

## Válaszok a *Sugárvédelmi betonok komplex radiológiai vizsgálatai* című doktori értekezés bírálói kérdéseire

Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

Témavezetők: Dr. Zagyvai Péter és Dr. Somlai János

### Dr. Kókai Zsófia kérdései:

Kérdés: Az eredmények alapján a betonban megjelenő mely összetevők illetve nyomszennyezők jelenléte okozhat jelentős problémát az aktiváció szempontjából?

Válasz: A kutatás egyik előnye, hogy széles időhorizonton vizsgálta a legfontosabb gamma-sugárzó aktivációs termékeket betonokban. A karbantartó személyzet külső dózisterhelése szempontjából meghatározó, néhány napos hűtés után legnagyobb aktivitású izotópok a  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{187}\text{W}$ ,  $^{140}\text{La}$  és a  $^{153}\text{Sm}$  voltak. A radioaktív hulladékkezelés szempontjából fontos, hosszú felezési idejű izotópok közül a  $^{60}\text{Co}$  és az  $^{152}\text{Eu}$  a legfontosabbak. A felsorolt 6 izotópból 5 nyomszennyezőkből: volfrám, lantán, szamárium, kobalt és eurórium keletkezik. Csak a nátrium, mint anyaelem tekinthető főkomponensnek.

Kérdés: Milyen módszerekkel lehet minimalizálni a jelentős problémát okozó elemek jelenlétét a betonban?

Válasz: Először meg kell határozni, hogy személyi dózisterhelés és/vagy hulladékkezelés szempontjából szeretnénk optimalni a betont. Ezt követően azonosítani kell a probléma szempontjából releváns, kritikus izotópok, és azok anyaelemeinek körét. Végül a betonhoz használni kívánt alapanyagokon (cement, kavics, homok...) célzott elemanalitikai méréseket kell végrehajtani, és a felállított szempontrendszer alapján legjobbnak értékelt alapanyagokat kiválasztani.

A leírt módszertan mellett segítségül lehet hívni a szakirodalmat is. Egyes területekről, bányákról elérhetőek publikus elemösszetétel mérési adatok, ideértve magyar bányákat is. Továbbá elérhetőek olyan publikációk is, melyek a különböző kőzetek elemi összetételével kapcsolatos információkat gyűjtenek össze; ezek is szolgálhatnak kiindulási pontként.

Kérdés: Mit terveznek az ESS-ben a radioaktív hulladékká vált betonnal?

Válasz: Az Európai Neutronkutató Központban (European Spallation Source – ESS) a várakozások szerint felületükön szennyezett betonok, illetve mélységükben felaktiválódott betonok is fognak keletkezni a létesítményben használt szerkezeti- és sugárvédelmi betonokból. A keletkezett betonok 3 kategóriába: közepes aktivitású hulladék, kis aktivitású hulladék és felszabadítható hulladék fognak esni. A hulladékokat alapvetően gamma-spektroszkópiával és felületi dózisteljesítmény méréssel fogják osztályokba sorolni. A nehezen mérhető izotópok esetében izotóp vektorokat terveznek felállítani, illetve kiegészítő alfa- és béta-spektroszkópiai méréseket is fognak végezni indokolt esetben. A beton hulladékokat az osztályuknak megfelelően fogják lerakásra előkészíteni, majd hulladéktárolókba helyezni. A hulladékok kezelésében és lerakásában az SKB svéd radioaktív hulladékkezeléssel foglalkozó vállalat fog közreműködni. Az első betonhulladék csomag végleges tárolóba helyezése legkorábban 2067-től várható.

Dr. Csurgai József kérdései:

Kérdés: A dolgozat 2. fejezet 10. ábrán található neutron energiaspektrumok magyarázatánál a termikus energiáknál a 25 meV-nál található helyi maximumot említi, ami valóban szignifikáns, azonban 50 meV energiánál egy még nagyobb (30-40 %-kal) helyi maximum van. A kisebb (25 meV) csúcs a szobahőmérséklet miatt fontosabb, vagy esetleg ezt más megfontolásból ítélte fontosabbnak? Ezen kívül mivel magyarázza a termikus csatorna és a sugárvédelmi beton esetében a normált spektrumok 0,14 keV és 300 keV intervallumban történő kísérteties együtt futását?

Válasz: A 25 meV-es csúcst a szobahőmérséklet miatt emeltem ki, mivel a beton mélyebb rétegei felé haladva egyre inkább efelé tolódik a neutronok energiája. Míg a Gyors csatornában a 42-50 meV közötti energiatartományban 45%-kal több a neutron, mint a 20-30 meV közötti energiatartományban, addig ez az érték rendre 35, illetve 33%-ra csökken a Termikus csatornában és a sugárvédelmi beton felső rétegében a bemutatott ábrán. Erre érdemes lett volna felhívni a figyelmet a dolgozatban is.

A görbék együtt futására a válasz az, hogy a reaktortartály körüli sugárvédelmi betont érő neutronok spektrumát még a reaktortartályban kialakult energiaviszonyok határozza meg. Az acél tartály térfogatában nem szóródnak számottevően a neutronok, és kiemelkedő

neutronbefogás sem figyelhető meg egyetlen energiatartomány szeletben ('energiabin'-ben) sem. A spektrumokon sokat 'simít', hogy az MCNP eredményekből kiábrázolt spektrumokon energiatartományokra átlagolt adatok jelennek meg, nem folytonos spektrumok.

Kérdés: A kidolgozott szimulációs eljárásnak milyen továbbfejlesztési lehetőségeit látja a jelölt és tervezi-e további nukleáris létesítmények szimulációjával és méréseivel finomítani?

Válasz: Az eljárást olyan esetekre érdemes alkalmazni, fejleszteni, ahol jelentős neutronter áll elő, és az egyenletes eloszlású a neutronforrás körül. Ez tipikusan reaktoroknál fordul elő. A kutatás következő lépéseként érdemes lenne kutatóreaktorokban megismételni a modellezést, és a vizsgált reaktorra jellemző, felparaméterezett modelleket létrehozni, és mért adatokkal validálni. Második lépésben az eredményeket energiatermelő reaktorokra lenne érdemes skálázni, illetve megpróbálni elmozdulni egy minél általánosabban használható modell irányába.

Mint az a dolgozatban is bemutatásra került, a modellezés folytatásának elsődleges akadálya az elérhető mérési adatok szűkössége. Emiatt először egy átfogó, betonok felaktiválódását vizsgáló mérési kampányt kellene végrehajtani legalább egy (kutató)reaktor körül. Erre jelenleg nincs lehetőségem.

Lund, Svédország, 2024. 06. 12.



Hajdú Dávid