

ATOMERŐMŰVI KIÉGETT FŰTŐELEMENK BIZTOSÍTÉKI CÉLÚ KARAKTERIZÁLÁSA IN-SITU GAMMA-SPEKTROMETRIÁVAL

PhD értekezés összefoglalója

KIRCHKNOPF PÉTER

A HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont Sugárbiztonsági Laboratóriuma már két évtizede vizsgálja a Paksi Atomerőmű Zrt. kiégett fűtőelemeit. A kiégett fűtőelemek gamma-spektrometriai méréseinek indíttatása a kazetták kiégési szintjének ellenőrzése volt, ami alapján felmérhető az erőmű operátornak kiégés-számítási bizonytalansága. A doktori értekezésem célkitűzése a gamma-spektrometriai mérésekre alapozott paraméterszámítás megvalósítása a VVER-440 típusú reaktorok kiégett fűtőelemeire. A meghatározandó paraméterek a kiégett üzemanyag kiégése, hűlési ideje, kezdeti dúsítása, fennmaradó hasadóanyag tömege és a mérhető hasadási termék magok aktivitásai. A kutatásom motivációi közül elsődleges a nukleáris biztosítéki ellenőrzési módszerek továbbfejlesztése, de fontos szempontot képeztek a nukleáris törvényszéki analitikai célú vizsgálatok is. A munkám szintén fontos motivációja a mérések eredeti céljához kapcsolódik, ami az Atomerőmű kiégés-számítási pontosságának ismeretét követő kiégési mérnöki faktor csökkentése. Az alkalmazott módszerek között szerepel a gamma-spektrometriai mérés és kiértékelés, a nem-lineáris regresszió, a gépi tanulással végzett paraméterszámítás és a Monte-Carlo részecsketranszport szimuláció.

Az elért eredményeimet négy tézispontban foglaltam össze, az alábbi sorokban a legfontosabb eredményeket ismertetem. Hatványfüggvény alakú illesztések alapján megmutattam, hogy az üzemanyag kiégési szintjének meghatározása a $^{134}\text{Cs}^2/(^{106}\text{Ru}^{137}\text{Cs})$ aktivitásarányával számolva közel 5-ször kisebb hibát eredményez, mint a $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ aránnyal végzett számolás. A $^{134}\text{Cs}^2/(^{106}\text{Ru}^{137}\text{Cs})$ aktivitásarány 9 év hűlési ideig kimutatható és a hűlési idő ismerete nélkül is eredményesen használható. A hűlési idő meghatározásánál a legfeljebb 5 év pihentetésű fűtőelemeknél az $^{110\text{m}}\text{Ag}/^{134}\text{Cs}$ aktivitásarányával számolva értem el a legkisebb hibát, hosszabb pihentetés esetén pedig a $^{134}\text{Cs}/^{154}\text{Eu}$ aktivitásarány adott megbízható eredményt. A fél évnél rövidebb ideje hűlő kiégett üzemanyagokban a hűlési idő rövidegét a ^{136}Cs , ^{140}Ba és ^{156}Eu izotópok jelenléte indikálja. A gépi tanulási algoritmusok használatával a kiégés számítását kis mértékben, a hűlési idő számítását pedig jelentősen pontosítani tudtam. Több gépi tanulási modellel, köztük mesterséges neurális hálókkal a kezdeti dúsítás és a maradék ^{239}Pu koncentráció számítása is sikeresnek bizonyult. Konvolúciós neurális hálót alkalmazva megvalósítottam a gamma-spektrum kiértékelését nélkülöző közvetlen paraméterszámítást. Monte-Carlo szimulációval elvégeztem a kiégett fűtőelem mérésekre vonatkozó abszolút detektálási hatásfok-kalibrációt. A szimulációs modell megalkotásához röntgenradiográfiát alkalmaztam és a germánium detektor holtréteg vastagságát is meghatároztam. A Monte-Carlo számítás eredményeit a mért relatív hatásfok-görbékkel és más VVER-440 reaktorok fűtőelemeinek adatai alapján validáltam.