

Aktivitás-kikerülés a fűtőelemekből mélygeológiai tárolóban

A FIRST-Nuclides projekt

Slonszki Emese, Hózer Zoltán, Szabó Péter

MTA Energiatudományi Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2222

A FIRST-Nuclides projekt célja a nagykiégésű fűtőelemek mélygeológiai tárolása során egy esetleges tároló konténer sérülését követően a talajvízbe mosódó, biztonsági szempontból fontos radionuklidok gyors/instant kikerülésének teljes körű megismerése. Különösen fontos a jelenleg még kevésbé ismert jód, klór, szén és szelén vizsgálata. A projekt első 18 hónapos időszaka alatt jelentős eredmények születtek a kísérletekhez felhasználandó kiégett fűtőelemek, a kísérleti körülmények és a beoldódáshoz szükséges idő tekintetében is. Az MTA EK magyar résztvevő célja meghatározni a mélygeológiai tárolóban elhelyezett VVER-440 fűtőelemekre jellemző oldódási sebességeket számos izotóp esetében (pl. ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{95}Nb , $^{239,240}\text{Np}$, ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr).

Bevezetés

Az EURATOM FP7 FIRST-Nuclides az Európai Unió 7. kutatási keretprogramjának "A biztonság szempontjából fontos radionuklidok kiégett nukleáris fűtőelemekből történő gyors/instant kikerülése" alcímet viselő együttműködési projektje, mely 2012. január 1-jén kezdődött és 3 évig tart [1][2].

Az európai nukleáris hulladékkezelés egyik kulcskérdése a nagykiégésű fűtőelemek mélygeológiai tárolóban történő elhelyezhetősége. A FIRST-Nuclides projektben végzett munkában azt tanulmányozzuk, hogyan viselkednének a nagykiégésű urán-dioxid fűtőelemek mélygeológiai tárolás során. Annak ellenére, hogy több európai projektben is foglalkoztak már az elsősorban biztonsági szempontból fontos radionuklidok kiégett fűtőelemekből történő gyors/instant kikerülésének vizsgálatával [3] [4], számos fontos kérdés továbbra is nyitott maradt, így például a jód, klór, szén és szelén jelenleg még kevésbé ismert „instant kikerülési frakció (IRF)” értéke, aminek megismerése, meghatározása, valamint a kérdéskör lefedése ennek a projektnek a célja.

A projekt törekvései

Kiégett fűtőelemek mélygeológiai tárolása során egy a fűtőelemeket tároló konténer esetleges sérülését követheti a fűtőelemek burkolatának megsérülése, amelynek következtében a radionuklidok a talajvízbe kerülnek. Ennek oka, hogy kikerüléskor az első frakció gázalmazállapotú radionuklidjai nagymértékben oldódnak a talajvízben. E gyorsan kikerült radionuklidok mennyisége arányos a hibás konténerben tárolt és megsérült kiégett fűtőelem(ek) tömegével és saját eloszlásukkal a fűtőelem-pálca szabad térfogatában (plénium), a burkolat és a tabletták közötti résben, a szemcsék határfelületén és az UO_2 szemcsékben. A gáz és a könnyen

oldható nuklidok kikerülési mechanizmusának megértése, valamint mennyiségi meghatározásuk eredményeként lehetővé válik a gyors/instant kikerülés teljes körű megismerése.

Az EURATOM 3. keretprogramja óta számos projekt vizsgálta a radionuklidok sérült fűtőelemből történő kikerülését. Míg a legtöbb publikált adat 45 MWd/kg_{HM} kiégés alatti fűtőelem gyors/instant kikerülési frakcióira, illetve az üzemanyag-mátrix beoldódására vonatkozik, e projekt kísérleteiben ennél nagyobb kiégésű (≤ 60 MWd/kg_{HM} átlagos kiégésű) fűtőelem mintákat vizsgálnak. Mivel a 6. keretprogramban az NF-Pro [3] és a MICADO projektek [4] főként a kiégett üzemanyag-mátrix beoldódásával kapcsolatban a relatíve lassú kikerülésekre összpontosítottak a radionuklidok kiégett fűtőelemekből történő gyors/instant kikerülésével kapcsolatban, mélygeológiai tárolás körülményei között, e projektek befejeztével még számos kérdés nyitva maradt. Ezek megválaszolására, jobb megértésére törekszik e projekt [5]. Mindemellett meg kell jegyezni, hogy Johnson és társai közelmúltban (2012) publikált cikke [6] új adatokat nyújt a ^{137}Cs és a ^{129}I izotóp 50-75 MWd/kgU fűtőelemekből való rövid idejű kikerülésére, továbbá megismerhetjük belőle az általuk kifejlesztett ^{79}Se izotóp kilúgozó oldatból való kimutatására szolgáló módszert.

Az IRF különösen fontos része a biztonsági elemzéseknek, lévén hogy néhány kikerült radionuklid, mint a projektben is vizsgált ^{129}I , ^{135}Cs , ^{36}Cl , ^{79}Se , ^{14}C , valamint a ^{99}Tc felezési ideje igen hosszú (akár 10^3 - 10^7 év), továbbá geokémiailag mozgékonyak, vagyis adott környezeti feltételek mellett mozgásra képesek. Ezen izotópok vizes közeggel érintkezve néhány hét/hónap során kerülnek ki a sérült fűtőelemből. [6][7][8][9][10]

A FIRST-Nuclides projekt eredményeként várható a nagykiégésű fűtőelemek hasadási gáz kibocsátás (FGR)

eloszlásának alaposabb megértése, mellyel realizistikusabb képet kaphatnánk az FGR és a különféle hasadási termékek kikerülése közötti összefüggésről. E projektben az eddig még kevésbé feltárt, nem gázalmazállapotú ^{129}I , ^{79}Se és ^{135}Cs izotópok vizsgálatára fektetnek nagy hangsúlyt. A MICADO projektben nem találtak konkrét összefüggést LWR (könnyűvízes reaktor) fűtőelemnél az FGR és a jódkikerülés között, ezért e projektben célul tűzték ki a kísérleti FGR és a ^{129}I , ^{14}C és ^{36}Cl IRF értékei közötti kapcsolatok feltárását. E munka hozamaként modellezve lennének a szemcsehatár-felületek hosszú idejű visszatartató folyamatai, melyekhez azonban meg kell határozni a vizsgált elemek kémiai alakját (a ^{14}C izotóp a legkevésbé tisztázott). Mindezek mellett információt kapnánk a nagykiégésű fűtőelemre jellemző IRF mennyiségéről is.

Résztevők

A projekt résztvevői három csoportba tartoznak [1][5]. Az elsőt finanszírozott keretek között számos ország 10 intézetének munkatársai dolgoznak, a második tagjai információcsereként vesznek részt a projektben, míg a harmadik csoport hat ország hatóságainak képviselőiben biztosítja, hogy a végfelhasználói érdekek tükröződjenek a projektben, továbbá áttekinti a projekt munkát és a tudományos eredményeket.

A FIRST-Nuclides projekt munkaterve

Ez a projekt 6 munkacsomagból áll, melyek feladatai, elvégzendő munkái az alábbiakban foglalhatók össze [1][2][5][11][12].

Anyagminták kiválasztása és preparációja

Az első munkacsomag a vizsgálandó erősen radioaktív kiégett fűtőelem minták kiválasztásával, jellemzésével és előkészítésével, valamint az e minták kezeléséhez szükséges eszközök beállításával és szállításával foglalkozik. A projekt egyik alapvető követelménye, hogy a résztvevők tipikus és kellően jól jellemzett kiégett fűtőelemet használjanak mind a kísérletekhez, mind a modellezéshez. Ezért a résztvevők egyetértettek abban, hogy kísérleteikhez azonos összetételű különböző szert használnak és kísérleteiket légköri körülmények között végzik. Ezáltal pedig összehasonlíthatóak a különböző laboratóriumok által kapott eredmények. A vonatkozó vizsgálatok irodalmi áttekintését követően a vizsgálandó mintákat a kiégés és a besugárzási jellemzők, mint kulcsparaméterek alapján választották ki, majd ezeket előkészítették a második és a harmadik csoportban elvégzendő feladatokhoz.

Mivel az IRF függ a kiégett fűtőelemek főbb jellemzőitől, vagyis a gyártási folyamatától, a kiégéstől, a hőmérséklet-történetétől, a rámpa folyamatoktól és a tárolási időtől, összegyűjtötték számos nagykiégésű fűtőelem pálcá jellemző adatait, beleértve az adott nukleáris reaktor típusát és elektromos teljesítményét, a fűtőelem kazetta típusát, a fűtőelem gyártási információit és a fűtőelem eltávolításának időpontját. A burkolatot az összetételével, átmérőjével, falvastagságával és a kezdeti radiális résméretével jellemezték, míg a tablettát a kezdeti dúsítással, geometriájával, szemcseméretével, sűrűségével és gyártási folyamatának sajátosságaival. A besugárzási történet magába foglalja a kiégést, a besugárzási időt, a kampányok számát, valamint a maximum és az átlagos lineáris hőteljesítményt. Olyan

mintákat igyekeztek választani, melyek paraméterei összevethetőek az Európában ártalmatlanítandó nagykiégésű fűtőelemekkel, ezzel biztosítva azt, hogy a mintákból származó eredmények a továbbiakban biztonsági elemzésekhez legyenek használhatóak.

Az 1. táblázat mutatja az összes, a FIRST-Nuclides projektben végzendő vizsgálatokhoz kiválasztott fűtőelem minta főbb paramétereinek összefoglalását.

1. táblázat A kiválasztott fűtőelem minták főbb paramétereinek [5][11]

	PWR	BWR	VHTR	VVER
A fűtőelem eltávolításának ideje	1989-2008	2005-2008	2005	2003, 2009
Dúsítás (%)	3,80-4,94	3,30-4,25	16,8	2,4-3,82
Kiégés (MWd/kg _{HM})	50,4-70,2	48,3-57,5	~107	10,8-26,7
Kampányok száma	2-14	5-7	10	16-22
Átlagos lineáris hőteljesítmény (W/cm)	186-330	160	-	130

Ebben a munkacsomagban az MTA EK feladata a projektben a saját számításainkhoz használandó VVER fűtőelem pálcák gyártási és üzemelési adatainak, valamint izotópleltárának összegyűjtése.

Gázkibocsátás és szemcsehatár-menti diffúzió meghatározás

A második munkacsomag két fő részből áll. Egyrészt a hasadási gáz kibocsátás kísérleti meghatározásával foglalkozik, azaz a nagykiégésű UO₂ fűtőelem szabad térfogatában levő hasadási gáz mennyiségét becsüli meg, másrészt az oxigén diffúziót vizsgálja a kiégett UO₂ fűtőelemen. A diffúziós hatások hozzájárulnak a szemcsehatár-menti behatoló víz mennyiségének meghatározásához, és később a korróziós/diffúziós jelenségekhez. Ezekben a vizsgálatokban 5 intézet működik együtt: KIT, JRC-ITU, JÜLICH, STUDEVIK és CNRS (SUBATECH).

Oldódásból származó kibocsátás

A harmadik munkacsomag a radionuklidok gyors kikerülésének mennyiségét igyekszik meghatározni kiégett fűtőelem minták kilúgozásával. A kísérleteket különböző átlagos kiégésű fűtőelemekkel végzik a résztvevők, így használnak 45-70 MWd/kg_{HM} PWR, 50-60 MWd/kg_{HM} BWR és 63 MWd/kg_{HM} MOX fűtőelemet.

A gyors kikerülésre hajlamos radionuklidok a fűtőelem különböző részeiben különülnek el, így pl. a tableta és a burkolat közötti résben, tableta törmelékekben, szemcsehatár-felületeken vagy a burkolatban. Ennél fogva a beoldódási kísérletekben várható kikerülés függ magától a fűtőelem mintától. A legrészletesebb információt úgy kaphatjuk, ha kilúgozzuk a már említett fűtőelem részeket. Ezért a kísérleteket különféle mintafajtákkal végzik el: fűtőelem darab, azaz a fűtőelem pálcá tetejéről levágott 2,5 cm hosszú üzemanyag-tabletta darab burkolat; üzemanyag-tabletta törmelék és a tőle eltávolított burkolat, porított üzemanyag-tabletta. Ezen felül lesznek olyan üzemanyag-

tabletta minták, melyek a tabletták közepéből származnak és olyanok is, melyek a széléről.

A kilúgozást többnyire oxidáló körülmények között, a talajvizet szimulálva 19 mM NaCl + 1 mM NaHCO₃ oldatban végzik, egy laboratórium használ redukáló környezetet. A kísérletek során a minták kilúgozó oldatban eltöltött ideje változó. Lesznek minták, amelyeket 10-60 nap után fognak eltávolítani az oldatból, míg az utolsó minta 12 hónapig lesz a kilúgozó oldatban. Az oldódási folyamat vizsgálata során először gyors beoldódás várható, majd az oldódási sebesség stabilizálódik. A mérési időtartamokat úgy választják meg, hogy lehetőleg elérjék az állandósult állapotot. A különböző ideig tartó kilúgozásokkal lehetőség nyílik olyan modellek fejlesztésére, amelyek előrejelzik a radionuklidok időbeni mobilizációját az üzemanyag pálca, illetve az üzemanyag szintjén azon időtartam alatt, amíg a tároló hibás. A nagy-kiegészű UO₂ üzemanyagból való radionuklid kikerülés időfüggésének ismerete pedig szükséges a biztonsági elemzéseknél.

A kísérleteket a résztvevők a saját felszereléseikkel végzik, nincs meghatározott kísérleti berendezés, és az alkalmazott eljárás laboronként változik.

A radiokémiai elemzések kiterjednek a Cs és I izotópokra, mivel éppen ezen izotópok gyors kikerülésének alaposabb megismerése a projekt fő célja. Különös figyelmet fordítanak a ⁷⁹Se és ¹⁴C izotópokra, mivel ezek kikerülése és speciációja jelenleg kevésbé ismert.

MTA EK részvétel

Az ellenőrzött laboratóriumi körülmények között elvégzett beoldódási kísérletek kiegészítéseként az MTA EK sérült és szivárgó fűtőelemekből határoz meg beoldódási sebességeket különböző radioaktív izotópokra (pl. ¹⁴¹Ce, ¹⁴⁴Ce, ²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁵⁴Eu, ¹⁵⁵Eu, ⁹⁵Nb, ^{239,240}Np, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ⁹⁵Zr), valamint az uránra. A munka során az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. hozzájárulásával olyan adatokat használunk fel, amelyeket az erőműben keletkezett sérült és szivárgó fűtőelemek nedves tárolása során gyűjtöttek össze (itt kell megjegyezni, hogy a projektben nagyobb hangsúlyt kapó izotópokról, mint a ¹²⁹I, ¹³⁵Cs, ³⁶Cl, ⁷⁹Se, ¹⁴C nem áll rendelkezésünkre mért adat).

Az első esetben a 2003-ban az üzemzavar következtében megsérült 30 darab VVER-440 típusú fűtőelemből való beoldódást vizsgáljuk. Az üzemzavar után közel 4 évig a pihentető medence melletti aknában tárolták ezeket a kazettákat. A közvetlenül vízzel érintkező fűtőelemekből származó aktivitás-kikerülés a hűtőközeg aktivitáskoncentráció méréséből becsülhető a technológiai paraméterek ismeretében. Jelen projektben a mért adatok kritikai értékelése után olyan feldolgozást fogunk végrehajtani, amelynek eredményeként előállnak a számításokban is használható, VVER-440 fűtőelemekre jellemző oldódási sebességek.

A második esetben a 2009-ben az erőműben detektált szivárgó fűtőelemből való beoldódást vizsgáljuk. A mért aktivitás-koncentráció adatok alapján ebben az esetben is becsülhető a fűtőelemekből kikerülő aktivitás.

A projekt keretében a kikerülési sebességeket úgy fogjuk meghatározni, hogy a mélygeológiai tároló számítására használandó modellekbe könnyen beépíthetőek legyenek a forrástág megadásához. Az általunk szolgáltatott adatok

tekintetében azonban érdemes megjegyezni, hogy a pihentető medence vizében jelentős bórsav tartalom mellett jellemző a fűtőelemekből történő kikerülést, ezért a mélygeológiai tárolók vizében várható kikerüléshez képest konzervatív felső becslésnek lehet tekinteni őket. Az MTA EK adatait a többi résztvevő mért adataival együtt fogják felhasználni a modellek fejlesztésére, ezért lényeges szempont az is, hogy a mérési adatok lehetőleg széles paramétertartományokat fedjenek le. A magas bórsav koncentrációhoz tartozó alacsony pH érték nem jellemző mélygeológiai viszonyokra, de a rendelkezésre álló adatsor fontos lehet a modellek kifejlesztéséhez.

Hasadási termékek migrációjának modellezése

A negyedik munkacsoport feladata a hasadási termékek kezdeti speciációjának meghatározása LWR fűtőelemben és a hasadási termékek migrációjának/visszatartásának többléptékű modellezése a kiégett fűtőelemben és a burkolatban. Céljuk továbbá a fűtőelemekből történő hasadási gázok teljes kikerülésének becslése. Ezekon felül egy félempirikus modellt fognak fejleszteni a hasadási termék vízből résbe, szemcséhatárfelületre és szemcsékbe történő kikerülésének előrejelzésére.

A vizsgálatok kiterjednek hasadási gázokra, illékony (¹²⁹I, ¹³⁷Cs, ¹³⁵Cs, ³⁶Cl, ⁷⁹Se, ¹²⁶Sn/MOX üzemanyag esetén) és nem illékony izotópokra, elemekre (¹⁴C, ⁹⁹Tc, ¹⁰⁷Pd, Sr).

Tudásátadás, jelentéskészítés, oktatás

Az ötödik munkacsoport egyik fontos feladata, hogy a projekt folyamán megszerzett ismereteket különböző formákban átadja az arra fogékony közönségnek. Egyik alternatívaként publikációs lehetőségeik és kötelezettségeik vannak, míg egy másik lehetőségként különböző oktatásokat szerveznek a projekt keretei között, a projektben résztvevő intézet dolgozóinak. A kutatási eredmények hasznosításaként a résztvevők oktatási segédanyagokat, jelentéseket, tanulmányokat készítenek a jövő fűtőelem specialistái számára. A projekt honlapján [1] pedig részletesen informálják az érdeklődőket a projektről.

MTA EK részvétele képzésben

A projekt kereteiben folyó oktatási tevékenység egyik jó példája, hogy az MTA EK egyik munkatársa 2013 júliusában két hetet tölthetett a Karlsruhe-i Technológiai Intézet nukleáris hulladékokkal kapcsolatos kutatásokat végző intézetében, mely idő alatt részt vehetett egy kétnapos, a kiégett üzemanyagokkal kapcsolatos képzésen is. A két hét alatt lehetősége nyílt megismerni az intézetben lévő (kisaktivitású) melegkamra sort, továbbá az ott folyó tevékenységeket és berendezéseket [13].

Projektmenedzsment

A hatodik munkacsoport látja el a projekttel kapcsolatos adminisztratív feladatokat, tartja a kapcsolatot a résztvevőkkel, végzi a résztvevők finanszírozását. Lévéni, hogy e projekt az Európai Unióhoz tartozik, feljűk jelentéssírási kötelezettségűnk van, melynek kivitelezése szintén e csoport feladata.

Az első év eredményei

Mivel ez a beszámoló csupán a FIRST-Nuclides első évéről szól, amit további két másik projekt időszak követ összesen

1,5 év terjedelemben, jelenleg csupán a várható eredmények egy kis része áll rendelkezésünkre.

Az első évben a projekttel kapcsolatos munka számos résztvevő esetében a témában publikált cikkek áttekintésével és feldolgozásával indult. Ennek eredményeképpen megállapodtak a beoldódási kísérletekben alkalmazandó mintákról és előkészítésükről, a kilúgozáshoz használt oldat összetételéről, az alkalmazandó kísérleti körülményekről, melyeket a korábbi fejezetekben ismertettük. A továbbiakban néhány résztvevő eddigi munkáját mutatjuk be főbb vonalaiban [5][12].

Kísérleti és modellezési eredmények

A JRC-ITU munkatársai hasadási gáz kibocsátást vizsgáltak egy, a KIT-től származó 50,4 MWd/kg_{HM} kiégésű fűtőelem pálca egy darabjával. Ezt a fűtőelem pálca darabot kilyukasztották a plénumjánál és összegyűjtötték a belső gázokat egy, az egyik végén zárt, rozsdamentes acél, miniatűr mintatartó hengerbe, továbbá meghatározták a nyomást. (Kezdetben a plénum 4,2 ml héliummal volt töltve 2,15 ± 0,11 MPa nyomásnál. Kilyukasztás után a mért nyomás 3,72 MPa volt.) A hengert átszállították a KIT nukleáris hulladékokkal kapcsolatos kutatásokat végző intézetébe és a gázokat elemezték kvadrupól tömegspektrométerrel. A mért adatokból pedig hasadási gáz kibocsátás értékeket számítottak (7,03% kripton és 8,48% xenon).

A JÜLICH munkatársai saját nagykiégésű (107 MWd/kg_{HM}) TRISO fűtőelemüket használják a projekthez, választásukat pedig annak teljes körű mikrostrukturális elemzésével támasztották alá.

A CNRS munkatársainak célja a szilárd/oldott határfelületen végbemenő korróziós mechanizmusok megértése, melyhez besugározatlan UO₂ fűtőelem szemcsehatármenti radiolízises korrózióját vizsgálják, és figyelembe veszik a besugárzás korróziós mechanizmusokra gyakorolt hatását is.

A STUDSVIK munkatársai a JRC-ITU-val megegyező módszerrel, ám 6 nagykiégésű fűtőelem minta esetében vizsgálják a hasadási gáz kikerülést. Ezen felül a I, Xe és Cs radiális eloszlását tanulmányozzák egy új lézervágó berendezés segítségével. Figyelembe véve a fűtőelem keresztmetszetének kör alakú geometriáját, az átlagos fűtőelem tartalom megkapható az adatokból. Az eredményeket felhasználva mintánként vizsgálják, hogy van-e bármilyen összefüggés a hasadási gázok kibocsátása és az instant kikerülés között.

Az MTA EK ez időszak alatt összeállította a projekt keretében használandó VVER fűtőelemek jellemző adatait mind a sérült fűtőelemek, mind pedig a szivárgó fűtőelem esetére, így a gyártási adatokat, az üzemelési paramétereket és az izotópleltárat.

Az AMPHOS21 munkatársai a víznek az üzemanyag-tabletta belső részeibe történő bejutására fejlesztettek egy ígéretes megközelítést geológiai anyagoknál használt modellek alapján.

Összefoglalás

A FIRST-Nuclides egy hároméves együttműködési projekt számos ország között, mely 2014. január 1-én lép a harmadik, és egyben utolsó évébe. A projekt célja kiégett fűtőelemek mélygeológiai tárolása során egy esetleges tároló konténer sérülését követően a talajvízbe mosódó, biztonsági szempontból fontos radionuklidok gyors/instant kikerülésének teljes körű megismerése. Számos izotóp, így például a jód, klór, szén és szelén „instant kikerülési frakció” értékei jelenleg még igen ismeretlenek. Ezek megbecsüléséhez egyrészt meg kell érteni a gáz és a könnyen oldható nuklidok kikerülési mechanizmusát, másrészt meg kell becsülni a kikerült mennyiségüket. A projekt kísérletei hozzájárulnak olyan jelenleg még kevésbé ismert izotópok, mint a ¹²⁹I, ¹³⁵Cs, ³⁶Cl, ⁷⁹Se, ¹⁴C, valamint a ⁹⁹Tc migrációjának és kikerült mennyiségének realiztikus modellezéséhez. Bár jelen projektnek nem feladata a projektből származó adatok biztonsági értékelésben történő felhasználása, mégis a projektből várhatóak input adatként kikerülési/beoldódási sebességek, és migrációs modellek, melyek biztonsági elemzésekhez lesznek használhatóak, hiszen laboratóriumi körülmények között a kilúgozó szerrel a talajvíz összetételét igyekeznek szimulálni, míg az MTA EK eredményei konzervatív felső értéként alkalmazhatóak.

A projekt első 18 hónapos időszaka alatt jelentős eredmények születtek, mind a kísérletekhez felhasználandó kiégett fűtőelemek, mind pedig a kísérleti körülmények tekintetében. Az egyik fontos téma a különböző magas kiégésű fűtőelemek jellemző adatainak összegyűjtése volt, úgy mint a kezdeti dúsítás, kiégés, hőmérséklettörténet, rámpa-folyamatok, tárolási idő valamint a fűtőelem kazetták típusa és gyártási információi. A modellezési tanulmányok alapján megbecsülhető lett az az idő, amely alatt a tablettá felülete az izotópok beoldódásához szükséges mértékben lesz nedves. A résztvevők egyetértettek abban, hogy kísérleti eredményeik összehasonlításához azonos összetételű, a talajvíz összetételét szimuláló kilúgozó szert használnak és kísérleteiket légköri körülmények között végzik.

Az MTA EK munkatársai többféle tevékenységgel is részt vesznek a projektben. A projekt első időszakában összeállítottuk a kiértékelésre kerülő VVER fűtőelemek jellemző adatait, míg a továbbiakban sérült, valamint szivárgó fűtőelemekből kikerülő radioaktív izotópok oldódási sebességét határozzuk meg. Tudományos ismereteink bővítésére betekintést kaptunk a Karlsruhei Technológiai Intézet nukleáris hulladékokkal kapcsolatos kutatásokat végző intézetének munkájába, megmutatták az ottani melegkamra sort, megismertük az ott folyó tevékenységeket és berendezéseket.

Az első 18 hónapos időszak eredményei a FIRST-Nuclides együttműködési projekt kiváló tudományos munkáját vetítik előre a következő időszakra is.

Köszönetnyilvánítás

A FIRST-Nuclides projekt kereteiben végzett kutatások eredményeihez az Európai Unió 7. kutatási keretprogramjának (FP7/2007-2011) 295722 számú támogatási megállapodása vezetett. Az MTA EK FIRST-Nuclides projektben való részvétele a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség EU_BONUS_12-1-2012-0033 azonosítószámán regisztrált támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] A FIRST-Nuclides projekt honlapja: <http://www.firstnuclides.eu> (letöltés: 13.11.21.)
- [2] Community Research and Development Information Service: FIRST-NUCLIDES EU Research Project: http://cordis.europa.eu/projects/rcn/100941_en.html (letöltés: 13.11.21.)
- [3] A. Sneyers: "Understanding and Physical and Numerical Modelling of the Key Processes in the Near Field and their Coupling for Different Host Rocks and Repository Strategies (NF-PRO)", SCK•CEN, Brussels EUR 23730, 2008.
- [4] B. Grambow, J. Bruno, L. Duro, J. Merino, A. Tamayo, C. Martin, G. Pepin, S. Schumacher, O. Smidt, C. Ferry, C. Jegou, J. Quiñones, E. Iglesias, N. R. Villagra, J. M. Nieto, A. Martínez-Esparza, A. Loida, V. Metz, B. Kienzler, G. Bracke, D. Pellegrini, G. Mathieu, V. Wasselin-Trupin, C. Serres, D. Wegen, M. Jonsson, L. Johnson, K. Lemmens, J. Liu, K. Spahiu, E. Ekeroth, I. Casas, J. d. Pablo, C. Watson, P. Robinson, and D. Hodgkinson: "Final Report of the Project MICADO: Model uncertainty for the mechanism of dissolution of spent fuel in nuclear waste repository", 2010.
- [5] B. Kienzler: FIRST-Nuclides: Investigation of Fast/ Instant radionuclide release from high burn-up Spent Nuclear Fuel and its impact on the performance of geological repositories, 8th EC Conference on the Management of Radioactive Waste, Vilnius, Lithuania, 14-16 October 2013: <http://cordis.europa.eu/fp7/euratom-fission/docs/euradwaste13-kienzler.pdf> (letöltés: 13.11.21.)
- [6] L. Johnson, I. Günther-Leopold, J. Kobler Waldis, H.P. Linder, J. Low, D. Cui, E. Ekeroth, K. Spahiu, L.Z. Evins: Rapid aqueous release of fission products from high burn-up LWR fuel: Experimental results and correlations with fission gas release; *Journal of Nuclear Materials* 2012., Vol. 420, pp. 54–62
- [7] L.H. Johnson, J.C. Tait: Release of Segregated Radionuclides from Spent Fuel; SKB Technical Report, 1997., pp. 97-18, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, Sweden
- [8] L. Johnson, C. Poinssot, C. Ferry, P. Lovera: Estimates of the Instant Release Fraction for UO₂ and MOX Fuel at $t = 0$; Nagra Technical Report, NTB 04-08 Nagra, Wettingen, Switzerland, 2004.
- [9] L. Johnson, C. Ferry, C. Poinssot, P. Lovera: Spent fuel radionuclide source-term model for assessing spent fuel performance in geological disposal. Part I: Assessment of the instant release fraction; *Journal of Nuclear Materials*, 2005., Vol. 346, pp. 56–65.
- [10] C. Poinssot, C. Ferry, P. Lovera, C. Jegou, J.-M. Gras: Spent fuel radionuclide source term model for assessing spent fuel performance in geological disposal. Part II: Matrix alteration model and global performance; *Journal of Nuclear Materials*, 2005., Vol. 346 pp. 66–77
- [11] B. Kienzler, A. Loida, E. González-Robles, N. Müller, V. Metz: Fast/Instant Radionuclide Release: Effects of Solution Compositions; Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII, Barcelona, 30 Sept. – 03 Oct. 2013: http://www.firstnuclides.eu/ZonaPublica/MRS_2013_rev2.pdf (letöltés: 13.11.21.)
- [12] B. Kienzler, V. Metz, L. Duro, A. Valls (eds.): 1st Annual Workshop Proceedings of the Collaborative Project „Fast/Instant Release of Safety Relevant Radionuclides from Spent Nuclear Fuel” (7th EC FP CP FIRST-Nuclides); Budapest 09-11 October 2012, KIT Scientific Publishing 2013: <http://www.firstnuclides.eu/ZonaPublica/FIRST-Nuclides-proceedings-978-3-86644-980-0.pdf> (letöltés: 13.11.21.)
- [13] Amphos 21: FIRST-Nuclides News; Newsletter, number 2, October 2013: http://www.firstnuclides.eu/ZonaPublica/Newsletter-publi_v5.pdf (letöltés: 13.11.27.)