

Primerköri korróziótermék-transzport és -felaktiválódás fizikai-kémiai modellje

Dr. Horváth L. Gábor

Villamosenergiaipari Kutatóintézet Zrt.

1016 Budapest Gellérthegy u. 17., tel.: +36 1 457 8246, +36 1 457 8253

A primerköri rozsdamentes acél (ausztenites) felületek korróziója bármennyire is kicsiny, a korróziótermékek felaktiválódása miatt mégis a leállási dózisos jelentős részét okozza, valamint kedvezőtlen esetben üzemeltetési problémát is jelenthet, ha a fűtőelemeken korróziótermék lerakódás alakul ki. Modelleztük a korróziótermékek keletkezését és a primerkörön belüli transzportját a korróziótermék vas primerkörön belüli és kívüli oldhatóságának változása alapján magnetit figyelembevételével. A modellezés eszköze a fejlesztett RADTRAN kód volt. A számított főbb korróziótermék források a következők voltak: a primerköri felületek általános korróziója, az oldhatóság ciklikus változása a hőhordozó útja mentén az aktív zónából a gőzfejlesztőbe és vissza, az 1. víztisztítóban és a gáztalanítóban, valamint az átrakáskor adódó oldhatóságváltozás.

A számított korróziós aktivitásokat a primerköri fővezetéken mért ill. mintázott felületi aktivitás adatokkal verifikáltuk. A további részletes elemzések választ adhatnak a lerakódások domináns forrására, a korróziós szempontból kritikus üzemi állapotok – és így a lerakódások – jövőbeli elkerülésére.

Bevezetés

Az atomerőművi személyzet sugárdózisáért elsősorban a felaktiválódott korróziótermékek felelősek (főként a ^{60}Co és a ^{58}Co). Az elmúlt 20 évben a VEIKI kiterjedt vizsgálatokat folytatott a felaktiválódott korróziótermékek fővízköri terjedésével kapcsolatban. A folyamat főbb fizikai mechanizmusait vizsgáltuk, valamint néhány fontosabb tényező (nagyhőmérsékletű szűrés, pH, stb.) hatását elemeztük. Sikertült kimutatni a hőhordozó pH-ja, valamint a felületi aktivitások közötti összefüggést erőművi adatok felhasználásával.

Ilyen fontos következtetés volt például, hogy a primerköri korróziótermék-oldhatóság hőmérséklet-gradiensének az üzemi hőmérséklet tartományban pozitívnak kell lennie, ill. hogy létezik olyan optimális primerköri nagy hőmérsékletű pH tartomány, amelynél a kampányvégi korróziótermék aktivitások – és így a személyzet dózisos is – minimálisak.

A felaktiválódás mikro- és makroméretű korróziós anyagtranszportok mellett is létezik, amelyek mechanizmusa azonos. Az utóbbi már az áramlási viszonyokra is hatással lehet. Az elmúlt évek során a mikro-méret mellett a makroméret is megjelent, amely szoros kapcsolatba hozható a 2003. évi súlyos üzemzavarral.

Célul tűztük ki tehát a felaktiválódást kiváltó korróziótermék vándorlási folyamatok anyag forrásainak vizsgálatát. A vizsgált korróziótermék források az alábbiak voltak.

- a primerkör általános egyenletes korróziója,
- korróziótermék (Fe) ciklikus változása a primerköri közeg keringési útján,
- a segédrendszerek (1. víztisztító, gáztalanító, kondenzátum és bórsav tartályok),
- dekontaminálások utáni fokozott korrózió.

A számítástechnika és az elemzési módszerek fejlődésével lehetővé vált a vízüzem komplex elemzése. Ennek első lépése a fenti forrásokat is tartalmazó modellek tesztelése, majd a modellek jóságának bizonyítása után következtetések levonása a javítási lehetőségek tekintetében.

Vizsgálni kívánjuk az egyes források hozzájárulását a korróziótermék kijutás és primerkörbe jutás mennyiségének, valamint a folyamatok (üzemmódok) tekintetében. A korábbi években a témában jelentős együttműködés folyt más VVER-440 típusú reaktorokat üzemeltető országokkal és számos fejlesztést valósítottunk meg. A fejlesztések jelenleg a RADTRAN 2008 programban testesülnek meg.

Korróziótermék transzport fizikai-kémiai modellje

Inaktív korróziótermék-vándorlás a primerkörön belül

A folyamatot két részre lehet osztani a korróziós részecskék és a valódi oldott anyag viselkedése tekintetében. A korróziós kihordást az acél felületekről alapvetően részecskék (szokásosan 0,45 mikrométer felett) formájában feltételezzük, és erre szuperponálódik az oldott anyag körforgása. Feltételezzük, hogy a folyadék a felületeken a határreteg (lamináris alréteg) alján áll, így elég idő van arra, hogy az adott vegyi és hőmérsékleti körülmények között termodinamikai egyensúly- más szóval korróziótermék oldhatóságnak megfelelő koncentráció - alakuljon ki. Oldhatóság alatt a vas magnetitvel egyensúlyban lévő koncentrációját értjük. A többi nuklid (Co, Cr, Mn) egyensúlyi koncentrációját a vasból számítjuk az alapfémekben lévő arányok felhasználásával.

- Az oldott anyag vándorlását tehát a felület és a folyadék közötti koncentráció különbség határozza meg.
- A diszperz fázis (korróziós részecskék) mozgását a folyadék áramlásának a dinamikus erői befolyásolják, tehát a felületre lerakódnak, illetve az áramlási erőzói letépi őket onnan.

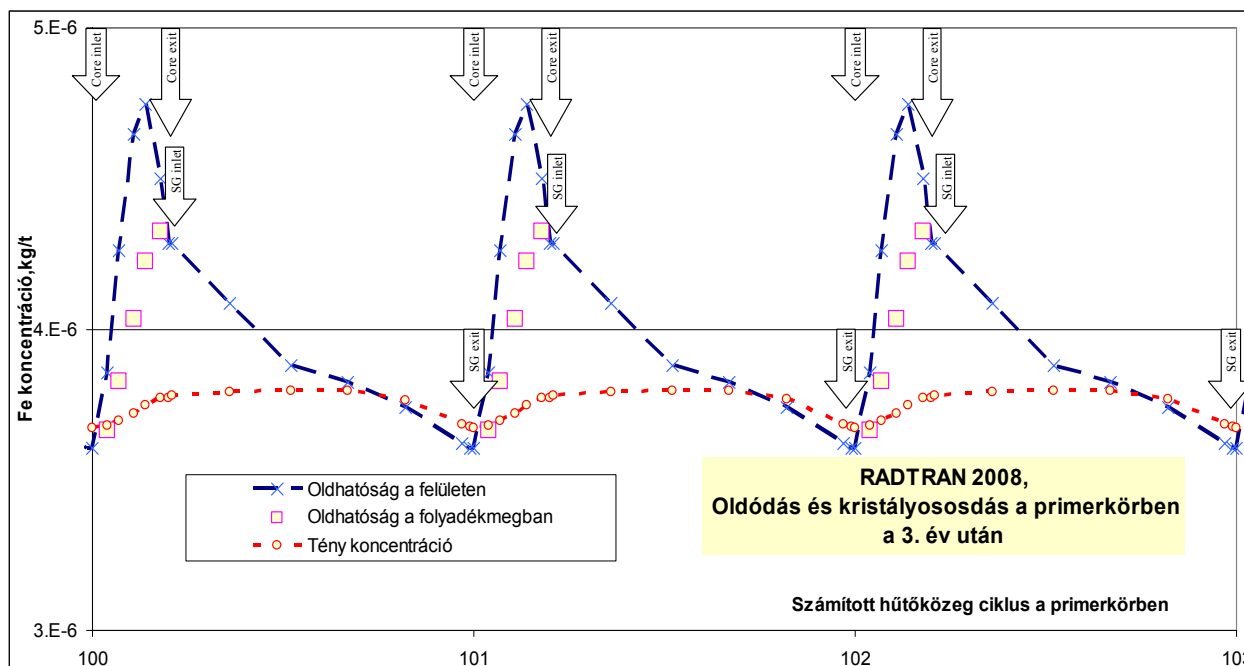
A fentiek hatására kialakul egy inaktív nuklidciklus az Aktív zóna - Melegág - GF - Hidegág - Aktív zóna útvonalon, amelyet a hűtőközeg kb. 17 s alatt bejár. Ezt az eloszlást a primerkörben egy időlépésen belül (itt kb. 1 nap) állandónak tekintjük.

- Nagy pH esetén, amit olyan állapotként definiálunk, amikor a korróziótermék oldhatóság hőmérséklet-gradiense pozitív, az aktív zónában a felületről leoldódnak a korróziótermékek, a gőzfejlesztőben pedig kristályosodnak.
- Kis pH esetén, amikor a korróziótermék oldhatóság hőmérséklet gradiense negatív, a gőzfejlesztőben a felületről leoldódnak a korróziótermékek, és az aktív zónában pedig kristályosodnak.

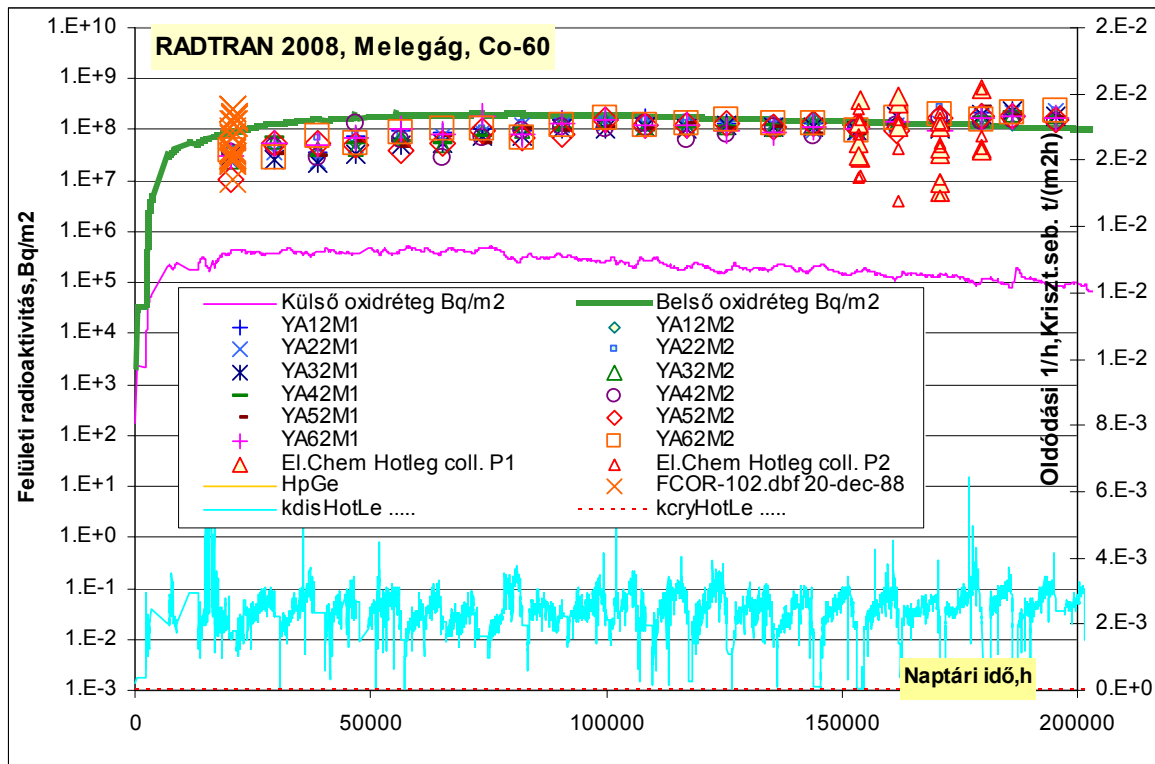
Nagy pH esetén kialakuló tipikus eloszlást az 1. ábra szemlélteti. Látszik, hogy az aktív zónában oldódás áll fenn, ami a gőzfejlesztőbe (GF) belépés után a GF elején még tart, majd a GF kilépésnél már a felületre való kristályosodás dominál.

Aktív korróziótermék vándorlás a primerkörön belül

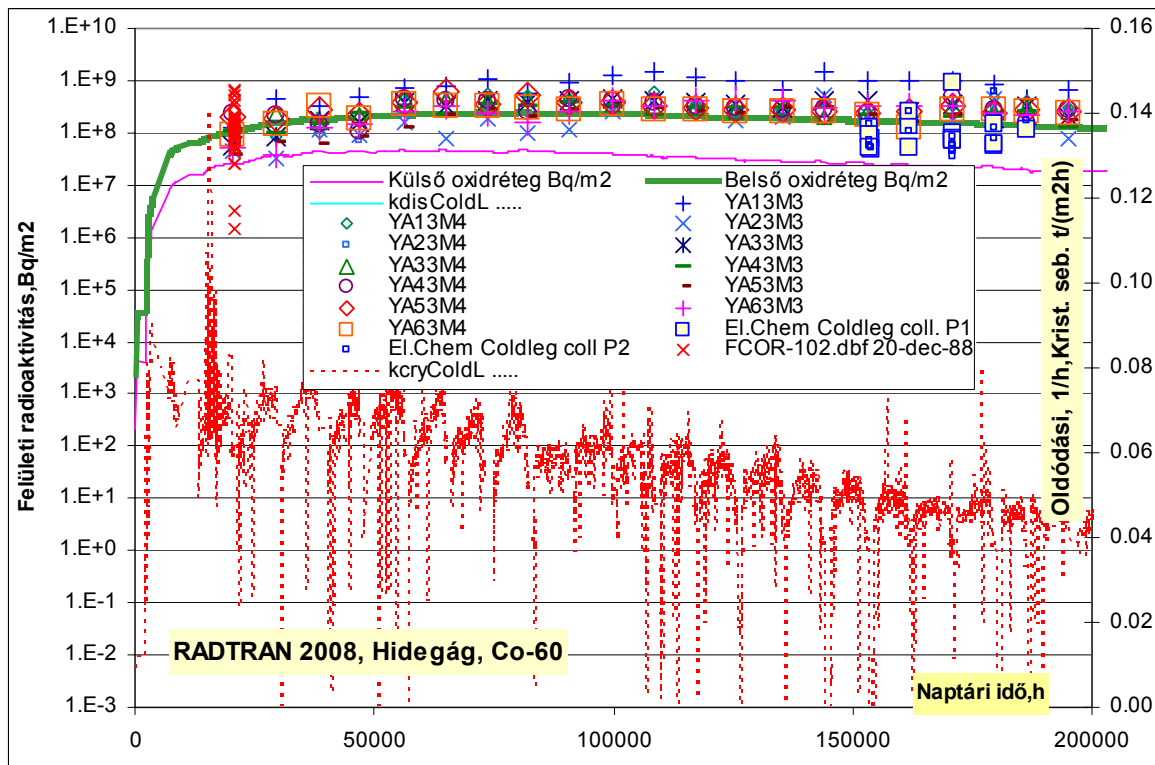
Az aktív nuklidok vándorlása a fenti inaktív transzportba épül bele. Bár a zónán keresztül a folyadékban átszökő inaktív nuklidok is aktiválódnak a neutron sugárzás hatására, mégis a domináns hatást a fűtőelem burkolaton és a kazetta falakon kirakódó diszperz fázis (részecskék) felaktiválódása és leoldódása jelenti. Ez az oldott anyag azután beépül a zónán kívül az acél felületeken lassan növekvő oxidrétegbe. Van még hozzájárulása persze a fűtőelem felületről az áramlás által letépett aktivitást tartalmazó részecskéknek is, amelyek lerakódnak mindenhol, így a zónán kívül is.



1. ábra: RADTRAN2008 által számított vas koncentrációk primerkörben három ciklus alatt a zóna - melegág - GF - hidegág - zóna útvonalon. Az eloszlás egy időlépés (1 nap) alatt állandó.



2. ábra: RADTRAN2008 által számított melegági felület aktivitások a mért értékekkel (in-situ, és elektrokémiai mérések) összehasonlítva, a PA első 23 éve alatt.



3. ábra: RADTRAN2008 által számított hidegági felület aktivitások a mért értékekkel (in-situ, és elektrokémiai mérések) összehasonlítva, a PA első 23 éve alatt.

Segédrendszerek

A segédrendszerekben általában más hőmérsékleti viszonyokat, esetenként más vegyszer koncentrációkat találunk. Ennek hatására a korróziótermékek (vas) oldhatósága több nagyságrenddel nagyobb lehet, mint üzemi körülmények között a primerkörben. A primerkör és a segédrendszerek koncentráció különbsége miatt a korróziótermékek primerkörbe jutásuk után diszperz forrássá válnak. Ilyen rendszerek

- víztisztító,
- primerköri bóros és pótvíz gáztalanító,
- kondenzátum és bórsav tartályok,
- átrakó medence.

Számított eredmények

A kidolgozott modellt megvalósító RADTRAN 2008 programmal számításokat végeztünk a paksi atomerőmű 1. blokkjának első 23 évére. Az eredményeket a 2. és 3. ábra

szemlélteti a meleg ági ill. hideg ági fővezetésekre. A mért értékek szórását tekintve az egyezés jónak mondható. Látszik, hogy a meleg ágban a felületről mindig oldódás volt (KCryHotLeg paraméter mindig nulla volt) míg a hideg ágban pedig kristályosodás zajlott (KDisColdLeg paraméter volt mindig nulla).

Tervezett elemzések

A munka további szakaszaiban a modellt többi (^{58}Co , ^{59}Fe stb.) korróziós nuklidra és más aktivitásokra (pl. a folyadékban) kívánjuk verifikálni és a verifikált modellt alkalmazni a korrózióforrások és kritikus üzemmódok elemzésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Horváth L. Gábor *A physico-chemical model of the corrosion product transport in the primary circuit of the VVER-440/213 reactors. Task 1 Data preparation, Report on physico-chemical model. VEIKI report 21.11-806/1*
- [2] Horváth L. Gábor *A physico-chemical model of the corrosion product transport in the primary circuit of the VVER-440/213 reactors. Task 2 Report on physico-chemical model and data structure. Demonstration calculations. VEIKI report 21.11-806/2*