

# A Paksi Atomerőmű teljesítménynövelése következtében kialakuló csővezetéki rezgésállapot változás vizsgálata

Lacza Zoltán, Kiss Gábor, Jantner István

Paksi Atomerőmű Zrt. Rendszertechnikai Osztály  
7031 Paks, Pf. 71, +3675 506 775

A paksi atomerőmű blokkjai teljesítménynövelésének (TN) tervezésekor a csővezetéki rezgésállapot változásának vizsgálatát – a TN program részeként – az ellenőrzések sorába kellett illeszteni. Mivel a nemzetközi gyakorlatban nem talákoztunk alkalmazható megoldással, ezért a paksi szakemberek dolgozták ki az ellenőrzések módszerét.

A kialakítandó mérés szemben elvárás volt, hogy üzem közben elvégezhető legyen, a blokkok üzemét ne veszélyeztesse, a vizsgálatot végző személyek számára ne jelentsen kockázatot, valamint a mérési eredmények reprezentatívak legyenek, szükség esetén reprodukálni lehessen őket, és megfelelő bemenetet képezzenek a szabvány szerinti kiértékeléshez. A módszer kialakításakor először az ellenőrizendő technológiai csővezeték szakaszok kijelölését kellett elvégezni, majd a mérési technikát kellett kiválasztani, végül a kiértékelés módját kellett kialakítani.

A mérési sorozat lefolytatásához egy referencia blokkállapotot kellett létrehozni a mérések idejére, mely állapotot egy üzemviteli program végrehajtása hivatott biztosítani. Az üzemviteli program végrehajtásáért a Paksi Atomerőmű Zrt. Rendszertechnikai Osztálya (RTO) volt a felelős. A kapott mérési eredményeket a Diagnosztikai Csoport és az Öregedéskezelési Osztály szakemberei értékelték.

## Előzmények

### A módszer kialakítása

A mérésekhez ki kellett alakítani azokat az elveket, melyeket követve megfelelő mérési eredményeket kaphatunk, és amelyek feldolgozása után megnyugtatóan igazolhatjuk, hogy a technológia megfelel a teljesítménynövelés követelményeinek.

Ezek szerint nem csak a TN utáni állapotot (108 %) vizsgáljuk, hanem a teljesítménynövelés előtti állapotot (100 %) is ellenőrizzük, valamint a felterhelés fő lépcsőiben (104 %) is veszünk fel adatokat. Ezen kívül az ellenőrzési módszernek olyannak kell lennie, amely lefedi az érintett technológiai rendszereket, de csak olyan számú mérési helyet és adatot eredményez, amely feldolgozása megoldható a rendelkezésre álló eszközökkel és kapacitással, valamint egy későbbi ellenőrzés céljából bármikor megismételhető.

### Az ellenőrizendő technológiai csővezeték-szakaszok kiválasztása

A mérésekhez ki kellett választani azokat a csővezeték-szakaszokat, amelyeken méréseket kell végezni. A kiválasztás szempontjai voltak: a rendszernek érintettnek kellett lennie a teljesítménynövelésben, valamint olyannak kellett lennie, ahol a rezgést kritikusnak tekintjük.

A teljesítménynövelésben érintett rendszerek listáját az RTO már korábban összeállította. Ebben a listában azok a rendszerek szerepeltek, ahol a TN után térfogat- illetve tömegáram-növekedéssel kellett számolni. E szempont

alapján a primerköri rendszerek nem voltak érintettek a rezgésmérés terjedelmében.

A teljesítménynövelésben érintettek közül kellett kiválasztani azokat, ahol már a teljesítménynövelés előtt is magas rezgést tapasztaltak. Ezt a munkát főként az üzemeltető szervezettel végeztük. Ez a módszer jól szűkítette a mérendő rendszerek körét, mert kiestek a terjedelemből azok a rendszerszakaszok, amelyek a TN előtt is érzékelhetően magas rezgéssel üzemeltek, de nem érintettek a teljesítménynövelésben, mint például a tápszivattyú recirkulációs vezetékek, valamint jó néhány olyan rendszerszakasz, amely érintett volt ugyan a teljesítménynövelésben, de korábban alacsony rezgés mellett üzemelt.

### A mérési helyek kijelölése

Az előző fejezet szerint kiválasztott technológiai rendszerszakaszok mérési helyeinek kijelölése a helyszínen, bejárás során történt. A bejárást egy szakértőkből álló csapat végezte, melyet a műszaki háttér rendszer- és berendezésmérnökei, a diagnosztikai csoport mérnökei, öregedéskezelési mérnök, valamint az üzemeltető szervezet képviselői alkottak. A bejárás során megtekintették a kijelölt rendszerszakaszokat, és kiválasztották azokat a pontokat, ahol méréseket kell végezni. A diagnosztikai szakemberek ezeken a pontokon felragasztották a mérőtölköket.

### Az üzemviteli program készítése

A mérési sorozat lefolytatásához egy referencia blokkállapotot kellett létrehozni a mérések idejére, mely állapotot egy üzemviteli program végrehajtása volt hivatott

biztosítani. Az üzemviteli program készítéséért és végrehajtásáért a Rendszertechnikai Osztály volt a felelős.

Az üzemviteli programnak meg kellett felelnie a különböző blokkteljesítmény-szinteken való végrehajthatóságnak. A mérés idejére egy meghatározott csőkapcsolást kellett beállítani, amivel elérhető volt, hogy a termeléshez nem kapcsolódó fogyasztók leállításra kerüljenek, és így a blokk állapota a garanciális csőkapcsoláshoz hasonló. A csőkapcsolás kialakításának alapja a hatásfok-mérések során beállított csőkapcsolás volt, de nem kellett kizárni a leiszapolásokat.

További szempont volt, hogy a mérések ideje alatt a turbinák gőznyelése a lehető legkisebb mértékben ingadozzon. Ehhez a blokkot ki kellett venni a primer frekvenciaszabályzásból, ami a hálózati frekvencia ingadozásának függvényében módosítja a turbinák teljesítményét, ezzel azok gőznyelését, ami főgőz rendszeri nyomásváltozást eredményez. A mérés során ezeket minimális értéken kellett tartani.

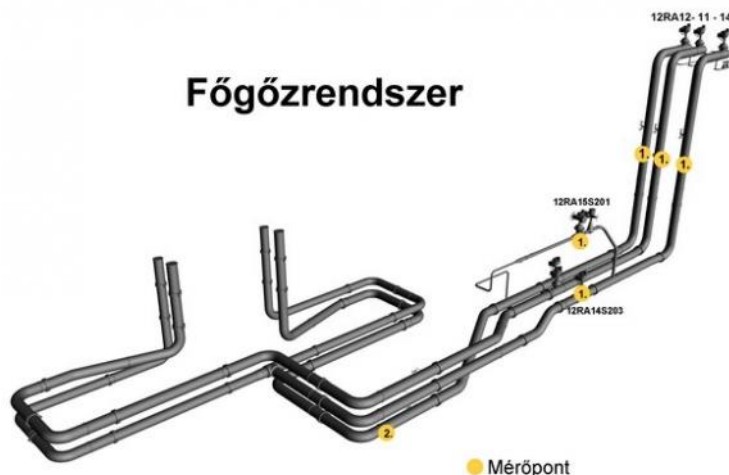
Az üzemviteli program mellékletét képezte az a mérési program, amely a Diagnosztikai Csoport által végzendő tevékenységeket tartalmazta. Maga az üzemviteli program csak a technológiai műveleteket tartalmazta, és amikor a

feltételek teljesültek, akkor átadta a végrehajtást a diagnosztáknak, hogy a melléklet szerint végezzék a tevékenységüket.

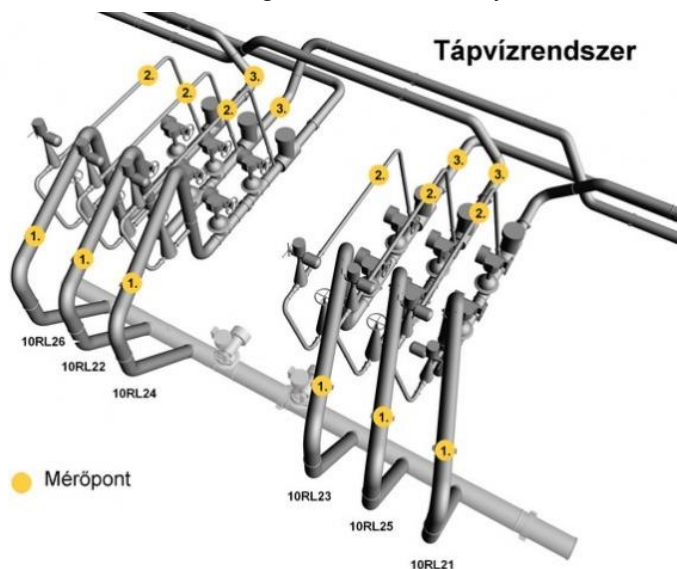
### A mérési módszer

A mérési módszer tekintetében a paksi atomerőműben rendszeresített forgógép-rezgésdiagnosztikai rendszert hívtuk segítségül. Gyakorlati szempontból a rezgések mérése itt sem különbözött a forgógépeknél már bevált módszertől. A bejárásokon felmért és kijelölt helyekre ragasztással rögzítettük a mérőtönköt, amelyre a mérések alkalmával csavarkötéssel rögzítettük a triaxiális rezgés gyorsulás érzékelőt. Az alkalmazott mérőtönkökön egy horony biztosítja, hogy az érzékelő irányítotttsága az egymást követő mérések alatt ne változzon, kizárva ezzel egy iránytévesztési hibalehetőséget.

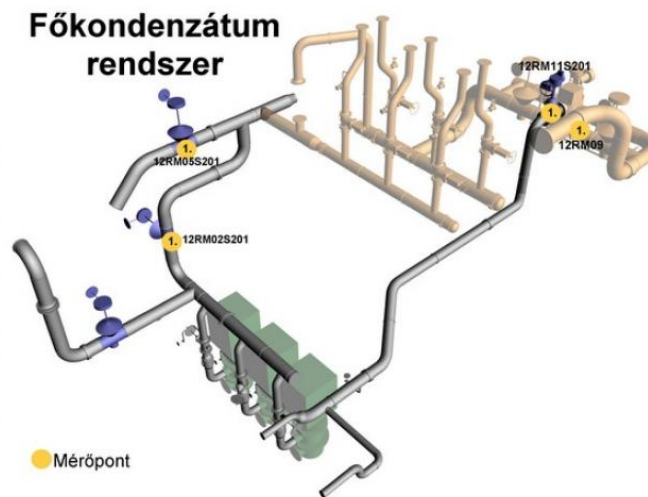
A kialakított mérőhelyekről a CAD csoport által készített rajzok adtak áttekintést [4], amelyeket a diagnosztikai szoftverbe is betöltöttünk annak érdekében, hogy a mérőhelyek egyértelműen kiválaszthatók legyenek későbbi elemzés céljára. (1-3. ábrák)



1. ábra: A főgőz-rendszer mérőhelyei



2. ábra: A tápvíz-rendszer mérőhelyei



3. ábra: A főkondenzátum-rendszer mérőhelyei

A mérésre a PA Zrt.-nél alkalmazásban lévő DCX-XRT mérőműszert használtuk. Az adatok feldolgozása a már említett DLI ExpertAlert forgógép-rezgésdiagnosztikai szakértői rendszerrel történt. A mérési setup felvételének és a mérőhelyek adatbázisba töltésének az az előnye, hogy további vizsgálatok céljából bármikor megismételhető a mérés esetleges állapotfelülvizsgálattal.

A spektrális mérési tartományt minden csőszakaszon 0,3 Hz - 500 Hz közé választottuk azért, hogy a csőszakaszokon fellelhető gerjesztők (forgógépek) jellemző frekvenciáinak az adott csőszakaszra való hatása is megfigyelhető legyen. [3]

A fő mérésbeállítások ezen kívül:

- felbontás: 800 vonal
- kapott adat: spektrum, Vrms érték
- átlagok száma: 6
- átlagos átlapolási százalék: 50 %
- ablak típus: Hanning
- érzékelő orientáció: VHA

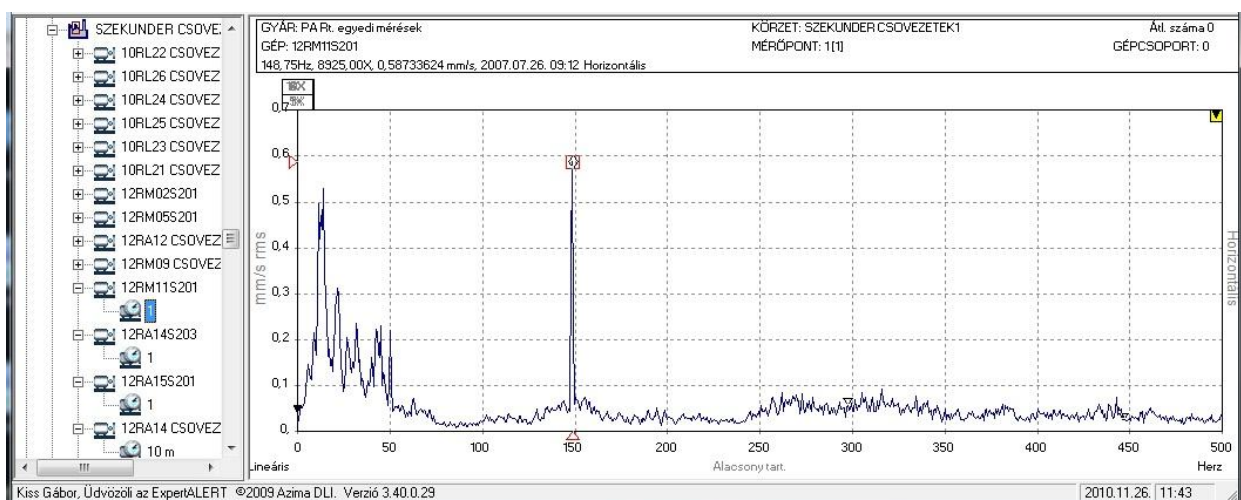
- érzékelő típus: 3 irányú rezgésyorsulás-érzékelő
- érzékelő érzékenysége: 100 mV/g
- mértékegység: mm/s

A mért spektrumokban jól láthatóan megjelentek az adott szakaszra jellemző csővezetési sajátfrekvenciák, áramlással összefüggő zajok, valamint gerjesztőként az adott szakaszra leginkább hatást gyakorló forgógép forgási és lapátelhaladási frekvenciái. (4. ábra.)

## A kiértékelés menete

2008 óta folyik a paksi atomerőműben a Karbantartás Hatékonyság Monitorozási program, amely ASME kódokon alapul. Megfelelő, csővezetési rezgések határértékeire vonatkozó ISO szabványt nem találtunk, ezért a kiértékelést az ASME BPVC OM-SG-2000 kód alapján végeztük el - összhangban az OAH NBI 3.3 számú útmutató ajánlásával.

A kiértékelés lényegében az adott csőszakaszra vonatkozó, a szabvány szerinti megengedhető rezgések meghatározásából és ezen értékek, valamint a helyszínen mért rezgésértékek összevetéséből állt. [2]



4. ábra: Egy jellemző spektrumkép

1. táblázat Konzervatív megközelítés

Alfanum	mpont	<i>vvert</i>	<i>vhor</i>	<i>vax</i>	<i>vmért</i>	<i>vallow</i>	minősítés
		mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec	
21RA11	1/100	1,759	1,151	0,811	3,19	12,2	megfelel
	1/104	2,68	2,206	1,241	5,2	12,2	megfelel
	1/108	3,009	2,75	1,45	6,12	12,2	megfelel
21RA11	2/100	3,029	3,56	6,524	11,35	12,2	megfelel
	2/104	5,331	4,952	13,848	<b>22,06</b>	12,2	<b>tov.vizsg.</b>
	2/108	2,976	3,158	7,525	<b>12,28</b>	12,2	<b>tov.vizsg.</b>

**A mért értékek figyelembe vétele**

A mért értékek tekintetében az összehasonlításkor a mért effektív sebességértékeket vettük alapul annak ellenőrzése után, mivel az effektív, teljes frekvenciatartományra vett négyzetes átlag értéke mindenhol nagyobb volt, mint a hozzá tartozó spektrumban tapasztalható legnagyobb spektrumcsúcs amplitúdó értéke.

**A megengedhető rezgéssebesség meghatározása**

Az ASME BPVC OM-SG-2000 5.1.2.4. pontja meghatározza a csővezeték rezgéséből adódó megengedhető maximális sebességet. [1]

$$V_{allow} = C_1 \times C_4 \times 3,64 \times 10^{-3} \times (S_{ol}) / (C_3 \times C_5 \times \alpha \times C_2 \times K_2),$$

ahol:

$C_1$  - A csővezetékbe épített koncentrált tömeget jellemző tényező. Az ASME OM-S/G-2000 fig.11. ábrájából leolvasható érték. Konzervatíván 0,15-nak felvehető. [1]

$C_2 \times K_2$  - ASME kód szerinti feszültségindexek. Konzervatíván 4-nek felvehető. [1]

$C_3$  - A közeg és a szigetelés súlyát figyelembe vevő korrekciós tényező. [1]

$$C_3 = (1 + \frac{W_F}{W} + \frac{W_{RSG}}{W})^{0,5}$$

$C_3$  - Konzervatíván, a szabvány alapján: 1,5.

$C_4$  - A megfogásokból adódó korrekció. [1] Konzervatíván  $C_4=0,7$

$C_5$  - A mért frekvencia és az első sajátfrekvencia arányára jellemző szorzó. [1] Konzervatíván  $C_5=1$

$\alpha$  - ASME BPVC OM-S/G-2000 3.2.1.2 szerinti megengedett feszültséget csökkentő faktor.  $\alpha = 1,3$  [1]

$S_{ol}$  (psi) - Az anyagra megengedett  $10^6$  ciklushoz tartozó feszültség amplitúdó besorozva 0,8-al.

$$S_{ol} = 0,8 \times S_a = 0,8 \times 85 \times 10^6 / 6894,8 = 9862,6 \text{ psi}$$

$$(S_a = 85 \text{ MPa}; 1 \text{ psi} = 6894,8 \text{ Pa})$$

A fenti konzervatív adatokkal kiszámítva a megengedett maximális sebesség:

$$V_{allow} = 0,5 \text{ in/s} = 12,2 \text{ m/s}$$

A három irányban vett sebesség adatokból a maximális eredő kiszámítása, figyelembe véve, hogy a mérésnél RMS adatok szerepelnek:

$$v_{mért} = 1,41 \times \sqrt{(v_{vert}^2 + v_{hor}^2 + v_{ax}^2)}$$

Az alábbi táblázatban a sok mérőhely közül került kiemelésre kettő, ahol is az egyik esetben nem bizonyult megfelelőnek a konzervatív megközelítés. (1. táblázat)

Amely mérőpontoknál a 12,2 mm/s értéket meghaladja a mért érték, ott a számítást egyedileg is elvégeztük az adott csőszakaszra, vagyis a megengedhető értékeket a csővezeték és a szigetelés súlyának figyelembe vételével pontosítottuk. (2. táblázat)

Ezután az eredményül kapott, korrigált értékeket hasonlítottuk össze a mért értékekkel.

2. táblázat A pontosítás eredménye

Alfanum	Mpont	D m	S m	$\gamma$ köz. kg/m <sup>3</sup>	W kg/m	W Köz kg/m	W Ins. kg/m	C3	M Konc kg	M Cső kg	C1	v mért mm/sec	v allow. mm/sec
21RA11	2/104	0,465	0,016	23,23	179,31	3,48	47,4	1,133	1936	1076	0,3	22,06	<b>29,2</b>
	2/108	0,465	0,016	23,23	179,31	3,48	47,4	1,133	1936	1076	0,3	12,28	<b>29,2</b>

## Eredmények

Az egész program során tipikusan a 2-10 mm/s értéktartományban jelentkező rezgések voltak jellemzőek, amelyek a gépházban uralkodó, relatíve magas rezgésszintekkel jól egybevetethetők voltak. Néhány esetben ettől eltérő, magasabb rezgésszintek voltak tapasztalhatók, főleg olyan helyeken, ahol a csővezetékeken szabadon lengő tömegek (pl. motoros armatúra) helyezkedtek el.

### *A 104 %-ra való felterhelés eredményei*

A kiértékelés során tapasztalható volt, hogy több helyen 10-200 %-kal megnőtt a rezgések értéke, de az abszolút rezgések 16 mm/s alatt maradtak a legkritikusabb csőszakaszokon is. A korrigált megengedhető rezgéshatárt egyik mérőpontban sem érték el.

### *A 108 %-ra való felterhelés eredményei*

Némely mérőpontban (fűgőz- és tápvíz-rendszerek esetében) a rezgések csökkentek, de általánosságban elmondható, hogy

rezgésnövekedés volt tapasztalható minden rendszeren. Az eredő rezgések abszolút értékben a 28 mm/s-ot sehol sem haladták meg, azaz a szabványban előírt, adott csőszakaszra korrigált értékek alatt maradtak minden mérőponton.

## Összegzés

A paksi atomerőmű blokkjainak teljesítménynövelési programja során a csővezetési rezgésállapot változásának vizsgálatát reprezentatív módon végeztük a legkritikusabb technológiai csővezeték elemekre fókuszálva. A vizsgálat tervezése és végrehajtása során fontos szempont volt a reprodukálhatóság és a vonatkozó szabványnak való egyszerű megfeleltetés.

A szekunderköri technológiai csővezeték-rendszereken végzett mérések igazolták az emelt teljesítményszinteken való üzemelés rezgéstani megfelelőségét.

---

## Irodalomjegyzék

- [1] ASME BPVC OM-SG-2000 kódkönyv
- [2] OAH NBI 3.3 útmutató, Nyomástartó berendezések szilárdsági számítási normái
- [3] DLI Engineering ALERT Analysis Systems User Manual <http://www.dliengineering.com>
- [4] AVEVA PDMS CAD Software viewer manual <http://www.aveva.com>