

NYOMOTTVIZES ATOMREAKTOROK ZÓNAOLVADÉK-KIKERÜLÉSÉNEK MEGAKADÁLYOZÁSA

Ézsöl György

Atomenergia Mérnöki Iroda

Az Energiatudományi Kutatóközpont Atomenergia-kutató Intézetének (EK AEKI) több évtizedes kutató munkája az 1982-ben elindult Paksi Atomerőmű biztonságának folyamatos növelésére irányult. A fukushimai reaktorbaleset tapasztalatai nyomán balesetkezelési vizsgálatainkat az erőművel egyeztetve kiterjesztettük a feltételezett zónaolvadás utáni reaktortartály-sérülés megakadályozására. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy Fukushima előtt már majdnem egy évvel, az atomerőmű szakembereivel folytatott konzultációnkon felmerült a súlyos balesetek vizsgálatának szükségessége.

A „tervezésen túli üzemzavarok” egyik következménye lehet az aktív zóna egészének vagy egy részének – a hűtés hiánya miatti – megolvadása. A számítások szerint a reaktortartály alján összegyűlt olvadék hőmérséklete elég magas ahhoz, hogy a tartályfal is megsérüljön, és az olvadék kikerüljön a tartályból. Vastag falú tartályok esetében az olvadék-visszatartás egyik módja lehet a tartályfal külső hűtése. A PA Zrt. által kezdeményezve és a szlovák szakértőket (IVS Trnava) is bevonva kialakult egy koncepció a tartály külső hűtésének műszaki megvalósítására. A koncepció több elemében található bizonytalanság miatt kísérleti igazolással kellett alátámasztani a rendszer működőképességét.

Első lépésként egy tanulmányt készítettünk [1], amelynek legfőbb célja a koncepciót megalapozó dokumentumok értékelése, valamint az AEKI különböző – paksi erőmű specifikus – kísérleti berendezésin szerzett tapasztalatai és a nemzetközi gyakorlat alapján javaslatétel volt egy minimálisan elégséges léptékű berendezés létrehozására, amely alkalmas lesz a kiépítendő rendszer működőképességének igazolására.

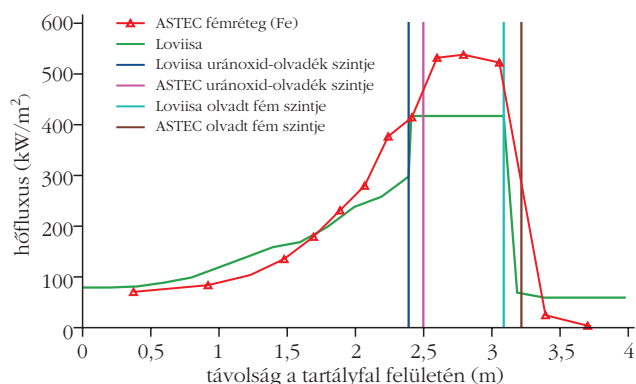
A legvalószínűbbnek tűnő zónaolvadási folyamat elején az olvadék az aktív zóna alatti acél tartóle-



1. ábra. Az olvadék elhelyezkedése a tartályban.

mezt egyes helyeken átolvasztja, majd a tartály alja felé továbbhaladva összegyűlik a tartály alján. A 1. ábra a tartály egy metszeti nézetét mutatja az olvadékkal. Az alsó oxid-medencében a nagyobb olvadásmentű UO_2 és az oxidálódott cirkónium, valamint az azt körülvevő – a lehűlés következtében megszilárdult – oxid-kéreg található. Az alacsonyabb olvadásmentű komponensek – a rozsdamentes acél és a cirkónium – az olvadék tetején, a fémrétben található. A maradványhő jelentős része az oxid-medencében koncentrálódik, aminek hőmérséklete jóval magasabb, mint a környezeté, tehát e komplex rendszer hőforrásként viselkedik. A hőleadás a

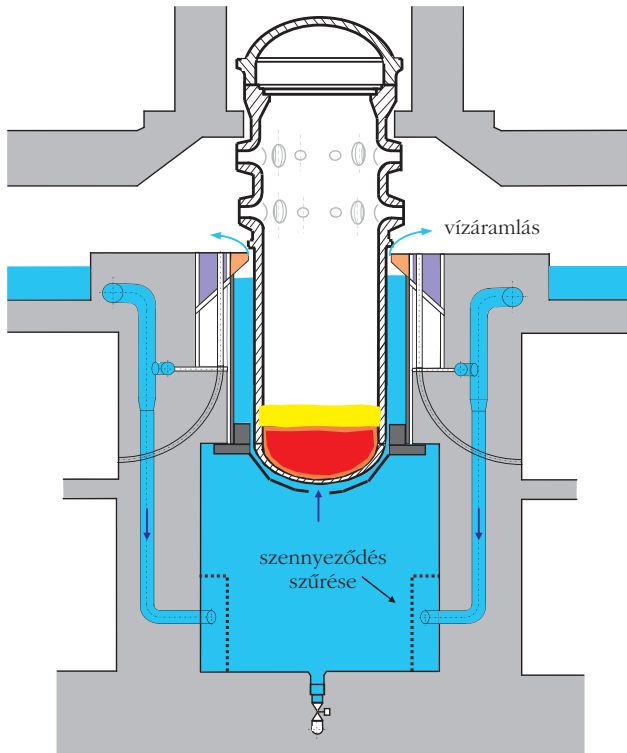
2. ábra. A VVER 440 zónaolvadék-visszatartása: különböző modellekkel számított felületi hőfluxus a tartály külső felületén.



A szerző köszönetet mond mindenkinek, akik a kísérletek sikeres végrehajtását számításokkal vagy adatszolgáltatással és tanácsaikkal segítették, ezek a Paksi Atomerőmű Zrt., a NUBIKI Kft., az EK Fűtőelem Laboratórium és az IVS Szlovákia.



Ézsöl György 1973-ban végzett az ELTE fizikus szakán, azóta a többször nevet változtató KFKI Termohidraulikai Laboratóriumában dolgozott, ahonnan laborvezetőként vonult nyugdíjba. Részt vett a Paksi Atomerőmű 1. blokkjának indításában és a folyamatos biztonságnövelő intézkedések kidolgozásában, illetve feltételezett üzemzavarok kísérleti és elméleti modellezésében. Jelenleg az Atomenergia Mérnöki Iroda nukleáris szakértőjeként az új paksi blokkok műszaki tervét véleményezi.



3. ábra. A paksi erőműre kialakított koncepció.

rendszert határoló felületeken, vagyis a tartályfalon keresztül, valamint a legfelső fémréteg felületéről felfelé hőszugárzás útján lehetséges. Az oxid-medenyben és az olvadt fémrétegben belső természetes cirkuláció alakul ki, amely elősegíti a jobb hőátadást. A modellezésben 10 MW maradványhővel számoltunk. Ez a baleset kezdete után négy órával – feltételezve, hogy az illékony hasadási termékek távoztak az olvadékból – meglévő zónateljesítménynek felel meg [2].

Olvadékkal végzett kísérletre nem volt lehetőség, így a 2. ábrán az ASTEC-kóddal a loviisai erőműre készült számítás felhasználásával mutatjuk meg, hogy milyen hőfluxus alakul ki a reaktortartály alsó részén. Az ábrán a „0” pont a tartályfenék külső geometriai középpontja, ahonnan kifelé haladva egy egyenes mentén tüntettük fel a felületi hőfluxus értékeit. A későbbiekben részletezett adatokból tudni lehet, hogy a maximális hőterhelés – az olvadék elhelyezkedésének megfelelően – már a tartály oldalfalán jelentkezik. A reaktortartály falán keresztül kialakuló hőfluxuseloszlás alapvetően attól függ, hogy a tartályon belül milyen geometriai elrendezésben található a sérült és megolvadt zóna.

Az eddig leírtak az olvadék, mint hőforrás modellezéséről szóltak, most pedig összefoglaljuk a reaktortartály külső hűtésére kialakított teljes koncepciót, amelynek alapján a felületére nézve 1:40, axiálisan 1:1 méretarányú modell (CERES – Cooling Effectiveness on Reactor External Surface) terveit készítettük el. Az erőművi műszaki megoldást a 3. ábra mutatja, ahol jól látható a hűtőközeg áramlásának kialakítandó útvonala.

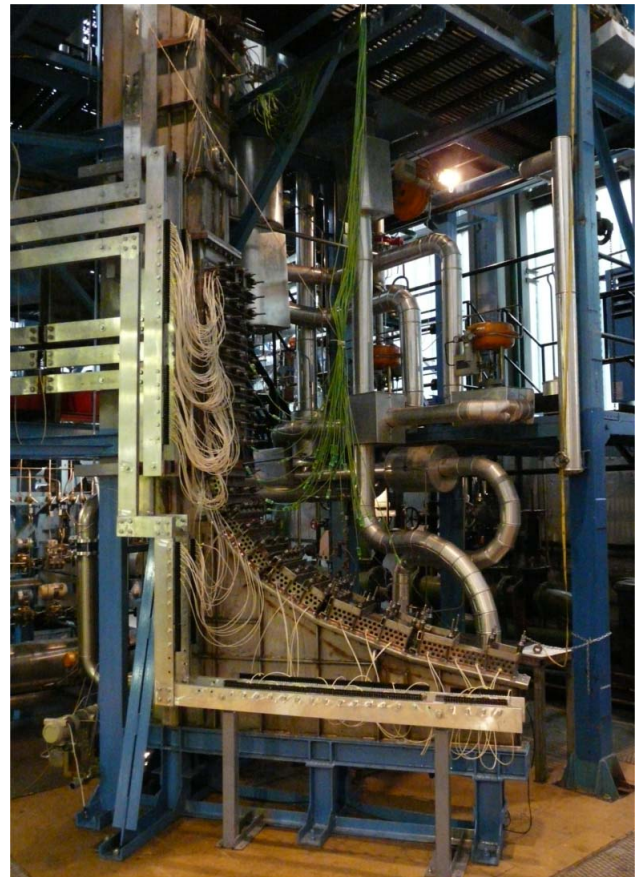
A rendszernek teljesítenie kell (kék térfogatok):

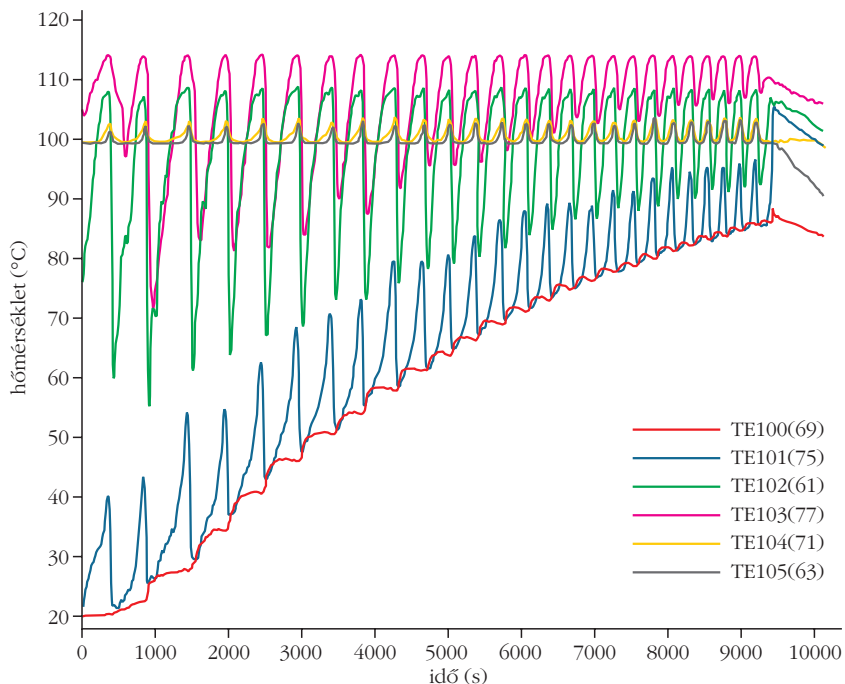
- A vizsgált üzemzavarok mindegyikében a megfelelő mennyiségű hűtőközeg biztosítása a GF (gőzfejlesztő) box padlózatán.
- A reaktorakna elárásztása a szellőztető rendszeren keresztül.
- Hűtőközeg-szállítás – kellően nagy nyílásokon keresztül – a szellőztető rendszerhez.
- A szellőztető rendszerben a hűtőközeg ne folyhasson a szellőztető központ felé.
- A reaktoraknában lévő hűtőközeg összes lehetséges szivárgásának megakadályozása.
- A reaktortartály körüli hűtőközeg természetes cirkulációjának lehetővé tétele.
- A reaktortartály körüli szűk keresztmetszetek eldugulásának megakadályozása.

Ezek alapján az elkészült CERES berendezés a reaktortartály egy „tortaszelet” alakú részét modellelte, hűtőközeg-áramlási csatornájának geometriai kialakítása pontosan követte a PA Zrt. által megadott méreteket, hogy – még a kritikus szűkületekben is, amelyek szélessége néhány helyen alig érte el a 10 mm-t – igazolni tudja az áramlás létrejöttét.

A 4. ábrán látható fénykép a CERES berendezést mutatja, amelyen az elektromos fűtőtestek biztosítják a tetőszögletes felületi hőfluxus modellezését, és a fűtőtestek alatti áramlási csatornában elhelyezett sokcsatornás mérőrendszer a teljes fűtött felület mentén lehetővé teszi a hűtőközeg és a tartályfal hőmérsékletének mérését.

4. ábra. A megépített CERES berendezés.





5. ábra. Víz hőmérsékletek változása a rendszeren különböző (TE) mérési pontokban.

Egy jellemző mérés eredményeinek bemutatásával demonstráljuk a rendszer fizikai működését és a sikeres hosszú idejű hűtés eredményességét.

Az 5. ábrán látható az elárasztó víz hőmérséklet-változása a folyamat során (TE100 mérési pont). A rendszerben a gőzfejlődés kezdetéig folyamatos hőmérséklet-emelkedés figyelhető meg. A legnagyobb teljesítményű szakaszban a elárasztó víz hőmérséklet 86 °C volt. A kritikus szűkület közepén a hűtőközeg hőmérséklete (TE102) 60–108 °C tartományban, 150–400 s-os periódusidővel változik. Ez a periódusidő a belépő hőmérséklet emelkedésével folyamatosan csökken.

Az eredmény jól mutatja a kritikus szűkületben, vagyis az elliptikus tartályfenék feletti 90 cm hosszú és 10 mm széles csatornarészben kialakuló „gőzdugó” periodikus felépülését és összeomlását. Ez azt jelenti, hogy a kritikus csatornarészt teljesen kitölti a gőz, majd ez a gőzdugó omlik össze, és a vízszint visszabilen az egyfázisú állapotnak közel megfelelő értékre.

Végül az az ábra látható, ami a kísérleti erőfeszítések legfontosabb eredménye és az erőművi megvalósítás feltétele, vagyis a tartályfal hőmérsékletének alakulása.

A 6. ábra mutatja, hogy a tartályfal hőmérséklete követi a rendszer periodikus viselkedését, de sehol sem haladja meg a 220 °C-ot. Ekkora hőmérséklet mellett a tartályfal

nem veszíti el integritását és a radioaktív olvadék nem kerülhet a reaktortartály alatti térbe.

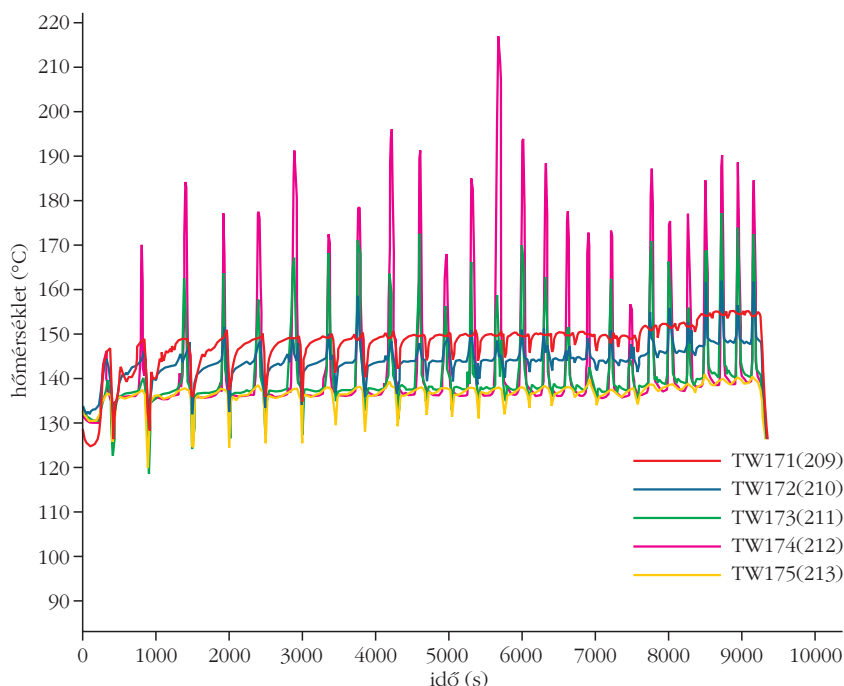
A CERES berendezésen számos további kísérletet hajtottunk végre, többek között aszimmetrikus szűkületekkel, vagy bóros hűtőközeg alkalmazásával, de a hűtési folyamat minden esetben működött, és a tartályfal sértetlen maradt.

Ezek alapján az erőmű négy blokkján a fenti koncepció szerint megvalósították az átalakítást, és ezzel az atomerőmű biztonságát továbberősítették.

A két új, Paks-on épülő VVER-1200 típusú 3+ generációs blokk esetében számos passzív biztonsági rendszerről beszélhetünk, ezek egyike az úgynevezett olvadékcspada. A zónaolvadás következményeinek csökkentésére egy olyan speciális tartályt alakítanak ki, amit a reaktorkamra aljában, a reaktortartály alatt helyeznek el, és amennyiben a zóna megolvadása után a reaktortartály is megsérülne, akkor a zónaolvadék ebbe jut.

Ahogy arról a Paks II. társaság honlapja is ír, a tartályban alumínium- és vas-oxid tartalmú kerámia van, ami alkalmas arra, hogy keveredjen a zónaolvadékkal. A keveredés eredményeként az olvadék anyagi jellemzői megváltoznak, az olvadék felhígul, csökken az egysejnyi térfogatban fejlődő maradványhő. A kerámiába gadolíniumot is adagolnak, ami elnyeli a neutronokat és ezzel növeli az olvadék szubkritikusságát. Az olva-

6. ábra. Tartályfal-hőmérsékletek a modellen különböző (TW) mérési pontokban.



dékcsapda acéltartályát kívülről vízzel hűtik. Ezzel az úgynevezett szárazcsapda-megoldással megakadályozható, hogy az olvadék kölcsönhatásba lépjen az alaplemez betonjával. Az olvadékcsapda alkalmazásával csökkenthető a hidrogénfejlődés és a radioaktív hasadási termékek kikerülése a zóna törmelékéből.

A FIZIKA TANÍTÁSA

ULTRAHANGOS KÍSÉRLETEK

Motiváció: egyrészt a 2017. évi sikeres pályázatunk után úgy éreztük, hogy az ott szerzett tapasztalatainkat 2018-ban akár újra hasznosíthatnánk, másrészt, ha valaki már elkezdett játszódzni a myDAQ – LabVIEW párossal, az tudja, hogy ez a játék függőséget okozhat, így – egy sikeres pályázati évet követően – nehéz abbahagyni a kísérletezést. Elhatároztuk, hogy 2018-ban is pályázunk.

A témakiválasztást az adta, hogy a 40 kHz-es ultrahangok tartományában már alapvető tapasztalatokat szereztünk és kíváncsiak voltunk, hogy miként kapcsolható össze ez a terület a myDAQ kínálta hardveres lehetőségekkel. Aki ultrahangokkal szeretne alapvető hullámtani kísérleteket folytatni, az tudja, hogy szükség van valamilyen jelforrásra, adóra és egy olyan érzékelőre, amely a hullámtér egyes helyein képes

Az írás alapjául szolgáló munka II. helyezést nyert az ELFT és National Instruments 2018-19. évi Tanári myDAQ pályázatán.



Koczka Vencel 12.A osztályos tanuló az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Lipták Zoltán 12.A osztályos tanuló az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.

Irodalom

1. Ézsöl György, Hózer Zoltán: *Szaktelemény a reaktortartály külső hűtésének kísérleti modellezéséről*. Nyt. szám: AEKI-SZV-2008-741-06/M0
2. Zs. Téchy, P. Kostka, R. Taubner: *In-vessel coolability and core melt retention for a VVER-440/213 reactor*. MASCA2 Seminar 2007, Cadarache, France, 11–12. October 2007.

Koczka Vencel, Lipták Zoltán, Piláth Károly
ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium



1. ábra. A HC-SR04 áramkör fényképe.

mérni a hullámok intenzitását. E célra – anyagi megfontolásból – az egyik legelérhetőbb tartomány a 40 kHz-es, mivel e frekvenciához – a gépjárművekhez, robotokhoz fejlesztett távolságmérők tömegtermékké válása miatt – fillérékért vásárolhatunk „hangszórót” és „mikrofont”. Ezeket a könnyen beszerezhető hardverelemeket használva látványos méréseket és kísérleteket hajthatunk végre kihasználva a myDAQ adta hardverlehetőségeinket.

Összefoglalónkat kezdjük az adóegység ismertetésével. Első kísérletünkben azt vizsgáltuk, hogy egyáltalán létrehozható-e a myDAQ segítségével olyan 40 kHz vivőfrekvenciára ültetett modulált szinuszfeszültség, amely hardverkiegészítők nélkül is képes meghajtani azt az ultrahangsugárzót, amelyet például egy, az 1. ábrán látható HC-SR04 távolságmérő paneljéből forraszthatunk ki. Mielőtt a modulá-



Piláth Károly fizika-kémia szakos tanár 1979-ben végzett az ELTE-n. Ezt 2005-ben informatikatanári végzettséggel egészítette ki a Veszprémi Egyetem Informatika Karán. Korábban a Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnáziumban tanított, majd 2005 óta a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára. 2013-tól a Trefort fizika-informatika munkaközösségének vezetője.