

# Az atomerőművi hermetikus tér hűtésének vizsgálata a Duna változó vízhőmérsékletének függvényében

Zadravecz Imre Péter, Jakab Albert, Lung Attila

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.,  
Műszaki Igazgatóság, Rendszertechnikai Főosztály, Rendszertechnikai Osztály (RTO)  
7031 Paks, Pf. 71.

A Paksi Atomerőműben az üzem közbeni karbantartások (ÜKK) ütemezése során felmerült, hogy ezeket nyáron is végezhessük. A hermetikus tér hőmérsékletének előírt korlátok között tartásához egy megtervezett, és végrehajtott mérési programmal, valamint archív adatokkal és mérnöki elemzésekkel igyekeztünk előre meghatározni a hűtési funkciót ellátó, időben változó Duna-vízhőmérséklet-korlátot. Annak érdekében, hogy a hűtővíz hőmérsékletéből következtetni tudjunk a kialakuló hermetikus téri hőmérsékletekre, egy leíró függvényt kellett készíteni. A bokszhőmérséklet-értékek mellé az adott időponthoz tartozó Duna-vízhőmérséklet értékeit is hozzárendeltük. Az így rendelkezésre álló bokszhőmérséklet és hűtővíz-hőmérséklet adatpárokból külön állományba rendeztük a naponta azonos órában mért adatpárokat. Az adatok segítségével a külső levegő hőmérséklet és a napsütés zavaró hatásait minimalizáltuk. A hűtővíz-hőmérséklet függvényében az azonos napszakhoz tartozó adatokat monoton növekvő sorba rendeztük. A kapott diagramok mindig az azonos napszakhoz tartozó, emelkedő Duna-hőmérséklet függvényében mutatják a hermetikus téri hőmérsékleteket, nagymértékben csökkentve ezzel a napi hőmérséklet-ingadozás és a napsugárzás okozta statisztikus eltérés hatását.

Az elemzés eredménye: az ÜKK-k június végéig végrehajthatók, de nem javasolt ezt a júliusra és augusztusra ütemezni. A nyári időszak elejére eső ÜKK végrehajtása előtt a közelítő függvények segítségével a hermetikus tér hűtési viszonyainak ellenőrzését el kell végezni.

## Bevezetés

A Paksi Atomerőmű hermetikus terének hűtését két recirkulációs ventilátor rendszer látja el. A TL01-es rendszer a hermetikus tér központi helyisége, míg a TL03-as a reaktor körüli betonszerkezet hűtését biztosítja. Mindkét rendszer három redundáns ágból épül fel. Minden ág tartalmaz egy ventilátort, egy hőcserélőt és az útvonalállítást szolgáló csappantyúkat. A hőcserélőket a biztonsági hűtővíz rendszer látja el hűtővízzel.

A Paksi Atomerőműben az üzem közbeni karbantartások (ÜKK) ütemezése során felmerült annak az igénye, hogy azokat a nyári időszakban hajtsák végre. Az üzemeltetési tapasztalatok alapján tudjuk, hogy nyáron, a biztonsági hűtővíz magas hőmérséklete mellett a reaktorblokk hermetikus tere hőmérsékletének korlátok között tartásához a biztonsági hűtővíz rendszer mindhárom ága és az összes TL03, TL01 primerköri szellőző rendszer üzemképességére szükség van. A Karbantartási Munkabizottság (KMB) ülésén döntés született arról, hogy meg kell határozni azt a hűtővízhőmérséklet-korlátot, mely eléréséig a TL01 és TL03 ventilátorok az ÜKK során még elegendő hűtést biztosítanak a biztonsági hűtővíz rendszer rendelkezésre álló két ágának üzemével. Az általunk elvégzett vizsgálatok célja a következő volt: egy ellenőrizhető, objektív műszaki megalapozás biztosítása annak eldöntésére, hogy a nyári időszakban milyen biztonsági hűtővíz-hőmérsékletig – és ez alapján mely időszakban – végezhető el az ÜKK.

## Mérési program

A kezelési utasításnak megfelelően normál üzemben két TL01 és egy TL03 ventilátor üzemel. Amennyiben a hermetikus tér hőmérséklete eléri az 59 °C-ot, el kell indítani egy újabb TL01-es ventilátort. Az ÜKK-ra jellemző konfiguráció, azaz két-két üzemelő ventilátor, csak nagyon ritkán fordul elő, ezért nem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű mérési adat.

A vizsgálatok elvégzéséhez szükséges volt egy mérési program végrehajtására mind a négy blokkon. A mérési program alapján 2020. május 12-én az adatgyűjtés megkezdődött. A programban az ÜKK-ra jellemző beállításban két TL01-es és két TL03-as ventilátor üzemel. A rögzített konfiguráció mellett egy előre definiált számítógépes napló blokkonként egy Excel-állományba rögzíti a szükséges hőmérsékleti adatokat. Az első két hét során az I-es kiépítésen (1. és 2. blokkok) az a technológiai állapot került beállításra, mely megfelel a ventilátorok 2020. július hónapjára tervezett „Y” jelű biztonsági rendszeri ÜKK alatti konfigurációjának.

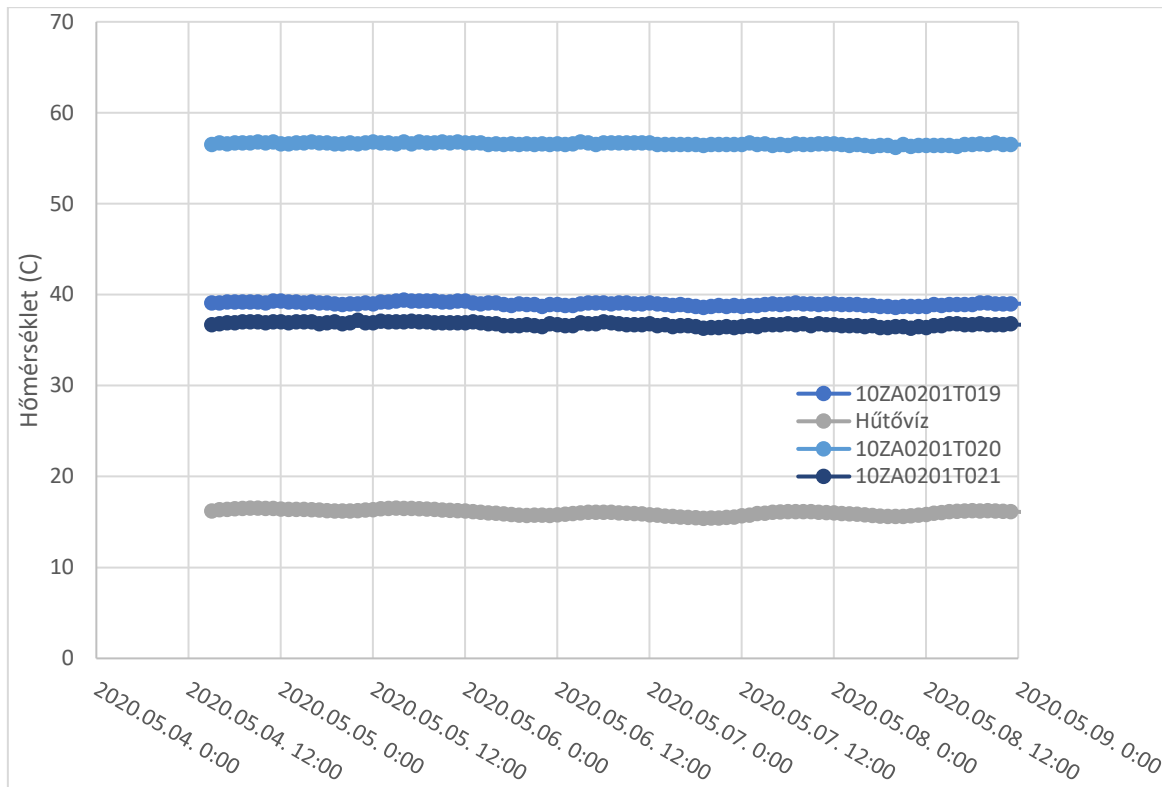
A mérési program segítségével a ventilátor konfigurációból adódó bizonytalanságokat sikerült kiküszöbölni. Az adatok elemzése alapján azonban egyértelművé vált, hogy a mérési eredmények közvetlen elemzése nem vezet eredményre. Ennek elsődlegesen két oka volt:

- a hermetikus téri hőmérsékletek kis késéssel követik a hűtővíz-hőmérséklet változását, amennyiben a víz hőmérséklete gyors változást mutatott;
- a vizsgált időszakban a hűtővíz-hőmérséklet alacsonyabb volt, mint a nyári meleg időszakokban kialakuló hőmérséklet.

Az atomerőművi hermetikus térben mérhető hőmérsékletértékeket a fővízköri körfolyamat hermetikus téren belüli energiaveszteségei, a hőelvonás mértéke, a külső levegő hőmérséklete, a napsütés mértéke és a mérési helyek elhelyezkedése határozza meg. Ezen különböző hatások, valamint a hőmérsékleteloszlás determinisztikus

vizsgálata egy számítógépes elemző kód segítségével és ellenőrző mérések végrehajtásával valósítható meg.

Az archív mérési adatok vizsgálata alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a hermetikus térben kialakuló hőmérsékletek nagymértékben a TL01,03 hőcserélőkön átáramló biztonsági hűtővíz hőmérsékletétől függenek. A biztonsági hűtővíz hőmérséklete stacioner hűtővízáramlás esetén a Duna hőmérsékletével egyezik meg. A vizsgálatok azt mutatják, hogy tetszőleges időszakban, állandó teljesítmény- és ventilátorkonfiguráció mellett, továbbá változatlan hűtővíz-térfogatáram esetén egyértelműen a Duna hőmérséklete határozza a hermetikus tér hőmérsékletviszonyait. Ilyen időszakot szemléltet az 1. ábra.



1. ábra: Hermetikus téri hőmérséklet

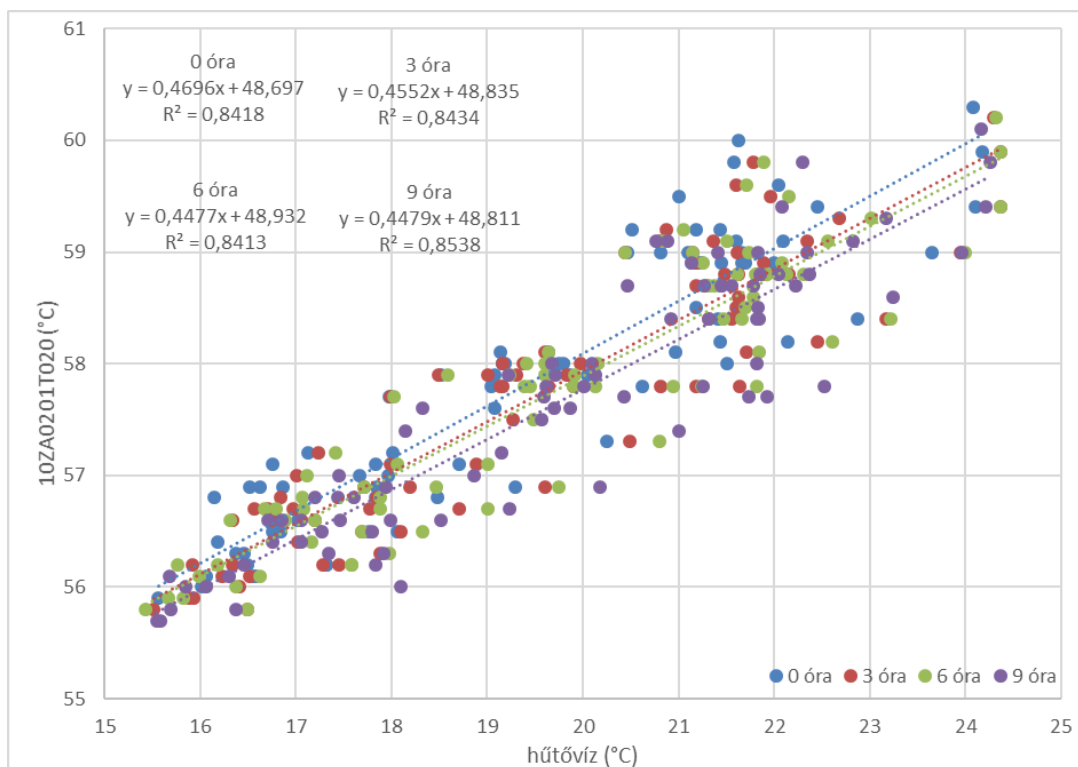
A mérési program során egy naplóállományba óránként rögzítésre kerülnek az Üzemi Feltételek és Korlátok (továbbiakban: ÜFK) ellenőrzésére szolgáló hőmérsékletmérések értékei (10-40ZA0201T019, 10-40ZA0201T020, 10-40ZA0201T021, 10-40ZA0201T001ZP50). Az értékelés során a három mérés átlagát nem vizsgáltuk, mivel az egyes mérések értékeléséből az átlagra vonatkozó következtetések is levonhatók.

Annak érdekében, hogy a hűtővíz hőmérsékletéből következtetni tudjunk a kialakuló hermetikus téri hőmérsékletekre, egy leíró függvényt kell meghatározni. Az óras hermetikus téri hőmérsékletértékek mellé az adott időponthoz tartozó Duna-víz-hőmérséklet értékeit rendeltük hozzá. Az így rendelkezésre álló hermetikus téri hőmérséklet - hűtővíz-hőmérséklet adatpárokból külön állományba rendeztük a naponta azonos órában - éjféltől indulva három óránként - mért adatpárokat. Az azonos órában mért adatok segítségével a külső levegő-hőmérséklet és a napsütés zavaró hatásait minimalizáltuk. A hűtővíz-hőmérséklet függvényében az azonos napszakhoz tartozó adatokat monoton növekvő sorba rendeztük. A kapott

diagramok mindig az azonos napszakhoz tartozó, emelkedő Duna-víz-hőmérséklet függvényében mutatják a hermetikus téri hőmérsékleteket nagymértékben csökkentve ezzel a napi hőmérséklet-ingadozás és a napsugárzás okozta statisztikus eltérés hatását.

Így megkaptuk azt az összefüggést, mely elégségesen pontosan leírja a kiválasztott hőmérsékletek alakulását a hűtővíz-hőmérséklet függvényében. A diagramra közelítő görbét illesztettünk, és ettől fogva az így kapott összefüggéseket használtuk fel. Az adatok több évre visszamenő vizsgálata alapján a ZA0201T019 és ZA0201T021 mérések értékei messze a kezelési utasításban rögzített 59 °C-os, és az ÜFK-ban szereplő 65 °C-os korlátozások alatt maradnak. Ezért a továbbiakban csak a \*0ZA0201T020 mérés vizsgálatát végeztük el.

Az 1. blokki 0, 3, 6, 9 órás mérésekből kapott összefüggéseket és görbéket a 2. ábra szemlélteti. A 4. blokkon a hűtővíz és a hermetikus téri hőmérsékletek között fennálló összefüggéseket leíró vizsgálatot nem lehetett elvégezni, mivel a mérési időszakban végezték a blokk főjavítását és több teljesítménycsökkentés is volt.



2. ábra: 1. blokki közelítő függvények

A kapott összefüggések közelítő jellegűek. Pontosságukat korlátozza a meghatározásuk során rendelkezésre álló időszáv, mely 89 nap volt. A Duna vízhőmérséklete a vizsgált időszakban ~8,5 °C-ot változott. Az adatok mennyisége, az elvégzett üzemviteli tevékenységek és a Duna-vízhőmérséklet változásának mértéke meghatározza a számítási módszerből (hőmérséklet extrapolációból) eredő hibát. A program kezdeti szakaszában, az első két hétben, csak az X és W jelű biztonsági rendszeri TL01-03 ventilátor üzemelt. A mérési program második szakaszában a szükséges üzemviteli tevékenységek (Lépcsős Indítási Próba, fogyasztói átkapcsolás, biztonsági hűtővíz rendszer terheltség-kiegyenlítése) elvégzése miatt az üzemelő ventilátorok konfigurációja nem volt állandó. A program második szakaszában rövid ideig megengedett volt három üzemelő ventilátor is. A tartalék átkapcsolások és a végrehajtott lépcsős indítási próbák rövid ideig hatással

voltak a kialakuló egyensúlyi hőmérsékletre, emiatt egy-egy mérési pont kevésbé illeszkedik a pontseregbe. Az eltérést okozó hatások ellenére a közelítő görbék illeszkedése megfelelő.

Az óras közelítő függvények nagyon közel esnek egymáshoz, csak kis eltéréseket mutatnak. A mérési program első szakasza után a 10,20ZA0201T020-as mérésekhez tartozó közelítő összefüggéseket az ÜKK elvégzése előtt néhány mérési pontban összehasonlítottuk a 2018-as év mérési eredményeivel. Az archív mérési eredmények három TL01-es és egy TL03-as ventilátor üzeme mellett lettek rögzítve. A valós mérési eredményeket és a becsült értékeket az 1. táblázat szemlélteti. Az adatok azt mutatják, hogy a közelítő függvények kellően pontosan írják le a kialakuló hermetikus téri hőmérsékleteket.

1. táblázat: Valós mérési eredmények és a becsült értékek

1. blokk (3db TL01, 1db TL03)										
Dátum	Hűtővíz (°C)	Mérési adat	becsült (°C)							
		10ZA0201T020 (°C)	0 óra	3 óra	6 óra	9 óra	12 óra	15 óra	18 óra	21 óra
2018.04.25 01.10	16,51	56,40	56,24	56,23	56,18	56,20	56,15	56,13	56,09	56,16
2018.05.01 01.00	17,20	56,80	56,52	56,51	56,51	56,54	56,49	56,47	56,42	56,51
2018.05.17. 18.00	18,07	57,20	56,88	56,87	56,92	56,96	56,92	56,89	56,84	56,95
2018.05.15. 18.00	18,90	57,70	57,21	57,22	57,31	57,37	57,32	57,30	57,23	57,37
2018.05.24. 18.00	20,26	57,90	57,77	57,79	57,95	58,04	57,99	57,96	57,88	58,05
2018.05.29 18.00	21,51	58,80	58,27	58,31	58,53	58,65	58,60	58,57	58,48	58,68
2018.05.30 18.00	22,00	59,00	58,47	58,51	58,76	58,89	58,84	58,81	58,72	58,93

... a táblázat folytatódik.

2. blokk (3 db TL01, 1db TL03)										
Dátum	Hűtővíz (°C)	Mérési adat	becsült (°C)							
		20ZA0201T020 (°C)	0 óra	3 óra	6 óra	9 óra	12 óra	15 óra	18 óra	21 óra
2018.05.01 01.00	17,20	57,50	56,64	56,58	56,59	56,67	56,64	56,57	56,48	56,57
2018.05.18 01.00	18,08	57,80	57,00	56,95	56,96	57,09	57,12	57,01	56,92	57,06
2018.05.04 18.00	18,59	57,70	57,22	57,16	57,18	57,34	57,40	57,28	57,18	57,35
2018.05.08 01.00	19,00	58,00	57,39	57,33	57,35	57,54	57,63	57,49	57,39	57,58
2018.05.24 18.00	19,64	58,50	57,66	57,60	57,62	57,84	57,98	57,81	57,71	57,94
2018.05.25 01.00	20,27	58,70	57,92	57,86	57,89	58,15	58,32	58,13	58,03	58,29
2018.05.27 01.00	20,70	58,90	58,10	58,04	58,07	58,36	58,56	58,35	58,25	58,53

A végső közelítő összefüggések, melyeket azonos módszerrel a teljes mérési program alatt rögzített adatok felhasználásával képeztünk, kis mértékben eltérnek a táblázat adatainál használt összefüggésektől. A meghatározott közelítő összefüggésekkel a \*0ZA0201T020-as mérés értéke jól becsülhető magasabb hűtővíz-hőmérsékletek esetén is. Az ismertett bizonytalanságok miatt a hőfok meghatározása során jelentős biztonsági tartalék alkalmazása szükséges. A függvények alapján a \*0ZA0201T020 mérés hőmérsékletértékei az 1.-3. blokkon ~25 °C Duna-víz-hőmérsékelt esetén haladják meg a 60,5 °C-ot.

## Eredmények

Mérnöki megfontolások alapján 25 °C hűtővíz-hőmérséklet mellett, a bizonytalanságok figyelembevételével, mind a négy blokkon nagy biztonsággal betartható az ÜFK-ban meghatározott 60 °C-os és 65 °C-os hőmérsékletkorlátozás két-két TL01 és TL03 ventilátor üzeme esetén.

Az ÜKK ütemezéséhez szükséges annak értékelése, hogy a korlátot a hűtővíz jellemzően az év mely szakaszában éri el, ezért az adatok elemzése során azt vizsgáltuk, hogy adott évben mikor haladta meg a hűtővíz hőmérséklete a 25 °C-ot. Vizsgáltuk továbbá azt is, hogy azokban az években, amikor a hűtővíz hőmérséklete meghaladta a 25 °C-ot, az év további részében hogyan alakult a Duna vizének hőmérséklete. A vízhőmérséklet-adatok 2006-tól állnak rendelkezésre. A kapott eredményeket az 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat: 25 °C-t meghaladó hűtővíz-hőmérsékletek (vízhőmérséklet-adatok 2006-tól)

Év	25 °C-t túllépte a hűtővíz hőmérséklet	Megjegyzés
2006	2006. július 22.	Augusztus végéig stabilan meghaladta a 25 °C-t.
2007	2007. június 21.	Másfél napra haladta meg maximálisan 0,2 °C-al. Az év további részében már nem haladta meg.
2008	Egész évben nem haladta meg.	-
2009	Egész évben nem haladta meg.	-
2010	2010. július 14.	Július végéig stabilan meghaladta a 25 °C-t.
2011	Egész évben nem haladta meg.	-
2012	2012. június 20.	Egyetlen mérési ponton haladta meg 0,1 °C-al.
	2012. július 10.	Egyetlen mérési ponton haladta meg 0,1 °C-al. Az év további részében már nem haladta meg.
2013	2013. július 28.	Augusztus közepéig stabilan meghaladta a 25 °C-t.
2014	Egész évben nem haladta meg.	-
2015	2015. július 19.	Augusztus végéig stabilan meghaladta a 25 °C-t.
2016	Egész évben nem haladta meg.	-
2017	2017. június 27.	Két napra haladta meg maximális 0,4 °C-al.
	2017. július 10.	Két napra haladta meg maximális 0,25 °C-al. Az év további részében már nem haladta meg.
2018	2018. július 29.	Augusztus végéig stabilan meghaladta a 25 °C-t.
2019	Egész évben nem haladta meg.	-
2020	Egész évben nem haladta meg.	-

A 2021-ben végrehajtott két ÜKK befejezésének időpontja július elejére esett. Ezért meg kellett vizsgálni, hogy a hermetikus tér hűtési viszonyai megfelelőek voltak-e. Az ÜKK megkezdése előtt beállították az ÜKK alatt rendelkezésre álló ventilátorkonfigurációt. Miután a hermetikus tér hőmérséklete állandósult, a közelítő függvények segítségével műszaki ellenőrzést végeztünk. Az ellenőrzés kimutatta, hogy a hűtővíz hőmérsékletének a várt módon alakultak, a korábban meghatározott függvények továbbra is jól közelítik hermetikus tér hőmérsékleti viszonyait. Az ellenőrzéssel igazolásra került, hogy a hermetikus tér hűtése megfelelő, rejtett meghibásodás nem tapasztalható, az ÜKK nagy biztonsággal végrehajtható. Szakmai egyeztetésen döntés született, hogy a nyári időszak elejére eső ÜKK végrehajtása előtt a fent jelzett ellenőrzést el kell végezni.

## Összegzés

A rendelkezésre álló adatok alapján a Paksi Atomerőmű hűtővizének a hőmérséklete az elmúlt 15 év során mindössze két alkalommal, június hónap végén haladta meg – csak kis mértékben és rövid ideig – a hófok korlátot. Az elvégzett mérnöki elemzés alapján kijelenthető, hogy az ÜKK-k június hónapban nagy valószínűséggel elvégezhetőek. Belátható továbbá, hogy az ÜKK-k végrehajtásának ütemezése az adott év július és augusztus hónapjára nem javasolt. Amennyiben előre nem tervezhető okok miatt az ÜKK végrehajtása júliusra vagy augusztusra esne, egy új, aktuális elemzést kell készíteni annak igazolására, hogy az ÜKK elvégezhető a hűtővíz hőmérsékletének függvényében.