

Gazdaságosabb üzemanyag és üzemanyag ciklus a paksi reaktorok növelt teljesítményén

Nemes Imre

Paksi Atomerőmű Zrt. Paks, Pf. 71 H-7031, Tel: (75) 508-563, Fax: (75) 505-074, e-mail: nemesi@npp.hu

Folyamatban van a paksi blokkok névleges teljesítményének emelése, amely már megvalósult a 4. és 1. blokkon, a következő évben (2008) pedig a 2. és 3. blokkon tervezzük. A lényegében változatlan üzemanyag dúsítás mellett az emelt teljesítményen az üzemanyag felhasználás gazdaságossága romlott. A helyzet javítására nagyobb értékességű, magasabb kezdeti dúsítású üzemanyag bevezetését tervezzük a paksi blokkokon. Az orosz szállító ajánlatából hosszas elemzéssel választottuk ki a megfelelő geometriát, a pálcák dúsítás eloszlásában módosítást kértünk. Az így megtervezett üzemanyaggal megterveztük a tranziens és egyensúlyi kampányokat, amelyek jellemzői megfelelnek az előzőleg felállított követelményeknek. Jelenleg az elemzési-engedélyezési fázisnál tartunk, az üzemanyag bevezetése 2009-2010-ben várható.

Bevezetés

A 2002-2003. években a paksi 1-2-3. blokkokon jelentkező lerakódás jellegű hidraulikai anomáliákat olyan módon küszöböltük ki, hogy az érintett üzemanyag kazettákat friss, vagy részben kiégett kazettákra cseréltük. Ezeket a blokkokon néhány évig az egyensúlytól nagy mértékben eltérő üzemanyag töltetek voltak, de ezek 2007. évre az egyensúlyihoz közeli töltetekbe mentek át. A lerakódási problémák 4. blokkot nem érintették, így ezt választottuk ki, hogy elsőként megkezdjük rajta a teljesítmény emelést. 2006-ban a 4. blokk névleges teljesítményét 1485 MWth, 500 MWe értékre emeltük, amely a korábbi érték 108%-a. 2007-ben az 1. blokk teljesítményét emeltük hasonló módon, a 2. és 3. blokk teljesítmény emelését 2008-ra tervezzük

A teljesítmény emeléshez alkalmazott üzemanyag 3.82% átlagdúsítású, 12,3 mm pálcá-rácsosztással, a follower kazetták fejrészében Hf elnyelő lemez alkalmazásával. A megnövelt névleges teljesítményen a szükséges kampányhossz eléréséhez évente 90 munkakazetta és 12 follower betöltése szükséges. Ez azt jelenti, hogy a kazettáknak csak egy részét tudjuk 4 évig felhasználni, az üzemanyag felhasználás gazdaságossága romlott. A teljesítmény növelés projekt előkészítése során már tisztában voltunk ezzel a következménnyel, azonban annak megvalósítását nem akartuk egy üzemanyag tranzienssel nehezíteni. Az üzemanyag felhasználás gazdaságosságának javítását már akkor is a teljesítmény növelés megvalósítása után képzeltük el.

Követelmények az új üzemanyaggal szemben

Az üzemanyag ciklus gazdaságosságának javításához nyilvánvalóan magasabb dúsítású üzemanyagra van szükségünk. Az orosz szállító javaslatában több verzió létezett: ún. 1. és 2. generációs üzemanyag, a jelenlegi és magasabb uránsúllyal, 4-től 4.4% dúsításig. A PAE-nek megfelelő üzemanyag kiválasztásakor számos lehetőséget megvizsgáltunk a következő szempontok alapján:

- Általános cél az üzemanyag költségek csökkentése
- Mindezt úgy kívántuk megvalósítani, hogy magas, de nem túl magas értékeket kapjunk az üzemanyag maximális kiégésére. (Egyrészt figyelembe kell venni az engedélyeztetettség szempontját, a magyar hatóság finn mintára meglehetősen "érzékeny" erre a paraméterre. Másrészt nem kívánjuk elveszíteni a PAE kiemelkedően jó üzemanyag megbízhatóságát, az eddigi üzemidő során ilyen okból egyetlen napot sem veszítettünk. Ez nagyrészt az óvatos üzemeltetésnek köszönhető és az eddigi óvatosan haladó politikánkat akarjuk követni ezután is.)
- Olyan üzemanyagot és üzemanyag ciklust kívánunk bevezetni, amellyel biztosítható elegendő tartalék a korlátozó paraméterek tekintetében. A teljesítmény növelést úgy valósítottuk meg, hogy a lokális korlátaink gyakorlatilag változatlanok maradtak, ezek jelenleg a következők (limit - mérnöki tartalék faktor):

- Max. kazetta teljesítmény : 6.58 – 0.37 MW
- Max. pálcá teljesítmény: 57 – 5.7 kW
- Max. lineáris hőteljesítmény 325 – 39 W/cm
- Max. szubcsatorna kilépő hőm. . 326 – 7.5 °C

A megnövelt névleges teljesítményen a változatlan korlátoknak megfelelő töltet tervezése lényegesen nehezebb feladat és ez speciális követelményt támaszt az alkalmazandó üzemanyaggal szemben.

A kiválasztott üzemanyag

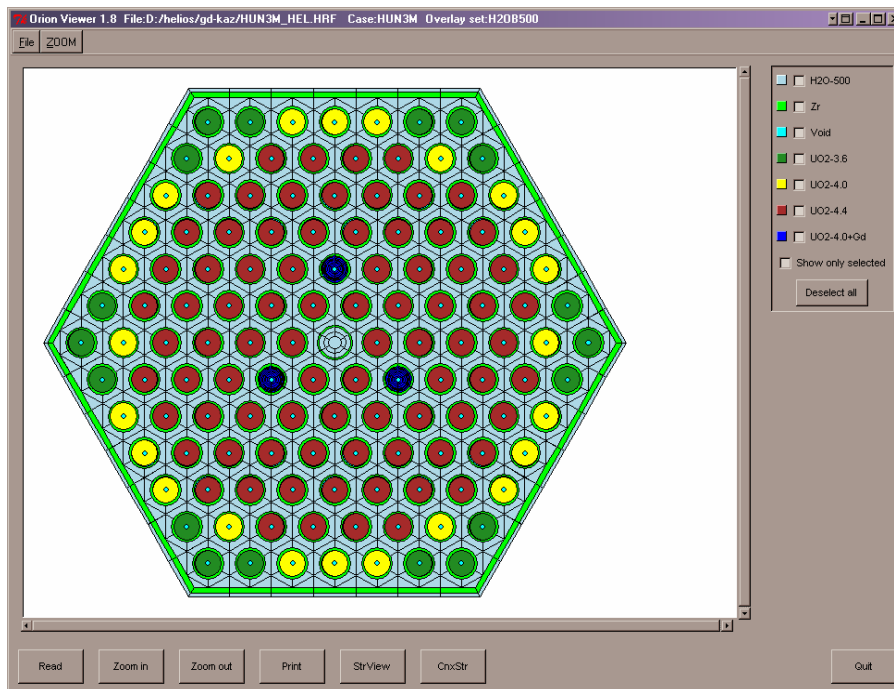
Az elvégzett hosszadalmas elemzések és a szállítóval folytatott egyeztetések után a Paks számára kiválasztott üzemanyag a következő jellemzőkkel rendelkezik :

- Geometriáját tekintve ún. 2. generációs üzemanyag megnövelt pálcá hosszal és az eddiginél nagyobb uránsúlyal
- A szabályozó elem alatti ún. follower kazettában szintén 1.5 mm falvastagság és 12.3 mm pálcárcsoszás lesz.

- Az átlagos U-235 dúsítás 4.2 % lesz az összes friss kazettára .
- A pálcák dúsításának eloszlására az orosz ajánlattól eltérő javaslatot tettünk. Ez az 1. ábrán látható. A 3 db kiegészítő mérget tartalmazó pálcá Gd dúsítása 3.35 %. Az így definiált üzemanyagot Gd-2n jellel láttuk el.

Ezzel a geometriával, U-235 és Gd dúsítással az üzemanyagunk a következő jellemzőkkel bír :

- A számított k-végtelen értéke a kiegészítő függvényében monoton csökken, amint a 2. ábrán látható. Az adatok a HELIOS programmal lettek számolva az 1. ábra szerinti geometriában fehér külső határfeltétellel.
- Ebben a kazettában a maximális normált pálcáteljesítmény szintén monoton csökken a kiegészítővel. Ugyanazon HELIOS számítások eredménye látható a 3. ábrán.



1. ábra: A kiválasztott üzemanyagpálcákénti dúsításának eloszlása

Mindezek a jellemzők együttesen azt eredményezik, hogy a zónában a maximális pálcáteljesítmény is többé-kevésbé monoton csökkenő lesz, ami a töltet tervezés munkáját jelentősen megkönnyíti.

A 3 db gadolinium kiegészítő mérget tartalmazó pálcá a központi csőhöz közel, de nem közvetlenül mellette helyezkedik el, hogy az SPND detektorokat ne árnyékolja le túlságosan. A konfiguráció elvileg 120 fokos szimmetriával bír, de a kiegészítő mérgek központi elhelyezése miatt jó közelítéssel teljesül a 60 fokos szimmetria is.

Egyensúlyi kampányok

A paksi atomerőmű jelenlegi üzeme mellett kb. 325 effektív napos kampányokra van szükség 1485 MW termikus teljesítményen. Az elvégzett számítások szerint ehhez az új üzemanyagból kampányonként 84 db friss kazettára van szükség, páratlan kampányban 78 munkakazettát és 6 followert, páros kampányban 72 munkakazettát és 12 followert kell betölteni. A kiegészítő történetet az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

Cycle 31

FUEL DESCRIPTION	1ST C.		2ND C.		3RD C.		4TH C.		5TH C.	
	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)
P 4.20 W	78	12.19	72	25.13	78	37.05	72	44.77	12	46.23
Q 4.20 F	6	14.62	12	26.90	6	38.08	12	47.40	0	0.00
Y 1.60 F	1	9.39	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00

Cycle 32

FUEL DESCRIPTION	1ST C.		2ND C.		3RD C.		4TH C.		5TH C.	
	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)	pcs./ burnup	(GWd/tU)
P 4.20 W	72	11.98	78	25.32	72	36.93	78	45.03	12	46.64
Q 4.20 F	12	14.37	6	26.62	12	38.79	6	44.62	0	0.00
Y 1.60 F	0	0	1	17.87	0	0.00	0	0.00	0	0.00

A follower kazetták 4 évet töltenek a reaktorban, a munkakazetták közül 12 db 5 évet, a többiek 4-et. A páros és páratlan kazetták üzemanyag tölteteit a 4. és az 5. ábrák mutatják be.

A 6. ábrán a bór koncentrációja látható. A 7-9. ábrák a korlátozó paraméterek (max. szubcsatorna kilépő hőmérséklet, pálcateljesítmény, lineáris hőteljesítmény) trendjeit mutatják be a kampány során (a kampányok kb. 315. napjáig, a bór kifogytáig), takarékosági okból csak a páratlan kampányra. A páros kampány eredményei hasonlóak. Ezek jellemzői a következők:

- A max. pálcateljesítmény nem túl magas, elegendő tartalék látszik a korláthoz képest.
- A szubcsatorna kilépő hőmérsékletet kissé konzervatív modellel számoltuk, a pontosabb érték 0.5-1 C - kal alacsonyabb. Ezt figyelembe véve a számított maximumok elfogadhatók.
- Mindkét paraméter értéke csökken a kiegészéssel.
- A lineáris pálcateljesítmény értékében a tartalék elegendően nagy, de csökken a kampány végén.

A számított maximális kiegész értékeket a következő a 2. táblázat mutatja:

2. táblázat

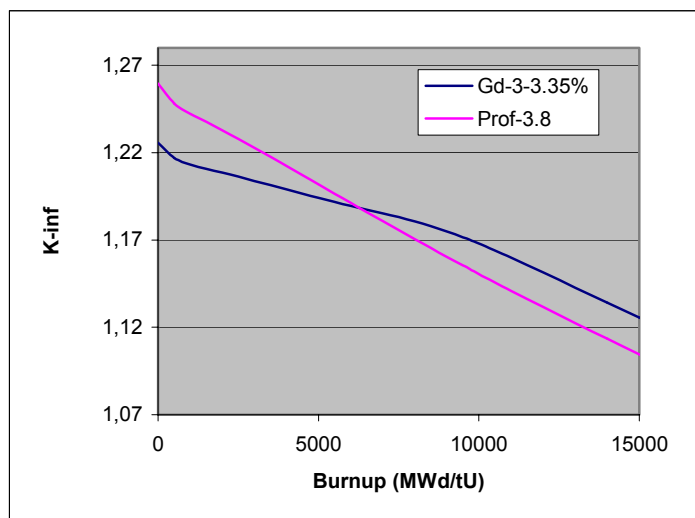
Kazetta	48.9 / 49.5 MWd/kgU
Pálca	52.7 MWd/kgU
Pálcaszakasz	60.1 / 60.6 MWd/kgU

A fenti adatok első értéke az egyensúlyi, a második az átmeneti kampányok közben számolt maximumot jelenti. A mérnöki tartalék faktorokat és némi, a különböző kampányhosszakra hagyott tartalékot figyelembe véve az új üzemanyagra és kampányokra a következő kiegész korlátokra van szükség (3. táblázat):

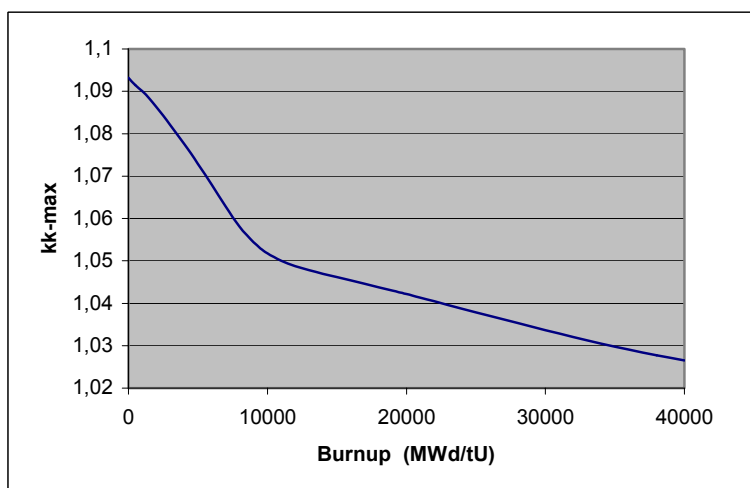
3. táblázat

Kazetta	54 MWd/kgU
Pálca	60 MWd/kgU
Pálcaszakasz	70 MWd/kgU

Ezek az értékek kb. 10 %-kal magasabbak a jelenleg érvényes korlátoknál



2. ábra: K -inf a kiégés függvényében a Gd-2n és a 3.82 % dústású üzemanyagra



3. ábra: Maximális normált pálcateljesítmény a kiégés függvényében a Gd-2n üzemanyagra

Összefoglalás

Korábban összegeztük azokat a követelményeket, amelyeket a paksi növelt teljesítményű blokkokon támasztottunk az üzemanyaggal szemben. A módosított geometriával bíró, ún. 2. generációs üzemanyag a bemutatott pálcadúsítás-eloszlással a következők szerint tesz ennek eleget:

- Az új üzemanyag ciklus lényegesen gazdaságosabb. 84 kazettát fogunk évente berakni a jelenlegi 102 helyett.

- A maximális kiégések nem túl magasak. A korlátokat a jelenlegihez képest 10%-kal kell emelni.
- A korlátozó paraméterek értéke az egyensúlyi kampányok alatt elfogadható és csökkenő jellegű mutat.

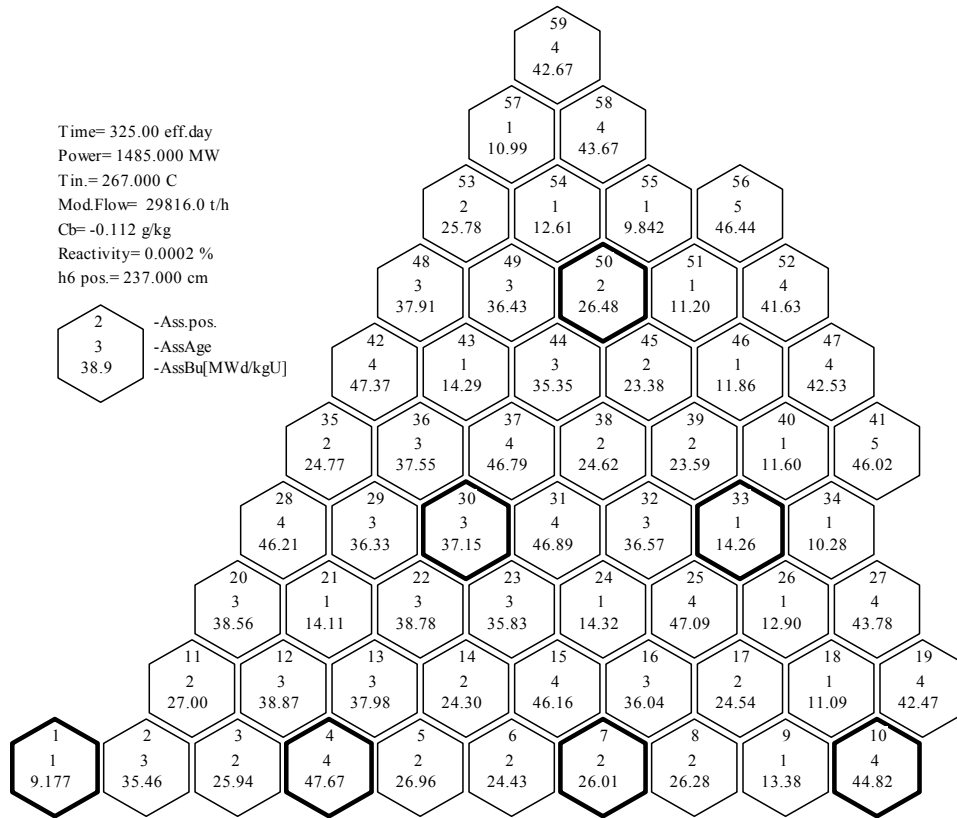
A számításokat a HELIOS 1.9 and C-PORCA 6.2 verziókkal végeztük. Ez utóbbi esetben az axiális szintek száma 41 volt az régi és 42 az új üzemanyagra.

Results of C-PORCA Calculations

Unit=4 Cycle=31

Time= 325.00 eff.day
 Power= 1485.000 MW
 Tin.= 267.000 C
 Mod.Flow= 29816.0 t/h
 Cb= -0.112 g/kg
 Reactivity= 0.0002 %
 h6 pos.= 237.000 cm

2 -Ass.pos.
 3 -AssAge
 38.9 -AssBu[MWd/kgU]



code info:/4/31/GD23/rudas/eoc/-/-


parameters:	value:	sec:	ass.pos:	pinpos:	layer:
Ass.Pow-max[MW]:	5.510	1	24		
Ass.Bu-max[MWd/kgU]:	48.86	1	4		
PinPow-max[kW]:	46.18	1	9	16	
PinBu-max[MWd/kgU]:	52.71	1	41	35	
Tsub-max[C]:	316.5	1	9	43	
Nlin-max[W/cm]:	157.7	1	25	71	35
Nlin-limit[W/cm]:	195.2	1	25	71	35
LocPinBu-max[MWd/kgU]:	60.10	1	41	35	16

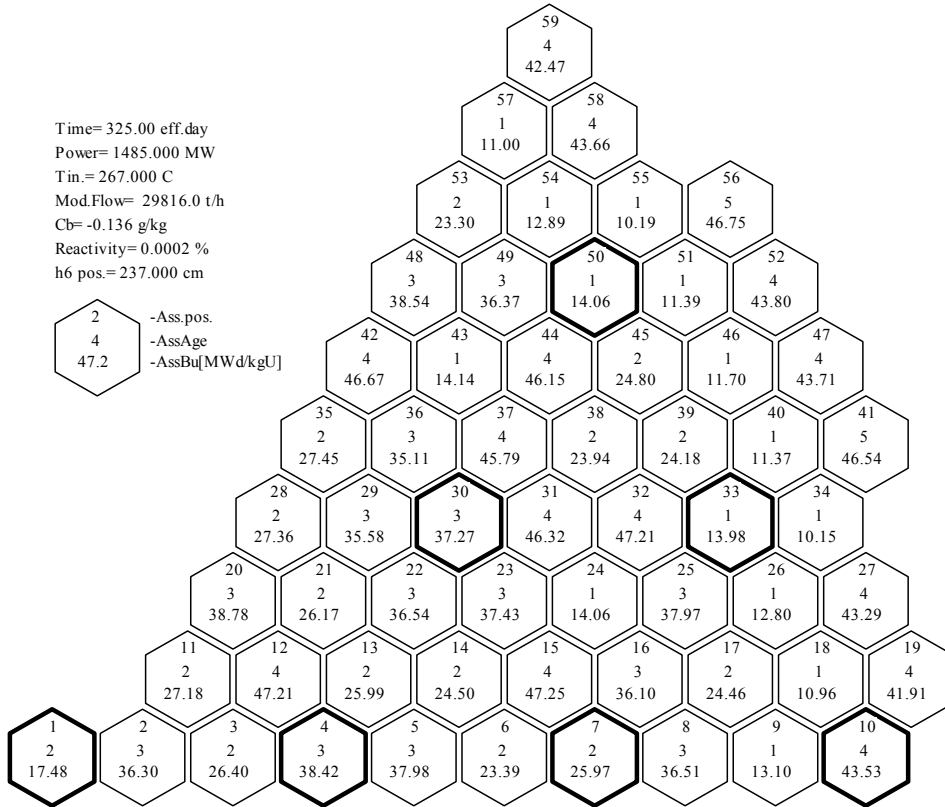
4. ábra:

Results of C-PORCA Calculations

Unit=4 Cycle=32

Time= 325.00 eff.day
 Power= 1485.000 MW
 Tin.= 267.000 C
 Mod.Flow= 29816.0 t/h
 Cb= -0.136 g/kg
 Reactivity= 0.0002 %
 h6 pos.= 237.000 cm

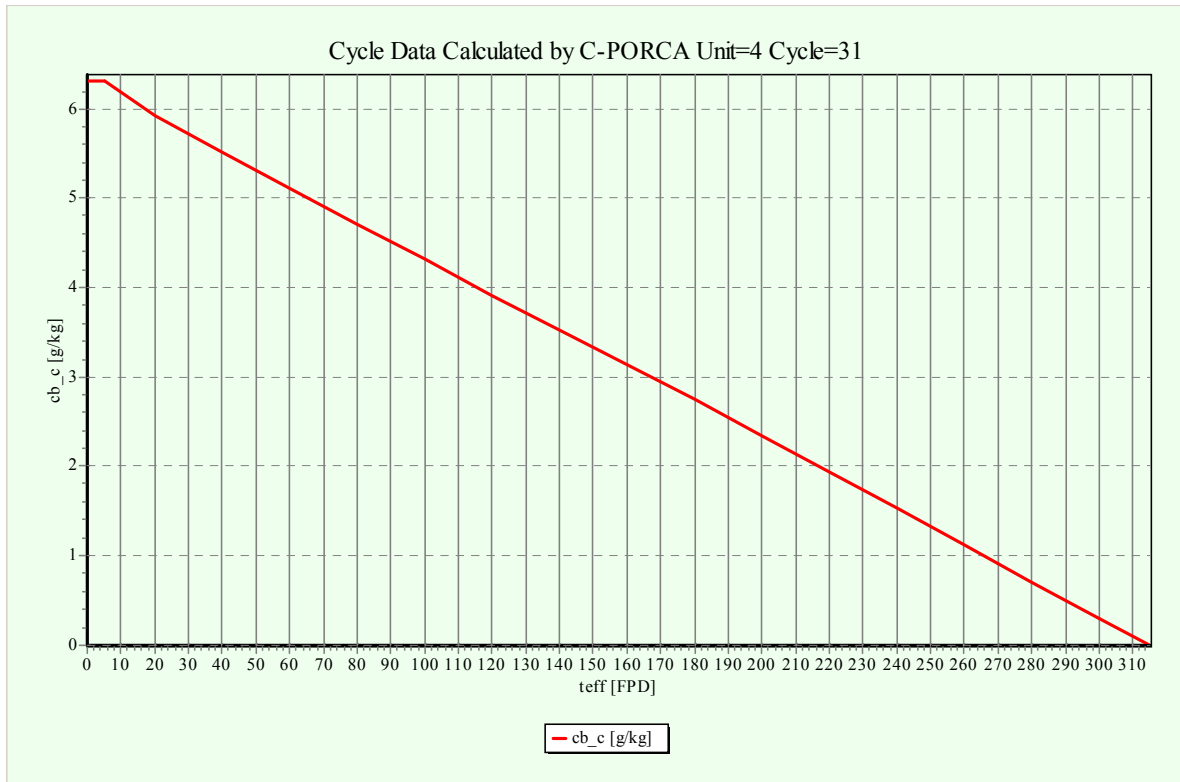

 -Ass.pos.
 -Ass.Age
 -Ass.Bu[MWd/kgU]



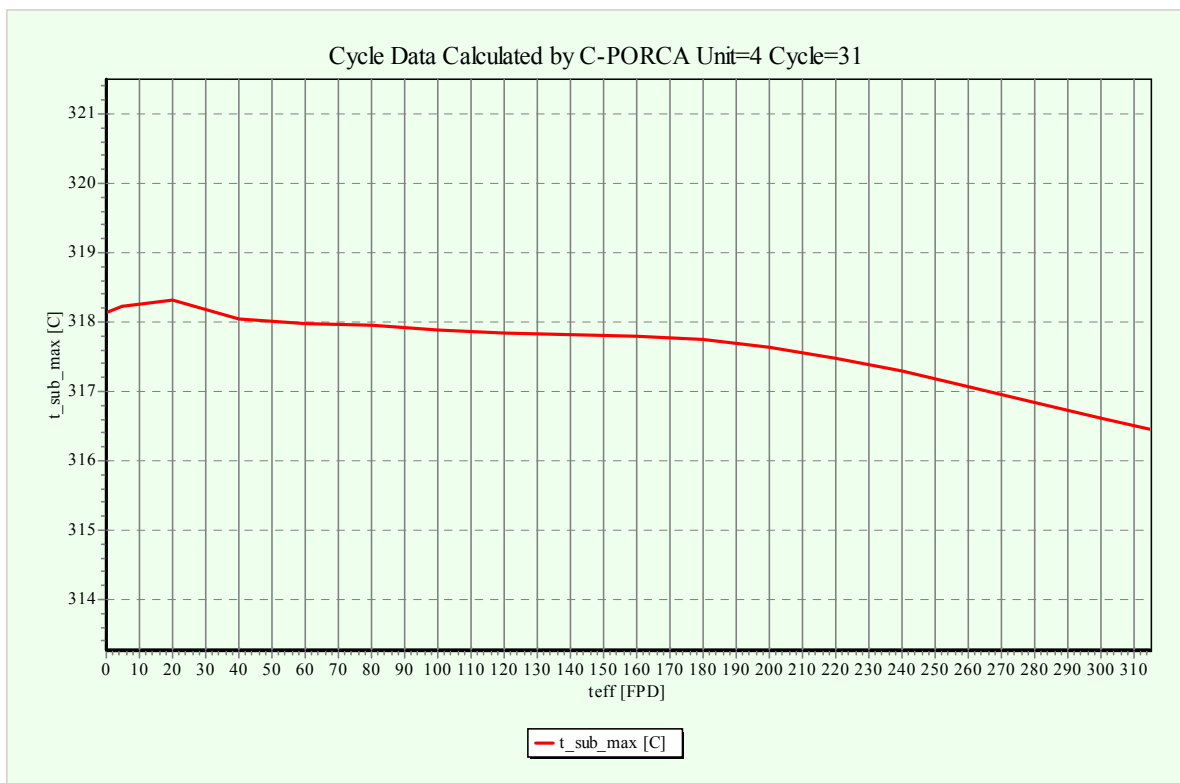
code info:/4/32/GD23/rudas/eoc/-/-

parameters:	value:	sec:	ass.pos:	pinpos:	layer:
Ass.Pow-max[MW]:	5.469	1	43		
Ass.Bu-max[MWd/kgU]:	47.25	1	15		
PinPow-max[kW]:	45.79	1	43	23	
PinBu-max[MWd/kgU]:	52.65	1	56	71	
Tsub-max[C]:	316.2	1	43	57	
Nlin-max[W/cm]:	155.9	1	15	71	35
Nlin-limit[W/cm]:	192.8	1	15	71	35
LocPinBu-max[MWd/kgU]:	59.84	1	56	71	17

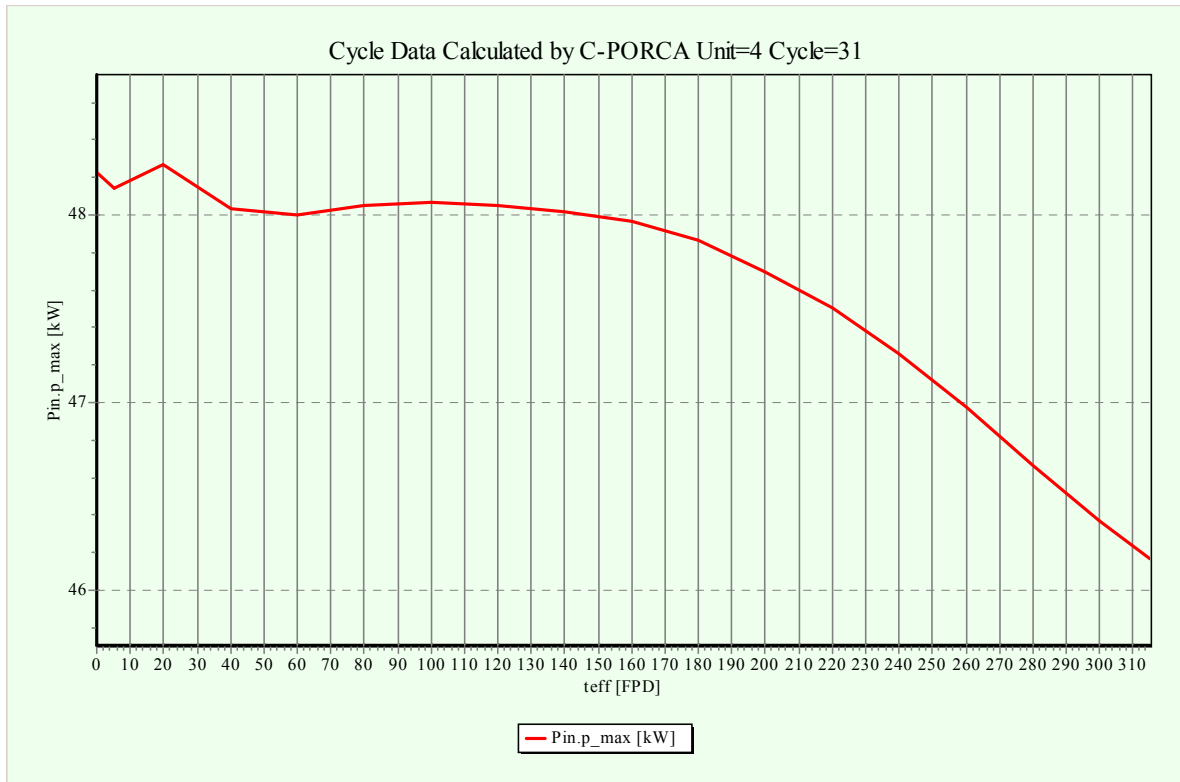
5. ábra:



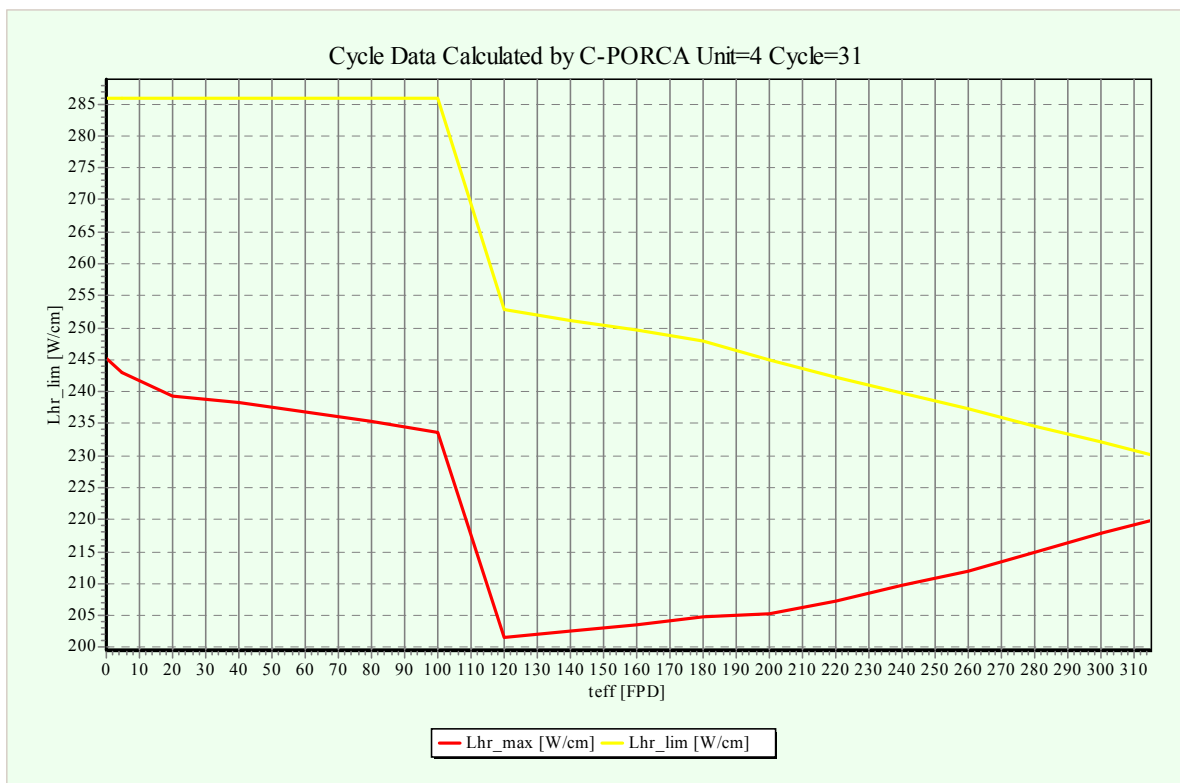
6. ábra:



7. ábra:



8. ábra:



9. ábra: