

A kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezése

Hózer Zoltán, Somfai Barbara, Vimi András, Nagy Imre, Kulacsy Katalin

Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet
1525 Budapest, Pf. 49, tel: +36 1 275-4083, e-mail:

A nagymennyiségű, hosszú felezési idejű radioaktív izotópot tartalmazó kiégett üzemanyag végleges elhelyezésére a mélygeológiai lerakók jelenthetik a legjobb megoldást. Jelenleg sehol sem létezik olyan lerakó, ahol kiégett atomerőművi fűtőelemeket helyeztek volna el, de a legtöbb atomerőművet üzemeltető országban foglalkoznak a végleges elhelyezés kérdéseivel. A mélygeológiai lerakók létesítése megoldható napjaink műszaki színvonalán. A külföldi példák nagyon eltérőek, ami azt jelzi, hogy nincsenek univerzális megoldások, minden országban a helyi viszonyoknak megfelelő lerakó létesítését kell célul kitűzni. Jelen cikkben a külföldi helyzetet mutatjuk be.

A kiégett üzemanyag jellemzői

Az atomreaktorban végbemenő magfizikai folyamatok következtében az üzemanyag összetétele jelentősen átalakul. A láncreakció során az elhasadó atommagokból radioaktív és stabil hasadási termékek keletkeznek. Az ^{238}U -ból és a többi uránizotópból neutronbefogások és radioaktív bomlások útján további aktinidák is képződnek. Egy 50 MWd/kgU kiégésű üzemanyag tömegének 93%-át az urán teszi ki (az oxigén nélkül). A plutónium tömege 1,9%, míg a másodlagos aktinidák tömege kb. 0,1%-ot ér el. A hasadási termékek részaránya 5%-ra becsülhető, ebből 3,9% stabil izotóp.

A kiégett fűtőelemek végleges elhelyezése szempontjából a kiégett üzemanyag tömege, aktivitása, a bomlásokból származó hőtermelés, valamint a biológiai károsító hatást jellemző radiotoxicitás egyaránt lényeges.

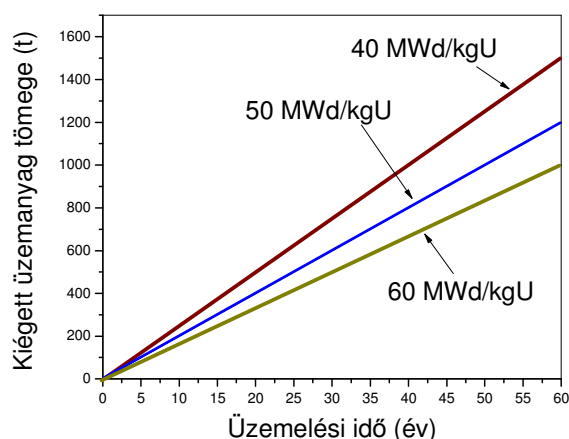
Az atomreaktor teljesítménye és a felhasznált üzemanyag dúsítása alapvetően meghatározza az üzemelés során keletkező kiégett üzemanyag mennyiségét. Általában minél nagyobb teljesítményű egy atomerőművi blokk és minél kisebb az üzemanyag dúsítása, annál több kiégett üzemanyag keletkezik. A kiégés növelésével egy adott reaktornál csökkenthető a kiégett üzemanyag tömege. Egy 1000 MW teljesítményű blokk 60 éves üzemelése során körülbelül 1000-1500 tonna kiégett üzemanyag keletkezik (1. ábra).

Egy 50 MWd/kgU kiégésű üzemanyag átlagos fajlagos aktivitása a reaktor leállásakor 10000 TBq/kg nagyságrendű, ami a pihentetés első tíz évében 10 TBq/kg-ra, azaz ezredrészére csökken. 600 év elteltével a kiégett üzemanyag aktivitása már csak 0,1 TBq/kg nagyságrendű, 100000 év elteltével pedig 0,001 TBq/kg.

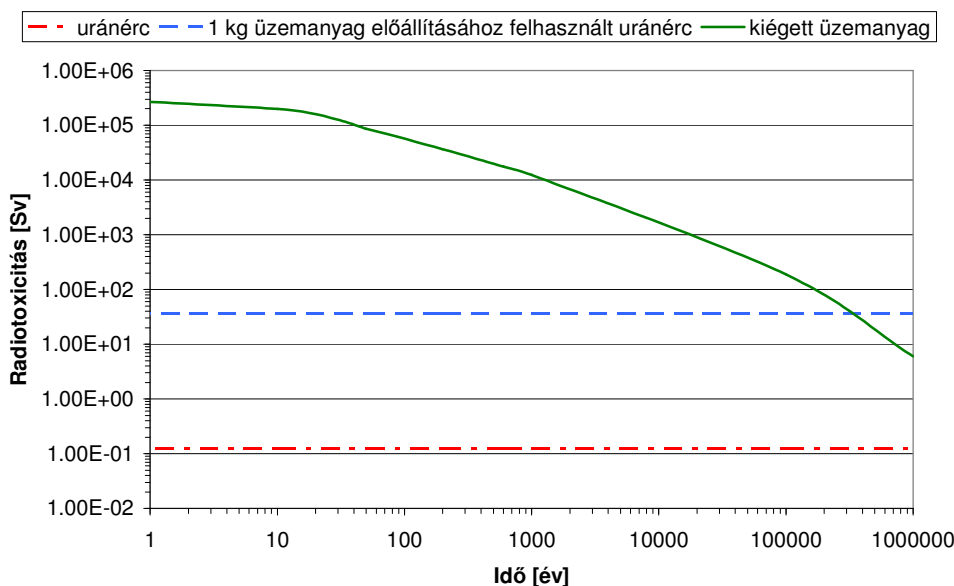
A maradványhő a kiégett fűtőelemekben a tárolás során folyamatosan csökken. Öt év tárolás után a kiégett kazettában fejlődő hőteljesítmény mindössze tízezred része annak a teljesítménynek, amelyet a kazetta a reaktorban normál üzemelés során termelt és ötszázad része annak a maradvány-

hőnek, amely a kazettában közvetlenül a reaktor leállása után felszabadul. A végleges elhelyezésnek fontos feltétele, hogy a maradványhő elvitele a földalatti tárolóban is megoldott legyen – ehhez több évtizedes átmeneti tárolás szükséges.

Egy 50 MWd/kgU kiégésű fűtőelem fajlagos radiotoxicitása 10^6 Sv/kg nagyságrendű a reaktor leállásakor. Ahhoz, hogy ez az érték ezredrészére csökkenjen, 1000 évnek kell eltelnie. A kiégett üzemanyag radiotoxicitása sokkal lassabban csökken, mint az aktivitása. Ennek elsősorban az az oka, hogy főleg hosszabb felezési idejű izotópoknak van nagy dóziskonverziós tényezője – azaz potenciálisan nagyobb egészségkárosító hatása. A plutónium és a másodlagos aktinidák radiotoxicitása már 50 év után meghaladja a hasadási termékekét; százezer év elteltével pedig elenyésző a hasadási termékek radiotoxicitása, miközben aktivitásuk még mindig jóval több, mint az aktinidák aktivitása összesen.



1. ábra: Egy 1000 MW elektromos teljesítményű blokkból származó kiégett üzemanyag mennyisége különböző kiégések esetén



2. ábra: 1 kg 50 MWd/kgU kiegészű üzemanyag radiotoxicitása az idő függvényében, valamint 1 kg uránércre, ill. 1 kg 4%-os dúsítású üzemanyag előállításához felhasznált uránércre vonatkozó radiotoxicitás értékek

A kiégett üzemanyag potenciális egészségkárosító hatását a természetes uránérc vagy a fűtőelem gyártásához felhasznált urán radiotoxicitásához szokták hasonlítani. Az uránérc radiotoxicitását elsősorban nem a két természetes uránizotóp (^{235}U és ^{238}U) adja, hanem azok bomlástermékei. Az előzőekben említett 50 MWd/kgU kiegészű üzemanyag radiotoxicitása kb. 350000 év alatt éri el az 1 kg üzemanyag gyártásához szükséges urán mennyiségére vonatkozó radiotoxicitást (2. ábra).

A kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezésére vonatkozó tervek

Napjainkban egyetértés van a szakemberek között abban, hogy a nagy radioaktivitású, hosszú felezési idejű nukleáris hulladékok biztonságos, hosszú időn át tartó elhelyezése csak megfelelően kialakított, stabil mélygeológiai formációban történhet [1]. Jelenleg számos országban aktívan foglalkoznak hosszú távú radioaktív hulladékkezelési programmal, egyik országnak sincs azonban még üzemelő, megfelelően kialakított végleges lerakója a kiégett atomerőművi üzemanyag számára [2].

Az Amerikai Egyesült Államok állt a legközelebb egy olyan mélygeológiai lerakó megvalósításhoz, ahol kiégett fűtőelemeket helyeztek volna el. A Yucca-hegységben tervezett lerakóba szállították volna el az amerikai erőművekben keletkező összes kiégett üzemanyagot. 2002-ben a kormány hivatalosan elfogadta a terveket és a kongresszus is jóváhagyta a stratégiai döntést. 2009-ben jelentős fordulat történt, mivel az új amerikai kormány állásfoglalása szerint a tároló felépítése és üzemeltetése nem a legmegfelelőbb, követendő hulladékkezelési stratégia az USA számára [3]. Emiatt az építkezést teljes egészében felfüggesztették, ameddig nem körvonalazódik egy jobb hulladékkezelési irányelv. Az USA-ban létesült az eddigi egyetlen olyan mélygeológiai lerakó, ahol nagyon hosszú felezési idejű radioaktív hulladékot is elhelyeztek már. A Carlsbad település (Új Mexikó) közelében, 610 méterrel a föld alatt található sóágyban létrehozott lerakóba 2001. óta szállítanak a fegyverkezési programból

visszamaradt, transzurán tartalmú hulladékokat. A telepet 2035. és 2039. között fogják lezárni [4].

Finnország mélygeológiai lerakót fog létesíteni az Olkiluoto közelében lévő kristályos alapkőzetben. 2001-ben a finn parlament ratifikálta a döntést, majd 3 évvel később, 2004-ben megkezdték Olkiluoto geológiai kutatását. A tervezett többgátas (földtani gátak, bányaműszaki gátak, műszaki gátak) mélygeológiai hulladéktároló aknák a talajfelszín alatt 400-500 m mélyen lesznek és egymással vágatokon keresztül lesznek összeköttetésben [5]. A kazettákat vas és réz ötvözetekből készült tárolókonténerekbe helyezik, majd az egyes konténerek közvetlen környezetében lévő teret vízmegkötő közzettel – agyaggal – töltik fel. A jelenlegi tervek szerint Finnországnak 2020. körül esélye lehet arra, hogy mélygeológiai lerakót működtessen a kiégett üzemanyag végleges elhelyezésére.

Svédországban több éven keresztül aktív kutatómunka folyt egy megfelelő földtani adottságokkal bíró terület felkutatására, ahol a közeljövőben végleges lerakó épülhet. Az elképzelések szerint a legjobb megoldás egy többgátas hulladéktároló építése lenne, hasonlóan a finn példához. A jelenlegi elképzelések szerint 2023-ban már kiégett üzemanyagot fog fogadni a Forsmarkban létesülő lerakó.

Svájc 2005-ig feldolgoztatta az atomerőművek kiégett üzemanyagát Franciaországban és az Egyesült Királyságban. Mélygeológiai lerakó létesítésére először egy vízerőmű építése során keletkezett gránit alagútban végeztek kutatásokat (Grimsel Test Site). A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy ez a helyszín nem alkalmas a kiégett üzemanyag végleges lerakására. Jelenleg újabb kutatások folynak az ország északi részén (Mt. Terri), ahol – az előzetes ismeretek szerint a lerakásra alkalmas – kemény agyagkő közzettest található. A tervekben 2050-es üzembe helyezés szerepel.

Németországban 1990-ben leállították a fűtőelemek újrafeldolgozását, majd 15 évvel később, 2005-ben felfüggesztették a reprocessálásra szánt kiégett kötegek Franciaországba és Angliába szállítását is. Az 1980-as évek közepén elkezdték

vizsgálni a Gorleben kősképződményt, mint potenciális mélygeológiai lerakót. A Gorlebent moratórium alá vont területként kezelik 2000 óta, a terület jövőbeni hasznosításáról ezidáig még nem döntöttek.

Franciaország elkötelezett híve a reprocessálásnak. A francia nukleáris hatóság szerint az újrafeldolgozásból visszamaradó hosszú felezési idejű, nagy aktivitású hulladékok elhelyezését mélygeológiai lerakókban kell megoldani. A lerakók kialakításának koncepciója a visszafordíthatóság elvén alapul. A tervek szerint a hulladék-elhelyezési folyamatot bármikor meg kell tudni szakítani, hogy ezután a hulladékok hozzáférhetőek, visszanyerhetőek legyenek újbóli felhasználásra. Franciaország elképzelései szerint az országban 2020-ig biztosan nem fog üzemelni állandó lerakó nagy radioaktivitású hulladékok számára.

Belgium az erőműveiből származó kiegészítő fűtőelemeket Franciaországba küldte reprocessálásra. 1993-ban 5 évre szóló moratórium alá vonták a reprocessálást, majd ezt 1998-ban határozatlan időre meghosszabbították. A Belgium északkeleti részén fekvő üledékes agyag alapú területet (Boom Clay) választották ki, mint lehetséges, a kiegészítő fűtőelem lerakására alkalmas helyszínt. A tervek szerint a nemzeti fűtőelem-tároló létesítmény legkorábban 2035-ben kezdheti meg működését.

Csehország rendelkezik megfelelő geológiai adottságokkal (gránit) és tervezi mélygeológiai lerakó létesítését. A lerakóban a kiegészítő üzemanyag végleges elhelyezését is tervezik. A létesítmény építése még nem kezdődött meg, egyelőre 2065-re tervezik a lerakó megnyitását [6].

Bulgária jelenleg visszaszállítja a kiegészítő VVER üzemanyagot Oroszországba. 2004-ben felsőszintű stratégiai döntés született arról, hogy ki kell dolgozni a kiegészítő üzemanyag vagy az oroszországi feldolgozás után visszakapott nagy aktivitású hulladék végleges elhelyezésének stratégiáját az országon belül. Az előkészítést követően 2012-ben kívánnak dönteni a mélygeológiai lerakó helyszínéről.

Szlovéniában csak egyetlen atomerőművi blokk működik. A kiegészítő üzemanyag mennyisége meglehetősen kevés más országokhoz képest, ezért Szlovénia elsősorban nemzetközi megoldást - azaz külföldön történő elhelyezést - keres. Alternatív lehetőségként számolnak a hazai mélygeológiai lerakó létesítésével is. A kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolója 2070-ig üzemel (ha csak közben nem épül újabb blokk), és az után kell rendelkezniük megoldással a végleges elhelyezésre.

Litvánia természeti adottságai miatt erősen kérdéses, hogy lehet-e a követelményeknek megfelelő mélygeológiai lerakót létesíteni az országon belül. (Hasonló helyzetben van pl. Hollandia is.) Egyelőre száraz tárolókban helyezik el az RBMK-1500 reaktorokból származó kiegészítő üzemanyagot. Az egyik erőművi blokkot 2004-ben a másikat pedig 2009-ben állították le. A kiegészítő üzemanyag végleges sorsáról 2030. után kívánnak dönteni [7].

Ukrajna átmeneti száraz tárolók létesítésébe kezdett a csernobili atomerőmű területén. Az átmeneti tárolást 100 évre tervezik és ennek megfelelően a távoli jövőbe helyezik a döntést, amit jelentősen befolyásolhat az orosz-ukrán kapcsolatok alakulása is.

Oroszország nem hulladékként tekint a kiegészítő fűtőelemekre, hanem készletként kezeli és számításba veszi azok újrahhasznosítását. A kiegészítő fűtőelemek egy részét reprocessálják, másik részét pedig megfelelő tárolókban

helyezik el. Az újrafeldolgozási hulladékot majd mélygeológiai lerakóban fogják elhelyezni, de jelenleg még nincs konkrét időponthoz kötve a létesítés, és a helyszínt sem választották ki.

Kanada az összes kiegészítő fűtőelemet nukleáris hulladéknak tekinti. A jelenlegi tervek szerint a kiegészítő üzemanyag elhelyezése és a környezettől való elszigetelése a kristályos alapkőzetű Canadian Shieldben vagy más üledékes kőzetformációban történhet, megközelítően 500-1000 m mélységben a talajfelszín alatt. A lerakó csak 2034. után kezd meg fogadni a kiegészítő üzemanyagot.

Japán hivatalosan a jövőben a kiegészítő fűtőelemeket saját maga fogja reprocessálni, tehermentesítve ezzel Angliát és Franciaországot, ahol a közelmúltig a Japánból származó kiegészítő kazettákat (is) feldolgozták. Mélygeológiai tárolóban vitrifikált radioaktív anyagok elhelyezését tervezik. 2008. és 2012. között több lehetséges terület vonnak alapos vizsgálat alá, majd 2023. és 2027. között a legalkalmasabbnak tűnő terület geológiai és egyéb kutatásait végzik el. A tervek szerint 2025-ben kezdik az építkezést és várhatóan 2033. és 2037. között nyitja meg kapuit a létesítmény.

Regionális lerakók

A mélygeológiai lerakók létesítése nagyon komoly pénzügyi ráfordítást igényel. Az amerikai példa is mutatta, hogy egy nagy ország is elsősorban központi lerakó létesítését tartotta célravezetőnek, több helyi lerakó megépítése helyett. Ennek valószínűleg egyik fő oka az, hogy több kisebb lerakó létesítése jóval többbe kerülne, mint egy nagyméretű közös telephely kialakítása. Számos olyan ország van, ahol a keletkező hulladék mennyisége olyan kevés, hogy nem érdemes végleges tárolót létesíteni (pl. Szlovénia), illetve több országban (Pl. Litvánia, Hollandia) a természeti adottságok nem teszik lehetővé a végleges tárolónak megfelelő telephely kiválasztását. Természetes igényként merült fel, hogy több ország hozzon létre közös mélygeológiai lerakót egy régióon belül.

A NAÜ a hetvenes évek közepén megvizsgálta olyan regionális nukleáris fűtőelem központok létrehozásának lehetőségét, ahol kiegészítő üzemanyag végleges elhelyezésére és/vagy feldolgozására kerülhet sor. A regionális központ előnyei között szerepelt a hasadóanyagok könnyebb nyilvántartása is [8]. Az utóbbi évtizedekben számos konkrét javaslat merült fel nemzetközi tárolók létesítésére. A kínaiak a Gobi-sivatagban akartak fogadni külföldi eredetű radioaktív hulladékot, de felmerültek - elsősorban geológiai szempontból - potenciális helyszínek Ausztráliában, a Marshall-szigeteken, Kazahsztánban, Argentínában és Dél-Afrikában is [9]. A közös tároló létesítésében részt vevő országokban mérlegelni kell a közös tároló megépítésének előnyeit és hátrányait annak megfelelően, hogy az adott ország befogadja a többi országból származó radioaktív hulladékot vagy továbbküldi a saját hulladékát egy másik országban létesített lerakóba.

Az elmúlt években EU szintű kezdeményezéseket fogalmazott meg a SAPIERR Project (Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories). A projekt vizsgálatának eredményei szerint a kis országok közös radioaktív hulladék lerakójának jelentős gazdasági előnyei lennének, mivel milliárd eurós nagyságrendű megtakarítást jelentene a részt vevő országoknak. A lerakót létesítő ország számára pedig komoly bevételt is jelenthet, ha

befogadja más országok kiégett üzemanyagát. A projekt szerint a mélygeológiai lerakó létesítése gazdasági és műszaki-tudományos központ kialakítását is jelenti az adott országban [10]. Ugyanakkor számolni kell azzal is, hogy egy regionális lerakó létesítésének elfogadtatása a közvéleménnyel komoly problémát jelenthet a befogadó országban.

A mélygeológiai lerakókkal szemben támasztott követelmények

A mélygeológiai lerakók természetes és műszaki gátjait úgy kell megválasztani, hogy a lezárás utáni biztonságot többszörös korlátok biztosítsák. Ezért az elhelyezésre vonatkozó koncepciókban több védelmi gát is szerepel, amelyek együtt garantálják a radioaktív hulladékok elszigetelését a bioszférától, melyek

- megfelelő tároló konténerek használata,
- hézagkitöltő anyagok alkalmazása és
- a lerakó geológiai jellemzői.

Tároló konténerek

A tároló konténerekkel kapcsolatban megfogalmazott követelmények meglehetősen különbözőek az egyes országokban. A finn, kanadai és svéd konténerektől azt várják, hogy akár százezer vagy egymillió évig is megőrizzék épségüket, azaz megakadályozzák a radionuklidok kikerülését a fűtőelemekből. A Yucca-hegység konténerei több mint tízezer évig, míg a tervezett koreai és spanyol egységek csak ezer évig kell, hogy hermetikusan lezártak maradjanak a tervek szerint. Angol és cseh elemzésekben mindössze 300-1000 év között számolnak azzal, hogy a konténerből nem jutnak ki radioaktív anyagok.

Ennek megfelelően az egyes országokban a mélygeológiai lerakókhoz különböző típusú tároló konténereket terveznek. Finnországban és Svédországban réz és acél komponensekből álló konténerekben fogják elhelyezni a kiégett kazettákat. Az amerikai Yucca-hegység tároló tokjainak belseje rozsdamentes acélból készül, amit kívülről nikkal alapú ötvözetből gyártott borítás zár le. Kanadában a szénacél belső szerkezeteket rézből készült külső szigeteléssel látják majd el. Számos országban (pl. Korea, Franciaország, Spanyolország, Svájc) rozsdamentes vagy szénacél tárolóeszközökkel számolnak [11].

Hézagkitöltés

A hézagkitöltő anyagot úgy kell kiválasztani, hogy alacsony permeabilitással (víz- átteresztő képességgel) rendelkezzen, a radionuklidokat minél jobban megkösse, illetve azok diffúziója minél lassúbb legyen benne, és jó szűrő tulajdonságokkal rendelkezzen (pl. a kolloidok tekintetében). A hézagkitöltő anyagok többsége a behelyezés után tovább duzzad, amikor víz éri, és ez a duzzadás betömi a konténer és a vájat fala közötti kisebb méretű hézagokat is. Előnyös, ha a hézagkitöltő nem akadályozza – pl. korróziós folyamatok során – a fejlődő gázok távozását. Fontos az is, hogy a hézagkitöltő és a konténer anyaga ne lépjen egymással hosszú távon se kémiai reakcióba. A konténer és az azt körülvevő töltőanyag kompatibilitását a tervezés során külön vizsgálni kell, hogy a legmegfelelőbb anyagpárokat alkalmazzák [12]. A hézagkitöltéshez betont, bentonitot, agyagot, homokot, illetve ezek keverékét kívánják

alkalmazni, amihez fel lehet használni a vájatok eredeti – a létesítés során kitermelt – anyagát is. A Yucca-hegység lerakóban nem akartak hézagkitöltést alkalmazni, mert azzal számoltak, hogy az ott elhelyezett kiégett üzemanyag még 100 évig visszanyerhető legyen. Az alapközettől történő szigetelést ebben az esetben a vájatokat belülről borító titán burkolattal garantálják.

A lerakó geológiai jellemzői

Mélygeológiai lerakó létesítésére olyan helyszínek jöhetnek szóba, ahol egy – a lerakóhoz szükséges méretű – homogén kőzettest található. A kőzet minőségével kapcsolatban fontos követelmény az alacsony permeabilitás és a repedések hiánya. A helyszín értékeléséhez ismerni kell a kőzettest környezetének geológiai szerkezetét és anyagait is, valamint a talajvízáramlások irányát és nagyságát. A svéd és finn példák alapján elsősorban gránit tömböket szoktak alkalmasnak tartani mélygeológiai lerakó létesítésére. A valóságban sok egyéb geológiai lehetőség is felmerült már. A Yucca-hegység anyaga vulkanikus tufa. Belgiumban agyagot, Franciaországban és Svájcban agyagkővet, míg Németországban kősót találtak alkalmasnak a mélygeológiai lerakó létesítésére. Az USA-ban már üzemelő carlsbadi lerakóban ugyancsak kősóba ágyazzák be a hosszú felezési idejű radioaktív hulladékot. Agyagkőből álló kőzettest esetén a konténerrel szemben kevésbé szigorú feltételeket lehet támasztani, mivel az agyagban sokkal lassabban mozognak a radionuklidok, mint például a gránitban.

Aktivitás-kikerülés

A kiégett üzemanyag végleges elhelyezésének ez a módja nem azt tűzi ki célul, hogy a hulladékot örök időkre tökéletesen megtartsa és izolálja. Fel kell tételni, hogy a tároló konténerek csak bizonyos ideig (konstrukciótól függően több száz vagy több ezer évig) őrzik meg épségüket, azután pedig megkezdődik a radionuklidok migrációja. A talajvízbe kerülő mennyiséget a konténer körülvevő hézagkitöltő anyag minősége, valamint a geológiai rétegekre jellemző porozitás, diffúziósebességek és geometriai méretek határozzák meg. A konténerből kijutó aktivitás transzportjának részletes modellezésével meghatározható a lerakó környezetében lakó emberek várható dózisterhelése is.

A lerakó integritását veszélyeztető események

A mélygeológiai tároló létesítésének legfőbb célja a lezárást követően a humán egészség és a környezet hosszú távú megóvása. A hosszú idejű tárolás alatt a természetes folyamatok a radionuklidok migrációját korlátozó mesterséges és természetes korlátok lassú tönkremenetelét okozzák, ami a bioszférába való kijutáshoz is vezethet. A kikerülés további mechanizmusa lehet valamilyen egyedi esemény is. Egy nemrég publikált OECD tanulmányban [13] részletesen foglalkoztak azokkal az eseményekkel, amelyek jelentősen megváltoztathatják a kőzetek – a mélygeológiai lerakó tervezésekor feltételezett – szigetelő és visszatartó tulajdonságait. Az egyedi események között szerepelt a földrengés, a tektonikus lemezek elmozdulása a lerakónál, a talajvíz szintjének változása és a lerakó elárasztása vízzel, valamint a klímaváltozásból származtatható potenciális geológiai és hidrológiai hatások. Más kutatásokban számolnak a meteor becsapódás vagy a közeli gleccserek megolvadásának következményeivel is.

A lerakó hőmérséklete

A mélygeológiai lerakó tervezésekor törekedni kell arra, hogy a kiégett üzemanyag hőmérséklete minél alacsonyabb legyen, mivel magas hőmérsékleten számos kedvezőtlen folyamat felgyorsul (pl. a konténer épségének elvesztéséhez vezető korrózió vagy a radionuklidok migrációját felgyorsító diffúzió). Általában 100 °C-os maximum hőmérsékletet szoktak figyelembe venni a konténer környezetében. Az amerikai követelmények szerint a fűtélemek burkolatának hőmérséklete nem érheti el a 350 °C-ot [11].

Összefoglaló

A mélygeológia lerakók többsége még nagyon távol van az üzembe helyezésről. A jelenlegi elképzelések szerint az első lerakó 2020-ban kezdi el fogadni a kiégett üzemanyagot Finnországban. Svédországban 2023-ra tervezik hasonló létesítmény megnyitását. Franciaországban olyan lerakó létesítését tervezik 2025-re, amelyik nem kiégett üzemanyagot, hanem az újrafeldolgozás során keletkező nagy aktivitású hulladékot fogadja majd be. Sok más országban is foglalkoznak mélygeológiai lerakó létesítésével, de azok indítására még a legjobb esetben is több évtizedet kell várni.

A kiégett üzemanyag mélygeológiai lerakásának megítélését jelentősen befolyásolhatja az új amerikai elnök döntése, amellyel 2009. elején gyakorlatilag megszüntette a Yucca-hegységben épülő lerakó költségvetését. Obama döntését azzal indokolta, hogy a kiválasztott helyszín nem megfelelő a nagy aktivitású hulladék végleges elhelyezésére, mert az esővíz és a talajvizek képesek kimosni a bioszférába a

radioaktív izotópokat, továbbá a Yucca-hegységben számolni kell a földrengések lehetséges következményeivel is. Az elnök szerint a központi lerakóba történő szállítás is komoly veszélyforrást jelent. A döntésnek nyilvánvalóan voltak politikai okai is. A hivatalos amerikai álláspont szerint a jövőben új megoldásokat kell keresni a kiégett üzemanyag kezelésére.

A külföldi tapasztalatok alapján jól látszik, hogy egy mélygeológiai lerakó létesítése nagyon komoly műszaki problémák megoldását igényli. Annak ellenére, hogy a mélygeológiai lerakók létesítése megoldható napjaink műszaki színvonalán, a külföldi példák nagyon eltérőek és jelzik, hogy nincsenek univerzális megoldások, minden országban a helyi viszonyoknak megfelelő lerakó létesítését kell célul kitűzni. Alapvető kérdés a megfelelő helyszín kiválasztása, amelynek alkalmasságát a helyszín közelében – mélyen a föld alatt – létesített laboratórium mérései alapján lehet bizonyítani. A helyszín ismeretében választhatóak ki a természetes gátakat kiegészítő mesterséges gátak (konténerek, hézagkitöltő anyagok) műszaki megoldásai. A létesítmény tervezésekor részletesen modellezni kell a lerakóban végbemenő folyamatokat, különös tekintettel a radioaktív izotópok teljes transzportjára a kiégett üzemanyagtól – a műszaki és természetes gátakon keresztül – az emberi környezetig.

Köszönetnyilvánítás

A kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezéséről készített áttekintés az Országos Atomenergia Hivatal támogatásával jött létre az OAH/NBI-ABA-13/09 számú szerződés keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Ormai Péter, Dr. Hegyháti József: Merre tart az Európai Unió a nukleáris hulladékok kezelése területén? *Nukleon*, 2009. január II. évf. 28.
- [2] Kenneth A. Rogers: Fire in the hole: A review of national spent nuclear fuel disposal policy, *Progress in Nuclear Energy* 51 (2009) 281–289
- [3] *Washington Post*: Mountain of Trouble, Mr. Obama defunds the nuclear repository at Yucca Mountain. Now what?, *Sunday*, March 8, 2009.
- [4] Alton D. Harris, Roger A. Nelson, Roxanne Fournier Stone: Deep Geologic Disposal of Transuranic Waste at the Waste Isolation Pilot Plant, *Proceedings of Global 2009 Paris, France, September 6-11, 2009, Paper 9313*
- [5] Jukka Laaksonen: Regulatory aspects of radioactive waste disposal - Finnish approach *International Conference on Radioactive Waste Disposal*, 15-17 October 2007, Berne
- [6] František Pazdera: Existing Concept of spent fuel and radwaste management in Czech Republic, and alternative thinking in nuclear renaissance era, *IAEA RER/3/008 - Regional meeting on national strategies concerning nuclear fuel cycle and high level radioactive waste (HLRW)* 18-19 March 2009, Budapest, Hungary
- [7] Ona Beinoravičiūtė: HLRW and SNF Management Status in the Updated Radioactive Waste Management Strategy of Lithuania, *IAEA RER/3/008 - Regional meeting on national strategies concerning nuclear fuel cycle and high level radioactive waste (HLRW)* 18-19 March 2009, Budapest, Hungary
- [8] C. McCombie, N. Chapman: Nuclear Fuel Centres – and Old and New Idea, *2004 Annual Symposium of the World Nuclear Association*, London, 8-10 September, 2004
- [9] *Developing multinational radioactive waste repositories: Infrastructural framework and scenarios of cooperation*, IAEA-TECDOC-1413, October 2004
- [10] Verhoef, E., McCombie, C., Chapman, N.: Shared, regional repositories: developing a practical implementation strategy. *Euradwaste '08 Seventh European Commission Conference on the Management and Disposal of Radioactive Waste*, Luxembourg, 20-23 October 2008
- [11] *Engineering Barrier Systems (EBS) in the Safety Case: Design Confirmation and Demonstration*, Workshop Proceedings, Tokyo, 12-15 September, 2006, OECD NEA6257 (2007)
- [12] D.G. Bennett, R. Gens: Overview of European concepts for high-level waste and spent fuel disposal with special reference waste container corrosion, *Journal of Nuclear Materials* 379 (2008) 1–8
- [13] **Radioactive Waste Management: Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste Application to Crystalline Rock** OECD Publishing, 31 Mar 2009, OECD Code: 662009031P1