

Doktori Értekezés (Ph.D) bírálata

Szerző:

Kocsis Erika

Dolgozat címe:

„Különböző beágyazóanyagok radionuklidok immobilizációját növelő hatásának vizsgálata”

A dolgozat a Pannon Egyetem, Kémiai és Környezettudományok Doktori Iskolában, Dr. Tóth-Bodrogi Edit egyetemi docens témavezetésével készült.

A Pannon Egyetem Mérnöki Kar dékánjának felkérését tisztelettel megköszönve és elfogadva, a dolgozat véleményezését az alábbiak szerint teszem meg.

A jelölt dolgozatában a különféle ipari folyamatok következtében keletkező NORM anyagokat tartalmazó melléktermékek építőiparban, valamint egy, a nukleáris iparban is jelentős szerepet játszó területen, a folyékony radioaktív hulladékok kezelése terén történő felhasználási lehetőségének vizsgálatát tűzte ki kutatásának céljául.

A NORM anyagokkal terhelt területek környékén jelenlévő radionuklidok bekerülhetnek a táplálékláncba és több besugárzási útvonalon keresztül is hozzájárulhatnak a környéken élő lakosság sugárterheléséhez. Az utóbbi évtized nemzetközi sugárvédelmi elveinek figyelembevételével, a természetes eredetű sugárzásból származó dóziszjárulék csökkentése is a mindennapi sugárvédelmi gyakorlat részévé válik, mivel az Európai Unió jogharmonizációval egyetértésben elengedhetetlen feladat a Magyarországon jelentős mennyiségben jelen lévő NORM anyagok (vörösiszap, zagy tározók, salak stb.) hosszú távú kezelése, akár hasznosítása. Ehhez kell megtalálnunk és alkalmaznunk a megfelelő módszereket, így a témaválasztás időszerű.

Fentiek szellemében a jelölt munkájának egyik részeként agyagásványokat, valamint NORM anyagokat tartalmazó ún. geopolimereket állított elő, melyek esetében a radioaktív hulladék elhelyezés során általánosan vizsgált egyik kulcsizotóp, a Cs-137 immobilizációját, megkötődési és kioldódási, migrációs tulajdonságait vizsgálta szabványos módszerrel.

A munka következő része a NORM anyagok építőanyagipari felhasználásának lehetőségének vizsgálatát tartalmazza, ahol kiválasztott anyagkeverékek esetén épült lakóépületben várható személyi dózisok modellezését is elvégezte.

A dolgozat megfelelő stílusú, logikusan tagolt, követhető, a témák bemutatására alkalmas.

Helyesírást, fogalmazást tekintve apróbb elírások, egy-két hiányos mondat található benne. Szerkesztési következetlenség csak néhány van, ami az érthetőségből egyáltalán nem von le, de feltűnhet az olvasónak: pl. jelmagyarázatoknál a mértékegység megadása többnyire szögletes zárójellel történik, de itt-ott hagyományos zárójellel is találni. Ugyanígy két egyenlet

jelmagyarázatánál (2.1.1.1 és 2.1.1.2) a izotóp koncentrációt jelző „c” az egyenletben kis betű, a jelmagyarázatban nagy betű lett. A 2.1.1 egyenlet magyarázatában az abszorbeált energia mértékegysége J helyesen a J/kg helyett.

Az elkészített ábrák szemléletesek, jó minőségűek, az alkalmazott képek is jó helyen és elégséges mennyiségben vannak felhasználva. A szövegbeli tudományos hivatkozások, források megjelölése nem marad el, sőt a szövegen belül mutató hivatkozások (belső linkek hivatkozásokra, ábrákra) is működnek. Látszik, hogy a jelölt minőségi időt fordított a szöveggondozásra. Ez főként annak tükrében jelentős, mert volt szerencsém az előbírálatra szánt szöveget véleményezni és ott a mondatok, a szöveg megfogalmazása nem volt kellően irodalmi minőségű, nem volt olvasmányos. Az akkor javasoltak igen nagy részét a jelölt elfogadta, ez látszik a végeredményen.

A dolgozat felépítése a klasszikus felépítést követi. A „Bevezetés, célkitűzés” részben a jelölt megfogalmazza a céljait és leírja miért foglalkozott a NORM anyagokkal, egyben kijelöli a kutatási irányait: ezen anyagok hasznosítását építőiparban és a radioaktív hulladék kezelésben.

Az „Irodalmi összefoglaló” fejezetben a jelölt az általános háttérismeretekből a speciális referenciák irányába haladva alaposan körbejárja a vonatkozó szakirodalmat, a dolgozat egészében mintegy 113 (túlnyomó többségében friss) szakirodalmi forrást hivatkozva meg. A kötelező radioaktív sugárzások, majd azok hatásainak ismertetése után szó esik a NORM iparágakról, a keletkező NORM anyagok felhasználási lehetőségeiről és hazai jelentőségükről. Utóbbihoz kapcsolódóan megemlíti a 2010-ben hazánkban bekövetkezett vörösiszap katasztrófát, ami drámai módon erősíti azt, hogy ezekkel az ipari mellék-, végtermékekkel komolyan foglalkozni kell. A dolgozatban a jelölt ugyan nem utal rá, de a katasztrófa legalább tíz közvetlen áldozattal járt. Ilyen mértékű ipari eredetű katasztrófára nemigen van példa hazánkban.

Az irodalmi rész következők fejezeteiben a dolgozat másik fő területére koncentrálna a jelölt kitér a radioaktív hulladékok bemutatására is. A dolgozat vegyesen tartalmazza a radioaktív hulladékokra vonatkozó tankönyvi adatokat és hivatkozva meg a magyarországi gyakorlatot. Ennek eredményeként a 4.1 és 4.2 fejezetek egyértelműek (előbbi a nemzetközi radioaktív hulladék kategóriákat, utóbbi a hazai jogszabályozást mutatja be), de a 4.3 fejezet elején egy pár mondatból álló bevezetés pontosítaná az olvasóban, hogy a magyarországi gyakorlat leírását olvashatja. Ettől függetlenül követhető, áttekinthető szövegrész. A jelölt munkájához kapcsolódóan igen lényeges irodalmi fejezetként megjelenik a radionuklidok migrációját leíró rész, ezzel megalapozva a tudományos munka további, gyakorlati fejezeteinek. Zárásként - szintén kötelező jelleggel- radiológiai mérés technikák bemutatását olvashatjuk, s a jelölt itt nagyon helyesen csak azokra a technikákra tér ki, amelyeket a munkája során felhasznál.

A kísérleti rész első felében a NORM anyagok építőipari felhasználási lehetőségeire keres választ a jelölt. Megfelelő szempontok alapján bemutatja a kiválasztott anyagokat, azok anyagösszetételét és radionuklid tartalmát. Az anyagválasztás okairól nem esik szó, de vélhetően az anyagok hozzáférhetősége szabta meg a lehetőségeket. A mintaelőkészítési és mérési protokollok részletes bemutatása mellett szó esik a 2/2022 (IV. 29) OAH rendeletben és

az EU-BSS irányelvben rögzített, az építőanyagok minősítésének meghatározásához szükséges I-index meghatározásról, végezetül a lakótérben tartózkodó személyek sugárterhelés becslésére alkalmazott RESRAD-BUILD szimulációs programról.

A kísérleti rész következő felében a jelölt rátér a radioaktív hulladékok beágyazásának vizsgálati bemutatására, az alkalmazott szabvány részletezésére, a kioldódási vizsgálatok laboratóriumi leírására.

A dolgozat „Eredmények és következtetések” fejezetében a jelölt elsőként a NORM anyagok építőiparban való alkalmazhatóságát mutatja be. A kiválasztott anyagok gamma spektrometriai eredményeinek alapján (Ra-226, Th-232, K-40) jellemzi azokat, meghatározza a már említett I-indexet és bemutatja a radonemanáció és -exhaláció eredményeket is, meghatározza az értékeléshez szükséges rádium ekvivalens értéket. Az eredmények összesítésül levonja a következtetést a vizsgált anyagok építőipari alkalmazhatóságára vonatkozóan, megadja melyek alkalmazhatók radiológiai szempontból korlát nélkül, melyek azok, amelyek bizonyos korlátokkal, kritériumokkal. Bár az értékelés a vizsgálatoknál alkalmazott konkrét anyagokra és eredményekre vonatkozik -melyeket helyesen von le a jelölt- én megjegyezném, hogy a valóságban minden alkalmazásra szánt anyagmennyiség (sarzs) esetében ugyanezen vizsgálatok végrehajtását és azok alapján történő minősítést követően lehet meggyőződni arról, hogy az az adott összetételű anyag milyen kritériumok, korlátok megtartásával alkalmazható csak építőanyagban. Erre is utal a 9.1 fejezetben az a tény, hogy az ICRP 112 ajánlása alapján vizsgálva az anyagokra vonatkozó Ra-226, Th-232 és K-40 aktivitáskoncentráció többszörösen eltér a világlágtól. A jelölt téziszüzetének eredményei között már utal erre, de a dolgozatban is megjelenhetett volna: „Mivel ezen anyagok aktivitáskoncentrációja származási helytől függ, így felhasználás előtt az alapanyagokat minősíteni szükséges.”

Rátérve a RESRAD-BUILD modellezés eredményeire, a jelölt célja az volt, hogy megállapítsa az általa modellezett 12 fajta (11. tábla) különböző összetételű építőanyagból épített szobában a változó falvastagság, szobaméret hatását a bent tartózkodó személy többletdózisát. Az eredmények egyrészt igazolták, hogy az építőanyagokból származó többletdózis mértéke 0,3 m falvastagságig emelkedik, ezt követően az emelkedés mértéke csökken. Másrészt helyesen megfogalmazza azt a következtetést, hogy bár bizonyos szempontok figyelembe vétele mellett (aktivitáskoncentráció, I-index, valamint rádium ekvivalens értékek alapján) sugárvédelmi szempontból egyes modellépítőanyagok alkalmazása kockázatos lehet, de a különböző ipari melléktermékek egy meghatározható maximális mennyiségben alkalmazhatóak építőanyagok gyártása során - amennyiben megfelelő arányban adalékanyagként használják fel őket a hagyományos építőanyagokhoz - anélkül, hogy bármilyen többlet kockázatot jelentsenek az épületben tartózkodók egészsége szempontjából.

A folyékony radioaktív hulladékok geopolimerekbe történő beágyazásának vizsgálata kifejezetten érdekes területet biztosít NORM anyagok hasznosításának. A kísérletsorozatot szépen felépíti agyagásvány – agyagásvány + cement – agyagásvány + NORM anyag (vörösiszap) sorozaton keresztül. Az I. vizsgálatssorozat eredményei agyagásványok és ezek különböző arányú keverékéből előállított próbatestek Cs-137 kioldódási vizsgálatait mutatja be, majd a helyesen levont következtetések mellett a legkedvezőbb CFL értékeket mutató

zeolitot alkalmazza a II. vizsgálatsorozat során, ahol ezt cementtel keverve állít elő különböző összetételű próbatesteket. Az eredményekből itt is helyesen következtet a lezajló folyamatokra, s állapítja meg a zeolitot és cementet 1:1 illetve 2:1 arányban tartalmazó összetétel megfelelőségét. A III. vizsgálatsorozatban a korábban legjobb kioldódási értéket mutató két adalékanyagot, bentonitot és a zeolitot kever vörösiszappal. A kioldódási kísérletek alapján a bentonitot, mint agyagásványt és a vörösiszapot tartalmazó próbatestek cézium ion immobilizációs képessége volt a legalacsonyabb.

A kioldódási folyamatokat a jelölt jól magyarázza és jól alátámasztja az ioncserés folyamatokkal adszorpciós folyamatokkal, az anyagok, próbatestek mikroporotikus tulajdonságaival. Két javaslattal élek: Mindenképpen ajánlom a későbbiekre, hogy kiválasztott összetételű, megfelelő immobilizációs tulajdonságokkal bíró próbatestek esetében a próbatestek keménységvizsgálatát is végezzék el. A kísérletek eredménye előremutató, és kellő támogatás esetén a gyakorlati életbe is átvihető lehet, de ehhez további, a radioaktív hulladék elhelyezésénél alkalmazott egyéb előírás teljesülését is meg kell vizsgálni. Az elkészült beton keménysége is ilyen. Emellett a kioldódási kísérletek megismétlése (párhuzamos vizsgálat) is javasolt. Ez esetben ezeket már elég a „jobb” eredményeket mutató próbatestek esetén elvégezni.

A dolgozat téziseinek megfogalmazása tömör, világos, érthető és eredményekkel alátámasztott.

A jelölt értekezésének alapját képező öt tudományos közlemény valamint kapcsolódó konferenciakiadvány szerzője, társszerzője. Számos egyéb, az értekezéshez nem szorosan kapcsolódó tudományos közlemény, konferenciakiadvány is a nevéhez köthető. Összességében a jelölt publikációs tevékenységéről elmondható, hogy a Kémiai és Környezettudományok Doktori Iskolában a fokozat megszerzéséhez előírt publikációs követelményeket túlmutatóan teljesíti.

A dolgozat tartalmában és formájában is megfelel egy doktori értekezés követelményeinek, **elfogadásra javaslom.**



Dr. Radó Krisztián

Szekszárd, 2023. 11. 12.