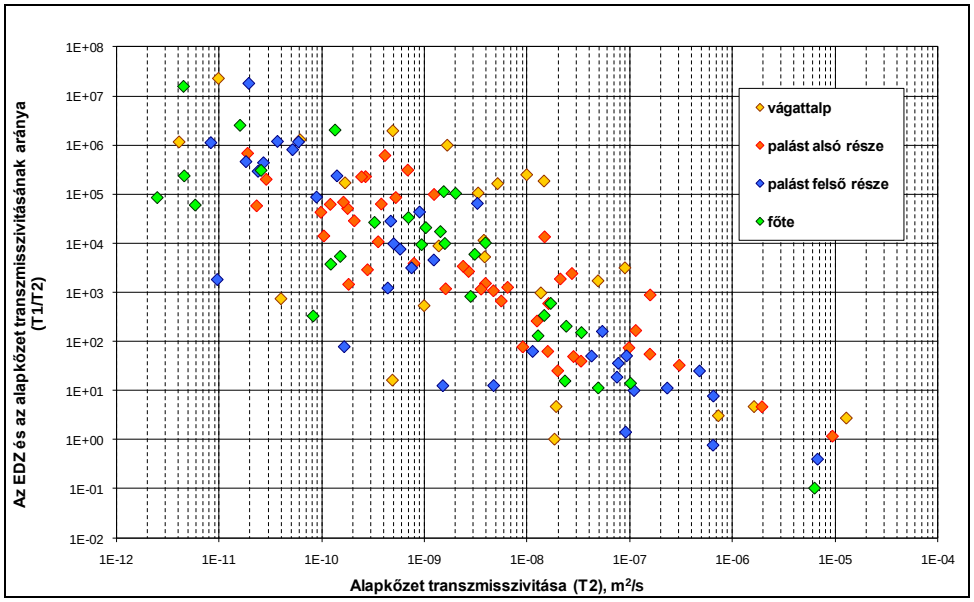


3. ábra: A vizsgálati szakaszok elhelyezkedése a vágatpaláston mélyült fúrásban
(T1 a vágathoz közelebbi, T2 a vágattól távolabbi szakasz transzmisszivitását jelöli)

A vágatok környezetében szinte mindenütt, általánosan jelentkezik a fellazulás (4. ábra). A vízvezető képesség az EDZ-ben átlag 3 és fél nagyságrenddel nő meg az alapkőzethez képest.

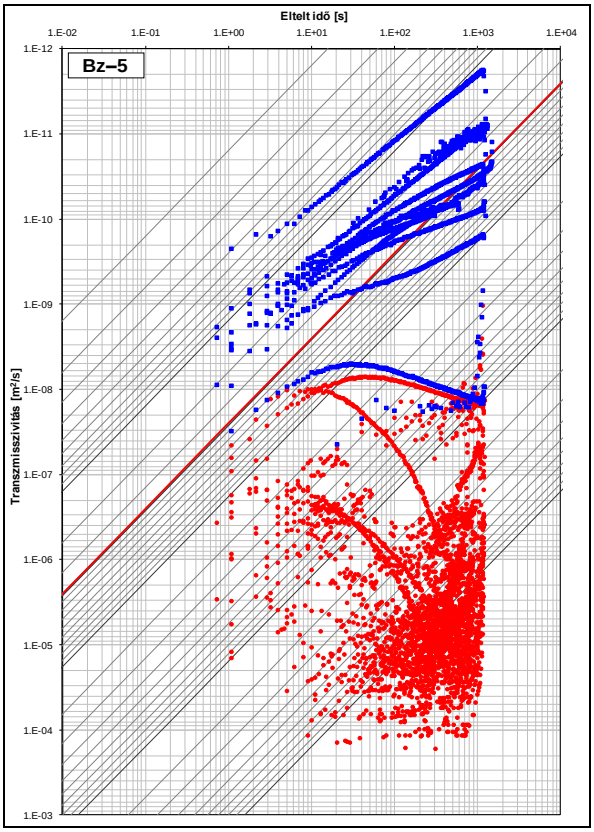
4. ábra Az EDZ elterjedése a Bz-1123 fúrólyuk lőttbeton alatti szakaszán

Minél rosszabb az alapkőzet vízvezető képessége, annál nagyobb a növekedés mértéke, amely akár tízezerszeres-százezerszeres is lehet (5. ábra).



5. ábra: A transzmisszivitás növekedése az EDZ-ben a fúrások helyzete szerint az EDZ–1-10 vágatszakaszon

A vízvezető képesség növekedése a vágattalpon az átlagos tendenciánál nagyobb mértékű. A kamramező környezetében az EDZ vízvezető képessége (átlagos transzmisszivitása) a tárolókamrákban 1,5×10–5 m2/s, ami közel három nagyságrenddel (kb. háromszázszor) nagyobb, mint az alapkőzetre az azonos hosszúságú (kb. 0,57 m-es) vizsgálati szakaszok alapján jellemző 3,1×10–8 m2/s-os átlagérték.

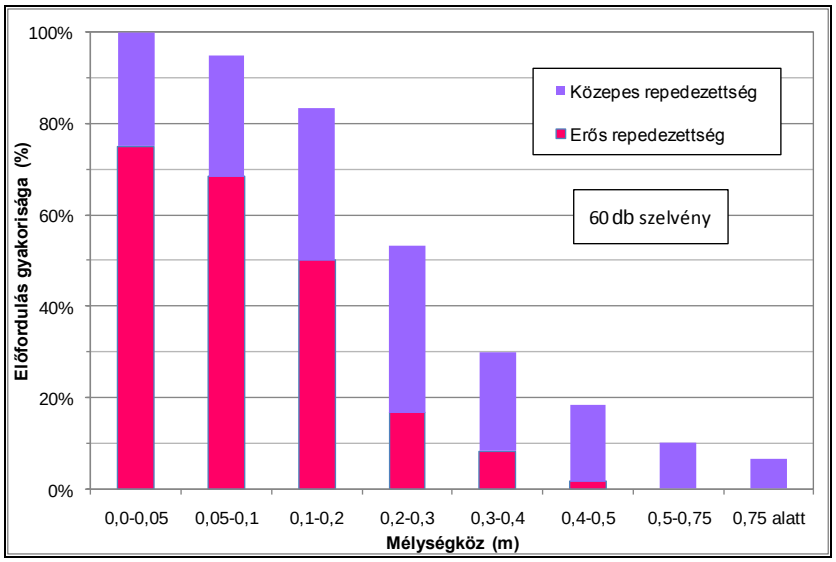


6. ábra: Az EDZ–5 vágatszakasz fúrásaiban végzett tesztek transzmisszivitásra normált diagramja
piros: a vágatközeli szakasz tesztjei (EDZ), kék: a vágattól távolabbi szakasz tesztjei (alapkőzet)

Az egyedi hidraulikai vizsgálatok numerikus kiértékelése alapján, ún. transzmisszivitásra normált diagramok (TND) segítségével vizsgáltuk és értékeltük a vízáramlás jellegét az EDZ-ben [11]. Megállapítottuk, hogy a vágatközeli szakaszok 97–98%-ában jelentkezett az EDZ-re jellemző rajzolat (6. ábra). Ez az arány az EDZ általános elterjedését, jelenlétét bizonyítja.

Az EDZ hidraulikai kapcsolatainak (konnektivitásának) jellemzése céljából elvégzett, 102 db kiértékelt egymásrahatás-vizsgálat szerint az EDZ transzmisszivitása a palástón és a főtében 6×10^{-7} és 4×10^{-5} m^2/s között változik, a vágattalpon pedig ennél közel egy nagyságrenddel nagyobb, 2×10^{-6} és 4×10^{-4} m^2/s. A nyomásvezető képesség (hidraulikus diffuzivitás, D) átlagos értéke $2{,}3\times10^{-2}$ m^2/s, ami viszonylag nagy érték, és az EDZ igen jó konnektivitására, a fúrólyukak közötti közvetlen hidraulikai kapcsolatokra utal.

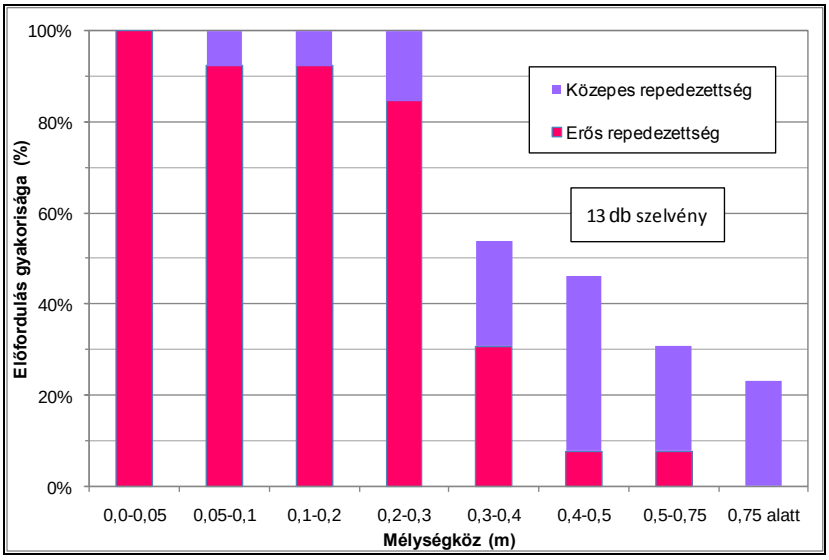
Az EDZ kiterjedésének, vastagságának pontosítására ún. szkenneléses hidraulikai vizsgálatokat végeztünk. A szkenneléses tesztek eredményeit az EDZ-(6–10) vágatszakaszok fúrólyukaiban végzett akusztikus és optikai lyuktelevíziós felvételek kiértékelésével terjesztettük ki. A lyuktelevíziós felvételeket a Geo-Log Kft. készítette, időben szorosan az EDZ-fúrások egyedi pakkeres hidraulikai vizsgálatához kapcsolódva. A felvételek statisztikai feldolgozása szerint a vágathoz közeli 0,1–0,2 m-es szakaszon rendkívül sűrű, nyitott repedéshálózat található, mind hosszanti-, mind keresztirányú repedésekkel. Ez alatt 0,3–0,4 m-ig a repedések egyre ritkábbak, inkább közepes fokú repedezettség jellemző, de ez a lyukszakasz is az EDZ-hez köthető, és azzal egységes hidraulikai rendszert alkot. Egyes furatokban 0,4 m alatt is előfordul kisebb-nagyobb mértékű repedezettség, azonban ennek kifejlődési jellege és intenzitása már inkább a kőzet eredeti, primer sajátosságaitól függ. A palást- és főtelyukak repedezettségének eloszlását az 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: A vágatpaláston és főtében mélyült EDZ-fúrások repedezettsége az optikai lyuktelevíziós felvételek alapján, a vágatfaltól mért távolság függvényében

A vágattalpon mélyült fúrások esetében az EDZ sokkal általánosabb elterjedésű; 0,3 m mélységig szinte minden furatban előfordult erős repedezettség. A talpon az EDZ szélesebb, 0,5–0,8 m mélységig hatol, és a repedezettség intenzitása a fúrólyukak középső és alsó szakaszán is nagyobb, mint a paláston mélyült lyukakban (8. ábra). A talpi lyukakban a vágathoz közeli lyukszakaszon sokkal gyakrabban fordultak elő kiugróan magas transzmisszivitások, mint a palást és a főte furataiban. Mindez együtt azt jelzi, hogy az EDZ

jelentősége a vágattalpon jóval nagyobb, mint a palástón és a főtében. A korábbi vizsgálataink alapján a vízvezető képesség több nagyságrendnyi megnövekedése alapján kijelölhető EDZ vastagsága a vágatpalástón és a főtében többnyire nem éri el a 0,57 m-t, a vágattalpon pedig az 1,1 m-t.



8. ábra: A vágattalpon mélyült EDZ-fúrások repedezettsége az akusztikus lyuktelevíziós felvételek alapján, a vágattalptól mért távolság függvényében

A kamramező környezetében a szkenneléses vizsgálatokkal ezt az értéket sikerült tovább pontosítani, így a vizsgálataink alapján kijelenthető, hogy az EDZ-(11–14) vágatszakaszokon az EDZ vastagsága többnyire nem haladja meg a 0,3 m-t. Azonban a fúrólyukak vágattól távolabbi szakaszán több esetben is jelentkeztek 1×10^{-7} m^2/s-ot meghaladó vízvezető képességű repedések, és ezek általában jó hidraulikai kapcsolatban állnak a vágat környezetében húzódó EDZ-vel. Néhány esetben a fúrólyuk vágatközeli szakaszán is az alapkőzetet jellemző transzmisszivitást kaptunk, ami arra utal, hogy jó vízvezető környezetben a furatokban nem jelentkezik a vágathajtás hatása, vagyis nem mutatható ki a vízvezető képesség növekedése. A kis mélységű EDZ-furatok hidraulikai vizsgálati programja a lyuktelevíziós felvételekkel kiegészítve megfelelőnek bizonyult az EDZ jellemzésére.

A pakkeres vizsgálatok adatai szerint az alapkőzet vízvezető képességének változékonyságához képest az EDZ transzmisszivitása kevésbé változékony, egységesebb képet (kisebb szórást) mutat. Minél rosszabb az alapkőzet vízvezető képessége, annál nagyobb mértékű a vízvezető képesség növekedése az EDZ-ben. Az alapkőzet vízvezető képessége és a növekedés mértéke között ellentétes irányú, de lineáris jellegű összefüggés mutatható ki (4. ábra).

A viszonylag rosszabb vízvezető képességű lőttbeton mögött az EDZ repedésrendszere összefüggő, jól kommunikáló vízvezető „réteget” alkot, amely a fakadó vizeket összegyűjtve a vágattalpra vezeti. Ennek az összefüggő zónának jelentős szerepe van a főte és a vágatpalást gyors ütemű leszáradásában. Jelenleg a lőttbetonon áthatoló, szivárgó-csepegő kőzethorgony-furatok részben az EDZ összefüggő vízvezető „rétegét” csapolják meg.

IRODALOM

[1] Tsang, C. F., Bernier, F., Davies, C. (2005.): Geohydromechanical processes in the Excavation Damaged Zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays – in the context of radioactive waste disposal. – International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 42 (1), pp. 109–125.

[2] Backblom, G., R. Christiansson, L. Lagerstedt (2004.): Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel. – SKB Technical Report 04-62, Swedish Nuclear Fuel and Waste management Co. (SKB), Stockholm, Sweden.

[3] Molnár P., Andrássy M., Korpai F., Sidló T. G. (2009): A vágatok 1 m-es környezetének hidraulikai vizsgálata. – Kézirat, Golder Kft., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–163/08.

[4] Korpai F., Andrássy M., Darvas K., Ludmann L., Molnár P., Sidló T. G. (2009): EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (EDZ-6–8 szelvény). – Kézirat, Golder Kft., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–058/09.

[5] Korpai F., Andrássy M., Molnár P., Sidló T. G. (2009): EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (EDZ–9 szelvény). – Kézirat, Golder Kft., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–145/09.

[6] Korpai F., Andrássy M., Darvas K., Sidló T. G. (2010): EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (EDZ–10 szelvény). – Kézirat, Golder Zrt., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–044/10.

[7] Korpai F., Andrássy M., Benedek K., Darvas K., Ludmann L., Molnár P., Sidló T. G. (2010): Az EDZ jellemzése. – Kézirat, Golder Zrt., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–149/10.

[8] Sidló T. G., Andrássy M., Darvas K., Korpai F., Ludmann L. (2010): EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (EDZ–11 és EDZ–12 szelvény). – Kézirat, Golder Zrt., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–156/10.

[9] Korpai F., Andrássy M., Darvas K., Ludmann L. (2011): EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (EDZ–13 és EDZ–14 szelvény). – Kézirat, Golder Zrt., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–085/11.

[10] Andrássy M., Darvas K., Korpai F., Ludmann L. (2012): Az EDZ kiterjedése, tulajdonsága a tárolókamrák környezetében. – Kézirat, Golder Zrt., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–004/12.

[11] Enachescu, C., Frieg, B., Wozniewicz, J. (2004.): A new visual synthesis tool for transient test data. – U.S. EPA/NGWA Fractured Rock Conference: State of the science and measuring success in remediation. September 13-15 2004, Portland, Maine, pp. 173–184.

A Bátaapáti 1-2 tárolókamra környezetének szeizmoakusztikus monitoring rendszere

SZŰCS ISTVÁN[1], *BAKAI JÁNOS*[2]

[1]*Geopard Kft. 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., dr.szucsistvan@t-online.hu; geopard@t-online.hu*
[2]*Geopolita Kft., 2030 Érd, Aradi u. 19., bakai @geopolita.hu*

Abstract

The construction process of the 1st and 2nd chambers of Bátaapáti repository (intended for final disposal of low and intermediate level radioactive waste) carried out during 2011-2012, (within the frame of the II/3 phase of the National Radioactive Waste Repository) were continuously monitored by three seimoacoustic systems equipped with 18 accelerometers surrounding the target area. During this period the results of the hypocentre distribution and the trend analysis of the stress changes in the underground mining area supplied a substantial amount of information for the decision makers in charge of mining safety about the basic fracturing processes in the monitored host rock formation. This monitoring phase also included the installation and inspection of the system until 2013 in close connection with other geotechnical investigations to be performed in the frame of the investigation programme of the National Radioactive Waste Repository in Bátaapáti and financed by the Hungarian Agency for Radioactive Waste Management (PURAM).

Kulcsszavak

radioaktivitás, gránit, szeizmoakusztika, monitoring, hipocentrum, bányabiztonság, kőzetfeszültség

BEVEZETÉS

Számos gazdaságossági és környezetvédelmi versenyelőnye miatt a nukleáris ipar világszerte reneszánszát éli, annak ellenére, hogy ezt a lendületet egy-egy természeti- és ahhoz kapcsolódó műszaki katasztrófa megtörheti. A 2011. évi japán földrengés fukushimai atomerőműre gyakorolt hatásainak nemzetközi vonzatai ellenére a hazai energiapolitika fő pilléreként funkcionáló atomerőmű élettartam-növelési és bővítési szándék továbbra is elfogadott alternatívaként prognosztizálható.

A következő évtizedek várhatóan felfutó nukleáris iparához kapcsolódó anyagi és humán erőforrások jelentős növekedési igénye vitathatatlan. Ez fokozottan igaz a teljes iparág műszaki és társadalmi elfogadtatásában egyre meghatározóbb szerepet játszó radioaktív hulladéktárolók kialakításának és üzemeltetésének területére is. E küldetés egyik fő területe a nukleáris technika vívmányainak alkalmazásához kapcsolódóan keletkező radioaktív hulladékok szakszerű és biztonságos kezelésének és elhelyezésnek kérdése.

Amíg azonban a nukleáris ipar is csak alig több mint félévszázados múltat tudhat a háta mögött, addig a hozzá kapcsolódó radioaktív hulladéktároló kutatás, létesítés és üzemeltetés mindössze legfeljebb néhány évtizedes múlttal rendelkezik. E fiatal tudományterületen belül is a radioaktív hulladéktárolók létesítési kérdései világviszonylatban mind a mai napig az úttörő jellegű kihívások sorába tartoznak.

Ezen rendkívül széles tudományos spektrumot lefedő kihívások helyi sajátosságai miatt, és világviszonylatban adaptálható módszertani megoldások híján, a radioaktív hulladékok elhelyezését biztosító felszín alatti objektumok kialakítását-, természeti környezetbe illesztését- és funkcionális működését megalapozó térkiképzéshez kapcsolódóan alkalmazott vizsgálati módszerek a befogadó kőzetkörnyezethez és az abban végzett speciális munkafolyamatokhoz illesztett fejlesztéseket, megoldásokat igényelnek. Cikkünk az ezen igények sorába illeszkedően a Bátaapáti 1-2 tárolókamra környe-

zetében megvalósított szeizmoakusztikus monitoring rendszer üzemeltetési tapasztalatait és döntéstámogatói szerepét foglalja össze.

1. ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉS

Az (aktív) szeizmoakusztikus monitoring rendszerek telepítésének legfőbb célja: a célterületet megközelítő lejtősaknák és az összekötő vágatok-, ezt követően pedig maga a célterület: a feltáró vágatok és tárolókamrák kőzetkörnyezetében bekövetkező feszültségátrendeződési folyamatok megfigyelési feltételeinek megteremtése. E célkitűzés érdekében betöltendő legfőbb funkciója: a kőzetfeszültség felhalmozódási és feloldódási folyamatokat kísérő- és az ehhez kapcsolódó kőzettörési, illetve a kőzetmozgási folyamatokat megelőző szeizmoakusztikus emissziós jelenségek észlelése.

A korábbiakban az összekötő vágatokba telepített és 2005 és 2009 között beüzemelt (SZEIZ01 – SZEIZ06) rendszerek működtetése már a célterület elérését megelőzően kialakított bányatérségekben megalapozta és betöltötte a célkitűzéseknek megfelelő geotechnikai és bányabiztonsági szerepét.

A több éven keresztül végzett vizsgálatok eredményei igazán a célterületen telepített rendszerek működtetésével és az ehhez kapcsolódóan a feltáró vágatok és tárolókamrák környezetét jellemző hosszabbtávú információk szolgáltatásával tölthették be biztonsági funkciójukat. Ezek fő célterülete: az aktuális megfigyelési környezetben tapasztalt és ismert térkiképzési környezet adta kőzet-inhomogenitásokhoz köthető fokozott feszültségváltozások nyomon követése, a vágatkereszteződések térbeli sűrűségének növekedése miatt várható feszültség-gócok leképezése és a változások trendjének dokumentálása volt.

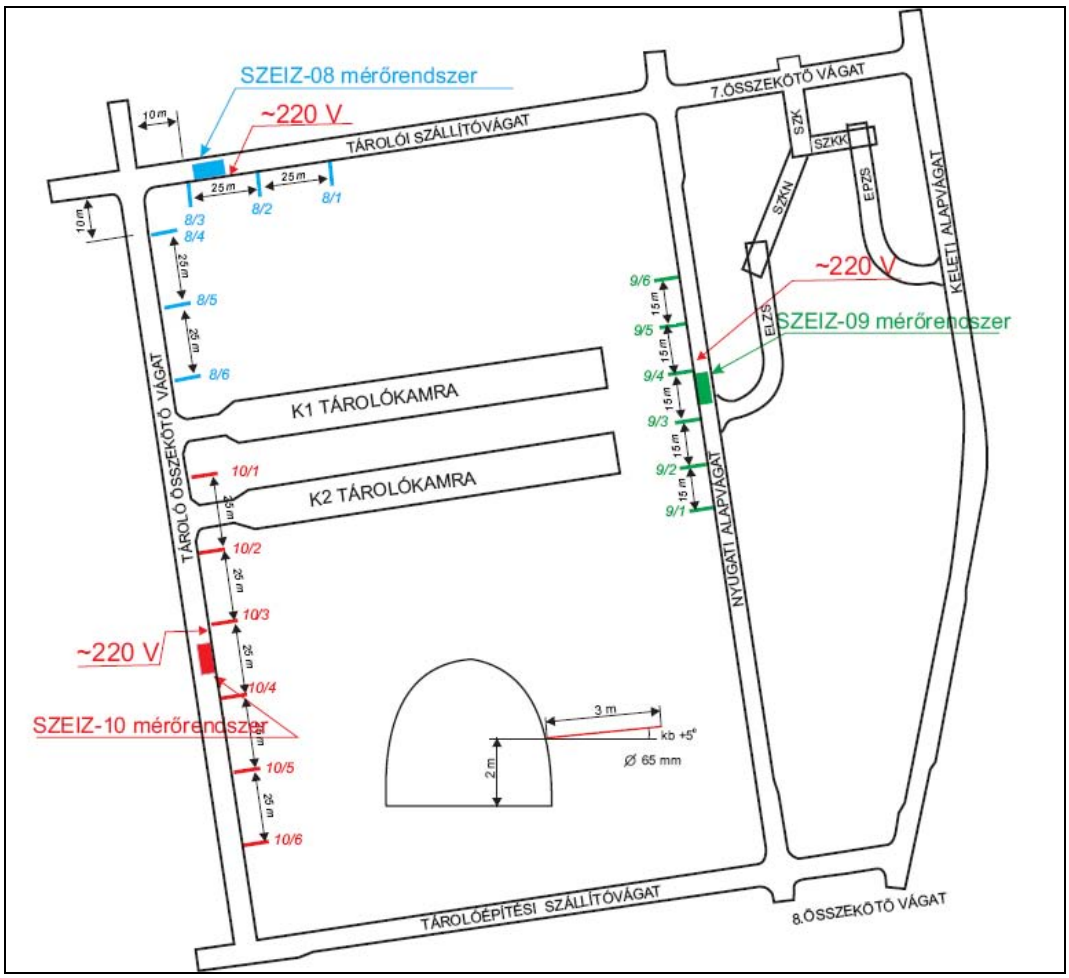
2. A TÁROLÓKAMRÁK KÖRNYEZETÉNEK MÉRŐRENDSZERE

2011. március 01-től újabb három mérőegység üzemeltetése zajlik a kamramező térségében. A SZEIZ-08, SZEIZ-09 és SZEIZ-10 jelű szeizmoakusztikus mérőrendszerek tervezett hosszú távú működtetése a korábbiakban (a célterület elérését megelőzően) létesített rendszerek analógiájára a megfigyelendő területen lezajló nagyobb léptékű (és lassabb lefolyású) folyamatok, változások és változási trendek leképezéséhez kapcsolható célkitűzések megvalósítására létesültek. Alapvető céljuk a kamrák térkiképzése során végbemenő, a földtani gát izolációs potenciálját, illetve a kőzetkörnyezet mechanikai állapotát mesterséges behatással és spontán módosító folyamatok és hatások in situ vizsgálata, különös tekintettel a kőzetkörnyezetben lezajló repedésképződés tér és időbeli nyomon követésére, leképezésére, és a repedések statisztikai tulajdonságainak jellemzésére, dokumentálására. Emellett alkalmas a megfigyelési környezetben ismert szerkezeti elemek kőzet-inhomogenitásaihoz-, a vágatkereszteződések térbeli sűrűségének növekedéséhez köthető esetleges fokozott feszültségváltozások, változási trendek felismerésére.

A három, egyenként 6-6 szenzorból álló mérőrendszer komplexen figyeli a kamrákat magába foglaló kőzetblokkot. A mérési geometria (1. ábra) a körülzárt kőzetblokkban a tárolókamrák létesítése során a robbantások és a spontán feszültségátrendeződési folyamatok hatásainak ellenőrzésére, nyomon követésére, időben történő felismerésére fókuszált elrendezésű. Ennek alapvető eleme a 8/4 – 9/6 – 9/1 –10/4 érzékelők által körülhatárolt trapéz. A terület szimmetria-középpontjában a síkra merőleges egyenes mentén kialakuló vakzóna megfigyelését pedig a 8/1 – 8/2 – 8/3 és 10/5 – 10/6 érzékelők biztosítják.

A három mérőrendszer központi egysége a SZEIZ-08, SZEIZ-09, SZEIZ-10 elnevezésű 6 csatornás szeizmikus mérőberendezés, amelynek jelbemeneti inputját a saját fejlesztésű gömbkarakterisztikájú gyorsulásérzékelő egységek (típus: PI-A-3-1; zajszint: 10 μg; frekvenciatartomány: -14,7 kHz) képezik. Az érzékelőegységekből érkező digitális jeleket szeizmikus jel fogadására, erősítésére és szűrésére alkalmas panel fogadja. A megfelelő jel/zaj viszonyt, a vágathajtással járó munkazajok kiszűrését, ill. az elektromos zajok kiküszöbölését beépített, programozható szűrők biztosítják. A feszültségingadozások és a rövid idejű áramkimaradások (15-20 perc) hatásainak kiküszöbölésére szünetmentes tápok vannak beépítve. Az adatok rögzítése cserélhető merevlemezes tárolóegységekre

történik. Az eszközök további rendszerjellemzőit, hitelesítési és pontossági paramétereit külön eszköztelepítési és próbaüzemi dokumentáció részletezi.



1. ábra: Szeizmoakusztikus mérőrendszerek elrendezése

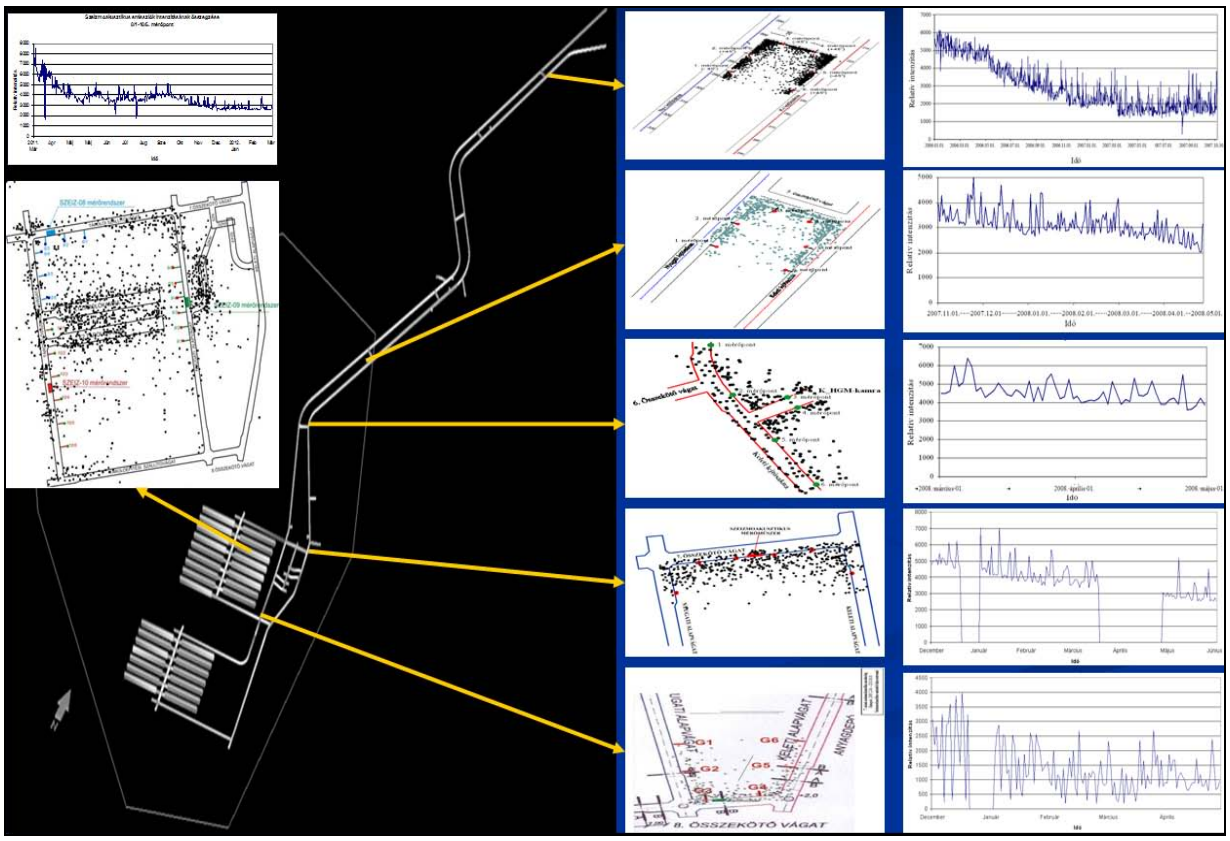
A nagy mennyiségű mérési adat első lépésként előfeldolgozásra kerül. Az előfeldolgozó program a folyamatosan érkező jelek közül kiválogatja a nem elektromos eredetű jeleket, majd a 2048 minta hosszúságú idősorokat csatornánként, a kivágott rész pontos kezdőidejét tartalmazó fájlnévvel rögzíti. A zajszintből kiemelkedő jelek közül további jelanalízis különíti el a hasznos akusztikus emissziós jeleket a vágathajtás során keletkező, munkavégzéssel kapcsolatos jelektől. További előfeldolgozási szűrőparaméterek az érzékelők legnagyobb egymástól való távolságai és a kőzetre jellemző szeizmikus hullámterjedési sebesség, amelyek ismeretében meghatározható az az időintervallum, amelynél nagyobb időkülönbség nem tartozhat egy szeizmoakusztikus jel két különböző csatornához történő beérkezéséhez.

Az előfeldolgozott gyorsulásregisztrátumok alkalmasak az érzékelőhöz beérkező jel- energiák jellemzésére, ezáltal a megfigyelt térrészben felszabaduló (távolság és frekvencia függvényében egyaránt csillapodó) szeizmoakusztikus jelek energiájának meghatározására, továbbá (az erre kidolgozott hipocentrum-meghatározó programmal) kipattanási helyük konkrét kijelölésére, eloszlásuk megjelenítésére.

3. EREDMÉNYEK

Az összekötő vágatokba és azt követően a tárolókamrák környezetébe telepített rendszerek működtetése már a célterület elérését megelőzően kialakított bányatérségekben is megalapozta-, az eddigi

egyéves célterületi működtetés pedig tovább erősítette a módszer geotechnikai és bányabiztonsági szerepével kapcsolatos alábbi főbb megállapításokat:



2. ábra: A térkiképzés egyes szakaszaihoz kapcsolódó hipocentrumok és jel-intenzitás változások

- Bebizonyosodott, hogy a szeizmoakusztikus módszer alkalmazása gazdag információforrást biztosít a felszín alatti épített környezetben lezajló kőzetfeszültség-átrendeződési folyamatok monitoring jellegű leképezésére. (A fenti időszakban a rendszerek 10^4 nagyságrendű szeizmoakusztikus jelbeérkezést detektáltak. A meghatározott hipocentrumokat a 2. ábra mutatja.)
- Kimutathatóvá vált, hogy a felszín alatti térkiképzés folyamatában a kihajtott vágatok mérőhelyektől távolodó pozícióihoz a szeizmoakusztikus jelek beérkezési energiáinak csökkenő tendenciája kapcsolódik.
- Alátámasztást nyert, hogy a felszín alatti térkiképzés során a már kialakított objektumok környezetében detektálható szeizmoakusztikus jelek mind intenzitásukban mind gyakoriságukban csökkenő tendenciát mutatnak.
- Bebizonyosodott a szeizmoakusztikus jelek monitoring jellegű folyamatos megfigyelésével leképezhetővé tett tér- és időbeli paraméterek (hipocentrum-eloszlás, spektrális jellemzők) a radioaktív hulladéktárolók térkiképzési munkálatai során is jelentős döntéstámogatói szerepet kaphatnak az épített és a természeti környezet egymásra-hatásához kapcsolódó jelenségtípusok felismerésében, egyes feszültségváltozási trendek megítélésében valamint a mérnöki beavatkozások hatásának tapasztalati minősítése terén.
- A legintenzívebb kőzetdinamikai folyamatok a vágatkereszteződésekben, a két tároló kamra-, a tárolóösszekötő vágat- és a tárolói szállítóvágat mentén valamint a nyugati alapvágat SZEIZ-09 megfigyelőrendszerhez közel eső részén mentek végbe.
- A jelintenzitás, ezzel együtt a feszültségátrendeződés időben csökkenő, de nem monoton folyamat. Az egyes csökkenő szakaszokat kisebb intenzitásnövekedések szakítják meg.
- A kőzetfeszültség-feloldódáshoz kapcsolható energia-felszabadulás eloszlása sztochasztikus jelleget mutat. Sem a jelek frekvenciatartalmában sem hipocentrumaik sűrűsödésében az

eddigiek alapján nem ismerhetők fel olyan jellegek, ill. determinisztikus rajzolatok, amelyek dinamikai eseményt megelőző állapotra utalnának.

- A térkiképzéshez kapcsolódó kőzetfeszültség átrendeződés a jel-intenzitás és jel-gyakoriság görbékből láthatóan még nem fejeződött be.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Szűcs István: Tájékoztató jelentés a bányabeli robbantások közvetlen és elhúzódó hatására vonatkozó előírásokról és kutatásokról, Pécs, **(1987).**
2. Bakai János: Jelentés a Halimba III. bányaüzemben működő szeizmoakusztikus mérőrendszerről, Pécs, **(1996).**
3. Szűcs István: A szeizmoakusztikus emissziók megfigyelésén alapuló módszerek fejlesztése és bevezetése a bányabiztonsági és bányaművelés irányítási gyakorlatba. In: Bánhegyi Mihály (szerk.): A Mecseki Szénbányák Kutatási Központjának 1988. évi évkönyve. Pécs: Mecseki Szénbányászati Vállalat, pp. 181-196. **(1988).**
4. Szűcs István: Bányabeli szeizmikus és szeizmoakusztikus vizsgálatok. In: Nagyaktivitású radioaktiv hulladékok végleges elhelyezésének kutatási eredményei a Bodai Aleurolit Formációban. Pécs, Magyarország, 1995.06.07-1995.06.08. Mecseki Ércbányászati Vállalat, Paper 1/7. **(1995).**
5. Gacsályi Márta, Szűcs István, Moskó Károly: Passzív szeizmoakusztikus vizsgálatok a jövesztési technológia optimalizálására In: Balla Z. et al. (2008), 2.1.4. fejezet. pp. 60-64. RHK Kft Irattár, Paks, RHK–K—082/08 **(2008).**
6. Gacsályi Márta, Szűcs István, Moskó Károly: Szeizmoakusztikus monitoring In: Balla Z. et al. (2008), 2.5.2.6. fejezet. pp. 270-276. Mecsekérc Zrt. Adattár, Pécs, RHK-K-082/08. **(2008).**
7. Szűcs István, Bakai János: Értékelő jelentés a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tervezett üveghutai tárolójának környezetébe telepített szeizmoakusztikus monitoring rendszerek (SZEIZ-08, SZEIZ-09, SZEIZ-10) üzemeltetéséről (2011. március 1. - 2012. március 31.) GEOPARD Kft.; Mecsekérc Zrt. Adattár, Pécs, **(2012).**

A tárolókamrák környezetének primer és szekunder kőzetfeszültség-viszonyai

Primary and secondary stress state of the repository chambers

KOVÁCS LÁSZLÓ
Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., kovacslaszlo@komero.hu

Abstract

First two disposal chambers of National Radioactive Waste Repository (NRWR) at Bátaapáti were excavated in 2011. The performance of a comprehensive field and laboratory rock mechanical test programme has been established the static design of disposal chambers. Elements of primary (initial or in situ) stress field – particularly the ratio of horizontal and vertical stress components – has to be taken into account as very sensitive parameters during the design, therefore a complex in situ test programme of four boreholes has been accomplished at the depth of final disposal. The test programme comprised 2D undercoring (Doorstopper-cell), 3D overcoring (CSIRO HI-cell) and sleeve fracturing methods. The changeable results of tests can be interpreted as the stress modifying impacts of tectonic events that yields discontinuous stress field. The stress changes processes caused by the two-phase excavation of disposal chambers have been continuously monitored by CSIRO HI-cells installed into 6 suitably oriented boreholes. The results allow us to evaluate separately the impacts of top heading and invert blastings of both chambers and they can be used also for validating the assumptions of designers and optimising the geometry of chambers and pillars.

Kulcsszavak

NRHT, tárolókamra, primer feszültségtér, feszültségváltozás, in situ mérések

BEVEZETÉS

A kihajtott vágatok, illetve a tárolókamrák kőzetköpenyében a vágathajtás után kialakuló szekunder kőzetfeszültség-viszonyok határozzák meg azt a terhelési állapotot, amit a megfelelően tervezett és kivitelezett biztosítószerkezeteknek károsodás nélkül, hosszú távon is el kell viselniük. A vágathajtás során fellépő feszültségváltozás jellege, nagyságrendje és időbeli alakulása számos természeti és technológiai tényezőtől függő, komplex energetikai folyamat, amelynek kiindulópontját a kőzetben uralkodó recens primer feszültségtér jelenti. Mindezek miatt a primer és szekunder feszültségtér megismerése a statikai tervezési, illetve numerikus modellezési munkák egyik alappillérét jelenti.

Több éves előkészítő kutatási és beruházási munkafolyamat eredményeként 2011-ben került sor Bátaapátiban a Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) első két tárolókamrájának bányászati kiképzésére. A tárolókamrák statikai tervezését kiterjedt in situ és laboratóriumi kőzetmechanikai tesztprogram alapozta meg [16], amelynek részeként helyszíni kőzetfeszültség-mérésekre is sor került. A tárolókamrák kihajtása általában (a legkedvezőtlenebb geotechnikai állapotú térrészek kivételével) két fázisban történt: először a kalott, majd a talpszelet kialakítására került sor [2]. A kamrahajtás időszakában egy megfelelően telepített megfigyelőrendszer segítségével folyamatosan ellenőriztük a jövesztés hatására bekövetkező feszültségváltozásokat, lehetőséget teremtve ezzel a tervezési feltételezések helyességének ellenőrzésére, másrészt pedig alapadatokat biztosítva a tárolókamrák, illetve a pillér geometriájának későbbi optimalizálásához.

1. PRIMER FESZÜLTSÉGMÉRÉSEK

A klasszikus kőzetmechanika analitikus leírása szerint a primer feszültségteret a kőzetek önsúlyterhelése hozza létre. Ennek megfelelően a σ_1, σ_2, σ_3 főfeszültség-komponenseknek a térbeli főirányokba kellene rendeződniük, és magnitúdóikat egy igen egyszerű számítással is meg lehetne határozni. A napjainkra már igen nagyszámú, világszerte elvégzett kőzetfeszültség-mérések eredményei szerint ez a kép szinte soha nem érvényesül: az önsúlyterhelés alapján meghatározott feszültségre külső (különböző léptékű tektonikai, termikus, glaciális, stb.) hatások eredményeként többlet-feszültségek szuperponálódnak [5];[19]. Így a főfeszültségeket szabálytalan helyzetű térbeli feszültség-ellipszoid tengelyeiként kell értelmeznünk. A statikai tervezés számára különösen fontos horizontális feszültségkomponensekre főképp igaz az, hogy az elméleti megközelítéssel számítható, illetve a gyakorlatban mérhető értékei között akár több 100%-os eltérés is lehet. A Kárpát-medencében eddig összegyűjtött feszültség-adatok, valamint az azok felhasználásával készült modellszámítások is arra utalnak [1], hogy pontos eredményeket Magyarország területén is csak in situ feszültségmérésekkel kaphatunk.

Bátaapátiban három felszíni sekélyfúrásban [11], valamint a lejtősaknák építésének időszakában három föld alatti fúrásban [12] végrehajtott feszültségmérések eredményei alapján már korábban is közelítő képet alkothattunk a regionális léptékű recens feszültségtérről. E mérések két alapvető tényre mutattak rá: egyrészt arra, hogy a tervezett tárolási mélységben a horizontális feszültségkomponensek magnitúdója bizonyos irányokban minden bizonnyal meghaladja majd a vertikálist, másrészt pedig arra, hogy a tektonikai jelenségek feszültségmódosító hatásai már igen kis távolságban is jelentősen befolyásolják a mérhető komponenseket. Az eredmények alapján megfogalmazásra került a feszültségtér blokkosodásának koncepciója is, tehát az, hogy a Mórágyi Gránitban a feszültségtérre is jellemző lehet a diszkontinuum-viselkedés. A terület tektonikai viszonyainak ismeretében (pl. az ún. Péter-törés jelenléte) egyértelművé vált, hogy a felszínen, illetve a lejtősakna felsőbb szakaszain mért értékek az I. kamramező területére nem terjeszthetők ki biztonsággal. Ezért az I. kamramező területén összesen 4 db kutatófúrásban (Bkf-1; -2, -3 és -5) kombinált kőzetfeszültség-mérési programot kellett végrehajtani. A program keretében a Kőmérő Kft. két közvetlen, teljes értékű – tehát az irányok és az abszolút értékek egyidejű meghatározására szolgáló – aktív feszültségmentesítésen alapuló módszert alkalmazott. A korábbi méréssorozatokban alkalmazott 2D-s Doorstopper-cellás módszer mellett ezúttal bevetésre került a világszerte elérhető legkorszerűbb méréstechnikai színvonalat képviselő, Magyarországon korábban még soha nem használt, a teljes feszültségtenzort egy mérésből meghatározni képes 3D-s CSIRO HI-cellás méréstípus is [18]. A mérési program részeként emellett a KBFI-ALFA Kft. az irány meghatározására nem alkalmas tokrepesztéses és hidrorepesztéses teszteket is végzett.

Az ISRM vonatkozó ajánlásai [17] alapján végrehajtott mérések technikai kivitelezése maradéktalanul sikeres volt. A feszültségmentesítéses mérések előkészítésének és megvalósításának részleteit a [14], a tokrepesztéses és hidrorepesztéses mérésekét a [8] és [9] dokumentum ismerteti. A Doorstopper-cellás mérések eredményeinek értékelése a [3], a CSIRO HI-cellás méréseké pedig a [4] publikációban közölt algoritmusok szerint történt.

A [14] dokumentum szerint a Nagyhurok vágatrendszer ÉNy-i sarokpontján kialakított fúráshármas (Bkf-1, -2, -3) méréseiből meghatározott térbeli feszültség-ellipszoidok rendkívül változékony helyzetűnek bizonyultak; még a korábbiaknál is nagyobb irányszórást mutattak. Mivel ebben a vonatkozásban egyáltalán nem volt különbség a Doorstopper-cellás és a CSIRO HI-cellás mérések között, ezért kizárhatónak tűnik, hogy ezt az eredményt méréstechnikai problémára lehetne visszavezetni (ahogy azt a korábbi Doorstopper-cellás mérések hasonló adatai alapján több szakértő is vélte). A [6] publikációban közölt értelmezéssel összhangban tehát kijelenthető, hogy a mérések jelentős része tektonikusan befolyásoltnak bizonyult; annak ellenére is, hogy a fúrások viszonylag kedvező geotechnikai állapotú kőzetzónákat tártak fel. A 3D-s mérésekből meghatározható legkisebb főfeszültség-komponens több mérés esetében is anomálisan alacsony értékűnek adódott. Ez összhangban van a kérdéses területen (az alkálivulkanit-telért kísérő ún. É-i vizes pásztában) tapasztalt extrém vízföldtani viszonyokkal, és magyarázza az itt végzett injektálási műveletek alacsony

hatékonyságát is. A fenti megállapításokat a tokrepesztéses és hidrorepesztéses mérések is alátámasztották.

A tektonikailag nem zavart feszültségmentesítéses méréseknél ezúttal is az É–D-i irányhoz közeli σ_{Hmax} adódott, és újra igazolást nyert a $\sigma_{Hmax} > \sigma_{Vert} = \sigma_{Hmin}$ reláció (transzpressziós tektonikai stílus). Az adatok alapján – egy újonnan kidolgozott felskálázási eljárás eredményeképpen – a statikai tervezés során a horizontális és a vertikális feszültségkomponens hányadosát, az ún. k-tényezőt a kamrák tengelyére merőlegesen 1,33 és 1,35 között; míg a kamratengellyel párhuzamosan 0,93 és 1,00 között javasoltuk felvenni. (Meg kell jegyezni, hogy ennek ellenére a tárolókamrák tervezése során a kamrák tengelyére merőlegesen is k=1,0 értéket vettek figyelembe [7].)

A kamramező központi zónájában, a monzogránitos sáv belső területén lemélyített Bkf-5 jelű fúrás tesztjeire az említett, anomálisan alacsony minimális főfeszültség már nem volt jellemző. Sajnos ezeket a méréseket viszont az éppen a tesztmélységben harántolt aplit-telér, illetve az azt mindkét oldalon kísérő tektonizált zóna jelenléte zavarta. Így, bár e mérések sem mondtak ellent a korábban kialakult képnek, még most sem áll rendelkezésre egy olyan, megfelelő térbeli eloszlású és mennyiségű mérési adatrendszer, amivel pontosabban megismerhetjük az I. kamramező teljes feszültségképét, a feszültségtér-blokkosodás jellemző léptékét (vagy léptékeit), földtani befolyásoló okait, egyáltalán valódi természetét. Ezért a mérési program folytatása – az eddig is alkalmazott módszerek kombinált alkalmazásával – mindenképpen szükségszerűnek látszik.

A feszültségmérésekből levont következtetések kvalitatív ellenőrzésére egy közvetett módszer is kínálkozott. Az I-K1 és I-K2 tárolókamrák nyaktagjaiban kerültek telepítésre a KON-13, illetve KON-14 jelű mechanikai konvergenciamérő szelvények. Amennyiben az adott üreg geometriai és biztosítási viszonyait figyelembe véve analitikus vagy numerikus visszaszámításokat végzünk, úgy a konvergenciamérő szelvény adatsorai alkalmasak a kiinduló adatok (pl. a feszültségtér) visszaellenőrzésére is. Tekintettel a nyaktagok körszelvénytől erősen eltérő alakjára, valamint arra, hogy az alkalmazott biztosítási megoldások a főteívben és a talpon eltérőek, ezúttal csak numerikus visszaszámításra volt reális lehetőség. Bár ennek kapcsán egyes paraméterek további finomítására még szükség lesz, a 2D-s végeselemes, Phase^2 programmal végzett modellezés is azt mutatta, hogy a kamrák szelvénysíkjában a horizontális feszültségkomponens mindenképpen lényegesen meghaladja a vertikálist.

2. A KAMRAHAJTÁS ÁLTAL KIVÁLTOTT FESZÜLTSÉGVÁLTOZÁSOK

A 3D-s CSIRO HI-cellás mérési technika arra is alkalmas, hogy a mérőeszközöket az aktuális vájvég elé megfelelő távolságra, célszerű orientációban lemélyített fúrólyukakba installálva folyamatosan nyomon lehessen követni az adott vágat továbbhajtása kapcsán létrejövő térbeli feszültségváltozási folyamatokat. Ezt a lehetőséget hazánkban első ízben a BAF vizsgálatára kialakított föld alatti kutatólaboratóriumban alkalmaztuk [10], majd a Mórágyi Gránit kutatása során, az ún. HGM-kamrában végzett komplex vizsgálatsorozat keretében is telepítettünk egy hasonló mérőszelvényt [13]. A módszer mindkét esetben rendkívül informatívnak bizonyult. A Mórágyi Gránit esetében pl. sikerült igazolni a feszültségváltozások közvetlen összefüggését a kőzetkörnyezet hidrodinamikai paramétereinek alakulásával.

Ilyen előzmények után kézenfekvő volt, hogy a kamrahajtás hatására a kőzetkörnyezetben – azon belül is oldalponti, illetve főteponti helyzetben, különböző mélységekben – létrejövő feszültségváltozások megismerésére, és ezzel egyúttal a statikai tervek (ezen belül is különösen a pillérméret) ellenőrzésére hasonló mérőrendszert alkalmazzunk. Ugyancsak kiemelt célkitűzés volt, hogy a mérőeszközökkel ne csak a telepítési helyszínt jelentő tárolókamra, hanem a másik kamra különböző jövesztési fázisainak hatásait is meg lehessen mérni. A CSIRO HI-cellákat az akkor elől haladó I-K2 tárolókamra 55,3 fm-es vájvégállásánál, 19-28 m-rel az aktuális homlok elé mélyített 6 db fúrólyukba (Bkc-7; …; Bkc-12) installáltuk. Az automatikus mérő-adatgyűjtő rendszerbe bekötött cellák ettől kezdődően a kamrák kihajtásának teljes időszakában, a feszültségváltozások teljes lecsengéséig (sőt még azt követően is) folyamatosan működtek, és rendkívül hasznos információkat

szolgáltattak a különböző jövesztési fázisok feszültségmódosító hatásairól. A hat telepített cella csatornáin regisztrált jelsorozat a teljes megfigyelési időszakban stabil, a robbantási hatások elkülönítésére alkalmas maradt. A mérési program ezúttal is igen sikeresnek és informatívnak bizonyult. A telepítés részleteit és a mérési eredményeket részletesebben a [15] ismerteti.

A főteponti cellák esetében az I-K2 kamra kalottjának kihajtása a mérések szerint intenzív feszültségcsökkenési folyamatokat indukált (a legnagyobb feszültségcsökkenés a vertikális irányhoz köthető). Ennek hatására a mértékadó feszültségek a biztosított zónában zérus körüliek lesznek, viszont a horgonyzott zóna határán már biztosan húzófeszültségek lépnek fel. A másik kamra kalottjának és talpszeletének, illetve az I-K2 kamra talpszeletének kihajtása a főteponti cellákon csak alárendelt jelentőségű hatásokat váltott ki. Az oldalponti helyzetű, a biztosított zóna határára eső cellák esetében kisebb-nagyobb mértékű (2,5 – 5,0 MPa), általában vertikális értelmű feszültségnövekmény volt megfigyelhető az I-K2 kalott kihajtásakor. A két kamra közötti térrészben telepített oldalponti celláknál ezt a hatást az I-K1 kamra kihajtása kis mértékben tovább fokozta. Igen fontos megfigyelés viszont az, hogy e celláknál a talpszelet kihajtása intenzív feszültségleépülést eredményezett (a primer feszültségtérhez illeszkedő, célszerűen megválasztott alaktényező és biztosítási technológia mellett ez a jelenség jól kihasználható lehet a kamrák optimalizálásához). Hasonló volt a helyzet a pillér középvonalába eső cellák esetében is, csak itt értelemszerűen sem a kalottok kihajtása nem okoz olyan mértékű feszültségnövekményt, sem pedig a talpszeletek kihajtása nem okoz jelentős feszültségleépülést. A mért feszültségnövekmény számszerű, a várakozásoknál kissé magasabb mértéke figyelmeztető lehet az esetleges pillérméret-csökkentés szempontjából.

A 6 db cella kapcsán bemutatott feszültségváltozási folyamatok a kamra főtéjében és oldalpontjában a horgonyzási zóna határára, illetve a pillér középvonalára vonatkoznak. A megfigyelt zónákban olyan mértékű feszültségváltozásokat, amik akár rövid, akár pedig hosszú távon bármilyen statikai problémára utalhatnak, a mérések nem mutattak ki. Ez alapján tehát azt állíthatjuk, hogy a kamrák alakja, mérete, biztosítási és kihajtási technológiája valamint a pillérméret megfelel az eredeti műszaki célkitűzéseknek. Ugyanakkor a méréssorozattal megszerzett gyakorlati adatok közvetlen módon és rendkívül jól hasznosíthatók lehetnek a későbbi kamraoptimalizálási, illetve az ahhoz csatlakozó statikai tervezési munkák során is. Ezzel együtt is le kell szögezni azonban, hogy az eredetileg tervezettnél alacsonyabb számú mérőelem nem tette lehetővé valamennyi célkitűzés maradéktalan elérését. Nem valósulhatott meg maradéktalanul a kitörési szelvénytől való távolság függvényében való feszültségváltozás-mérés, a biztosított zónán belüli és a biztosított zóna határán, illetve azon kívül fellépő feszültségváltozások összehasonlítása, tehát a biztosítás hatásainak számszerű minősítése sem. Az egyes mérőhelyek telepítési környezetének hasonlósága miatt ugyancsak nem lehetett egyértelműen vizsgálni a kapott eredmények geotechnikai állapottól való függését sem. Ezeket az információhiányokat a további kamraépítések során hasonló mérőszelvények alkalmazásával célszerű lenne megszüntetni.

IRODALOM

[1] Bada G., Dövényi P., Horváth F., Szafián P., Windhoffer G. 2007: Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi-dinári-kárpáti környezetében. Földtani Közlöny 137/3, 327-357.

[2] Benkovics I., Takáts F., B. Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Dr. Kereki F., Ropoli L., Szebényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolci R., Vrászlai F., Kulcsár L., Thomas A., Hersvik D., Megyeri T.,, Németh Gy., Lowson A., 2010: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló feltáró vágatai térkiképzése. Kiviteli Terv, II. Ütem 3. szakasz: I-K1 és I-K2 tárolókamra. AJKMK00009D000C. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt. Mott McDonald Kft., 2010. szeptember 24., RHK Kft. Adattára. RHK-K-123C/09.

[3] Corthesy, R. Gill D.E., Ouellet J. 1993: Methodes de mesure des contraintes dans les massifs de roches dures, Centre de recherches minerales, p. 61-70.

[4] Fama, M. E. D.; Pender, M. J.: Analysis of the Hollow Inclusion Technique for Measuring In Situ Rock Stress. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 17, pp 137-146., 1980.

[5] Heidbach, O., Tingay, M., Barth, A., Reinecker, J., Kurfeß, D. and Müller, B., The World Stress Map database; release 2008. doi:10.1594/GFZ.WSM.Rel2008, 2008. Internet: http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html
[6] Hudson J. A. 2010: Stresses in rock masses: A review of key points. Rock Engineering in Difficult Ground Conditions – Soft Rocks and Karst – Vrkljan (ed). © 2010 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-80481-3.
[7] Kandi E., Hersvik D., Váró Á., Bicskei D., Viszolay R., Arató P. 2010.: Geotechnikai értelmező jelentés, Budapest, 2010 szeptember, RHK-K-059D/10.
[8] Kis Herczegh P. 2010.: Jelentés a Bkf-1,-2 magfúrásokban végzett tokrepesztő szondás és hidrorepesztéses in situ kőzetfeszültség mérésekről. Kézirat, Budapest, 2010. augusztus. RHK Kft. Adattára, RHK-K-128/10.
[9] Kis Herczegh P. 2011: Jelentés a Bkf-3 magfúrásban végzett tokrepesztő szondás in situ kőzetfeszültség mérésekről. Kézirat, Budapest, 2011. augusztus. RHK Kft. Adattára, RHK-K-052/11.
[10] Kovács L. 2006: Vágathajtás hatására bekövetkező mechanikai feszültségváltozások mérése a Bodai Aleurolit Formáció minősítésére kialakított föld alatti kutatólaboratóriumban. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 2. 2006. (Szerk: Török Á., Vásárhelyi B.). pp. 123-138.
[11] Kovács L., Bogár I. 2007: Felszínközeli kőzettestekben uralkodó primer feszültségállapot meghatározása továbbfejlesztett Doorstopper cellás, mag-túlfúrásos in situ feszültségmérésekkel. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 4. 2007. (Szerk: Török Á., Vásárhelyi B.). pp. 281-300.
[12] Kovács L., Bogár I. 2008: Értékelő jelentés a Bm-1, Bm-2 és Bm-3 jelű fúrásokban elvégzett mag-túlfúrásos in situ feszültségmérésekről. Kézirat, Pécs, 2008. február. RHK Kft. Adattára, RHK-K-039/08.
[13] Kovács L., Molnár P., Szebényi G. 2008: Összefoglaló jelentés a HGM-kamra vizsgálatairól. – Kézirat, Pécs, 2008. május. RHK Kft. Irattára, Paks, RHK-K-053/09.
[14] Kovács L. 2011.: Jelentés a Bkf-1, Bkf-2 és Bkf-3 fúrásokban elvégzett CSIRO HI-cellás 3D-s és Doorstopper-cellás 2D-s primer kőzetfeszültség-meghatározásokról. Kézirat, Pécs, 2011. szept., RHK Kft. Adattára, RHK-K-051/11.
[15] Kovács L., Mészáros E. 2011: Nagyszelvényű tárolókamrák környezetében végbemenő feszültségváltozások mérése. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 12. 2011. (Szerk: Török Á. és Vásárhelyi B.). pp. 229-246.
[16] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Magyarország Kft. 2009.: Vizsgálati program a tárolóterek mérnöki tervezését megalapozó vizsgálatokhoz, Pécs, RHK–K–091A/09.
[17] Ulusay R., Hudson J.A., 2007.: The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.
[18] Worotnicky G.; Walton R. J.: Triaxial „Hollow Inclusion" Gauges for Determination of Rock Stresses In Situ. Proc. ISRM symp. on investigation of stress in rock, Supplement, 1-8. Sydney. Instn. Engrs. Aust., 1976.
[19] Zoback M. L. és 28 társszerző 1989: Global patterns of tectonic stress. Nature, 341, 291-298.

A kamraépítés kapcsán végzett extenzométeres mérések eredményeinek értékelése

Evaluation of the extensometer measurements related to the repository chamber driving

DEÁK FERENC, KOVÁCS LÁSZLÓ, MÉSZÁROS ESZTER

Kőmérő Kft. (RockStudy), 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,
deakferenc@komero.hu, kovacslaszlo@komero.hu, meszaroseszter@komero.hu

Abstract

The Ext-10 radial extensometer array has been installed as a part of the monitoring system controlling the impacts caused by the excavation of repository chambers at Bátaapáti. The installation and evaluation works had been carried out by the experts of Kőmérő (RockStudy) Ltd. Analytical and numerical modelling methods were simultaneously used for analysing the data of extensometers. Due to the used radial arrangement the measurable part of the total occurring displacements was 20-25%. The measured and the backcalculated results of numerical modelling are in the same range. For the future monitoring works we suggest to introduce a new measuring extensometer technology, M-RHX (Modular Reverse Head Extensometer), which could measure the whole axial deformation of the tunnel face during the tunnel advance.

Kulcsszavak

deformációmérés, NRHT, extenzométer, numerikus modellezés, tárolókamra

BEVEZETÉS

A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) főfeltáró és kiszolgáló vágatrendszerében korábban már több extenzométeres szelvény telepítésére és hosszú távú mérésére is sor került. E szelvények sikeres kivitelezése és magas szintű informativitása miatt az extenzométeres technikát a tárolókamrák építése során is célszerű volt alkalmazni. Az I-K2 tárolókamrában működő Ext-10 jelű szelvényben egy függőleges talpponti (Bx-104), egy vállponti (Bx-101), egy függőleges főteponti (Bx-102) és – a két kamra közti pillérben – egy oldalponti (Bx-103), radiális helyzetű extenzométer került telepítésre.

A Bx-101, Bx-102, Bx-103 jelű fúrásokba GEOKON A-5 típusú (hidraulikus rögzítésű) ankerekkel felszerelt üvegszálas rudazatú extenzométereket telepítettünk, míg a talpponti fúrólyukba GEOKON A-9 típusú, visszanyerhető extenzométer került. Az A-9 extenzométereket a gyártó leginkább a plate jacking (illetve hasonló kivitelezésű) vizsgálatokhoz ajánlja. Nem tudunk olyan referenciáról, ahol a vizsgált zónában folyamatos, robbantásos jövesztés zajlott, és ezt követték volna nyomon az A-9 típussal. A pneumatikus tüskék kiültetésére szolgáló nitrogén palackot sikerült kellő távolságra elvezetni a fúrólyuktól, és a gondos telepítés és műszervédelem eredményeképpen jól működött a mérőrendszer.

A tárolókamra funkciójából eredően a tervezés során a legfontosabb kitétel a környező földtani gát védelme volt, aminek érdekében a tervező Mott MacDonald Magyarország Kft. az Ext-10 szelvény fúrásainak hosszát kénytelen volt korlátozni [1]. Emiatt az extenzométerek referencia-ankerei sem kerülhettek valóban mozgásmentes kőzetzónába. Az adatgyűjtő időszakos hibája és a talpi extenzométer elrobbantása miatt (a mindig sikeres javítások mellett is) az adatsor hiányokkal terhelt. Mindezek ellenére a mérőrendszer segítségével sikeresen lehetett megfigyelni az I-K2 és I-K1 tárolókamrák kihajtásának deformációs hatásait.

A deformációs folyamatot a [3], az extenzométerek működési elvét, a telepítés körülményeit, a kiolvasott eredmények feldolgozásának menetét a [4] dokumentum részletezi.

1. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK

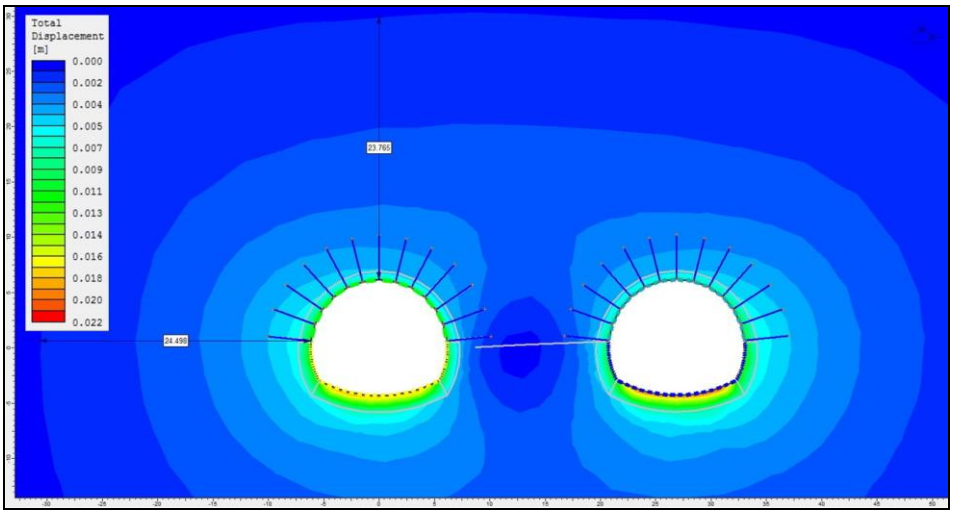
Valamennyi, a kerületi pontokon elhelyezett A-6 típusú extenzométer esetében igaz, hogy a kalott, illetve a talpszelet kihajtásának időszakában mért deformációk egymástól jól elkülöníthetőek. Az eredmények – az elméleti értékeknek megfelelően [3] – azt mutatják, hogy megközelítőleg kétszeres vágatátmérőnyi távolságon túl végzett kalott-robbantásoknak már nincsen hatása a szelvényben. A Bx-103 extenzométer az I-K2 és az I-K1 kamra robbantásainak hatását egyaránt regisztrálta. Mindhárom (Bx-101; -102; -103) extenzométer regisztrátumán egyértelműen azonosíthatók az I-K2 kamra talprobbantásainak hatásai is.

A Bx-104 extenzométer eredményeinek idősor jellegű ábrázolása szintén azt mutatja, hogy az I-K2 kamra kalottjának kétszeres vágatátmérőnyi távolságon túli robbantásainak már nincs hatása. Az elmozdulások értékét a szelvény többi extenzométerén mért eredményeivel összehasonlítva – a Bx-102 nem stabilizálódott 3. ankerét kivéve – azt tapasztaljuk, hogy a legnagyobb konvergencia a talpi extenzométeren, méghozzá annak felső két ankerén jelentkezik, azaz a talp felboltozódása jelentős. Ez természetes is, hiszen a talpon nem található olyan elmozdulást korlátozó elem, mint a főteíven a lőttbeton és a kőzethorgony.

2. AZ EXT-10 EXTENZOMÉTERES SZELVÉNY KÖRNYEZETÉNEK MODELLEZÉSE

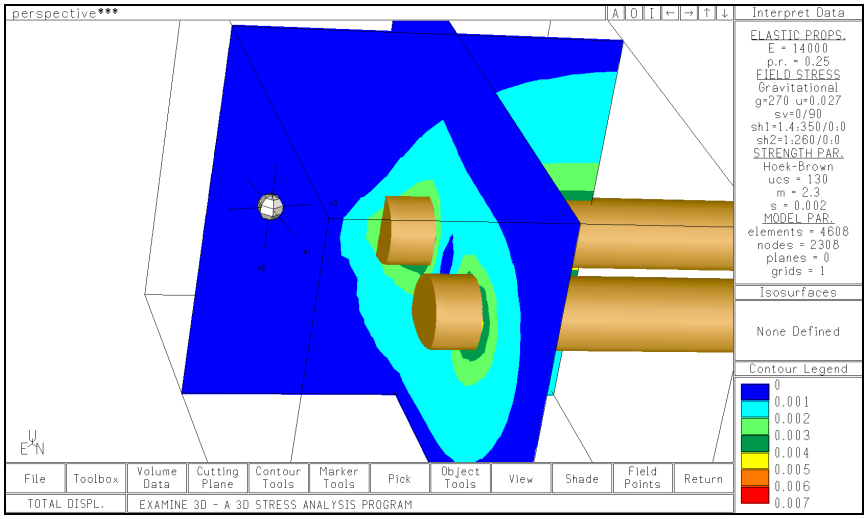
A modellezés során az I-K2 kamrába telepített extenzométeres szelvény környezetét megvizsgáltuk 2D-s végeselemes (FEM – Phase^2), illetve 3D-s peremelemes (BEM – EXAMINE^{3D}) szoftverek segítségével.

A 2D-s modellezés során síkbeli, illetve körszimmetrikus (v. tengelyszimmetrikus) modelleket használtunk fel. A geometria definiálása közben már figyelembe vettük a kamrahajtás során adódó lépcsőzetes kőzet-eltávolítást, valamint a kőzet, illetve a falazat relaxációját is. A befogadó kőzettest paramétereit a Bátaapátiban alkalmazott Q rendszer szerinti kőzetbiztosítási osztály III. kőzetosztályába tartozó medián értékekkel jellemeztük. Az építési sorrend és az előrehaladás mértéke mellett a falazat korát az egyes építési fázisokhoz a robbantási naplók alapján lehetett meghatározni. Az egyes fejtési részekre külön-külön falazatot kellett definiálni, hiszen ezek fizikai paraméterei időfüggőek. A vágathajtásból származó relaxációt a fejtett kőzet lépcsőzetes eltávolításával sikerült a legjobban modellezni. Adott fejtési fázisban a kifejtett térrész helyére egy alternatív kőzettestet iktattunk be, amely szilárdsági tulajdonságait az eredeti kőzettestből kiindulva lépésről lépésre csökkentettük a teljesen kifejtett állapotig. Egy adott kamrarész fejtését három lépésben modelleztük. Első lépésben beiktattuk az alternatív kőzetet egy csökkentő tényezővel, és figyelembe vettük, hogy a vágat környezetének kőzetfizikai paraméterei szintén lecsökkennek a fejtés hatására (a vágatpalást körüli EDZ-zóna) (1. ábra). A körszimmetrikus modellek segítségével jól lehet vizsgálni a fejtések előrehaladását, természetesen számottevő egyszerűsítés árán. Ebben az esetben az időben kivitelezett vágatot (az I-K1 jelűt) vizsgáltuk, így a korábban létesített párhuzamos vágatból (az I-K2-ből) radiálisan telepített Bx-103 extenzométert „elhaladásos” vizsgálathoz használhattuk fel a modellezés során is (bővebb leírás: [5]).



1**. ábra**: Az elkészített síkmodell többlépcsős kőzetjövesztésének utolsó fázisa, ahol mindkét kamra már ki van fejtve (teljes elmozdulás – total displacement)

A 3D-s modellezéssel a célunk az volt, hogy validáljuk a 2D-s modellezésekben alkalmazott 3D-s problémák leegyszerűsítését szolgáló megoldásokat, és az esetleges hibák kiszűrésével tökéletesíthessük azokat (2. ábra). Az összehasonlítás során mindkét modellezés esetében ellenőriztük a kőzetjövesztés hatására keletkező teljes elmozdulások, a szilárdsági faktor (mely analógiája a biztonsági faktornak – Factor of Safety) és a különböző feszültségátrendeződések alakulását. Mivel az Examine3D-ben csak egy fajta befogadó kőzet parametrizálására van lehetőség, ezért bonyolultabb kőzettestek és az egyéb gyengítések (pl. EDZ) definiálása térben nem lehetséges. Ezt 2D-s megfontolással a Phase2 környezetében elvégezhettük, miután megvizsgáltuk a kamrahajtás kőzetre gyakorolt térbeli hatásait. Az eredmények nagyon jól korreláltak mindkét modellezési módszer és szoftverkörnyezet esetében (1. és 2. ábrák).



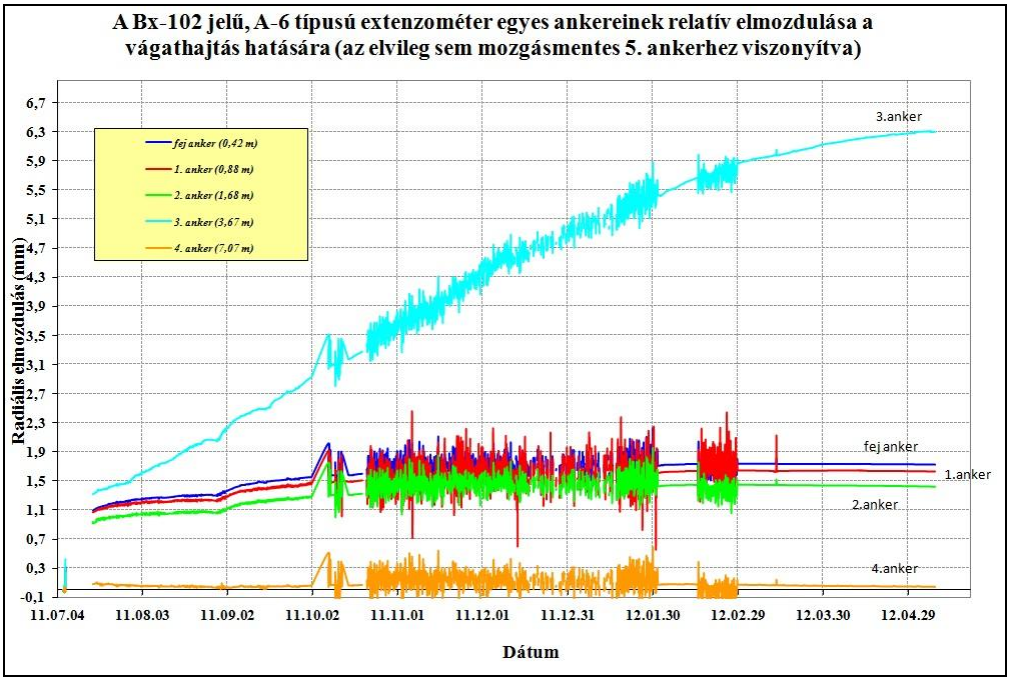
2. ábra: EXAMINE^{3D} környezetében elvégzett modellezés (teljes elmozdulás – total displacement)

A Phase^2 környezete ugyanakkor lehetőséget adott arra, hogy a kamratérképezés során keletkezett ShapeMetriX3D rendszer segítségével készített fotorealisztikus modelleken észlelt töréseket, törésrendszereket és gyengült zónákat nagy pontossággal átvihessük a modellekbe. Ezáltal létrehoztunk egy hibrid modellt, amely képes a definiált törések és gyengült zónák menti feszültség-átboltozódás számítására. Ezzel a megoldással vizsgálni tudtuk az egyébként tisztán kontinuum-mechanikai megközelítéssel megmagyarázhatatlan jelenségeket is (pl. a főtében a Bx-102 esetében tapasztalt anomális elmozdulásokat).

A modellezések során kapott eredmények arra engednek következtetni, hogy a vágathajtás hatására végbemenő teljes deformációk tartományának azon részét, amely az adott telepítési elrendezéssel mérhető, sikeresen regisztráltuk. Ez a vágathajtás hatására fellépő teljes deformáció hozzávetőleg 20-25%-a. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a terepi mérések eredményeit bizonytalanná teszik a legmélyebben kiültetett ankerek nem mozgásmentes pozíciói (a modellek alapján a referencia ankereket a kamrafaltól ~25 m mélységben kellene telepíteni).

3. HOSSZÚ TÁVÚ MÉRÉSEK (REOLÓGIA)

A korábbi szelvények hosszú távú mérési eredményei jelentős reológiai deformációkat mutatnak [2]. Az Ext-10 mérőrendszer főteponti extenzométerének 3. ankere a kamrahajtást követő időszakban is jelentős sebességű deformációt mutat, ami jelenleg kezd lecsengeni (lásd 3. ábra). Az extenzométereket gyártó cég szakértőivel történt konzultáció egyértelműsítette, hogy ezek a műszerek alkalmasak akár több évtizedes stabil működésre is, így a bemutatott jelenséget semmiképpen sem tekinthetjük műszerhibának [6]. A deformációk hosszú távú alakulásának nyomon követése így kiemelt figyelmet igényel, hiszen az elmozdulások esetleges jelentős növekedése a lőttbeton réteg, illetve a teljes vágat tönkremenetelét jelezheti előre.



3. ábra: A Bx-102 főteponti extenzométer idősora

ÖSSZEFOGLALÓ

A hátráltató tényezők ellenére az Ext-10 szelvény informatív adatsort szolgáltatott, mely felhasználható a szelvénykörnyezet numerikus modelljeinek validálására is. A szelvény hosszú távú működtetése kiemelten fontos a kőzet reológiai viszonyainak megismeréséhez és a biztonság szempontjából. Mivel a radiális irányú fúrólyukak hosszát a biztonsági előírások korlátozzák, a későbbiekben javasoljuk a mérési program kiegészítését a Solexperts svájci cég által kifejlesztett M-RHX (Modular Reverse Head Extensometer – megfordított fejű saját tápegységgel rendelkező extenzométer) extenzométerrel, mely lehetőséget nyújt a kamrák, illetve egyéb vágathomlokok axiális deformációjának a teljes tartományú kimérésére, az alagúthajtással egy időben [7].

IRODALOM

[1] Benkovics I., Takáts F., B. Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Dr. Kereki F., Ropoli L., Szebényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolci R., Vrászlai F., Kulcsár L., Thomas A., Hersvik D., Megyeri T., Németh Gy., Lowson A., 2010: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-Tároló feltáró vágatai térkiképzése. Kiviteli Terv, II. Ütem 3. szakasz. I-K1 és I-K2 Tárolókamra. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt. Mott McDonald Kft., 2010. szeptember 24., RHK Kft. Adattára. RHK-K-123C/09.

[2] Csicsák J., Andrássy M., Bankovics A., Csapó Á., Csősz S., Csurgó G., Csúzdi Cs., Dányi L., Darvas K., Deák F., Demény K., Fehér Z., Dr. Gorjánácz Z., Gubányi A., Dr. Gulyás P., Hámos G., Dr. Juhász P., Dr. Kevey B., Dr. Kiss B., Kontschán J., Korpai F., Kovács L., Kutas J., Lazányi E., Málnás K., Merkl O., Mészáros E., Mészáros F., Moskó K., Dr. Müller Z., Nagy P., Németh J., Ország J., Póta Á., Ronkay L., Rotárné Sz. Á., Somodi G., Szalai Z., Szatmári L., Szél Gy., Szőcs T., Szulimán Sz., Szűcs A., Dr. Szűcs I., Turger Z., Dr. Várkonyi T. 2012: Monitoring értékelő jelentése az NRHT létesítése keretében telepített környezetellenőrző mérésekről — Kézirat, MECSEKÉRC Zrt., Pécs, 2012. április, RHK–K–094/11.

[3] Hoek E., Kaiser, P. K., Bawden, W. F. (1995): Support of Underground Excavation in Hard Rock, Taylor and Francis, New York, 215 p.

[4] Mészáros E., Kovács L. (2011): Jelentés az Ext-10 jelű extenzométeres mérőrendszerrel a kamrahajtás időszakában megvalósított mérési programról. Kézirat. Pécs, Kőmérő Kft., RHK-K-076/11.

[5] Jobaházi V., Deák F., Megyeri T., Török Á. (2012): Körszimmetrikus modellezés nyújtotta lehetőségek a Bátaapátiban épülő tárolókamrák környezetében. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 12, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2012, pp. 219-228.

[6] McRae J. B., Simmonds T. (1991): Long-term stability of vibrating wire instruments: One manufacturers's perspective. Field Measurements in Geotechnics, Balkema, Rotterdam, pp. 283-293.

[7] Steiner P. R. (2007): Displacement measurements ahead of a tunnel face using the RH Extensometer. FMGM 2007: Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, 8 p.

A Bátaapáti NRHT építése során felhordott lövellt beton pórusszerkezet és permeabilitás vizsgálata

Pore characterization and permeability analysis of shotcrete in NRWR, Bátaapáti

FEDOR FERENC, ÁCS PÉTER

GEOCHEM Kft.t., 7673 Kővágószőlős, Hrsz. 0222/35, fedor.ferenc@geochem-ltd.eu; acs.peter@geochem-ltd.eu

Abstract

GEOCHEM Ltd. performs petrophysical investigations since 2009, ordered by MECSEKÉRC Plc., on shotcrete and concrete samples (and also on concrete cube samples related to these) coming from chamber No.1. and from the incline-shaft of the Bátaapáti site, as well as on rock samples of some drill holes and on clayey samples from faulting zones. During that time, 250 pieces of 1,5" diameter small core samples (s.c. plugs) were drilled in laboratory from samples came from the shotcrete wall of the drift, and their porosity, pore throat size distribution and permeability values were measured. Pore structure features were studied on 142 pieces of 9 mm long and detrital samples. This amount of data is already enough to draw conclusions regarding shotcrete quality, concrete spreading technology and permeability. By the reason of cost- and deadline limits, there was no opportunity for the investigation of the effect of concrete age on pore character and permeability. Nevertheless, our company investigated 3 pieces of shotcrete samples drilled in mantle and axial direction (together 18 pieces), obtained from the incline-shaft and chamber, in order to receive some referential information about the temporal change of concrete.

Kulcsszavak

lövellt beton, porozitás, pórusszerkezet, vizes permeabilitás

BEVEZETÉS

A GEOCHEM Kft. 2009 óta végez kőzetfizikai vizsgálatokat a Mecsekérc Zrt. megbízásából a Bátaapáti telephely lejtősaknájából és a 1. sz. kamrájából vett lövellt beton és útbeton, illetve az ezekhez tartozó betonkocka mintákon, valamint csekély számú előfúrásból és torlasztó zónából vett kőzetmintán [1, 2, 3, 4, 5]. Ez idő alatt a vágat és kamrafal lövellt betonjából 250 db 1.5" átmérőjű kis magminta (un. plug) lett kialakítva és porozitás, permeabilitás szempontjából megvizsgálva, valamint 142 db 9 mm-es és törmelékmintán volt a pórusszerkezet tanulmányozva. Ez az adatmennyiség már elégséges ahhoz, hogy általános következtetéseket lehessen levonni a beton minőségével, a beton felhordási technológiával és áteresztőképességével kapcsolatban.

A beton alapvetően két funkciónak történő megfeleltetés szempontjából vizsgálható [6, 7]. Egyrészt biztonsági funkciója van (kőzetbiztosítás), másrészt mérnöki gátként szolgál. Jelen esetben az elsődleges vizsgálati szempont a kőzetbiztosítás volt. A betonkor vizsgálatra költség és határidő korlátok miatt nem volt lehetőség. Cégünk saját költségén az I. sz. kamrából és a lejtősaknából vett mintákból 3-3 tengely és palástirányú (összesen 18) mintát megvizsgált annak érdekében, hogy a beton időbeli változására vonatkozóan tájékoztató jelleggel információkat nyerjen.

1. VIZSGÁLATI MÓDSZERTAN

A vizsgálatok minden esetben munkaterv alapján készültek, mely tartalmazta a szerződés követelményrendszerének való megfelelés feltételeit és a mérési feladatok megvalósításának lépéseit. A minták elnevezése konzekvensen történt az alábbiak alapján (1. sz. táblázat)

minták elnevezése	
BMP	műanyag szálas palást irányú betonminta
BMT	műanyag szálas tengely irányú betonminta
BBP	acélszálas palást irányú betonminta
BBT	acélszálas tengely irányú betonminta
K1-FXP	főtéből származó palást irányú lövellt beton minta
K1-FXT	főtéből származó tengely irányú lövellt beton minta
K1-JXP	vágat jobb oldalából származó palást irányú lövellt beton minta
K1-JXT	vágat jobb oldalából származó tengely irányú lövellt beton minta
K1-BXP	vágat bal oldalából származó palást irányú lövellt beton minta
K1-BXT	vágat bal oldalából származó tengely irányú lövellt beton minta

1. táblázat A vizsgált minták jelölése

A beérkezést követően a minták dokumentálása (leírás és foto dokumentáció), majd 1,5” átmérőjű, többségében 1” hosszú, fúrási tengely és ezekre merőleges palástirányú kis magminták kialakítása történt ellenőrzött körülmények között. A magminták tömeg és geometriai adatait a kialakítást követően rögzítettük. A porozitás és permeabilitás meghatározása szempontjából a mag geometria meghatározó szerepű, ezért tolómérővel magonként 11 átmérő és 11 hosszadat alapján lett a térfogat meghatározva. Így lehetővé vált a mérési bizonytalanság becslése is. A pórusszerkezet mérésekhez 9 mm-es átmérőjű magok lettek kialakítva, vagy törmelékmintákból történt a mérést-szárítást követően. A szárítás minden minta esetén közel tömegállandóságig történt (max. 10 mg változás 24 órán belül). A betonminták esetén a tömegállandóság elérésére nincs lehetőség. Összességében megállapítható, hogy még rossz megtartású maganyag (műanyag szálas lövellt beton, kamra főtéből vett minták) esetén is többségében sikerült mérésre alkalmas mintákat kialakítani, jóllehet a mintamennyiség (eredeti minta mérete) miatt nem minden esetben sikerült tengely és palást irányú mintákat is kialakítani, illetve ezen minták pereme (geometriája) gyakran sérült.

A mátrix porozitás meghatározása Quantachrome Pentapyc 5200e (PPY-30T) típusú pentapycnométerrel történt. A mérések minden esetben 105 °C-on tömegállandóságig szárított mintán, 25 °C hőmérsékleten történtek adott hibahatár mellett magonként maximum 21 mérés elvégzésével, az utolsó 15 mérés átlagával számolva. A mátrixtérfogat és a mintatömeg ismeretében a mátrixsűrűség, a geometriai térfogat ismeretében az effektív porozitás és a fajlagos sűrűség meghatározható volt. A porozitás értékének hibája saját fejlesztésű módszer eredményeként becsülhetővé vált [8].

A Hg-porozitás mérések a mérést megelőzően 105°C-on tömegállandóságig szárított, az adott magminta környezetéből vett 9 mm átmérőjű hengeres magokon, illetve törmelékmintákon történtek Quantachrome Poremaster-60 GT típusú készülékkel a Washburn-egyenlet alapján [9]. Az adott magmintához tartozó He-pycnometriás méréseiből származó mátrixsűrűség értékek átlaga alapján lehetett számolni az elméleti porozitást. Az értelmezés során a szerkezethez kötődő porozitás értékei voltak figyelembe véve. A higany kontaktszög minden esetben mérés alapján, a felületi feszültség irodalmi adatok alapján (485,5 erg/cm^2) lett meghatározva. A készülék méréshatára 3,5 nm, így a teljes mezopórus tartomány (2-50 nm) kiértékelése ezzel a módszerrel nem lehetséges.

Szorpciós mérések Quantachrome Autosorb AS-1 típusú fiziszorpciós készüléken, törmelékmintákon történtek, melyek előzőleg 105°C-on tömegállandóságig száradtak, majd kigázosításuk a készüléken lévő állomásokon 24 órán át vákuum alatt 105°C-on megtörtént. Ezt követően nitrogén gázzal 80 pontos adszorpciós-deszorpciós izotermát vettünk fel. Az izoterma adatait felhasználva számítottunk BET fajlagos felületet (m^2/g), és amennyiben mérhető volt t-módszer segítségével (De-Boer) mikropórus felületet (m^2/g) [9].

A vizes permeabilitás mérések saját fejlesztésű, a MOL Nyrt nagykanizsai laboratóriumával összemért RS-PPD-01 típusszámú univerzális permeaméterrel ultra tiszta vízzel való telítést követően a nyomáslecsengés elve alapján [10, 11, 12] történtek 40-50 bar köpenynyomás, 18-22 bar pórusnyomás, 2-4 bar nyomáskülönbség és 20-25°C hőmérséklet mellett.

2. A MÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE, ÉRTELMEZÉSE

A mérések értékelése során először a korábbi tapasztalatok, majd a visszamérések eredményei és tapasztalatai kerülnek az alábbiakban összegzésre.

A műanyag szálas (BM) és acélszálas (BB) lövellt beton vizsgálatára 2009-2010 évben, míg az I. kamra (K1) két oldaláról és a főtéből származó minták elemzésére 2011 évben került sor. A beérkező maganyag megtartását tekintve változatos volt. Általánosan elmondható, hogy a BM és a K1 főtéjéből származó beton volt a legrosszabb megtartású, míg a kamra jobb és bal oldaláról vett minták voltak a legjobb minőségűek. Gyakorlatilag minden beérkezett mintatestből sikerült legalább egy tengely, vagy palást irányú mintát kialakítani, igaz ezek egy részének geometriája nem nevezhető tökéletesnek. A mintavétel a BM és BB minták esetén viszonylag kis területről, míg a K1 minták esetén szisztematikusan, előre tervezetten történt.

	anyagsűrűség	**fajl. sűrűség**	**F**	**Φ_{min}**	**Φ_{max}**	**permeabilitás**
	g/cm^3	g/cm^3	%	%	%	m^2
BM	2,489 ± 0,012	2,09 ± 0,051	16,02 ± 1,91	13,01	21,98	$10^{-16} – 10^{-19}$
BB	2,531 ± 0,016	2,134 ± 0,052	15,68 ± 2	12,24	22,82	$10^{-16} – 10^{-20}$
K1 palást	2,530 ± 0,016	2,112 ± 0,055	16,52 ± 1,98	12,77	22,40	$10^{-15} – 10^{-22}$
K1 tengely	2,530 ± 0,017	2,110 ± 0,049	16,64 ± 1,65	13,67	22,36	

2. táblázat Az eredeti mérési eredmények rövid összefoglalása

A BM minták nagyfokú heterogenitást mutattak minden jellemzőjükben. Az anyagsűrűségbeli kisebb szórás a receptura betartását, a fajlagos sűrűségbeli szórás viszont technológiai problémát vetít elő (légbuborékok, egyenetlen kavicsanyag). A porozitás és annak anizotrópiájának (tengely és palást irányú minták porozitásának különbsége) heterogenitása is ez utóbbira utal (felhordás egyenetlensége). Helyenként a porozitás érték 1-2%-kal kisebb lehet a mért értéknél, mivel ezek felületéből kavicskipergés észlelhető. Általánosságban elmondható, hogy a mért (számított) porozitás értékek a porozitás maximumértékét jelzik, azaz az esetek többségében a porozitás ennél az értéknél valamivel kisebb kell legyen. A minták vizes telítése jól sikerült. A permeabilitás mérést követően a belső rendszerből kivett víz esetén nem tapasztalható lúgosodás (!), ellentétben az acélszálas lövellt betonnal. A víz pH-ja semleges maradt (6,73-7,71). Ez egyfajta nyugalmi állapot beállását mutatja, mely gyakorlatilag egy év alatt bekövetkezett. Nagyfokú, három-négy nagyságrendet felölelő permeabilitás heterogenitás tapasztalható a mintahalmazban, mind a palástirányú, mind a tengelyirányú minták esetén, illetve az egyazon mintához tartozó palást és tengelyirányú minták esetén is jellemző az 1-2, esetenként három nagyság-

rendnyi eltérés. Mindezek arra utalnak, hogy a beton felhordása nem volt egyenletes (helyenként „hagymahéj” a szerkezet), azonban meg kell jegyezni, hogy a beton minősége így is jónak tekinthető, ugyanis a legrosszabb áteresztőképesség is 0,1 mD tartományba esik. Ez megegyezik az irodalmi adatokban az impermeábilis, illetve nagyon impermeábilis betonok permeabilitás értékeivel [11]. A több mint két évvel később végrehajtott mérésismétlés során a He-piknometriás vizsgálatokhoz hat mag lett kiválasztva visszamérés céljára. Ebből három palást, három tengely irányú. A visszamért minták térfogata általában nagyobb volt. Két minta esetén mértünk kisebb térfogatot, itt a visszamért tömeg is kisebb volt. Az effektív porozitás számított értékei 13,65%-17,71 % között változtak. Korábbi mérésekkel összevetve elmondható hogy a porozitás 1-2%-al csökkent. A mátrix sűrűség csökkenést mutat, ezzel szemben a fajlagos sűrűség értékei nagyobbak. Higany porozimetriából számított teljes felület közel 40%-al megnőtt, ezen belül az 50 nm alatti pórusátmérőhöz tartozó felület növekedett, így a felület több mint 97%-a tartozik ebbe a tartományba. Ezzel szemben a számított porozitás több mint 21%-os csökkenést mutat, de az 50 nm alatti pórusok porozitása az összes porozitás több mint 2/3 részét adja. 20 nm alatt több éles csúcs látható a pórusméret eloszlás görbén, amelyek repedezettségre utalhatnak. Ezekből kettő a korábbi mérésen nem azonosítható. Fiziszorpciós mérésből meghatározott BET felület 5,19 m^2/g adódott, ez a legnagyobb érték a visszamért betonminták között. Fiziszorpciós mérés mikropórusokat mutat, t-módszerrel (De-Boer) számított értéke 0,25 m^2/g. Műanyag szálas törmelék mintán határoztuk meg a legnagyobb pórustérfogatot. Mindez arra utalhat, hogy a korábbi méréssel szemben mezopórusos jelleg dominál a mintában. A permeabilitás visszamérése jelen munka leadásáig nem történt meg.

A BB minták előkészítése során különböző színű kioldódások voltak tapasztalhatóak, melyek egyrészt a cementanyag kimosódására, másrészt a rozsdásodás megjelenésére utaltak. Általánosságban itt is a nagyfokú heterogenitás jellemző, mely ugyanolyan okokra vezethető vissza, mint az előző esetben. Az egy furatból származó BBP-26/01-03 és BBT-26/01 magon belül 14,38% és 20,23% között van, de több furaton belül meghaladja a 2%-ot. Ez arra utal, hogy a beton felvitele nem volt egyenletes, időben folyamatos azaz „hagymahéj” szerkezet alakulhatott ki. Alapvetően három különböző szakasz, illetve típus különíthető el permeabilitás szerint: egyes minták gyors lecsengést produkáltak, ezek permeabilitása 10^{-16}-10^{-17} m^2 nagyságrendű; más minták vagy egy ilyen gyors lecsengést követően, vagy ettől függetlenül 10^{-18}-10^{-20} m^2 nagyságrendű permeabilitás értéket adtak; voltak minták, melyeken a lecsengés sebessége változott. Ez arra utal, hogy egyes mintákban egyfajta tisztulási, kimosódási, míg más mintákban eltömődési folyamatok játszódtak le. Nagyfokú, négy nagyságrendet átölelő permeabilitás heterogenitás tapasztalható a mintahalmazban, mind a palástirányú, mind a tengelyirányú minták esetén, illetve az egyazon mintához tartozó palást és tengelyirányú minták esetén is jellemző az 1-2 nagyságrendnyi eltérés. A mintákon belüli heterogenitást hagyományos permeabilitás méréssel is ellenőriztettük a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézetének Rezervoármechanikai Osztályán két, azonos magból származó mintával. Itt egy nagyságrendnyi eltérés volt tapasztalható, illetve itt is egyfajta tisztulási folyamat játszódott le az egyik minta esetén. Mindezek arra utalnak, hogy a beton felhordása nem volt egyenletes (helyenként héjas a szerkezet), azonban meg kell jegyezni, hogy a beton minősége így is jónak tekinthető, ugyanis a legrosszabb áteresztőképesség is 0,1 mD tartományba esik. Ez megegyezik az irodalmi adatokban az impermeábilis, illetve nagyon impermeábilis betonok permeabilitás értékeivel. A belső rendszerből kivett víz esetén lúgosodás, helyenként jelentős mértékű lúgosodás figyelhető meg rövid idő alatt (1-3 nagyságrendnyi pH érték növekedés pH = 9.84 maximummal). A 2-2,5 évvel később megismételt acélszálas lövellt beton vizsgálatok eredményei a következőek voltak. Műanyag szálas mintához hasonlóan szintén három palást, három tengely irányú mintát választottunk ki a mérésekhez. Korábbi mérésekhez viszonyítva itt minden minta geometriai térfogata növekedett. Öt minta esetén mind a mátrixsűrűség, mind a fajlagos sűrűség értékei növekednek (egy mintánál pedig csökken). A porozitás értékeket megvizsgálva vegyes képet kapunk. Két tengely irányú minta effektív porozitása mutat csökkenést (kb. 0,3%), egy minta értéke nem változott, a maradék minta esetén a növekedés 0,2-0,3%. Összességében a minták porozitása 14,04%-18,05% között változott. A Hg-porozimetriából számított felületértékek jelentős (egy esetben kétszeres, egy esetben háromszoros) mutatnak. Hasonló nagyságrendű a felület növekedés az 50 nm-nél kisebb pórusok esetén. A számított porozitás értékek számottevő (10% illetve 60%) növekedést mutatnak, ezen belül az 50 nm alatti pórusátmérőhöz tartozó porozitás duplájára nőtt. Korábban tapasztalt repedezettségre utaló jelek (20 nm alatti csúcsok) nem különíthetők el teljesen a nagy beáram-

lási csúcstól. Fiziszorpciós mérésből számított BET felület 3,23 m^2/g, a teljes pórustérfogat értéke második a visszamért minták között. Fiziszorpciós mérés mikropórusokat nem mutat. Mindez arra utalhat, hogy a korábbi méréssel megegyező módon mezopórusos jelleg dominál a mintában.

A K1 minták esetén az előzőeknél nagyobb heterogenitás figyelhető meg. Ugyanakkor a minták kialakítása csak a főtéből származó minták esetén volt nehéz. A porozitás anizotrópiája nem jellemző, kevés mintánál tapasztalható nagyobb porozitás különbség a tengely- és palástirányú minták esetén. A főte mintákon, különösen a palástirányú mintákon a porozitás- és sűrűség érték is szignifikáns módon eltér. Ezeken a mintákon már szorpciós mérések is történtek. Betonminták fajlagos felülete 4,38 ± 1,57 m^2/g-nak adódott (medián értéke: 4,14 m^2/g). Fiziszorpciós mérések alapján a minta makropórusosnak tűnik. Eltömődési és kimosódási jelenség egyaránt tapasztalható volt. Nagyfokú, hét nagyságrendet átölelő permeabilitás heterogenitás figyelhető meg a mintahalmazban, úgy a palástirányú, mint a tengelyirányú minták esetén, illetve az egyazon mintához tartozó palást- és tengelyirányú minták esetén is jellemző az 1-2 nagyságrendnyi eltérés. Ebben az a meglepő, hogy nem csak a palástirányú minták permeabilitás értékei nagyobbak mindig, hanem az esetek 30-35%-ban a tengelyirányú mintákéi. Ez jelenség, bár különböző mértékben, de mindhárom részből vett mintacsoport esetében előfordul. (bal, főte, jobb). Mindez utalhat a beton heterogenitására, a légbuborékok képződésére, valamint a száradás, „kompakció" alatt bekövetkezett változásokra is. Ez azt jelenti, hogy nem lehet leegyszerűsíteni a beton szerkezetét „hagymahéj szerkezetre", mert jelentős számban és mértékben (ugyanazon minta tengelyirányú permeabilitás értéke négy nagyságrenddel nagyobb K1-F16-T minta) fordulnak elő eltérések. Egy másik összehasonlításban nem csak a palást- és tengelyirányú minták összehasonlítását végeztük el, hanem adott csoportra vonatkozóan kezeltük az adatokat eltéréseket, hasonlóságokat keresve. Ezek alapján megállapítottuk, hogy a legnagyobb heterogenitás mintacsoportokon belül a főte palástirányú és a jobboldal palástirányú mintáin fordult elő. Az elsődleges héjas szerkezet a gravitáció vagy a kőzetfeszültség instabilitások miatt változhatott meg. Kialakulhattak száradási repedések, elzárt légbuborékok. A heterogenitás mértéke azonban mintacsoportonként és oldalanként is eltérő. A belső rendszerből kivett víz esetén lúgosodás (helyenként jelentős mértékű) figyelhető meg. Ahol a minta kellően „öreg" volt, ott 9-10 közötti pH értéket mértünk természetes körülmények között. A fiatalabb mintákból általában 10-12,5 pH-jú oldatokat kaptunk. Az egy évvel később megismételt mérések során az alábbiakat tapasztaltuk. Két-két mintát választottunk (melyek közül egy tengely, egy palást irányú) a főte, illetve a kamra jobb és bal oldalából. Korábbi mérésekkel összevetve egy főtéből származó palást mintát leszámítva a geometriai térfogat növekedést mutat. Mátrixsűrűség csökken, kivéve a baloldali palást mintát. A fajlagos sűrűség értékei négy minta esetén növekednek, két mintánál változatlanok. Az effektív porozitás értékei minden minta esetén csökkenést mutatnak. (0,05%-1,2%-al) Értékei 15,11%-19,16% között változnak. A Hg-porozimetriából származó felület mintegy 13%-os növekedést mutat, ezen belül az 50 nm alatti pórusátmérőhöz tartozó felület is jelentősen megnőtt. Így ezek a pórusok adják a felület közel 97%-át. A porozitás mintegy harmadával csökkent, és az 50 nm alatti pórusokhoz tartozó porozitás is csökkenést mutat, a teljes porozitás közel 45%-a tartozik ezekhez a pórusokhoz, ez a legalacsonyabb érték a minták között. Visszamérésnél 20 nm alatt három új csúcsot azonosítottunk, amely repedezettségre utalhat. Fiziszorpcióból számított BET felület 4,63 m^2/g, valamivel nagyobb, mint a tavaly mért érték.(3,62 m^2/g) Fiziszorpciós mérés mikropórusokat mutat, t-módszerrel (De-Boer) számított értéke 0,46 m^2/g. A mérésekből úgy tűnik, hogy növekedett a mezopórus jelleg, de a lövellt beton kevésbé mezopórusos, mint az acélszálas és műanyag szálas betonminták. Ezt támasztja alá, hogy a fiziszorpcióból számított teljes pórustérfogat ezeknél a mintáknál a legkisebb.

3. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TAPASZTALATOK

A vizsgálatok alapján az alábbi tapasztalatokat lehet megfogalmazni:

A legfontosabb tapasztalat, hogy a mérési eredmények gyakorlatilag térben nem terjeszthetőek ki! Ez különösen a permeabilitás értékeknél okoz komoly problémát. Ez egyben a mérésekre épülő modellek megbízhatóságát is megkérdőjelezi. Szükséges lenne ezt a kérdést felülvizsgálni.

Majd minden esetben a beton vizsgálata a 28 napos kor elérését követőn történt, azonban ez nem jelenti, hogy a beton dehidratációja teljes mértékben lejátszódott volna. A beton minősége a rendelkezésre álló kevés, építőiparból származó információ alapján a nemzetközi tapasztalatoknak megfelelő, receptúráját tekintve az adott szakaszokra vonatkozóan állandó, azonban a keverés és felhordás során heterogén jelleget mutat. Ez egyes vizsgált területeken „hagymahéj" szerkezet kialakulását eredményezte, mely biztonsági kockázati tényező lehet. Célszerű lenne a méréseket összevetni más, hasonló célból épített hulladéktároló hasonló paramétereivel.

A beton minőségén és homogenitásán várhatóan sokat segítene, ha a kavicsanyag egyrészt valamilyen szinten osztályozva lenne (pl. 5-10 mm-es frakció bevitele, másrészt a beton keverése és felhordása egyenletes lenne.

A beton porozitását leginkább a hidratáció foka (beton „érettsége") határozza meg. A hidratáció függ a betonra ható nyomás mértékétől, a hőmérséklettől és a beton korától. Ezekre vonatkozóan azonban az esetek többségében nem álltak rendelkezésre kísérő információk. Célszerű lenne a későbbiekben ebből a szempontból is vizsgálni a beton kőzetfizikai tulajdonságait. Az effektív porozitás nem minden esetben jelentett teljes porozitást, azaz a mintában előfordulhatnak kisebb-nagyobb zárt légbuborékok is. A higanyos porozitás, pórustorok-méret eloszlás mérés során ezek a pórusok összeroppanhatnak. A porozitás csökkenése több okra is visszavezethető (pl. ásványkiválás a pórusfolyadékból), azonban ez még nyitott kérdés jelenleg.

Alapvetően a beton mezo- és makropórusos jelleget mutat, helyenként kisebb, nagyobb üregekkel, de alapvetően repedezettséggel. A repedésrendszer méretének változását célszerű lenne vizsgálni az idő függvényében. A tapasztalatok a mezopórusosság felé történő eltolódást, mikrorepedezettség kialakulását mutatják.

A permeabilitás vizsgálatok során tisztulási és eltömődési folyamat egyaránt mutatkozott. Gondot jelenthet, hogy a beton viszonylag nagy mennyiségű, esetenként zárt légbuborékot tartalmaz. Nagyobb nyomáskülönbség esetén a pórusokat eltömi a szállítódó finomszemcsés anyag, azonban nem tisztázott, hogy mekkora határnyomás mellett indul el egy tisztulási folyamat, ami esetén az amúgy is rendkívül széles skálán szóró vizes permeabilitás értéke jelentős mértékben megnőhet. A permeabilitás rendkívüli heterogenitása egyben azt is jelenti, hogy az információk pontszerűnek tekinthetőek és nem terjeszthetőek térben ki. A permeabilitás feszültség és korfüggését vizsgálni kellene ahhoz, hogy a beton hosszú távú viselkedését modellezni lehessen. Célszerű lenne néhány magot nagyobb nyomáskülönbségnek is alávetni a most használt 1-1,5 bar helyett, pl. nagyobb köpenynyomás mellett 20-25 bar nyomáskülönbséggel, ami reális lehet a rendszer magára hagyásának időpontjától. Ez hosszú távú vizsgálat mellett a kimosódás időbeliségére is választ adhat. A kimosódás, eltömődés jelensége potenciális veszélyforrás lehet. Nagyon ajánlott megválaszolni a rendszer lehetséges viselkedését magára hagyott állapotában.

IRODALOM

[1] Fedor, F., Jenei, A.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktív Tároló biztonsági értékeléséhez kapcsolódó kőzetfizikai mérések és értelmezésük I. Acélszálas lövellt beton minták kőzetfizikai vizsgálata, Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010.

[2] Fedor, F., Jenei, A.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktív Tároló biztonsági értékeléséhez kapcsolódó kőzetfizikai mérések és értelmezésük II. Műanyagszálas lövellt beton minták kőzetfizikai vizsgálata, Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010.

[3] Fedor, F., Somodi, G., Jenei, A.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktív Tároló biztonsági értékeléséhez kapcsolódó kőzetfizikai mérések és értelmezésük 5. Agyagos torlasztózónából vett kőzetminták kőzetfizikai vizsgálata, Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010.

[4] Fedor, F.: Útbeton minták és vágatfalból vett kőzetminták porozitás és permeabilitás vizsgálata, Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2011. RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-041/11.

[5] Fedor, F., Ács, P., Bali, I.: A beépítésre került lövellt beton porozitásának és vízvezető képességének laboratóriumi vizsgálata (I-K1 kamra), Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2012. RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-113/11.
[6] Roy., D.M., Brown, P.W., Shi, D., Scheetz, B.E., May, W.: Concrete Microstructure Porosity and Permeability, Strategic Highway Research Program, SHRP-C-628 N.R.C, Washington D.C, 1993.
[7] Zadražil, T., Vodák, F., Kapičková, O.: Effect of Temperature and Age of Concrete on Strength – Porosity Relation, Acta Polytechnica Vol. 44 No. 1/2004.
[8] Fedor, F.: Uncertainty of porosity values calculated on the basis of He-pycnometry, 4th HR-HU and 15th HU geomathematical congress "Geomathematics as Geoscience", 23-25, May, 2012, Opatija.
[9] Lowell, S., Shields, J.E.: Powder Surface Area and Porosity, Chapman and Hall, London, 1991., pp. 99-120
[10] Dicker, A.I., Smits, R.M.: A Practical Approach for Determining Permeability from Laboratory Pressure-Pulse Decay Measurements, SPE, 17578, 1988.
[11] Jones, S.C.: A Technique for Faster Pulse-Decay Permeability Measurements in Tight Rocks, SPE Formation Evaluation, 1997. March, pp. 19-25.
[12] Fedor, F., Máthé, Z., Hámos, G., Somodi, G, Jobbik, A., Szűcs, I.: Laboratory Pressure Pulse Decay permeability measurement of Boda Claystone, Mecsek Mts., SW Hungary Physics and Chemistry of the Earth (2008), pp. S45-S53.

A technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti II. ütemében

The system of the data collection assessment in the process of the planning and forming of 1-2 depository chambers at Bátaapáti

FRIGYESI FERENC, NAGY GÁBOR, MISKOLCZI RITA

Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,
ferenc.frigyesi@gmail.com; nagygabor@mecsekerc.hu; miskolczirita@mecsekerec.hu

Abstract

The program for the underground research for the L/ILW Repository in Bataapáti has been in process since 1998 by PURAM (Public Limited Company for Radioactive Waste Management). The Bátaapáti repository is intended for final disposal of low and intermediate level radioactive waste. For the subsurface installations, the inclined shafts, along with the interconnecting drifts and process system tunnels were finished by the end of 2009 and the first two disposal vaults were constructed by the end of 2011. The installation of the operational systems were carried out during 2011-2012, within the construction of the II/3 phase of the National Radioactive Waste Repository. This phase includes the supply and operational process systems of the controlled zone, and construction zone including the required radiation protection and safety/security systems should be installed, and the controlled zone should be isolated from the future construction zone. The first storage vault commissioning date is end of 2012.

Kulcsszavak

kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, technológiai rendszerek, organizáció

BEVEZETÉS

A Magyar Országgyűlés a 85/2005. (XI. 23.) OGY határozatában hozzájárult ahhoz, hogy Bátaapáti közigazgatási területén megkezdődjenek a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges tárolására alkalmas hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenységek. A fenti határozat alapján elkészült a létesítmény beruházási javaslata - Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. jogelődje a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht. állított össze -, amelyet a Központi Nukleáris Pénzügyi Alappal rendelkező miniszter 2006. május 18-án hagyott jóvá. Az OGY határozat lehetővé tette egyrészt a felszín alatti létesítést előkészítő, másrészt a felszíni létesítmények megvalósítására vonatkozó tevékenységek megindítását, illetve felgyorsítását.

A várható munkák terjedelmét, a képződött radioaktív hulladék mennyiségét és a rendelékezésre álló pénzügyi forrást alapul véve az a döntés született, hogy a tároló megvalósítása több lépcsőben történik.

- Az I. ütemben a telephely felszíni létesítményeit olyan állapotba kell hozni, amely lehetővé teszi a paksi atomerőmű radioaktív hulladékainak beszállítását, fogadását, a technológiai épületben történő puffer tárolását, a későbbi felszín alatti tároláshoz való előkészítését és csomagolását;
- A II. ütemben ki kell alakítani a felszín alatti tárolótérséget, illetve a felszíni kapcsolódó technológiát olyan terjedelemben, amely lehetővé teszi a radioaktív hulladékok végleges elhelyezését 2 db tárolókamrában.

Az elfogadott beruházási javaslat, illetve 2009 júniusában aktualizált változata alapján kezdődtek meg a beruházás előkészítő munkák, a felszín alatti kutatási terv elkészítésével és a felszíni létesítmények műszaki dokumentációinak kidolgozásával.

A tároló létesítési engedélyét 2008. május 14.-én az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Dél-Dunántúli Regionális Intézete kiadta.

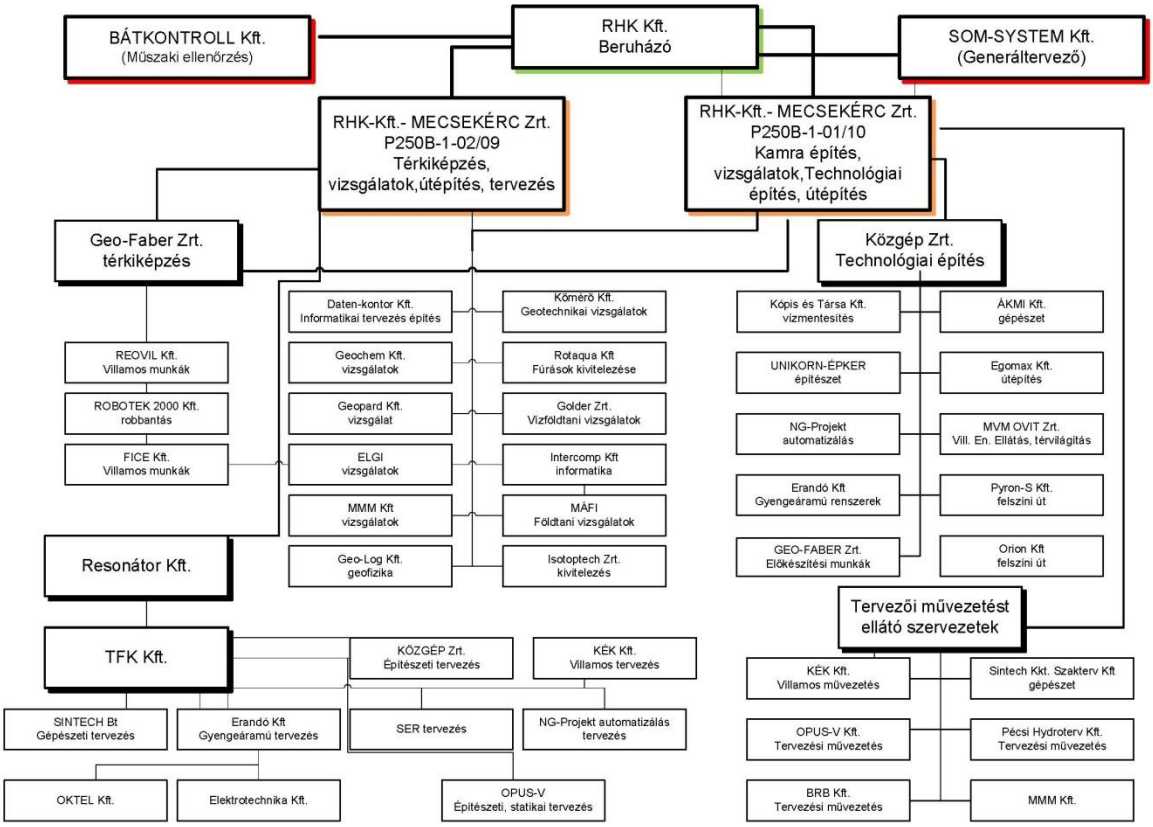
A kivitelezésre irányuló szerződések megkötése után megkezdődtek a felszíni és a felszín alatti létesítési munkák. A felszíni telephelyi létesítmények tekintetében, a munkák zöme 2007, 2008-ra koncentrálódott, a központi épület és a technológiai épület elkészítésével.

A felszíni létesítmények hivatalos átadása 2008. október 6.-án, az első hulladék beszállítása a technológiai épületben 2008. december 2.-án valósult meg.

A felszíni munkákkal párhuzamosan folytak a felszín alatti vágathajtási munkák. További tervezési tevékenységek alapján 2009-ben megteremtődtek a feltételei a felszín alatti tárolótér kialakítási munkáinak, továbbá a felszíni létesítmények II. ütemű kivitelezésének.

1. SZERZŐDÉSES HÁTTÉR

A 2009 júniusában [P250B-1-02/09] és a 2010 decemberében kötött [P250B-1-01/10] Vállalkozási szerződések – RHK Kft. és a MECSEKÉRC Zrt. között - keretében került sor a térkiképzési munkák folytatása és a vizsgálati programok kivitelezésével párhuzamosan a technológiai üzemi rendszerek tervezési és kivitelezési munkáinak elvégzésére. Az egyes tevékenységek alvállalkozói szerződéses kapcsolatait, a szerződések műszaki tartalmában megfogalmazott munkák Fővállalkozójának, teljesítési segédeinek, a Mérnök szerepét betöltő Bátkontroll Kft.-nek és a Generáltervezőnek (SOM-System Kft.) szerződéses kapcsolatát is teljes körűen ábrázoltuk a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** szerint.



1. ábra Szerződéses felépítés bemutatása

2. KIVITELEZÉSI MUNKÁK SZERVEZÉSE

A tárolókamrák kiszolgálásához, üzemeltetéséhez szükséges technológiai rendszerek (felszíni és felszín alatti) kiépítése a térkiképzési munkákkal párhuzamosan történt. A térkiképzési, dokumentálási feladatokon túlmenően a további kutatás keretében számos, a térkiképzéssel kapcsolatos vizsgálatot is el kellett elvégezni. Így az építési munkaterületen egyidejűleg, vagy egymást követően a fővállalkozó kivitelező több alvállalkozója, azok teljesítési segédei is végeztek építési-szerelési munkákat. Ennek megfelelően:

- A felszín alatti munkavégzés során a különböző szakágak egyidejűleg végzett kivitelezési munkáinak koordinálására nagy figyelmet kellett fordítani annak érdekében, hogy a térkiképzési, építész, villamos és gépész munkákat végző alvállalkozók folyamatosan tudjanak munkát végezni.
- A munkavégzés során elengedhetetlen volt a feladatok, részfeladatok ütemezése, feltételek biztosítása, a felelősségek pontos meghatározása, az építési munkák naprakész dokumentálása. Pl. A kivitelezés során figyelembe kellett venni, hogy a felszín alatti terek szellőztetését folyamatosan biztosítani kell, így az új rendszer kiépítése, üzembe helyezése és problémamentes üzemi próbája, a bontási követelmények megteremtése után lehetett elbontani a régi rendszert.
- A kivitelezési munkák támogatása, irányítása érdekében napi raportokat; minden hétfőn koordinációs egyeztetéseket, kedden és pénteken belső építési-kivitelezői megbeszéléseket tartottunk a Megrendelő, a Bátkontroll Kft., a SOM-SYSTEM Kft. a Kivitelezők, valamint a MECSEKÉRC Zrt. képviselőinek a bevonásával.
- A Hatósági, Építtetői követelmények változásából, vagy ésszerűsítési, gazdasági megfontolásából tett javaslatokra reagálva az Építtetői döntésnek megfelelően tervezői egyeztetéseket tartottunk. Ennek megfelelően szükség szerint fedvénytervek készültek a tervezői művezetést ellátó tervezők bevonásával.
- A MECSEKÉRC Zrt., mint Fővállalkozó - különös tekintettel a fennálló sajátos körülményekre - „Organizációs terv”-et dolgozott ki az Alvállalkozók bevonásával a kamra kivitelezés és építés-szervezési feladatainak kezelésére.
- Az organizációs feladatok, ütemezések érdekében heti nyomkövetéses ütemezést készítettünk, amit az Építtető rendelkezésére bocsátottunk. Hasonló módon jártunk el az üzembehelyezési munkák tervezett ütemezésénél is.
- A munkaszervezési feladatként jelentkezett a közlekedés biztosítása:
  - A menekülési útvonalat a 250 méterenként kialakított összekötővágatok biztosították, a lejtősaknák vágatkereszteződései pedig a gépekkel való biztonságos kerülés térségeit adták.
  - A vágatokban kőzúzalékból kialakított nagy teherbírású út, kétoldali szivárgók és beépített hálózati világítás létesült, megteremtve a biztonságos közlekedés feltételeit.
  - A jármű és személyközlekedést a felszín alatt is szabályozott forgalmi rend szerint kellett működtetni.
  - A Nyugati-lejtősakna végleges betonburkolatú útjának elkészülte után a felszín és a föld alatti munkavégzési helyek közötti közlekedést, szállítást a lejtősaknák változó szakaszai és az összekötő vágatok használatával kellett megoldani, kirekesztve a szerelésbe vont vágatszakaszokat az átmenő forgalomból.
  - A Nyugati-lejtősaknát végleges talpkiképzését követően építési szállítási útvonalként csak annak teljes védelme mellett lehetett használni.

3. TECHNOLÓGIAI SZERELÉSI-ÉPÍTÉSI MUNKÁK FELSOROLÁSA

Építészet

Az építészeti kivitelezési munkák lényegében a felszínen történtek a Nyugati és Keleti portál-épületek kapcsán. Ide tartozott még a Felszíni és felszín alatti útépítés is. Komoly organizációs feladat volt úgy szervezni a felszín alatti útépítést, hogy közben folyt a kamrák kihajtása és a többi felszín alatti technológiai munka. A munkák szervezésénél a közlekedési útvonalak biztosítása érdekében szabályozni kellett a forgalmat.

Nagy szervezési feladatot igényelt még a tűzivíz medence statikai megerősítése, felújítása mivel a kamrahajtásokhoz és oltáshoz szükséges vízmennyiséget ebből a medencéből biztosítottuk.

Gépészet (Vízmentesítés, vízkezelés)

A földalatti vízkezelő rendszer egy olyan komplex rendszer, amely külön-külön kezeli mind az ellenőrzött- mind az építési zsompokban összegyűlt és ülepített vizeket. A vizek kezelése itt abban áll, hogy az ülepítés után bennük maradt lebegőanyag mennyiségét mechanikai szűrés alkalmazásával a kibocsátási határérték alá csökkenti.

A földalatti térségekben fakadó vizek az ott folyó (építési-, tárolási-, felügyeleti-) munkálatok során elszennyeződnek. A szennyeződések közül a legjelentősebb az építés- és az építési közlekedés során történő lebegő anyag felvétel, valamint a kőzet- és cement beoldás miatti pH módosulás.

A földalatti terekben fakadó vizek keletkezésük helyszínén nem maradhatnak, folyamatos fakadásuk ezt lehetetlenné teszi. Ezért összegyűjtés után a földalatti terekből azokat el kell távolítani, és a külszíni befogadó segítségével a telephelyről el kell vezetni.

Először a nagymennyiségű lebegőanyagot távolítjuk el. Ez főleg az építési terület vízgyűjtő vágatába érkező csurgalékvízben van. Az ellenőrzött zsompba a felügyelt területről (ahol építési munka nincsen) nagyságrendileg kevesebb lebegő anyag érkezik.

A feladat a földalatti gyűjtő- és ülepítő vágatokban megoldható. Itt a lebegő anyag legnagyobb része leülepszik. Szükséges időközönként gépi úton eltávolítható. Majd a vizeket egy-egy részáramú szűrővel megszűrjük. E folyamatosan működő berendezések állítják be a külszínre emelendő víz lebegőanyag tartalmát a kibocsátási határérték alá.

A víz ezután kiemelésre kerül. Ezt a munkát az előzőektől technikailag és technológiailag független vízemelési rendszer végzi szivattyúk és csővezetékek segítségével.

A kiemelés után a víz egyelőre magas pH-jú állapotban a külszíni vízkezelőbe jut. Itt a belé juttatott CO^2-vel a pH-ját a kibocsátási határértékre állítják be.

A vízkezelés földalatti és külszíni egységei együtt tudják biztosítani a környezetvédelmi engedélyben foglalt előírt kibocsátási határértékeket betartó kibocsátás folyamatosságát.

Gépészet (Szellőztetés)

A szellőzetési rendszer három üzemmód kezelését oldja meg, melyek a következők:

- építési üzemmód (levegő igény 80 m^3/s),
- egyidejű építés és lerakási üzemmód (levegő igény 80 m^3/s),
- lerakási üzemmód (levegő igény 25 m^3/s).

Építési üzemmód esetén a földalatti térségek Ny-i lejtősaknán behúzó — nyomott üzemű — szellőztetése szabadon alakítható az üzemmódok igényeihez. A rendszer kötöttségét a levegőminőség, a mennyiség és az üzemzavar-elhárítási igények határozzák meg.

Az építés erőltetett üteméből adódóan ebben az esetben merül fel a legnagyobb igény a légmennyiségre a bányagépek kipufogógázainak megfelelő hígításához.

Egyidejű építési és lerakási üzemmód a tároló üzembe helyezését követően alakul ki, amikor az építési zónában további fejlesztés, kivitelezési tevékenység folyik. Normál esetben a Ny-i lejtősaknán behúzó főlégáram szigorúan a Ny-i lejtősakna – Tárolói szállítóvágat – Tároló összekötő vágat – Tárolóépítési szállítóvágat – 8. összekötő vágat – K-i alapvágat – K-i lejtősakna útvonalon halad végig, sorban kiszellőztetve a minimális előterhelést jelentő ellenőrzött zóna térségeit. Fontos kritérium, hogy fordított irányban csak Üzemzavar esetben (pl. tűz a Ny-i lejtősakna első felében) vagy üzemeltető döntésre szabad kiszellőztetni a földalatti térségeket. A csökkentett építési ütemből adódóan, ebben az esetben kisebb légmennyiség szükséges a földalatti rendszer szellőztetéséhez. A kamrák kialakítása során a robbantási füstgázokat nyomott üzemű egyedi szellőztetéssel fújjuk ki a Tároló összekötő vágatba, ahonnan a főlégáram a fenti útvonalon viszi a külszínig. Fontos előírás, hogy robbantás esetén betárolás nem végezhető, és viszont!

Lerakási üzemmód esetén, annyi eltérés lesz az előző üzemmódtól, hogy építési tevékenység helyett csak üzemeltetési, fenntartási, ellenőrzési tevékenységek folynak az építési zónában. Ebből adódóan szakaszos szellőztetés is alkalmazható, vagyis ilyenkor minimális légmennyiséget juttatunk a földalatti térségekbe, melyek között a választást az üzemeltetési tapasztalatok alapján lehet meghozni, az optimális állapot kialakításához.

Az áthúzó légáram szükséges maximális mennyisége mindösszesen 80 m^3/s, ami a két zónában üzemeltetett dízelmotoros munkagépek által keltett NOx gázok felhígítása miatt szükséges. Ez 3 főszellőztető ventilátor egyidejű üzemeltetésével oldható meg. Egy főszellőztető üzemetetése elegendő akkor, ha csak az áthúzó légáramban tartózkodnak emberek, és dízelmotorok nem üzemelnek.

Egy parciális szellőztető rendszer által szállított levegő minimális mennyiségét a szellőztetett térségben folyó tevékenység határozza meg. A tároló kamráknál betároláskor 12 m^3/s légáram szükséges.

Aktív szellőztetési üzem szempontból a nyitva tartott kamrák száma 2. Természetesen egy időben csak azon kamra szellőztetése történik maximális kapacitással, amelyikben a betároló gép üzemel. A másik ideiglenesen, vagy tartósan kizárandó a szellőztetésből. Az előzőekből következően, a kamrák számának növekedésével is biztosítható a földalatti rendszer szellőztetése minden üzemmódban.

Villamos szerelések

A kivitelezési munka során mind terjedelemben mind pedig költségben ez volt a legnagyobb és legösszetettebb munka. Az energiaellátó rendszer terjedelme:

- Felszíni 6 kV-os hálózat
- Ny-i lejtősakna portál 6/0,4 kV-os transzformátorállomás
- K-i lejtősakna portál villamos kapcsolóhelyiség
- Felszín alatti 6 kV-os hálózat
- Ny-i lejtősakna portál 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok
- K-i lejtősakna portál 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok
- Felszín alatti 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok (2. sz. transzformátorállomás)
- Felszín alatti 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok (3. sz. transzformátorállomás)
- Felszín alatti 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok (4. sz. transzformátorállomás)
- Felszín alatti építési és karbantartási 400 és 230 V-os erőátviteli hálózatok

- Felszín alatti világítási rendszer
- Biztonsági energiaellátás (aggregátor konténer)
- Szellőztető rendszer
- Víztelenítő és vízkezelő rendszer

Gyengeáramú rendszerek

- Ipari ethernet
- Strukturált hálózati és telefon alrendszer
- Tűzjelző rendszer
- URH és vészhangosító rendszerek
- Automatizálás

A terepi automatizálás rendszer feladata, hogy összegyűjtse és továbbítsa a kapcsolódó rendszerek jelzéseit, analóg értékeit a KVP felé és a technológiák által meghatározott logikai elvek alapján helyi, vagy automatikus működtetéssel végrehajtsa a vezérléseket, kapcsolásokat. A rendszer a feladatát a telepített PLC-kkel, és az ipari Ethernet hálózat segítségével látja el. Kivitelezési határ a csatlakozó technológiai rendszerek jeladói, mérő eszközei, ill. a meglévő rendszer csatlakozási pontjai.

Informatikai rendszerek bővítése:

- Hulladék nyilvántartó rendszer bővítése
- Dozimetriai vezénylő rendszer bővítése
- Központi Vezénylő Portál bővítése

Sugárzásvédelmi rendszer kiterjesztése

Ideiglenes létesítményekhez kapcsolódó munkálatok

Üzembe helyezési munkálatok lefolytatása

KONKLÚZIÓK

A Paksi Atomerőmű keletkező hulladékainak betárolásának szorító határideje miatt a felszín alatti munkákat ez idő alatt is folytatni kellett, ezért a II. ütem kivitelezését szakaszokra kellett bontani. A II. ütem I. szakaszába sorolták a tervmódosítást nem igénylő térségeket. Ezek jelentős része elkészült (Kompresszorkamra, Szivattyúkamra, Tárolói szállítóvágat és a Tárolóépítési szállítóvágat majdnem teljes hosszban), bizonyos részek folyamatosan épülnek (tárolói szállítóvágat és a Tárolóépítési szállítóvágat vissza lévő szakaszai és az azok kapcsolatát megteremtő Tároló összekötő vágat, Haváriazsomp vágat).

A földalatti térkiképzés tervezésével, a vágathajtási tevékenységgel párhuzamosan folyt a technológiai tervek készítése is. Sorrendben először azok rendszertervei, majd részletes kiviteli tervei készültek el.

Az NRHT beruházásának II. ütemében a felszín alatt két tároló kamra létesült, melyek kiszolgálásához, üzemeltetéséhez kiépítésre kerültek a szükséges technológiai rendszerek. Az építésszervezés során figyelembe kellett venni azon üzemállapotokat, amikor csak kivitelezés, együttes üzemeltetési és további kivitelezési tevékenység folyt.

A kiépítésre került technológiai rendszereknek ki kell szolgálnia mind az üzembe helyezett létesítményt, mind pedig az 1-es kamramező további kamráinak építését, kielégítve a rendszerek bővíthetőségi követelményeit.

A felszíni munkák munkaterülete a jelenleg kerítéssel határolt üzemi és a déli kaputól a nyugati portál bejáratáig terjedő ellenőrzött zóna, valamint az építési terület keleti portájáig tartó felszíni terület, továbbá a lejtősaknák folytatásában létesült felszín alatti tároló, szállító, kiszolgáló rendszerek területe.

Az organizáció tervezése során az építtető elvárásai szerint, a szokásos építésszervezési feladatokon túl, különös figyelmet kellett szentelni az alábbiak megoldására:

- párhuzamos munkavégzés,
- személyi és szervezeti feltételek,
- biztonsági, egészségügyi előírások,
- üzemzavar elhárítás,
- tűzvédelem,
- környezetvédelem,
- hulladékgazdálkodás.

Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében (gépészeti munkák)

SZILASSY LÁSZLÓ, PERESZTEGI CSILLA

Közgép Zrt. 1239 Budapest, Haraszti út 44.
szilassylaszlo@kozgep.hu, peresztegicsilla@kozgep.hu

BEVEZETÉS

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolására a Bátaapáti melletti telephely és az alatta kialakított felszín alatti térrész szolgál. A tárolási funkció megvalósítására kiszolgáló technológiák és építészeti létesítmények, műtárgyak, utak kerültek tervezésre és kivitelezésre.

Jelen előadás célja a gépészeti rendszerek rövid áttekintése, és működési elvük ismertetése.

1. A kivitelezés során elkészült gépészeti rendszerek rövid áttekintése:

1., Vízmentesítés:
- felszín alatti vízkezelő
- vízmentesítő csővezetéki rendszer
- külszíni vízkezelő
- acélszerkezetek (darupályák, kezelő pódiumok, szerviz hidak)

2., Szellőztetés:
- fő szellőztetés
- parciális szellőztetés
- határoló elemek (légajtók)
- légmérő állomások

3., Aggregátor olajellátó rendszer

2. Szellőztető rendszer bemutatása

A szellőztető rendszer feladata, hogy a megfelelő légellátást biztosítsa a felszín alatti térben az építési, a betárolási illetve az egyszerre folyó építési-betárolási időszakokban.

Felszín alatt tartózkodni, munkát végezni csak abban az esetben lehet, ha a friss levegőellátás biztosított!

Fő szellőztető rendszer:

A felszín alatti terek friss levegőellátását a Nyugati portálba telepített 3 db nyomó üzemű, Korfmann gyártmányú ventilátor biztosítja. A ventilátorok együttesen 80 m³/s légmennyiséget képesek lejuttatni a felszín alá. A ventilátorok tetszőleges, a felszín alatt végzett tevékenység igényeihez igazított számban üzemeltethetőek.

Szükséges légmennyiségek a különböző üzemmódokban:

építési üzemmód:	80 m³/s	→	3 db ventilátor üzemel
együttes építési és lerakási üzemmód:	80 m³/s	→	3 db ventilátor üzemel
lerakási üzemmód:	25 m³/s	→	1 db ventilátor üzemel

A légmennyiség szabályozása az üzemelő ventilátorok számának változtatásával történik, de lehetőség van a ventilátorok fordulatszámának frekvenciaváltóval történő szabályzására is.

A főszellőző ventilátorok automata üzeműek, a beállított számú ventilátor a meghatározott priorítási sorrendben indul. Üzemzavar esetén a rendszer automatikusan átvált a következő berendezésre és hibajelzést ad a KVP-be.

Tűzjelzés esetén a fő szellőzető ventilátorok automatikusan leállnak, visszaindításuk kézi nyugtázás után történik meg.

Ventilátorok felépítése: szívó oldali védőrács, szívó oldali hangcsillapító, ventilátor, nyomó oldali hangcsillapító, rezgéscsillapítóval egybeépített befalazó elem, motoros pillangószelep, nyomóoldali diffúzor.

A befújt levegő a Nyugati-lejtősakna – Tárolói szállítóvágat – Tároló összekötővágat – Tárolóépítési szállítóvágat – 8. összekötővágat – Keleti-alapvágat – Keleti-lejtősakna útvonalon szellőzteti át a felszín alatti tereket.

Üzemzavar esetén lehetőség van a légáram irányának megfordítására a fő szellőztető ventilátorok nyomó üzemről szívó üzemmódba történő kapcsolásával.

A fő szellőztető ventilátorok szabadon, légcsatorna rendszer nélkül, a teljes vágatkeresztmetszetben öblítik át a felszín alatti teret.

Parciális szellőző rendszer:

Mivel a felszín alatt kialakításra kerültek olyan terek – többek között a tároló kamrák – melyek friss levegő ellátását a fő szellőztető ventilátorok légárama nem tudja biztosítani, szükség volt parciális szellőztető rendszerek kiépítésére.

Ezek a rendszerek a 15 m-nél hosszabb oldalvágatok szellőztetését oldják meg oly módon, hogy a fő légárammal szemben felszerelt ventilátorok légcsatorna hálózaton keresztül a szellőztetendő vágat végébe juttatják el a friss levegőt.

A parciális szellőző ventilátorok szintén Korfmann gyártmányok, melyek szakaszos üzemben működnek abban az esetben, ha a szellőztetendő térben munkavégzés történik.

A ventilátorok indítása kézzel történik az oldalvágatok elején elhelyezett kapcsoló szekrényekről. Üzemzavar esetén, illetve a fő szellőztető ventilátorok légáramának megfordításakor lehetőség van a parciális szellőző ventilátorok légáramának megfordítására is mely szintén a kapcsolószekrényekről végezhetők el.

Határoló elemek:

A fő légáram előírt útvonalának biztosítása határoló elemek, un. légajtók használatával történik. Az összekötő vágatokba beépített légajtók biztosítják a légrövid-zárak kialakulásának megakadályozását emellett elválasztják az ellenőrzött és az építési zónát. Az összekötő vágatokba épített légajtók személyközlekedésre (menekülésre) alkalmas kivitelűek kivéve a 4. összekötővágatot és a Nyugati-alapvágatot ahol gépjármű

közlekedésre is alkalmas kétszárnyú, zsilip rendszerű légajtók kerültek beépítésre. Az összekötő vágatokban felszerelt légajtók kézi működtetésű nyitással és automatikus zárással kerültek kiépítésre.

A nyugati portálépületben szintén zsilip rendszerű beléptetés történik automatikus üzemmel, a külső atmoszférikus nyomás és a nyomott tér közötti nyomáskiegyenlítés után.

Az építési és az ellenőrzött zónát elválasztó légajtókon a közlekedés csak havária esetben, menekülés-kiürítés esetében engedélyezett.

Légmérő állomások:

A felszín alatti terek légminőségét 3 db fixen telepített légmérő állomás folyamatosan monitorozza. A műszerek a levegő O_2, CO és NO tartalmát, a levegő hőmérsékletét és relatív páratartalmát mérik és a mért értékeket a KVP-be továbbítják. A beállított határértékek túllépése esetén a rendszer riasztást ad. A kiértékelt mérési eredmények alapján a befújt levegő mennyiségét változtatni lehet az üzemelő főszellőző ventilátorok számának változtatásával illetve a ventilátorok fordulatszámának módosításával.

Kivitelezés sajátosságai:

A kivitelezés során figyelembe kellett venni, hogy a felszín alatti terek szellőztetését folyamatosan biztosítani kell, így az új rendszer kiépítése, üzembe helyezése és problémamentes üzemi próbája után lehetett elbontani a régi rendszert.

A felszín alatti munkavégzés során a különböző szakágak egyidejűleg végzett kivitelezési munkáinak koordinálására kellett nagy figyelmet fordítani, hogy a térkiképzési, építész, villamos és gépész munkákat végző alvállalkozók folyamatosan tudjanak munkát végezni.

A kivitelezési feladatok szervezését nagyban elősegítette a Megrendelő által minden reggel megtartott egyeztetés, melyeken az aznapi feladatok egyeztetése történt.

3. Vízmentesítő rendszer bemutatása

A vízmentesítő rendszer feladata a felszín alatt fakadó vizek összegyűjtése, tisztítása és felszíni befogadóba történő juttatása valamint a Keleti-lejtősaknában kiépített tüzivíz vezeték oltóvízzel való ellátása és az építési fázis során a szükséges ipari víz biztosítása.

A tervezés során figyelembe vett maximális egyidejű vízmennyiség 540 m^3/nap, a kibocsátási ponton előírt vízparaméter határértékek: összes lebegőanyag tartalom maximum 50 mg/l, pH=6,5 – 9.

Felszín alatti vízkezelés:

A felszín alatt fakadó vizek gravitációsan jutnak az ellenőrzött illetve építési zsompokba, melyek az alapvágatokban, a vágatrendszer legmélyebb pontjain kerültek kialakításra.

Az összegyűjtött vizek a zsompok durva ülepítő részébe kerülnek ahonnan ülepedés után úszóperemen át a finom ülepítő részbe kerülnek. További ülepedés után szivattyúk segítségével a szűrőberendezésbe jut az ülepített víz ahol olajleválasztás és mechanikai szűrés után a szívókútba kerül. A mechanikai

szűrő névleges finomsága 10 µm, felülete kb. 10 m^2, szennyfelvevő kapacitása kb. 10 kg.

A felszín alatti szűrés automata üzemben történik, a folyamatot szintkapcsolók indítják és állítják le. Abban az esetben, ha az egyik szűrő elszennyeződik a rendszer automatikusan átvált a másik ágra és az elszennyeződött ágat visszamosatja. Amikor a minimum szintkapcsoló a folyamatot leállítja, mindkét szűrőág visszamosásra kerül, így az új szűrési ciklus mindig tiszta szűrőkön keresztül indul. A szűrőbetétek egyenletes terhelésének érdekében az új szűrési ciklusok indítása váltott ágakon történik.

A zsompokban az ülepítés során felgyülemlett iszapot a kiépített darupályán mozgatható szivattyúkkal lehet eltávolítani.

Vízmentesítő csővezetéki rendszer:

A vízmentesítő csővezetéki rendszer juttatja a felszínre a mechanikai szennyeződésektől megtisztított vizet. Az építési oldalon három csővezeték került kiépítésre: egy-egy csővezeték a Keleti, illetve Nyugati zsomp részére valamint egy tüzivíz vezeték 100 méterenként beépített tűzcsapokkal. Az ellenőrzött oldalon egy közös tartalék csővezeték került kiépítésre, mely bármelyik zsomp vizeinek felszínre juttatására alkalmas. Üzemi körülmények között az építési oldal csővezetékei vannak használatban. A vízkiadás útvonalának beállítása kézzel történik a szivattyúkamrák nyaktagjában kiépített szelepcsoport segítségével. Üzemszerűen a két zsompból felváltva történik a szivattyúzás, havária esetben lehetőség van az egyszerre történő vízkiadásra is.

A szívókutakból két-két darab KSB gyártmányú, 42 m^3/h teljesítményű szivattyú végzi a vízkiemelést melyek egymás tartalékai tehát üzemi körülmények között egy-egy szivattyú üzemel zsomponként. A kiemelt víz a csővezetéki rendszeren kerül a felszíni vízkezelőbe ahol a szükséges pH beállítás után jut a felszínen kialakított 150 m^3-es tüzivíz medencébe, illetve a felszíni befogadóba. A kibocsátási ponton végzett rendszeres méréssel történik az előírt vízparaméterek ellenőrzése.

A kiemelt víz mennyisége mérésre és regisztrálásra kerül egyrészt a szivattyúkamrák nyaktagjába kiépített szelepcsoportban elhelyezett áramlásmérőkkel másrészt a csővezetéki rendszer felszíni szakaszán beépített áramlásmérőkkel is.

A vízmentesítő csővezetéki rendszer PN40 bar nyomásfokozatú elemekből, KO33 minőségű anyagokból épül fel, a csővezeték mérete 108x4 mm.

A tároló kamrákból a vizet a kamra nyaktagjában beépített rácsos folyóka gyűjti össze és üzemi állapotban a betonút alatt kiépített csővezetéki rendszeren az ellenőrzött zsomp durva ülepítőjébe továbbítja.

Havária esetben a kamranyaktagban beépített aknában elhelyezett szerelvényekkel a vizet egy külön nyomvonalon kiépített csővezetéken a Havária zsompba kerül továbbításra, melynek tároló kapacitása 50 m^3. A Havária zsompból egy fixen beépített szivattyú segítségével, tartálykocsival kerül a szennyezett víz elszállításra és semlegesítésre.

A felszínen a kiemelt vizek útvonalának beállítása a felszíni vízkezelő mellett kialakított tolózár aknában, motoros szerelvények segítségével történik.

Felszíni vízkezelés:

A felszíni vízkezelő berendezés a nyugati portál mellett került elhelyezésre, feladata a felszín alatti térségből feladott, mechanikai szennyeződésektől megtisztított vizek pH beállítása.

A vízkezelő berendezés széndioxid elnyeletésével történő savasítással állítja be a kiemelt víz pH-ját az előírt (pH6,5 – 9) értékre. A vízkezelő konténer kapacitása 45 m^3/h.

A vízkezelő berendezés automata üzemű, folyamatosan méri a felszín alatti térből érkező víz pH értékét és a mért értékek függvényében adagolja a CO_2 gázt a vízhez.

A pH érték beállítása után a kezelt víz a tüzivíz medencébe, illetve mennyiség mérés után a felszíni befogadóba kerül.

Acélszerkezetek:

A gépészeti rendszerek későbbi üzemeltetéséhez illetve karbantartásához szükséges acélszerkezetek kerültek beépítésre a zsompokhoz. Minden acélszerkezet KO33 minőségű anyagból készült, előgyártásuk a kiviteli tervek alapján történt. A beépítés előtt helyszíni méretvételre volt szükség azért, hogy a beépített acélszerkezetek a lehető legpontosabban illeszkedjenek a vágatfalhoz.

Kivitelezés sajátosságai:

Mivel a vágatfal, ahová a vízmentesítő csővezetéki rendszert rögzíteni kellett nem egységes, síkfelület, a csőnyomvonal esztétikus vezetésének megkönnyítésére a Kivitelező a lejtősaknákat lézeres képalkotó módszerrel feltérképezte. Az így kapott háromdimenziós modell segítségével egyszerűbb volt meghatározni a csővezetékek helyét, illetve kitűzni a csőtartók helyét. Az eredmény egy, a vágatfal egyenetlenségeitől független, esztétikus csővezetéki rendszer lett.

A vízmentesítő rendszer kivitelezésénél is fennállt a folyamatos munkaterület biztosításának kérdése, de a csővezetéki rendszer nagy kiterjedése miatt több helyszínen is tudtunk munkát végezni a reggeli egyeztetéseken megbeszéltek szerint.

Mivel a fakadó vizek kiadását folyamatosan biztosítani kell az új rendszer beüzemeléséig a meglévő rendszer, a beüzemelés ideje alatt a meglévő és az új rendszer párhuzamosan, az új rendszer üzembe vétele után az új rendszer biztosítja a vízmentesítést.

4. Aggregát olajellátó rendszer bemutatása

A dízelaggregát olajellátását egy automata rendszer biztosítja, mely az I. ütemben kiépített olajtartályból szivattyú segítségével táplálja az aggregát napi tartályát. A szivattyúkat szintkapcsolók vezérlik úgy, a napi tartály mindig tele legyen. A napi tartály térfogat 900 l. Üzemzavar esetén az aggregát konténer melletti aknában elhelyezett tartályba folyik a dízelolaj, ahonnan szintén szintkapcsolóval vezérelt szivattyú juttatja vissza az I. ütem földalatti tartályába.

A napi tartály és az I. ütemi tartály közötti kapcsolatot földbe fektetett, védőcsőben vezetett, toldás nélküli csővezeték biztosítja.

Technológiai rendszerek kivitelezése a Bátaapáti NRHT II. ütemében

Villamos erőátvitel és gyengeáramú rendszerek létesítése

BAROSI MIHÁLY

KÖZGÉP Zrt., 1239 Budapest, Haraszti út 44.,
barosimihaly@gmail.com

Abstract

A beruházás villamos erőátviteli és gyengeáramú rendszerei során alkalmazott különös megoldások és alkalmazott technológiák.

Kulcsszavak

Villamosság, földelési rendszer, tűzérzékelés alagutakban, terepi automatizálás.

BEVEZETÉS

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolására a Bátaapáti melletti telephely és az alatta kialakított felszín alatti térrész szolgál. A tárolási funkció megvalósítására kiszolgáló technológiák kerültek tervezésre és kivitelezésre. A kiszolgáló technológiák villamos segédenergiával üzemelnek, és működésüket gyengeáramú rendszerek vezérlik, a környezetet gyengeáramú rendszerek felügyelik.

Jelen írás az utóbbi szakterületek, a villamos energiaellátás és a valamilyen szempontból kiemelésre érdemes gyengeáramú rendszerek néhány aspektusával foglalkozik, a teljesség igénye nélkül.

1. Villamos és gyengeáramú rendszerek

- Villamos erőátvitel és dízel*
- Automatika *
- Ipari Ethernet *
- Tűzjelző rendszer *
- Strukturált hálózat
- URH
- Intergrált vagyonvédelmi rendszer
- Sugárvédelmi ellenőrző rendszer és Radiológiai ellenőrző rendszer
- Központi vezénylői portál és Hulladék nyilvántartó rendszer

A csillaggal jelölt rendszerekkel az alábbiakban részletesebben is foglalkozom.

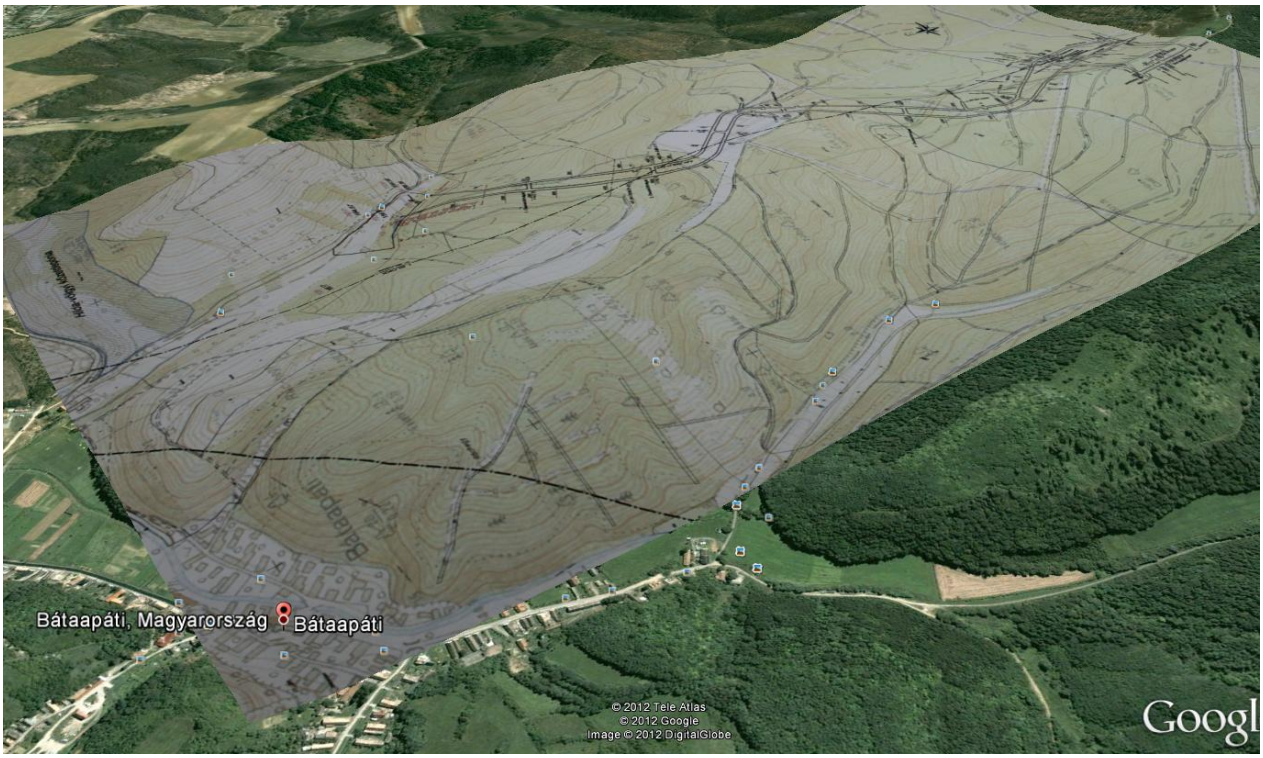
A külön nem tárgyalt rendszerek funkciói, a teljesség igénye nélkül az alábbiak:

- A strukturált hálózat biztosítja a vezetékes telefon és nem ipari számítógép hálózatot.
- Az URH rendszer biztosítja a rádiós kommunikáció infrastruktúráját a felszín alatt és felett egyaránt.
- Az integrált vagyonvédelmi rendszer magában foglalja a kerítés védelmet, kamera rendszert és egyéb őrzést támogató funkciókat.

- A sugárvédelmi rendszer biztosítja a terepi műszerezést a környezet radiológiai ellenőrzésére, felszín alatt és felett egyaránt. A radiológiai ellenőrző rendszer ennek a funkciónak a központi adatgyűjtő funkcióját valósítja meg.
- A központi vezénylői portál a terepi automatizálás rendszerénél még tárgyalva lesz, funkciója röviden a központi diszpécser szolgálat támogatása, megjelenítés, és adatarchiválás. A hulladék nyilvántartó szoftver rendszer biztosítja a beérkezett, ideiglenesen betárolt, a leszállításra előkészített, a leszállítás alatt álló és a letárolt hulladék csomagok nyilvántartását, az adatok archiválását.

2. A létesítési környezet sajátosságai

Bátaapáti falu méreteihez viszonyítva is látható az alábbi ábrán a már sokat látott vágat térkép, illetve a vágat kiterjedése.



1. ábra A felszín alatti létesítmények kiterjedése

A vágatrendszer technológiai rendszereit a felszínről kell villamos energiával ellátni, illetve a gyengeáramú rendszerek központi elemei is a felszín felett vannak telepítve, ami minden villamos és gyengeáramú rendszer esetében nagy kiterjedésű vonalas létesítményt eredményezett.

3. Villamos erőátvitel

Teljesítmény

A hulladéktárolás üzemi technológiai rendszereinek villamos teljesítmény igénye 500 kW, amiből 320 kW-ot hálózati energiaellátás kiesése esetén is biztosítani kell. Természetesen a fenti értékek a tervezett csúcsértékek, a valódi teljesítményigény normál üzemvitel esetén ennek körülbelül fele-harmada. A tervezés során figyelembe lett véve a további tároló bővítés térkiképzési munkáinak teljesítmény igénye, ami valamivel több, mint 500 kW.

Összehasonlításul ez a teljesítmény igény üzemállapottól függően megfelel 700-2800 kW átlagos háztartás igényének.

A rendszer felépítése szempontjából lényeges szempont a fogyasztók és áramforrások térbeli elhelyezkedése. Ennek meghatározásához a technológiai fogyasztók az alábbiak szerint csoportosíthatóak:

Felszín alatt:

- Vízkiemelés és kezelés 140 kW
- Szellőzés 60 kW
- Világítás 55 kW
- Automatika és vagyonvédelem 15 kW felszín alatt

Felszín felett:

- Vízkiemelés és kezelés 25 kW
- Szellőzés 170 kW
- Világítás 25 kW
- Automatika és vagyonvédelem 15 kW

A fenti csoportosítás alapján a fogyasztási helyeket durván két fő csoportra osztva a felszín felett 235 kW, a felszín alatt 270/770 kW teljesítmény igény kiszolgálására kellett a rendszert felkészíteni, ahol a 770 kW a térkiképzés folytatása esetén értendő. A létesítés során tehát azzal kellett számolni, hogy 770 kW teljesítményigényt kell kiszolgálni 2 km távolságról.

Tartalék áramforrás kiválasztásának szempontjai

A tartalék áramforrásnak, továbbiakban dízel, tehát 320 kW teljesítményt kell kiszolgálni. A kiszolgálandó fogyasztók legalább 3 hely köré csoportosíthatóak, így meg kellett vizsgálni több kis dízel alkalmazását. A felszín alatt, ahol nagyobb dízeles teljesítmény igénnyel kellett volna számolni, a gépek telepítése több kérdést is felvetett:

- Többlet szellőztetési igény, éppen a hálózati energiaellátás kimaradásakor;
- Üzemanyag szállítás problémája;
- Tűzbiztonság problémája.

A fentiek alapján a felszín feletti egy nagy dízel gép alkalmazása mellett döntöttünk. A későbbiekben leírtak alapján a dízelnek 6 kV-on kell energiát szolgáltatni, ami a lehetséges szállítók körét jelentősen szűkítette. Az is problémát jelentett, hogy az 500 kVA alatt 6 kV-os dízel beszerzése irreálisan magas költségekkel járt volna.

A beruházás a 0,4 kV-os dízel gépre épülő, konténeres egységben szállított, 0,4/6 kV-os transzformátorral és saját 6 kV-os kapcsolóberendezéssel rendelkező berendezés rendelése mellett döntött, ami jól illeszkedik a telephelyi sajátosságokhoz és mégis költséghatékonyabb megoldást nyújt.

Topológia

A környezeti sajátosságok, a fogyasztók és áramforrások térbeli elhelyezkedése, a magas teljesítményigény miatt egy 6 kV-os gyűrűs topológia kialakítása történt, ahol a gyűrű két „oldala” az építési és az üzemi lejtaknában került fektetésre. A fő fogyasztási helyeknél 6/0,4 kV-os transzformátor állomások lettek kiépítve, ahonnan a 0,4 kV-os és 230 V-os fogyasztók ki vannak szolgálva.

A gyűrűs topológiának köszönhetően a rendszer robosztus és rendelkezésre állási valószínűsége magas.

A topológia fontos jellemzője továbbá, hogy az energetikai iparban megszokott, már 6 kV-os szinttől elkülönülő normál és biztosított energiaellátási rendszer itt nem válik szét. A gyűrűs kialakítás miatt nem kell számolni egyidejűleg a gyűrű meghibásodásával és hálózati kimaradással. A dízel jogos fogyasztók az energiaellátó rendszerre (0,4 kV-os szinten) „fixen" vannak rákötve, míg a nem dízeljogos funkciók biztosított energiaellátásra váltáskor lekapcsolásra kerülnek, ami a 0,4 kV-os elosztók dízeles és nem dízeljogos sínjeinek a szétkapcsolásával történik.

Kivitelezési nehézségek és sikerek

A villamos és gyengeáramú rendszerek létesítésének egyik gerincét a kábelnyomvonalak kiépítése adta. A kábelnyomvonalak építése során azonban még a felszín alatti térkiképzési munkálatok javában folytak, amik jelentős nehézgép forgalmat eredményeztek a lejtősaknákban.

A problémát a kétműszakos munkarend bevezetésével, és a különböző alvállalkozók rugalmas együttműködésével, és napi koordinációval sikerült kezelni.

A teljes létesítésen végighúzódó organizációs probléma volt, hogy az új gépész technológiai rendszerek üzembe lépéséig a régi rendszereknek működniük kellett, így az azokat kiszolgáló régi villamos rendszernek is, ami több, nagy értékű provizórium kiépítését és komoly közös ütemtervezést igényelt.

Talán a legjelentősebb bizonytalanságot a földelő rendszer kiépítése során tapasztalt, nem tervezett állapotok kialakulása jelentette. A leggondosabb tervezés és földtani adatszolgáltatás, valamint a körültekintő telepítés ellenére sem tudta a földelő rendszer a számítások szerint elvárt földelési értékeket produkálni.

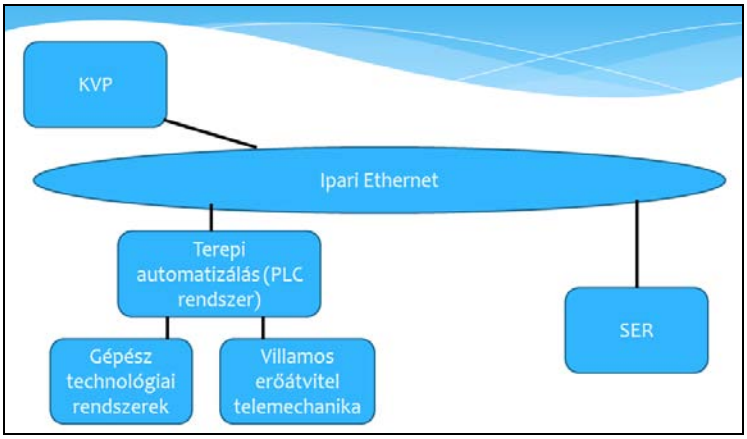
A létesítés során a fővállalkozó, a villamos tervező, a bányászati szakértők valamint a kivitelezői oldal rugalmas és gyors együttműködésére volt szükség, hogy a kialakult bizonytalan helyzetet orvosolására.

A szigetelésellenőrzési rendszert a 0,4 kV-os szintről a 6 kV-os szintre is kiterjesztve sikerült olyan megoldást találni, ami biztosítja a szabványos védelmi értékek elérését azokon a helyeken is, ahol lokálisan a földelőkkel elérhető földelési ellenállás nem érte el a lokálisan előírt értékeket.

4. Automatika és Ipari Ethernet

Összefüggések

Az Automatika, az Ipari Ethernet és a Központi vezénylői portál rendszerei közötti összefüggését az alábbi ábra mutatja be:



2. ábra - Gyengeáramú rendszerek összefüggési ábrája

A villamos erőátvitel rendszer és a gépész rendszerek jelzései feldolgozását, illetve azok vezérlését a PLC alapú automatika rendszer biztosítja, amely képes a vezérlési funkciókat a központi vezénylői portálról „leszakadva” autonóm módon is elvégezni.

A PLC rendszer saját magán belül, és felfele, a központi vezénylői portállal is az optikai gyűrű alapú Ipari Ethernet rendszeren keresztül létesít kapcsolatot.

Az Ipari Ethernet tisztán az üzem kiszolgálását célzó kommunikáció kiszolgálására épült, és arra a PLC rendszeren kívül a sugárzás ellenőrző rendszer is rákapcsolódik, de bármely más terepi kommunikáció illeszthető rá.

Automatika rendszer

A beruházás második fázisával együtt, a teljes terepi automatizálás fizikai I6O szinten körülbelül 1800 ki/bemenettel rendelkezik, de ezen felül buszos kommunikációval további több száz ki/bemenetet kezel a rendszer.

A rendszer osztott intelligenciájú, minden PLC képes a KVP-ről való leszakadás esetén is a terepi adatok gyűjtésére és minden olyan vezérlési funkció ellátására, melynek algoritmusához a bemeneti jelek helyben rendelkezésre állnak.

Az új rendszer rész 11 PLC szekrényből, légmérő állomásokból és kiegészítő terepi szekrényekből áll össze. A PLC-k alapvetően a vezérelt vagy felügyelt rendszerekhez rendelten, dedikáltan lettek kialakítva, és ahol a felügyelt rendszer redundáns kialakítású, ott a vezérlő rendszer is redundánsan lett kialakítva.

Szoftveres oldalról érdekesség, hogy minden PLC szoftvere azonos, ami a szoftverdokumentálást lényegesen áttekinthetőbbé teszi. A különböző funkciójú PLC-ékben a funkció megvalósításához szükséges szoftver részek engedélyezve, mások tiltva vannak.

Ipari Ethernet rendszere

A rendszer feladatát az összefüggések bemutatásánál már ismertettem.

A rendszer felépítése gyűrűs, ahol mind a felszín felett, mind a lejtaknákra szétosztva, a felszín alatt is a térbeli elválasztás a gyűrű két „oldala” között megvalósul. A hálózat fizikai rétege üvegszál alapú, aktív elemei lehetővé teszik az egyszeres hibák fellépése esetén is a további működést, és a hibahelyek lokalizálásához megfelelő diagnosztikai szoftverekkel került szállításra.

5. Tűzjelző rendszer

A beruházás Magyarországon először alkalmazta a többpontos vonali érzékelő rendszer technológiát.

A tervezés során figyelembe vett szempontok

A beruházás a 0,4 kV-os dízel gépre épülő, konténeres egységben szállított, 0,4/6 kV-os transzformátor.

- Nagy kiterjedésű vonalas létesítmény,
- 100% páratartalom,
- Igény az ésszerűen elvárható legpontosabb adatokra,
- Igény a magas rendelkezésre állás.

Hagyományos érzékelési módszerekkel, az alábbi hátrányokkal kellene számolni:

- Több száz érzékelő
- Jelentős kábelezés
- Kisebb „felbontás”

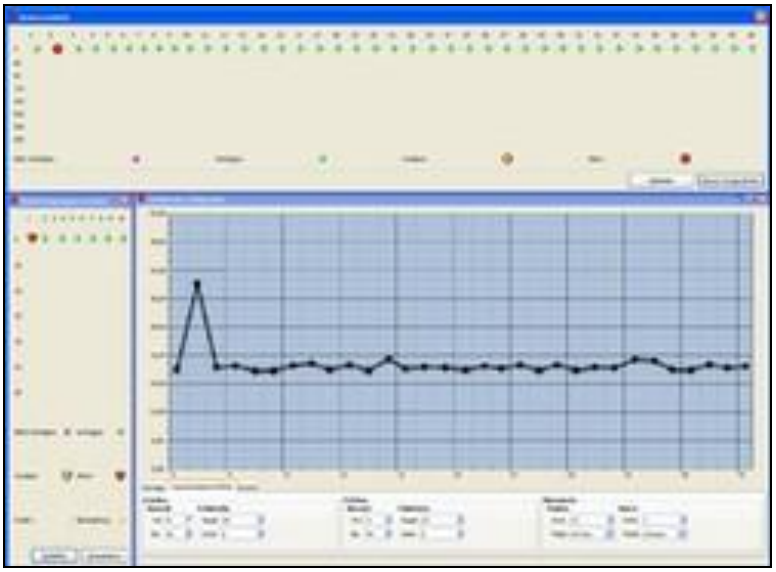
A többpontos vonali érzékelő rendszer előnyei

- Gyors érzékelés, különböző jelzési érték akár minden érzékelőhöz
- Robusztus felépítés extrém körülményekhez (-55°C és +125°C , 100% páratartalom)
- Megfelel a hatályos előírásoknak és a hatósági elvárásoknak
- 2-20m felbontás (rendeléskor kiválasztandó)
- Belső buszrendszer
- Érzékelők egyedileg, távolról konfigurálhatóak, nem igényelnek időszakos kalibrálást
- Karbantartási igény minimális (takarítás)
- Gyors, flexibilis telepítés

A többpontos vonali érzékelő rendszer felépítése

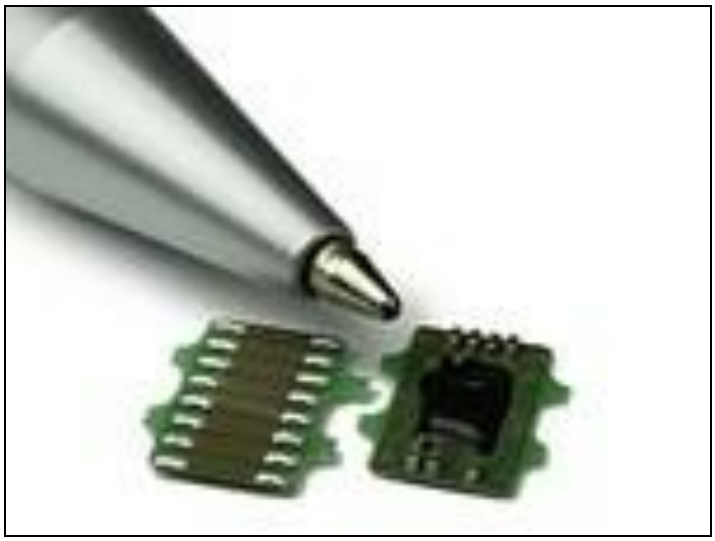
- Érzékelő kábel és kábelezési illesztő eszközök
- Jelfeldolgozó egység
- Szoftver

A beruházás során a 7 m-es felbontású érzékelő kábel lett kiválasztva, ami az 1,7 km hosszú lejtősaknákat figyelembe véve egy rendkívül finoman kalibrálható, hő- és térbeli hőeloszlás-érzékelést tesz lehetővé.



3. ábra - Vonali hőeloszlási ábra

A rendszer a kábel egyedileg címezhető érzékelőivel lehetővé teszi, hogy a teljes vágatrendszer akármelyik pontján a térrész használatától függően az érzékelési szinteket távolról szoftveresen állíthassuk. Például a betárolás próbaüzeme során felgyűlt tapasztalatok alapján, azokon a helyeken, ahol a szállító jármű hosszabb ideig tartózkodik, és a forró motor környezetében a hosszirányú hőmérsékleti gradiens magasabb lehet, ott a rendszer úgy konfigurálhat, hogy ne okozzon hibás riasztásokat.



4. ábra - A Tűzérzékelő kábelbe integrált érzékelő lapkák mérete

5. ábra - Többpontos vonali érzékelő kábel

A beruházás a 0,4 kV-os dízel gépre épülő, konténeres egységben szállított, 0,4/6 kV-os transzformátorral és saját 6 kV-os kapcsolóberendezéssel rendelkező berendezés rendelése mellett döntött, ami jól illeszkedik a telephelyi sajátosságokhoz és mégis költséghatékonyabb megoldást nyújt.

KONKLÚZIÓK

A Beruházó, a Fővállalkozó és Partnereinek magas szakmai igényessége, a siker orientált hozzáállásuk, rugalmas együttműködésük eredményeként mind a villamos erőátvitel, mind a gyengeáramú rendszerek esetében egy korszerű, egyes esetekben itthon egyedülálló, a különleges környezetnek és igényeknek megfelelő különleges megoldások születtek. A műszaki szempontok mellett az is figyelemre méltó, hogy minden kivitelezési nehézség ellenére a rendszerek szerződésszerűen, határidőre, az előírt színvonalon megvalósultak.

IRODALOM

[1] Kiviteli tervek, melyek a KÉK Kft., az Erando Kft, a CAD Server Kft.. és az NG Project Kft. tervezésében készültek.

POSZTEREK KIVONATAI

Magfúrások adatain alapuló vágatprognózisok szerepe a bátaapáti NRHT létesítése során

The role of coring based tunnel predictions in the construction of the Bátaapáti National Radioactive Waste Repository

ANDRÁS EDUÁRD[1], TÖRÖK PATRIK[1], SZEBÉNYI GÉZA[1]

[1] – Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,andraseduard@mecsekerc.hu; torokpatrik@mecsekerc.hu; szebenyigeza@mecsekerc.hu

Abstract

The final disposal site (National Radioactive Waste Repository) for low- and intermediate-level wastes is currently under construction in Bátaapáti, Hungary. The disposal facility is hosted in the carboniferous Mórágy Granite Formation consisting mainly of monzogranite and monzonite, and their hybrid variations.

The principal role of the coring based tunnel prediction is to indicate the zones that require grouting, as well as to define the probable water pressure, water influx values and the geotechnical conditions along the line of the cored pilot holes. It has to provide preliminary information about the expected excavated rock types and traversed tectonic structures. This process is a multidisciplinary work involving professionals from different fields of geosciences.

The preliminary results of the multidisciplinary documentations are discussed in the course of a professional consultation organized in a couple of days after the coring is completed. At these meetings the standpoints, conclusions and recommendations are finalized. The results are visualized on the so called tunnel prediction map, and a written summary is composed. These documents are handed over to the mining management to support the planning and scheduling of the tunneling and the construction.

Kulcsszavak

NRHT, Mórágyi Gránit Formáció, gránit, radioaktív hulladéktároló, vágatprognózis, magfúrás

BEVEZETÉS

A Bátaapátiban épülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló szolgál a magyarországi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére. A létesítmény földalatti komplexuma a Mórágyi Gránit Formáció (MGF) kőzeteiben kerül kialakításra. Az MGF alapvetően négy, egymástól többnyire jól elkülöníthető fázisból épül fel: a fő magmás fázis (monzogránitos összetételű alapgranitoid, a monzonitos és a hibrid kőzetcsoport képződményei), a szienitfázis kőzetei, leukokrata monzogránit fázis, teléres fázis (leukokrata telérkőzetek). A granitoid variszkuszi korú, jelenlegi allochton helyzete az alpi hegységképző fázisok során alakult ki. A komplex tektonikai múltnak köszönhetően változó irányú és intenzitású törésrendszerek jellemzik a formációt. Ezeknek a megismerése, kiegészítve a vízföldtani viszonyokkal és áramlásrendszerekkel meghatározó szerepet töltött be a létesítmény tervezésében és a kivitelezési munkálatokban egyaránt. Az elsődleges geológiai alapadatok egyik legfontosabb pillérét a magfúrásokból nyert információ képezi.

A NRHT létesítési munkálatai során több célból készülnek magfúrások (pl. előfúrások kihajtatlan vágatszakaszok előtt, hidrogeológiai vizsgálatokra, geotechnikai/kőzetmechanikai tesztekhez, stb.) ezek minden esetben részletesen vannak dokumentálva és kiértékelve, ami által hozzájárulnak a soron következő térrészek alaposabb megismeréséhez és előrejelzést adnak a várható földtani, tektonikai, geotechnikai, vízföldtani viszonyokról.

A vágatprognózis célja segíteni a térkiképzés szakmai irányítóit a térkiképzési munkák hatékony kivitelezésében a várható természeti viszonyok előrejelzése által.

A komplex vágatprognózis legfontosabb feladata jelezni az esetleg injektálandó zónákat, a várható víznyomás és vízbeáramlási értékeket, valamint megadni a vágatelőfúrás vonala mentén a várható geotechnikai viszonyokat, ezek alapján javaslatot tenni az alkalmazandó fogásmélységekre, biztosítási technológiákra.

Emellett előzetes adatot szolgáltat a harántolandó földtani és tektonikai viszonyokról. Feladata javaslatot megfogalmazni az injektálások, valamint a teljesszelvényű előszondafúrások kezdő homlokainak helyéről.

A komplex vágatprognózist a magfúrásos vágatelőfúrások, ritkábban teljes szelvényű fúrások, esetenként a vágathajtás addigi tapasztalatai és a meglévő egyéb ismeretek extrapolációjából, csapat munka eredményeként, a Bátaapáti Létesítményi Földtani Szakszolgálat (BLFSz) állítja össze.

1. Magfúrásokhoz kapcsolódó vizsgálatok

A vágatprognózisok szempontjából a legfontosabb információtartalommal a magfúrásos technológiával mélyült vágatelőfúrások rendelkeznek. A fúrások HQ, esetleges technikai nehézségek esetén NQ magátmérővel mélyülnek.

A fúrómaghoz kapcsolódó értékelő munkákat több szakértői csoport végzi, illetve értékeli az egyes szakterületeknek megfelelően. A fúrásműszaki dokumentáció elkészítése a Mecsekérc Zrt. (BLFSz) feladata. A fúrás folyamán, 10 m-es intervallumokban egypakkeres hidraulikai vizsgálatokat végeznek a Golder Associates Magyarország Zrt. munkatársai. A vizsgálatok kiértékeléséből kapott legfontosabb adatok a potenciálértékek, a kőzet transzmisszivitása, a szabadon kifolyó hozam, valamint a vízmintavételi helyek. A teljes fúrási szakaszon készülnek mélyfúrás-geofizikai mérések, ezeket a Geo-Log Kft. végzi. A méréssorozat rendszerint a következő elemekből áll: akusztikus lyuktelevízió, fajlagos ellenállás, természetes potenciál, természetes gamma, lyukbőség, fúrólyuk dőlés és azimut, hőmérséklet, akusztikus hullámkép.

A fúrómagok előzetes és részletes földtani-tektonikai dokumentálását a Mecsekérc Zrt., a geotechnikai dokumentálási és értékelési munkákat a Kőmérő Kft. munkatársai készítik. Az értékelt adatok a fúrás mentén várható geotechnikai viszonyokat (repedezettség, RMR, Q-érték, kőzetosztályba sorolás, ajánlott fogásmélység) jellemzik.

2. Konzílium, összegzés

A külön–külön elvégzett dokumentáló munkák előzetes eredményeit a fúrás befejezését követő néhány napon belül szervezett közös szakmai konzílium során ütköztetik. Ez az integrált földtudományi értékelés legalsó szintje. Ekkor véglegesednek az állásfoglalások, következtetések és javaslatok is. Ezekre a megbeszélésekre, vagy konzíliumokra meghívást kapnak a különböző szakterületek képviselői, illetve a Mecsekérc Zrt. és az RHK Kft. szakmai vezetői is, hogy első kézből értesüljenek a lényegi megállapításokról.

A konzíliumhoz kapcsolódóan a szakterületi előzetes dokumentációk adatait a vágatprognózis térképen megjelenítjük és a konzíliumot követően – szükség szerint – elkészítjük az összesített vágatprognózist. Ezt átadjuk a bányászati irányításnak a munkák tervezéséhez és ütemezéséhez.

A vágatprognózis térképen a fúrás vonala (a kihajtandó vágatméterek) mentén feltüntetjük a fentiekben jelzett adatokat. Az alkalmazott AutoCAD alapú szoftver lehetőséget ad arra, hogy a földtani-szerkezeti ismeretekkel, injektálási adatokkal, kőzetosztály eloszlásokkal, tervezett objektumokkal, stb. együttesen megjelenítve, gyorsan, sokrétű értékelést végezhessünk.

Gránitos kőzetek közvetlen nyírószilárdsági vizsgálata a Bátaapáti Nemzeti Radioaktív-hulladék-tároló kőzeteinek példáján bemutatva

Direct shear strenght tests of granitic rocks of Bátaapáti National Radioactive Waste Repository

BUOCZ ILDIKÓ, GÖRÖG PÉTER, ROZGONYI-BOISSINOT NIKOLETTA, TÖRÖK ÁKOS

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Abstract

The determination of the rock mechanical properties of rock masses are important factors in rock stability calculations and in the design of rock support systems. Direct shear strength tests along discontinuities supply data such as the shear strength of the joint, internal angle of friction or apparent cohesion. However, the results highly depend on factors that derive from either the measurement or the rock and joint properties. Such parameters are the joint infill material, the joint roughness, the sample orientation, the dip of the joint plane, the type of the normal load (constant or altering), the sheared area, and the scale effect. Direct shear strength tests had been carried out on granitic rocks of the Bátaapáti National Radioactive Waste Repository site. The above mentioned parameters were taken into consideration during the test. The samples were grouped according to surface roughness and joint infill material into four groups. The maximal internal angle of friction fell in the interval between 19.4° and 32.4°. These wide range of values prove how highly the parameters influence the test results. However in each sample group the results correlated well.

A kőzettestek mechanikai tulajdonságainak pontos ismerete elengedhetetlen a felszín alatti létesítmények, sziklarézsűk állékonyságának és biztosítási rendszerének meghatározásához. A tervezéshez szükségesek a kőzettest tulajdonságaiból meghatározható, a statikai számításhoz felhasználandó bemenő paraméterek. A legfontosabb paraméterek közé tartozik a kőzet tagoló felület menti nyírószilárdsága, belső súrlódási szöge, látszólagos kohéziója, amelyek meghatározása empirikus vagy laboratóriumi úton is elvégezhető. A tagoltságok és a mérési körülmények változatossága miatt a nyírószilárdság meghatározására nem létezik szabvány. Az empirikus megközelítéshez Barton egyenletét használják, míg a laboratóriumi kísérletekhez az International Society for Rock Mechanics (ISRM) ajánlása nyújt útmutatást közvetlen nyírószilárdsági vizsgálatok elvégzéséhez. A nyírószilárdság értékét számos paraméter befolyásolja, úgy mint a mérésből adódó és a kőzet tulajdonságaiból adódó tényezők. Ezek közül a legfontosabbak a tagoltságot kitöltő anyag jelenléte, jellege, vastagsága, a tagoló felület érdessége, a nyírás iránya, a tagoltság dőlésszöge a nyírási sík függvényében, normálerő vizsgálat alatti konstans állapota, az alkalmazott normálerő nagysága, a nyírt felület nagysága, mérethatás. A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló gránitos kőzetein a fenti tényezők figyelembevételével közvetlen nyírószilárdsági vizsgálatok készültek a BME-n. A minták csoportosítását a felületi érdesség, valamint a kitöltő anyag határozta meg: így durva felületű, kissé érdes felületű, vágott felületű és kalcittal bevont felületű mintacsoportokon végeztük a méréseket. A közvetlen nyírószilárdsági vizsgálat lépcsős méréssel készült, lépcsőfokonként konstans normálerő mellett. A maximális feszültséghez tartozó belső súrlódási szög értékei tág inervallumba estek (19,4° - 32,4°), amely bizonyítja, hogy a felületi érdesség nagysága jelentősen befolyásolja a vizsgálati eredményeket. Mintacsoportonként az egyes próbatestek jól korreláló eredményt adtak.

Különböző kőzettest-osztályozási módszerek összehasonlítása a Bátaapáti radioaktívhulladék-tároló esetében

Comparison of Different Rock Mass Classifications at Bátaapáti Radioactive Waste Repository

DEÁK FERENC[1], KOVÁCS LÁSZLÓ[1], DR. VÁSÁRHELYI BALÁZS[2]

[1]Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., komero@komero.hu
[2]Vásárhelyi és Társa Kft., 1126 Budapest, Hollósy S. u. 3., vasarhelyib@gmail.com

Az angol nyelvű poszter a Bátaapáti kis és közepes aktivitású radioaktívhulladék-tároló felszín alatti mérnöki létesítményeinek építése során felhasznált empirikus kőzettest-osztályozási módszereket és az azok között fennálló korrelációs kapcsolatok számszerűsítését célzó vizsgálatokat mutatja be.

A lejtősaknák építése során egyidejűleg két kőzettest-minősítési eljárást használtunk: a Barton-féle Q (Quality index) és a Bieniawski által javasolt RMR (Rock Mass Rating) módszert (ez utóbbi esetben pontosabban a RMR_{1989} változatot). A módszerek egyidejű, párhuzamos alkalmazása számos szakmai eredményt hozott:

- A vágatokkal korábban még nem feltárt formációban lehetőséget teremtett az eredmények kölcsönös ellenőrzésére, az esetleges durva értékelési hibák kiküszöbölésére.
- Elemezhetővé és minimalizálhatóvá váltak az egyes részparaméterek értelmezése során elkövetett szisztematikus hibák.
- Az egyes fogások dokumentációjából származó, nagy mennyiségű, összetartozó adatpárból megalkotható volt a Mórágyi Gránit-specifikus Q-RMR összefüggés. Ezzel kiváltható volt az előfúrások maganyagából csak igen szubjektív módon elvégezhető Q módszer szerinti értékelés.
- A kutatás és a beruházás kezdeti időszakában a Q és az RMR módszer szerint felépített adatbázisokból közvetett módon származtatható volt a statikai tervezéshez használható GSI (Geological Strength Index) paraméter is.

A projekt kezdetétől a kőzetbiztosítás a Q kőzettest minősítésen alapszik. A Q-módszer eredeti osztályait a tervező saját megfontolásból egyszerűsítette, a lejtősaknák kihajtása során 5 db kőzetbiztosítási osztályt definiálva. Később, az ún. Kishurok-vágatrendszer építésétől kezdve a II. kőzetosztályt két részre bontották.

A két tárolókamra építése során – tervezői elvárásoknak is köszönhetően – egy harmadik, párhuzamosan alkalmazott eljárásként bevezetésre került a már említett GSI módszer is. A GSI módszer alapját képezi minden, a Hoek-Brown töréselméleten alapuló tervezési munkának. Éppen ezért a kamrák geotechnikai dokumentálása során nagyon fontos volt ennek a módszernek az önálló, más módszerektől független meghatározása. (Korábban, a közvetlen meghatározás előtt a tervezéshez szükséges GSI értékeket a másik két kőzetosztályozási módszerből csak jelentős hibával lehetett származtatni).

Ahhoz, hogy az átszámítások megbízhatóak legyenek, vizsgálnunk kellett az alkalmazott módszerek közti korrelációkat, ugyanakkor a meglévő nemzetközi korrelációk mellett szükségesnek tartottuk hely- vagy projekt-specifikus összefüggések kidolgozását és azok folyamatos vizsgálatát, ellenőrzését és frissítését is. A poszter e vizsgálatok eredményeit részletezi.

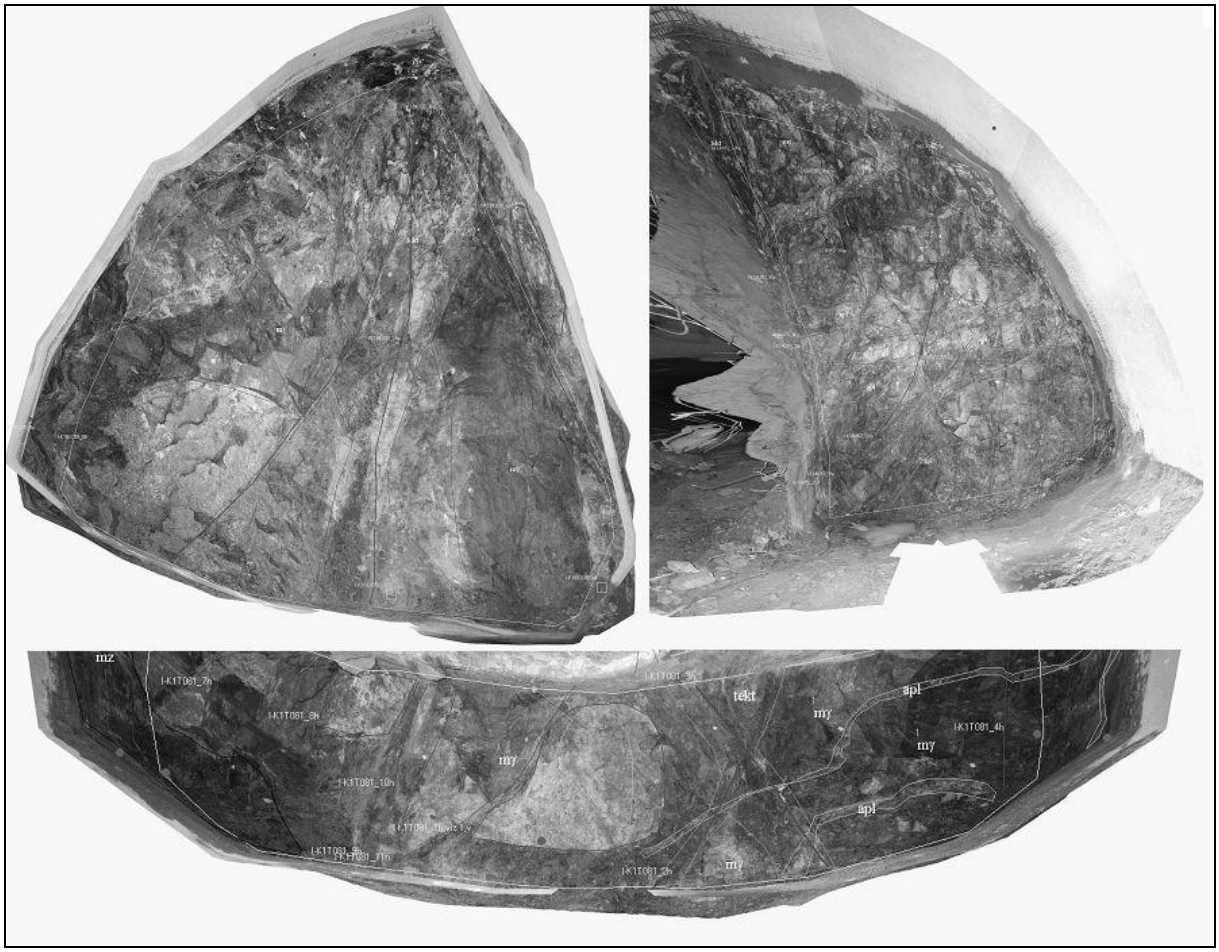
A kamrák földtani dokumentálása (NRHT, Bátaapáti)

GYALOG LÁSZLÓ, FÜRI JUDIT, MAROS GYULA, GULÁCSI ZOLTÁN

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet

Az NRHT két kihajtott kamrájának földtani dokumentálását a Magyar Állami Földtani Intézet földtani-tektonikai csoportja végezte, a vágatok korábbi szakaszaihoz hasonlóan.

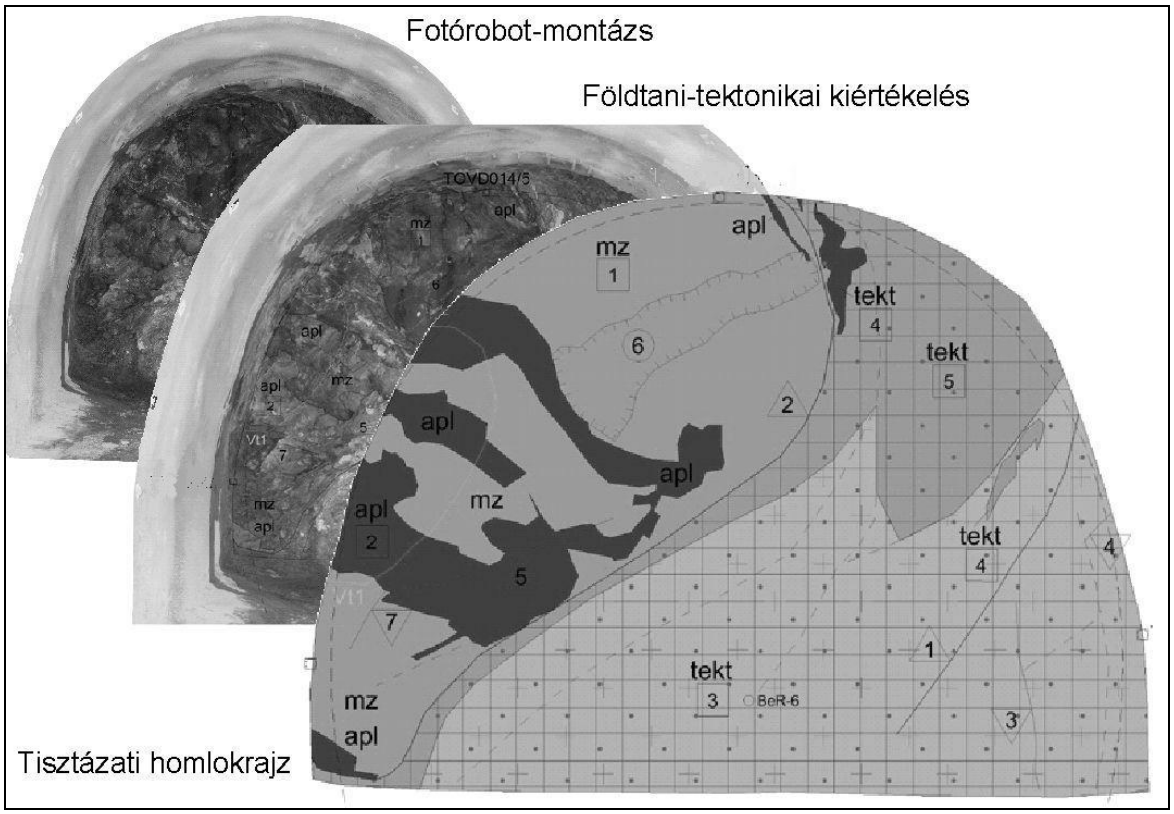
A kamrák mélyítése során 2 vagy 3 szeletben történt a vágathajtás, a dokumentálás is ezt követte (1. ábra). Ennek során felhasználtuk a vágatok dokumentálásának tapasztalatait, és alkalmaztuk a jóval nagyobb átmérőjű (a vágatok 21–33 m^2-es szelvényével szemben 96 m^2-es) kamrákra.



1. ábra. Az I-K1-es kamra 3 fogása egymáshoz közel eső vágathossznál (bal kalott: I-K1BK035-041.600; jobb kalott: I-K1JK052-041.700; talp: I-K1T081-042.200)

A vágatokban a vágatdokumentálás menetének 4 szakasza az alábbi volt:

1. szakasz: Fotóalap felvétele a biztosított térrész alól
   Fogás rajza + „légmérések”
   Geodéziai bemérés
2. szakasz: A vájvég biztosítása után közvetlen észlelés és mérés
   Mintavétel
3. szakasz: Digitális feldolgozás a konténer-irodában
   Dokumentációs űrlapok kitöltése (földtani, tektonikai, töréses öv)
4. szakasz: Értelmezetlen és értelmezett homlok- és palástmontázs (2. ábra)
   1:200-as vágattérkép megrajzolása

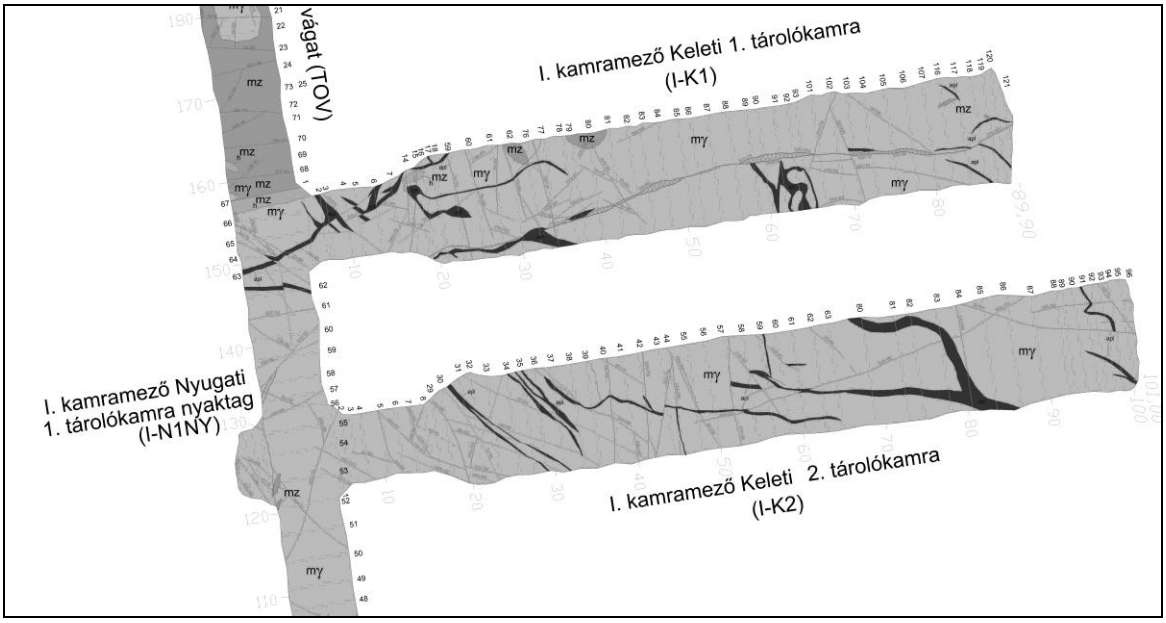


2. ábra. Az értelmezés lépései: fotorobot-montázs (értelmezés nélkül), földtani-tektonikai kiértékelés (értelmezett homlokmontázs), tisztázati homlokrajz (homloktérkép) — TOVD014-21.000 fogás

A fényképes dokumentálás alapvetően fotórobottal történt, amellyel az 1. szakaszban készítettük a képeket. Az általában 28 képből álló sorozatot a CoreDump program alakította montázzsá.

A kamrákban ez úgy módosult, hogy a felső rész (a kalott) egy vagy két szeletben történő kiszedése után, időben később került sor a talprész kiszedésére, így dokumentálására is (1. ábra).

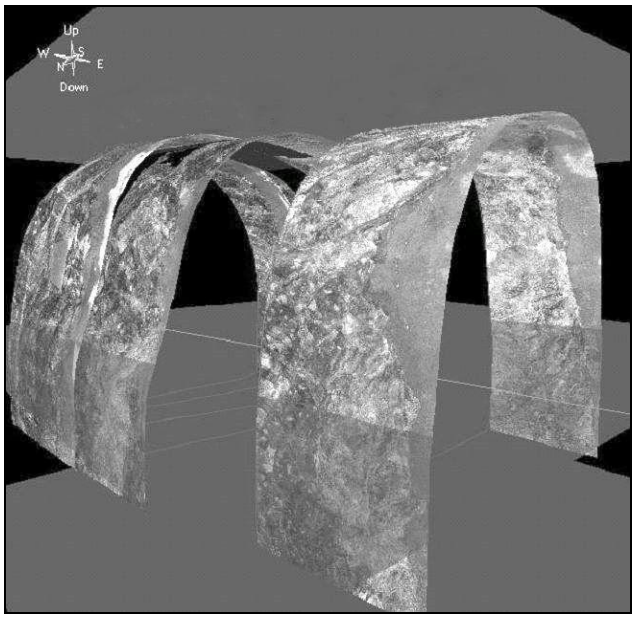
A 2 vagy 3 vágathomlok nem esett egy síkba, így a homlokképek külön készültek el.



3. ábra. Az 1:200-as vágattérkép részlete a kamrákról
mγ – monzogránit, $_h$mz – kontaminált monzonit, mz – monzonit, apl – aplit, TOV = Tárolói összekötő vágat

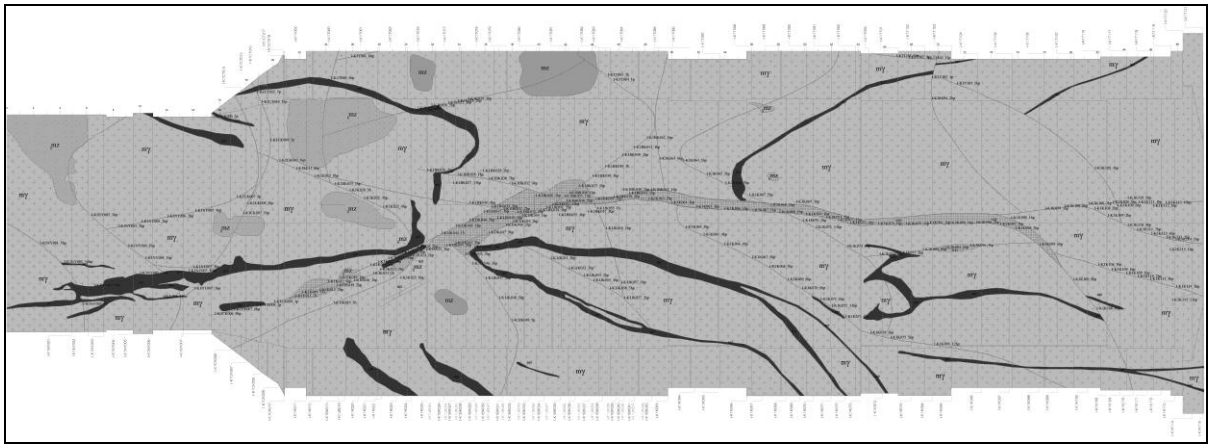
A kalottok 2 m-es szintjében rajzoltuk meg az előzetes, 1:200-as vágattérképet, a végleges térkép a talp fölött 2 m-rel, a talpszeleten belüli szintet ábrázolja (3. ábra). Ez utóbbi felel meg a tágabb környezet térképeinek (1:1 000, 1:5 000) a szintjével.

A palástok készítése is eltért a vágatok palástjaitól. A kamráknál nem egy fogás palástjainak összesített anyagát ábrázoltuk, hanem a különböző függőleges síkokban elhelyezkedő homlokokhoz tartozó palástoknak a végleges kamrapalástra eső részeit, illetve a többi adatnak erre a felszínre vetített képeit szerkesztettük egybe, a 2 vagy 3 szelet palástjainak együttes értelmezésével.



4. ábra. Palástmontázsok 3D-s nézete

A kamrák felső síkjára „felhajtott”, felülről nézett palásttérkép a homlokokon és a vágatszakaszokon észlelt földtani és tektonikai adatok összegzését jelenti. Így a véglegesen kialakított kamra palástja készült el (4. ábra 5. ábra).



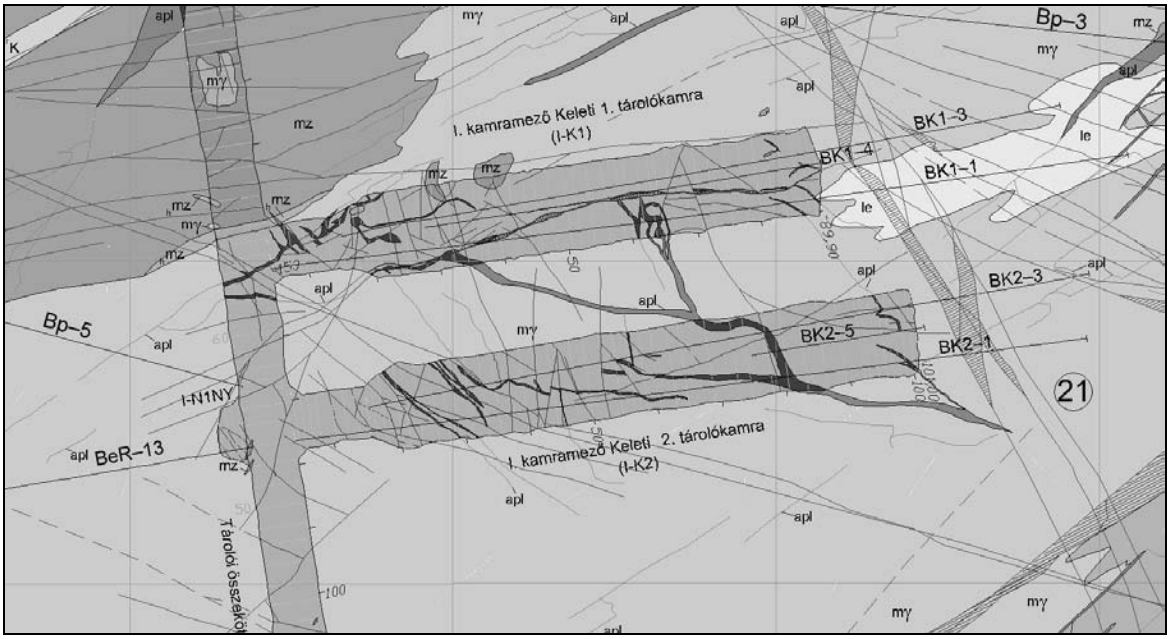
5. ábra. Az I-K1-es kamra kiterített palásttérképe

A dokumentálás során a palásttérképre a földtani képződmények határai, a tektonikai elemek (zónák, töréses övek, egyedi törések), valamint a vizesedések kerültek fel.

A földtani képet tekintve a kamrák legnagyobb mennyiségben monzogránitot tártak fel, azonban találkoztunk monzonittestekkel, kontaminált monzonittömbökkel, leukokrata monzogránit-betelepüléssel és aplittelérekkel is. Ezek a szórványosan előforduló kőzettestek százalékosan nehezen kifejezhető arányban színesítik a monzogránitot, összmennyiségük nem vagy alig haladja meg az 10%-ot. A monzogránitot szabálytalanul, de főként K–Ny-i (100–280°) és ÉÉNy–DDK-i (340–160°) irányokkal jellemezhető aplittelérek járják át. Az 1. kamra É-i részén néhány apró monzonittest fordul

elő, az 1. kamra K-i végén, már csak a kamrafúrásokban észlelhetően egy nagyobb, leukokrata monzogránit anyagú test jelenik meg.

A tektonikai elemeket illetően egy kisebb törészóna volt az 1. kamrában, a kamra tengelyével közel párhuzamosan. Mindkét kamra hosszát a végleges végektől 5-6 m-re húzódó nagy törészóna határozta meg. Ennek iránya ÉÉNy–DDK, kisebb, É–D-i irányú szakaszokkal.



6. ábra. Az 1 000-es térkép részlete a kamrák környezetéről
(a földtani képződmények jelkulcsát lásd a 3. ábránál; le – leukokrata monzogránit)

A kamrák kihajtása során újabb információkkal bővült a tározó földtani környezete, ami maga után vonta a MÁFI által készített 1:1 000 léptékű földtani térkép újraértékelését (6. ábra). A BeR–13 jelű fúrás alapján a monzonit és monzogránit határa megváltozott, egy kontaminált monzogránittest is a térképre került, ami befolyásolhatja az I-K2 kamrától Ny-ra található terület beépítését. Az I-K1 jelű kamra folytatásában leukokrata monzogránitot ütött meg a BK1–1 és BK1–3 fúrás, így a térképen ez a terület is változásokat szenvedett. A Btr–2 ferdefúrás monzogránitot harántolt, térképi vetületében kb. 10 m széles monzogránitfoltot rajzoltunk. A Bp–5-ös fúrás adatai alapján a kamramezőtől nyugatra húzódó alkálivulkanit-telér helyzetét pontosítottuk, és vetőkkel igazítottuk ki a telér geometriájában megváltozott ismereteinket.

A kamrák földtani dokumentálását a korábbi vágatokhoz hasonló módon, alkalmazkodva a nagyobb vágatátmérőhöz végeztük el. A kapott földtani kép jól mutatja be a kamrák földtani környezetét.

3D-s optikai kőzetfelület-leképező rendszerek földtudományi alkalmazási lehetőségei

3D optical imaging systems - Rock surface mapping with other geoscience applications

DEÁK FERENC, SOMODI GÁBOR, KOVÁCS LÁSZLÓ

Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., komero@komero.hu

A Bátaapáti NRHT megközelítő vágatainak és tárolókamráinak kialakításánál, a geotechnikai dokumentálás során az osztrák 3GSM cég (www.3gsm.at) által fejlesztett 3D-s optikai felületleképező rendszereket használtuk. A korábbi években csak a hagyományos vágatdokumentálás kiegészítéseként használt rendszerek a geotechnikai dokumentálás kulcsfontosságú elemévé váltak. Használatuk új távlatokat nyit a földtudományi munkák elvégzéséhez. A poszteren röviden bemutatjuk a módszer elméletét, az optikai szkennelés folyamatát és a kiértékelés menetét, valamint a módszer felhasználási lehetőségeit.

A JointMetriX3D (JMX) és a ShapeMetriX3D (SMX) rendszer az általa leképezett objektumról sztereoszkópikus képalkotással képes visszaadni a szemlélőnek a valós térbeli megjelenést. A kiválasztott felületről két optikai felvételt készítünk egy síkban, megadott távolságú kameraállásokból. Később e felvételeket dolgozza fel egy erre a célra kifejlesztett szoftver. A kapott 3D-s kép esetünkben nem más, mint egy digitális fotó, térbeli információkkal kombinálva. A referenciapontok kijelölése és geodéziai bemérések elvégzése után a modellen belül minden pont georeferálttá válik.

Az objektivitás mellett a 3D modellalkotási módszer egyik legnagyobb előnye, hogy a terepen megközelíthetetlen, vagy nem biztonságosan megközelíthető területekről megbízható, nagy mennyiségű adatgyűjtést tesz lehetővé. A kőzetfelszín fotorealisztikus és ezzel egyidejűleg 3D-s geometriai megjelenítése valóságos térbeli hatást kölcsönöz a modellnek, ami megengedi számunkra, hogy ez alapján az egyes geológiai szerkezetekről és azok geometriai megjelenéséről releváns döntéseket hozzunk. Emellett a modellen megjelenő terület minden részéről lehetőség nyílik részletes szakmai információ gyűjtésére, és mindez rövid felvételezési idővel jár. A ShapeMetriX3D rendszer az időjárási viszonyoktól független külszíni felvételezést is lehetővé tesz, ez alól csak az intenzív csapadékképződés képez kivételt.

A modellek kiértékeléséhez egy célirányos szoftver (JMX Analyst) áll rendelkezésünkre, mellyel a geotechnikai és geológiai értékelések egyaránt elvégezhetők. A hagyományos dokumentáláshoz hasonlóan itt is kijelölhetjük, berajzolhatjuk a töréssíkokat, repedésrendszereket. A kőzettípusok elkülönítésére különböző színeket használhatunk. Minden berajzolt objektum az elkészített modellel együtt 3D-ben jelenik meg, és geometriai, valamint geodéziai adatokat szolgáltat a kijelölt részekről. A geotechnikai dokumentálás során a vonalként megjelenő szerkezeti elemekről automatikusan megkapjuk a hosszértéket, valamint a hozzájuk rendelt síkok dőlésirányát illetve dőlésszögét. A kijelölt síkok esetében a szoftver a dőlésirányon és a dőlésszögön kívül a síkok területét is megadja. Nagy előnye a rendszernek, hogy a modellen, pontszerűen bármelyik részről megkaphatjuk a dőlésirány/dőlésszög adatot. Külön lehetőség nyílik a JMX Analyst rendszeren belül a törésrendszerek sztereografikus megjelenítésére, a törésrendszereken belüli töréstávolságok meghatározására. A felületről leképezett modellen tetszőleges sűrűségben jeleníthetjük meg a szintvonalakat, valamint meghatározhatjuk azokat a függőleges síkokat, amelyek mentén meg kívánjuk jeleníteni a szelvényeket.

Tapasztalataink szerint a felületek optikai leképezése és a 3D modellalkotás mind a helyszíni kivitelezési, mind a tervezési folyamatokban fontos szerepet tölthet be, legyen szó felszíni vagy felszín alatti, ipari vagy környezetvédelmi alkalmazásokról (külszíni bányafalak stabilitása, rézsűcsúszások, alagútépítés, mélybányászat, stb.), valamint a modell részinformációi is nagy segítséget jelentenek munkánk során.

Mikroszeizmikus monitorozás és a földrengésveszélyeztetettség meghatározása a bátaapáti tároló környezetében, 2002-ben

Mónus Péter[*]
Dr. Tóth László[*]

A hazai jogi szabályozás és a NAÜ biztonságtechnikai irányelvek értelmében nukleáris létesítmények helyének kijelölése, a létesítmény tervezése, építése előtt több évig mikroszeizmikus megfigyelést kell végezni a kiszemelt helyszín és környezete szeizmikus viszonyainak tisztázása, megismerése érdekében. Az RHK KHT ilyen értelmű megbízása után 1999-ben a Paksi Atomerőmű Mikroszeizmikus Mérőhálózatának (MMH) kismértékű módosításával sikerült elérni, hogy Bátaapáti környezetében a megfigyelő-hálózat elméleti átlagos érzékenysége elérte az M=1.0 magnitúdó küszöböt (természetesen esetenként ennél kisebb rengéseket is sikerült regisztrálni és lokalizálni).

Ez a megfigyelési projekt 2001-ben ért véget részben a mérési eredményeket (regisztrált földrengéseket) összegző, részben a földrengés-veszélyességi számítások eredményét tartalmazó kutatási jelentés leadásával. (Az MMH természetesen azóta is működik, bár konfigurációja néhány év elteltével újra módosult.)

A mikroszeizmikus megfigyeléstől alapvetően a következő eredményeket vártuk (várjuk):

- a telephely és környezete szeizmikus aktivitásának megismerése,
- ismert vetők aktivitásának kizárása vagy annak igazolása,
- eddig ismeretlen vetők esetleges felismerése,
- a környék feszültségviszonyainak megismerése földrengés fészekmechanizmusokból,
- az érzékenység növelésével a földrengésgyakorisági paraméterek pontosabb megismerése a megbízhatóbb földrengés-veszélyeztetettség eredmény érdekében.

A magyar földrengés katalógusban jelenleg 111 db olyan földrengés találunk, amely Bátaapáti 50 km-es környezetében keletkezett. A tulajdonképpeni megfigyelési projekt ideje (1999-2001) alatt 8 ilyen eseményt sikerült regisztrálni a 0,1≤ML≤3,0 magnitúdó tartományban. (Az MMH jelenlegi konfigurációja már sajnos nem biztosítja ugyanazt az érzékenységet a telephely környezetében, mint amit a projekt ideje alatt sikerült elérni.) A projekt meglehetősen rövid időtartama alatt a környéken olyan szeizmikus forrásterületet nem tapasztaltunk, amely aktív szerkezet jelenlétére utalna.

A hároméves mérési periódus végeztével kiszámítottuk a telephely földrengés-veszélyeztetettségét különböző valószínűségi szintekre. A számítások során természetesen nem csak a 3 éves mérés eredményeit használtuk fel, hanem a teljes magyar földrengés katalógust és minden egyéb releváns tektonikai-földtani ismeretet, adatot. A számításokat 100, 600 és 10.000 év időtartamra végeztük el. A két utóbbi értéket az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény végrehajtási rendeleteként megjelent 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet írja elő. A 2002-es eredményeket összegezve elmondhatjuk, hogy a ***telephelyen az alapkőzeten várható csúcsgyorsulás (PGA) 600 éves távlatban 0,14 g, míg 10.000 éves időtartam alatt 0,33 g.***

[*] MTA CSFK GGI Szeizmológiai Obszervatórium

A Bátaapáti NRHT tárolókamráiban telepített kőzetmechanikai-geotechnikai megfigyelő rendszer elemei

Rock mechanical and geotechnical monitoring system in the LLW/ILW Nuclear Waste Repository in Bataapati

SOMODI GÁBOR, KOVÁCS LÁSZLÓ, MÁTÉ KORNÉL

Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., komero@komero.hu

Egy jól tervezett kőzetmechanikai-geotechnikai megfigyelő rendszernek kettős célt kell szolgálnia: egyrészt adatokat kell szolgáltatnia az üregképzés időszakában fellépő tranziens deformációs és feszültségváltozási folyamatokról, másrészt pedig képes kell legyen időben előre jelezni, illetve követni a több évtizedes időtávon lejátszódó reológiai jellegű változásokat, valamint az azok káros mértékű akkumulációjából származó folyamatokat.

A mérőrendszer feladata továbbá a vágatokban, tárolókamrákban alkalmazott biztosítási megoldások minősítése, valamint adatszolgáltatás a biztosítószerkezetek és a kőzettest kapcsolatának, együttdolgozásának megértéséhez. Ezek az információk alapvető fontossággal bírnak egyrészt az esetleg 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 kőzettest földtani-tektonikai-geotechnikai viszonyait jól reprezentáló helyszíneken, minden szempontból megfelelő és korszerű eszközök alkalmazásával kell telepíteni.

A Bátaapáti NRHT I-K1 és I-K2 tárolókamrájában a fenti megfontolásokat maradéktalanul figyelembe vevő kőzetmechanikai-geotechnikai megfigyelőrendszert telepítettünk. A poszter sorra veszi a kiviteli tervnek megfelelően telepített mérőműszereket; bemutatva térképi helyzetüket és a méréstechnikai megoldásokat is.

Az alkalmazott mérési módszerek két fő csoportba sorolhatók. Az első csoportba azok a módszerek tartoznak, 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 mérőhelyekkel feladata a kivitelezés során fellépő esetleges durva hibák, tönkremeneteli jelenségek/folyamatok feltárása. Ebbe a csoportba a következők módszerek sorolhatók be:

- a tervezés során figyelembe vett határterhelési szintekre optimalizált kőzethorgony-alátétek (alkalmazott típus: Titan Load Indicator);
- az optikai konvergenciamérő szelvények (ez a módszer nagyobb deformabilitású kőzetkörnyezetben kvantitatív meghatározásra is alkalmas lenne, de a Mórágyi Gránitban nem).

A második csoportba a különböző kőzetelmozdulás-, illetve deformációs komponenseket vagy terheléseket, terhelésváltozásokat kvantitatív módon, megfelelő pontossággal is követni képes módszereket sorolhatjuk be. E módszerek mind a tranziens, mind pedig a reológiai folyamatok ellenőrzésére is alkalmasak; validált tervezési alapadatokat, illetve a tervezési feltételezések visszaellenőrzéséhez (backcalculation) is használható adatokat tudnak szolgáltatni. Ide tartoznak a következők:

- a radiális elrendezésű szelvényben telepített 4 db GEOKON A-6, illetve A-9 típusú fúrólyuk-extenzométer (Ext-10 jelű extenzométeres szelvény);
- a nagy pontosságú nyomott rudas mechanikai konvergenciamérő szelvények a kamrák nyaktagjában (KON-13 és KON-14);
- A kamrahajtás különböző fázisaiban (kalott illetve talpszelet; mindkét kamra esetében) a kőzetköpenyben bekövetkező feszültségváltozások időbeli és térbeli leképezésére szolgáló, fúrólyukakba telepített CSIRO HI-cellás mérőműszerek (Bkc-7;…; Bkc-12);
- A kőzethorgonyok fejénél ébredő erők folyamatos mérésére alkalmas HBM erőmérő cellás mérőrendszer (LC-01;…; LC-08);
- A lőttbeton 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).

A kiviteli terv 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.

Az adatgyűjtés-értékelés rendszere a Bátaapáti 1-2 tárolókamra tervezésének és kialakításának folyamatában

The system of the data collection assessment in the process of the planning and forming of 1-2 depository chambers at Bátaapáti

SZEBÉNYI GÉZA[1], TÖRÖK PATRIK[1], ANDRÁS EDUÁRD[1], KOVÁCS LÁSZLÓ[2]

[1]Mecsekérc Zrt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19.,
szebenyigeza@mecsekerc.hu; torokpatrik@mecsekerc.hu; andraseduard@mecsekerc.hu
[2]Kőmérő Kft., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., kovacslaszlo@komero.hu

Abstract

The Bátaapáti repository is intended for final disposal of low and intermediate level radioactive waste. The forming of the 1st and 2nd depository chambers and the installation of the operational systems were carried out during 2011-2012, within the construction of the II/3 phase of the National Radioactive Waste Repository. This phase also includes the launching of the operation installations until the end of 2012. The first two depository chambers were developed (authorization and construction) based on the "design as you go" principle. Geological, hydrogeological and geotechnical investigations were performed in the frame of the investigation programme of the National Radioactive Waste Repository in Bátaapáti and financed by the Hungarian Agency for Radioactive Waste Management (PURAM).

Kulcsszavak

kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, gránit, vízföldtan, kutatásmódszertan, tervezés, bányászat

BEVEZETÉS

A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolására a Bátaapáti melletti telephely került kiválasztásra, amely Szekszárdtól 26 km-re DNy-ra helyezkedik el.

Az 1997-2003 között zajló felszíni kutatás eredményei alapján a kutatási területen belül a szakhatóság földtani alkalmasságot állapított meg. A megközelítő vágatrendszer kialakításával párhuzamosan történt a felszín alatti kutatási fázis, 2004-2008 között.

A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) létesítésének I. üteme (kishurok) 2008. nyarán kezdődött, a II. ütem 1. és 2. szakasza (nagyhurok és végleges vízkezelési rendszer, valamint az első két kamra nyaktagi rész) 2010. júniusában fejeződött be.

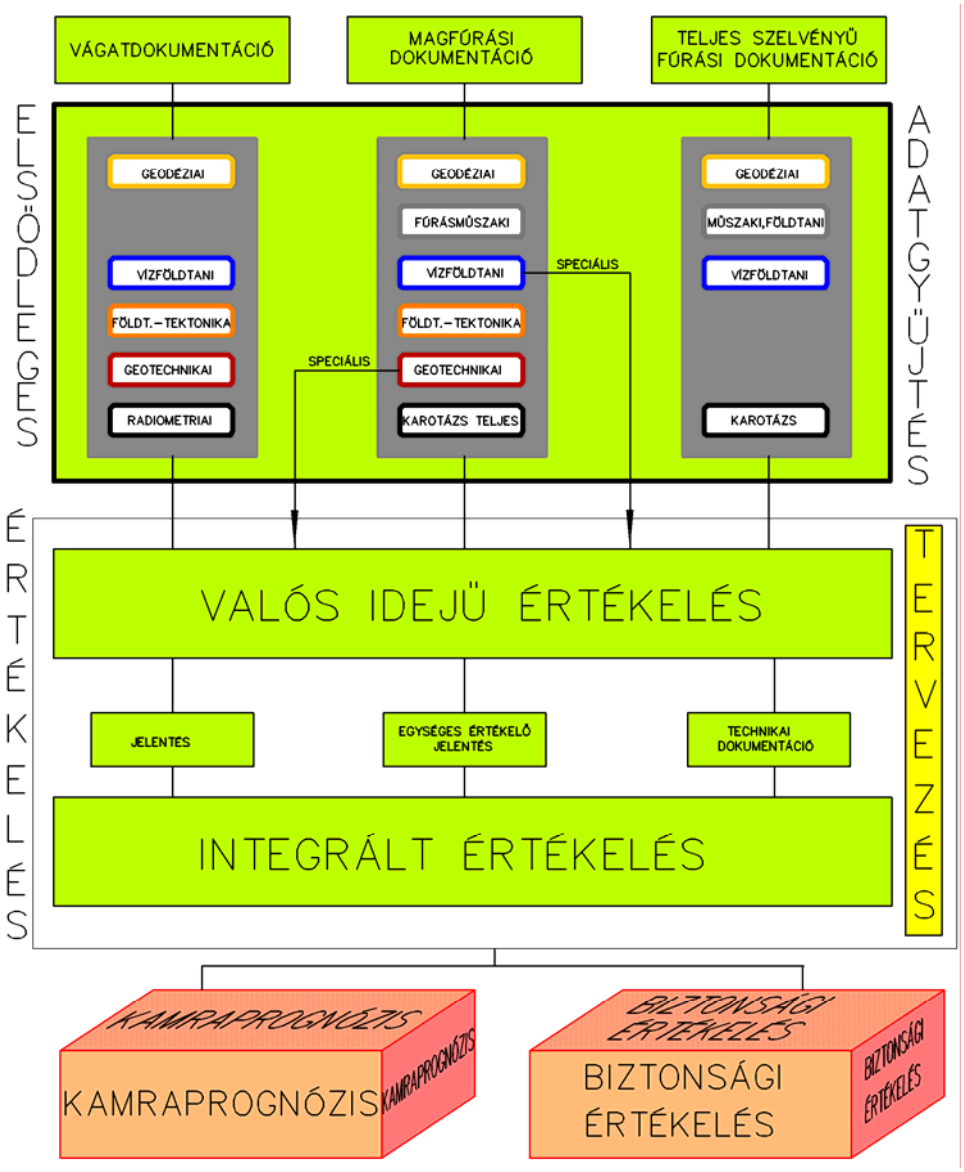
Az NRHT létesítés II. ütem 3. szakaszában került sor az NRHT üzemi rendszereinek kivitelezésére és az I. kamramezőben az 1-2. tároló kamra (2011. szeptember) kialakítására. Ehhez a szakaszhoz tartozik az üzemi rendszerek üzembe helyezése is 2012. végére.

A tároló földtani alkatát az EMT XIII. konferenciáján [1] ismertettük, míg a két kamra kialakításának előzetes földtani tapasztalatiról a SZGT XIII. konferenciáján [2] számoltunk be.

1. AZ ADATGYŰJTÉS RENDSZERE

A Bátaapáti kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék-tároló kialakítási munkában többirányú földtudományi adatgyűjtés folyik, több önálló alvállalkozó munkájával, melyet a

fővállalkozó Mecsekérc Zrt. a Bátaapáti Létesítményi Földtani Szakszolgálaton (BLF) keresztül koordinál.



1. ábra A földtudományi adatgyűjtés rendszere Bátaapátiban

Az adatgyűjtés földtani, tektonikai munkálatait (magfúrások, teljes szelvényű fúrások), valamint a csatlakozó műszaki dokumentációs tevékenységet a BLF végzi úgy, hogy a térkiképzés földtani, tektonikai dokumentációjában és a földtani modellezésben a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) segítségét veszi igénybe.

Az adatgyűjtés vízföldtani részét részben a Golder Kft. (pakkertesztek, Lugeon tesztek, egymásrahatás vizsgálatok, speciális hidrológiai és hidrogeokémiai vizsgálatok) végzi, a MÁFI szakértői közreműködésével, részben a BLF látja el.

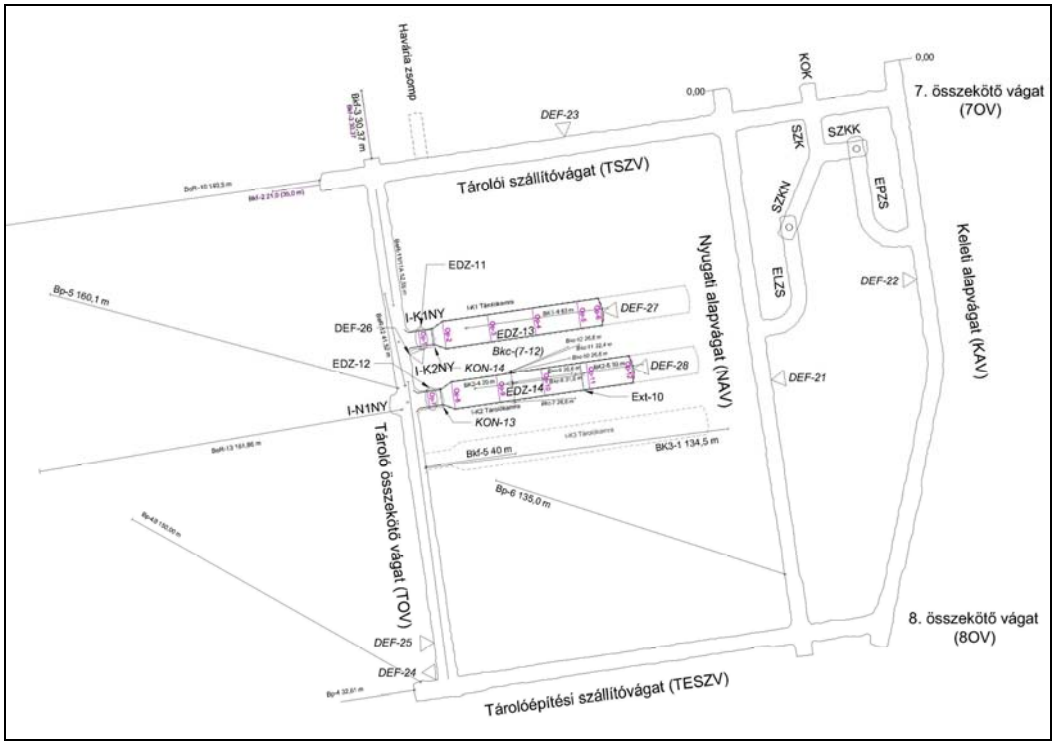
Az adatgyűjtés geotechnikai szakterületének önálló felelőse a Kőmérő Kft., aki tevékenysége során maga is széleskörű szakmai kapcsolatokat vesz igénybe (Szegedi Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem, Miskolci Egyetem, stb.).

A fúrási geofizikai munkákat a Geo-Log Kft. végzi, míg az egyéb geofizikai kérdésekkel (szeizmoakisztikus mérések, geoelektromos, szeizmikus tomográfia, felszínmozgások kiértékelése, radarinterferenciás mérések) több egyéb szervezet közreműködését vesszők igénybe.

2. AZ ÉRTÉKELÉS RENDSZERE

Az adatgyűjtés rendszere a BLF tevékenységében, a folyamatos valós idejű értékelésen keresztül a napi operatív kérdések megoldását szolgálja (1.ábra). Egyben azonban tematikus szakterületi jelentéseken, egységes értékelő jelentéseken és technikai dokumentációkon keresztül szolgálja az integrált értékelést. A valós idejű, részterületi és integrált értékeléseken alapul a létesítési engedély módosítást célzó és a kivitelezési tervezés. Az egész tároló kiemelt fontosságú kérdése a tárolókamrák telepítése és az azok üzembe helyezhetőségét megszabó biztonsági értékelés. E két kérdés folyamatos elemzése végigkíséri az adatgyűjtés- és –értékelés teljes folyamatát.

Az első két kamra előkészítése (engedélyezési és kivitelezési terv szinten), kivitelezése a „design as you go” elv érvényesítésével történt a fentiekben ismert összefüggések rendszerében. A 2. ábra bemutatja az első két tárolókamra főbb adatgyűjtési objektumait.



2. ábra Az I-K1 és I-K2 kamra a főbb adatgyűjtő objektumokkal

A tárolókamrák tervezését megelőzően 2009-ben a 2. ábra keleti szárnyán látható „kishurok” vágatrendszer adataival együttes integrált kiértékeléssel rendelkeztünk [4]. Ekkor készült a kamrakialakítás első változatú kiviteli terve is [16]. Az ezt követő fúrásos adatgyűjtés és a 2. ábra középén látható „nagyhurok” kihajtása során jelentősen pontosodtak ismereteink az I. kamramezőről ([3]). A létesítési engedély 2. módosítása [14] keretében elvégzett összefoglaló értékelés ([5]) már tartalmazta az I. kamramező viszonyait meghatározó új hidrogeológiai, (vízföldtani pászták-kőzettani sávok) tektonikai (Patrik-törés, Alkálivulkanit-telér szerepe, nyugati vízföldtani határszerkezet) törvényszerűségeket. Az adatgyűjtés folytatásával (kamraelőfúrások megkezdése) párhuzamosan interaktív értékelési folyamat zajlott a Kamraprognózisok ([6], [7], [8], [9]) rendszeres aktualizálásával. Az új ismereteket vízföldtani [12], geotechnikai [10], [11] és biztonsági értékelés [13] szempontjából is ki kellett értékelni. Az utolsó kamraelőfúrások már a kamrakivitelezés során mélyültek. A létesítési engedély 2011. évi módosítása [15] mellett végleges kamraprognózis [9] is

megszületett. Ezek, valamint a kamrakihajtás bányászati és földtudományi információi is beépültek a kiviteli terv aktuális módosításaiba ([17][18][19][20][21]).

A kivitelezés és a vizsgálati program végrehajtása során gyűjtött adatok tematikus és integrált értékelése jelenleg folyik.

KONKLÚZIÓK

A tervezést megelőző földtudományi adatgyűjtés-értékelés eredményei alapján pontosodtak a kamratelepítési feltételek, iteratív módon részletes kamraprognózisokat készítettünk az előzetesen várható földtani, tektonikai, geotechnikai és vízföldtani viszonyokról. A kamraépítés során folyó adatgyűjtés tette lehetővé a természeti viszonyokhoz való jobb alkalmazkodást a kivitelezési technológia terén, illetve tényadatokra támaszkodva heti rendszerességgel ellenőrizte, igazolta az előzetes kamratelepítési kritériumok igazolódását, a részletes kamraprognózisnak való megfelelés fokát. A fenti adatok felhasználásával a további kamrakialakítások során még jobban tudunk alkalmazkodni a természeti viszonyokhoz.

A fenti szisztematikus munka eredményeként jó minőségben, határidőre elkészülhetett az I-K1 és I-K2 jelű tárolókamra.

IRODALOM

[1] Hámos G., Szebényi G., Molnár P. 2011: A bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló földtani alkata. — In: Wanek F, Gagyi P. A. (ed's.) 2011: Előadáskivonatok. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Gyergyószentmiklós, 2011. március 31.-április 3., [Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania, 13th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Gheorgheni, March 31-April 3, 2011], Abstract kötet: 194-197. old.

[2] Szebényi G., András E., Kovács l., Molnár P. 2011: Bátaapáti — az első két tárolókamra kialakításának földtani tapasztalatai (Bátaapáti — overview of the construction of 1st and 2nd chamber). — Előadáskivonat. In: Rübel T. (ed.) 2011: XIII. Székelyföldi Geológus Találkozó, Gyergyószentmiklós, 2011. szeptember 22-25. (The XIIIth Geologist Meeting in Szeklerland, Gheorgheni, 22-25 September 2011), Abstract kötet: 55-62 old.

[3] Szebényi G., Török P., András E., Szamos I., (Mecsekérc Zrt.), Kovács L., Deák F., Jakab A., Máté K., Rátkai O. (Kőmérő Kft.) Gyalog L., Borsody J., Füri J., Gulácsi Z., Maros Gy., Rálisch E. (MÁFI), Molnár P. (Golder Zrt.) 2012: Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló feltáró vágatai térkiképzése II. ütem 1-2. szakasz vágatdokumentációs jelentés — Nagyhurok — Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. június; 2012. február. RHK Kft. Irattár, Paks; RHK–K–048/11.

[4] Szebényi G. (szerk.), Hámos G., András E., Török P., Majoros Gy., Szamos I. (Mecsekérc Zrt.); Molnár P., Benedek K. (Golder Kft.); Kovács L. (Kőmérő Kft.) 2009: Összefoglaló értékelő jelentés a felszín alatti létesítés tervezése és a biztonsági jelentés számára. — Kézirat, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2009. december, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-181/08

[5] Molnár P., Szebényi G., Kovács L . 2010: Előzetes földtani értékelés az MTD 2. módosításához. – Kézirat. 2010. szeptember, RHK Kft. Irattára, Paks. RHK-K-108/10 (2010. máj. 31-ig)

[6] Szebényi G. 2010: Kamraprognózis. Összefoglaló az I-K1 és I-K2 kamrák telepítését meghatározó természeti viszonyokról.— Kézirat. Mecsekérc előterjesztés (2010. február 8.) az RHK számára. Mecsekérc Zrt. adattár BA-I-K1,K2/10_v1

[7] Szebényi G., Molnár P., András E. 2010: Kamraprognózis. – Kézirat, 2010. október, Mecsekérc Zrt., Adattára, Pécs. BA-I-K1,K2/10_v2

[8] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011: Kamraprognózis. – Kézirat. 2011. január, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs. BA-I-K1,K2/10_v3

[9] Szebényi G., Molnár P., Kovács L., András E. 2011: Kamraprognózis jelentés (I-K1 és I-K2 kamra). – Kézirat. 2011. május 31., Mecsekérc Zrt., Pécs. RHK Kft. Irattár, Paks. RHK-K-147/10.

[10] Váró Á., Kandi E., Székely-Kovács J., Németh Gy., Deák F. 2009: Geotechnikai értelmező jelentés. — Kézirat, Mott McDonald Magyarország Kft. Budapest, 2009. május, RHK Kft. Irattára, Paks, RHK-K-033/09M01.
[11] Kandi E., Hersvik D., Váró Á., Bicskei D., Viszolay R., Arató P. (2010.): Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló, Kiviteli terv, II. ütem, 3. szakasz – 2 db tárolókamra. 1. függelék: Geotechnikai Értelmező Jelentés. – Kézirat, Mott MacDonald Magyarország Kft., Budapest, RHK Kft., Paks, RHK–K–059/10.
[12] Benedek K. (2010): Az első két kamra paramétereit származtató vízföldtani modell. — Kézirat. Golder Zrt. Budapest, RHK Kft. adattára, Paks, RHK-K-159/10M01.
[13] Dankó Gy., Baksay A., Benedek K., Bőthi Z., Molnár P. (Golder Zrt.) 2011.: A vízföldtani kritérium felülvizsgálata — Kézirat, 2011. április, Mecsekérc Zrt., Pécs, RHK Kft. Irattára, Paks, RHK–K–025/11
[14] Fábián M., Bakainé Papp K., Bogár J., Brandmüller I., Buócz Z., Keszerice V., Kovács L., Livo L., Mátrai Cs., Molnár I., Molnár P., Szebényi G., Vásárhelyi B., Viczencz O. 2010: A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja (ETV–Erőterv Zrt.). – 2. módosítás.— Kézirat, Fábián&Fábián Kft., Budapest, RHK Kht., Paks. RHK–K–27D/07
[15] Fábián M., Bakainé P. K., Tóth P., Kovács L., Dankó Gy., Szebényi G. 2011: A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja. 3. módosítás. – Kézirat. 2011. május 31. Fábián&Fábián Kft., Budapest., Mecsekérc Zrt., Pécs., RHK Kft. Adattár, Paks. RHK-K-037/11.
[16] Benkovics I., Takáts F., B. Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Dr. Kereki F., Ropoli L., Szebényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolci R., Vrászlai F., Kulcsár L., Thomas A., Hersvik D., Megyeri T.,, Németh Gy., Lowson A., 2010: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-Tároló feltáró vágatai térkiképzése. Kiviteli Terv, II. Ütem 3. szakasz: I-K1 és I-K2 tárolókamra. AJKMK00009D000C. Kézirat – MECSEKÉRC Zrt. Mott McDonald Kft., 2010. szeptember 24., RHK Kft. Adattára. RHK-K-123C/09.
[17] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra 1. módosítás AJKMK00009D000D — Kézirat, 2011. január, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123D/09
[18] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra 2. módosítás AJKMK00009D000E — Kézirat, 2011. január, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123E/09
[19] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra kiegészítés AJKMK00009D000F — Kézirat, 2011. április, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123F/09
[20] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti NRHT Kiviteli terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra létesítési munkáihoz (AJKMK00009D000C) Tárolókamrák 2D-s numerikus modellezése (IV.A K.o.) — Kézirat, 2011. április, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-024/11
[21] Mecsekérc Zrt., Mott MacDonald Kft. 2011.: A Bátaapáti Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló térkiképzése Kiviteli Terv II. ütem 3. szakasz I-K1 és I-K2 tárolókamra záróhomloka 4. módosítás AJKMK00009D000G — Kézirat, 2011. június, Mecsekérc Zrt. Adattára, Pécs; RHK-K-123G/09