



**MTA Energiatudományi Kutatóközpont**

# **Új típusú fűtőelemek bevezetésének megalapozását szolgáló kísérletek szimulációja a TRANSURANUS kóddal**

**OAH-ABA-52/15**

**Kozsda-Barsy Eszter, Kulacsy Katalin**

**Budapest, 2016.**

# Bevezetés

## Lyukas tabletták

- alacsonyabb  $T_{max}$
- jobb gázáramlás

## Tömör tabletták

- több hasadóanyag
- → nagyobb teljesítmény

## Szimulációs összehasonlítás

- Halden IFA 681
- Esettanulmány orosz fűtőelemekre különböző teljesítménytörténeteken



# TRANSURANUS

Verzió: V1M2J15

## Alkalmazhatóság

- Fűtőelem pálcák termikus és mechanikai elemzése
- Fizikai modellek + finomhangolás + időlépések
- Normál üzemi és üzemzavari szituációk
- (Új: belső oldali oxidáció)

## Kiegészítő programcsomag – FRAT

- Tömörítés (időben)
- Egyesítés
- Szinkronizálás (kód sajátossága miatt)



# IFA-681

## kísérlet utószámítása

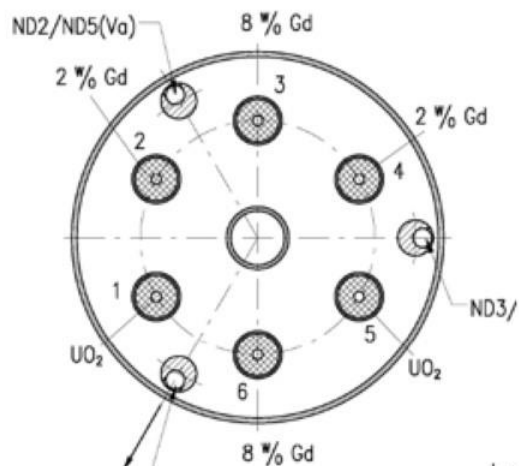
Fűtőelem sorszáma	1	2	3	4	5	6
Tabletta geometriája	tömör	tömör	tömör	lukas	lukas	lukas
Üzemanyag	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> +2% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub> +8% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub> +2% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> +8% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Dúsítás, (%)	4,7	4,7	2,8	4,7	4,7	2,8
Gd tartalom, (%)	0,0	2,0	8,0	2,0	0,0	8,0
Töltőgáz	He	He	He	He	He	50% Ar/50% He
Fűtőelempálca aktív hossza, mm	400,4	400,0	400,2	399,9	400,3	400,2
Tabletta magassága, mm	10,25	9,92	9,97	9,92	10,25	9,97
Tabletta átmérője, mm	8,19					
Tabletta relatív sűrűsége (%)	95,5					
Fűtőelempálca töltőgáz nyomása, bar	10					
Tabletta belső furatának átmérője, mm	1,8 (felső 90 mm)			1,8		
Burkolat	Zry-4					
Burkolat külső átmérője (mm)	9,50					
Burkolat belső átmérője (mm)	8,36					

# IFA-681

A „tömör” tablettás pálca furata



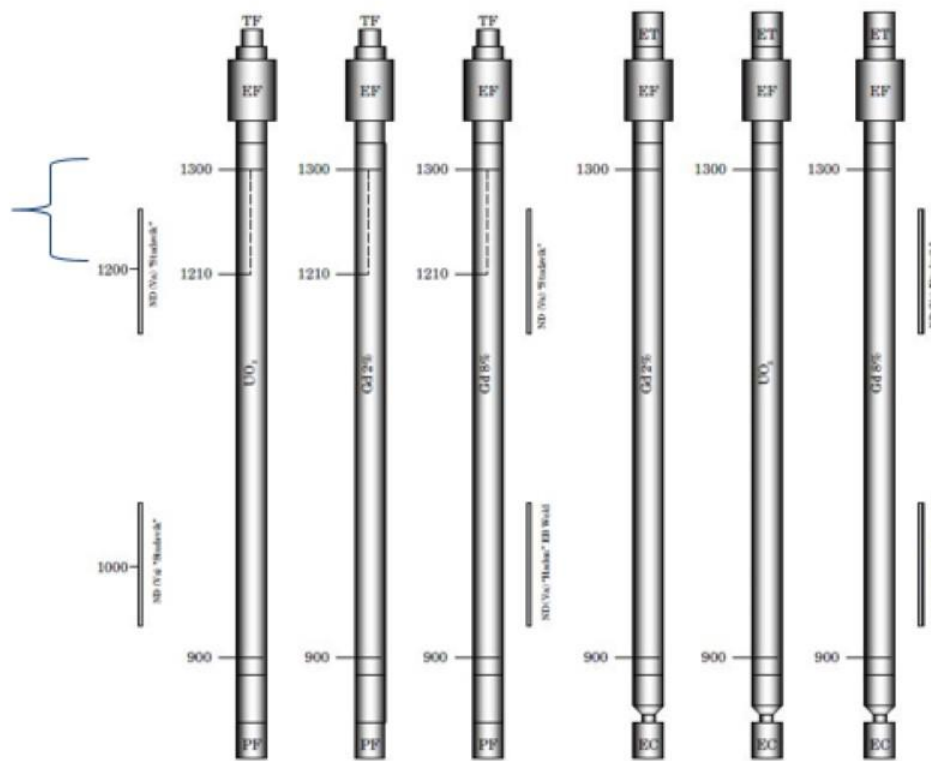
korrekció



Eltérő pozíció

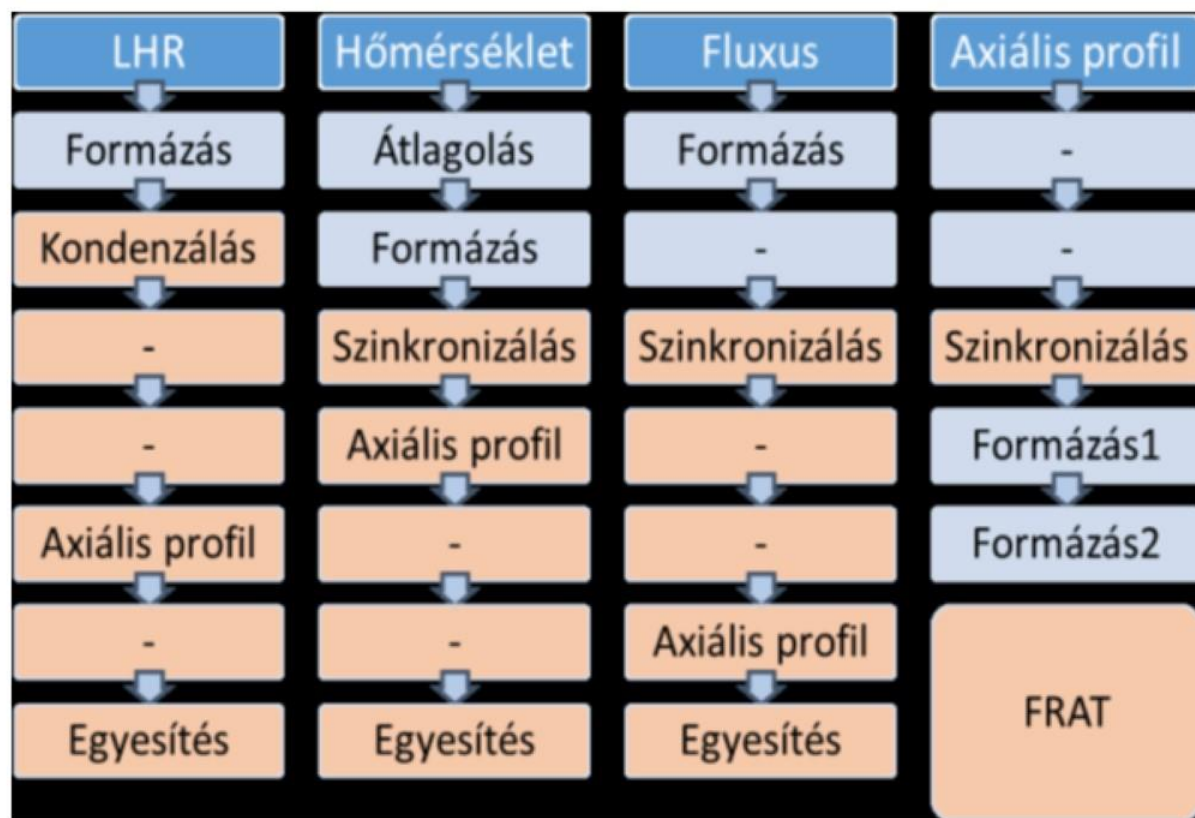


további szimulációk



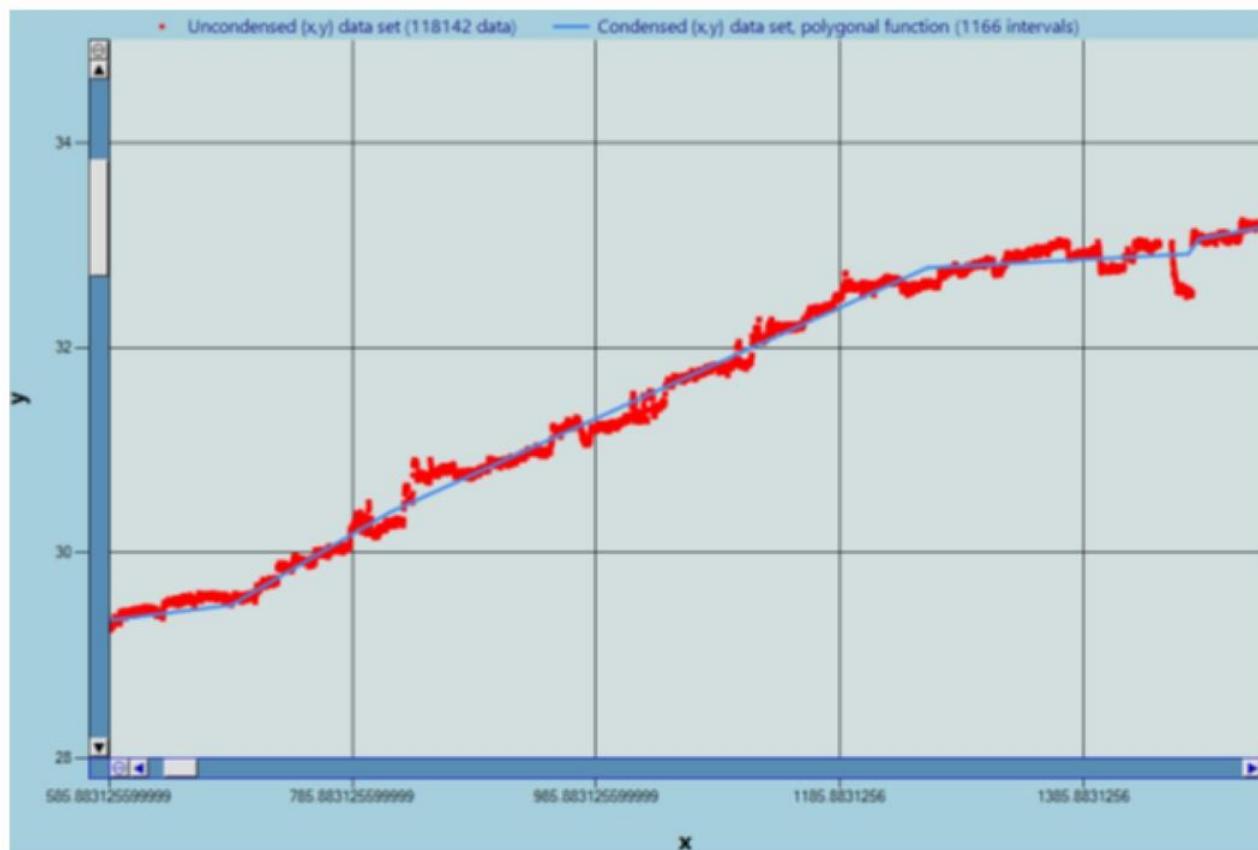
ROD NO.:	681-1	681-2	681-3	681-4	681-5
681-6					
Rig pos no.:	1	2	3	4	5
					6

## Adatfeldolgozás – FRAT



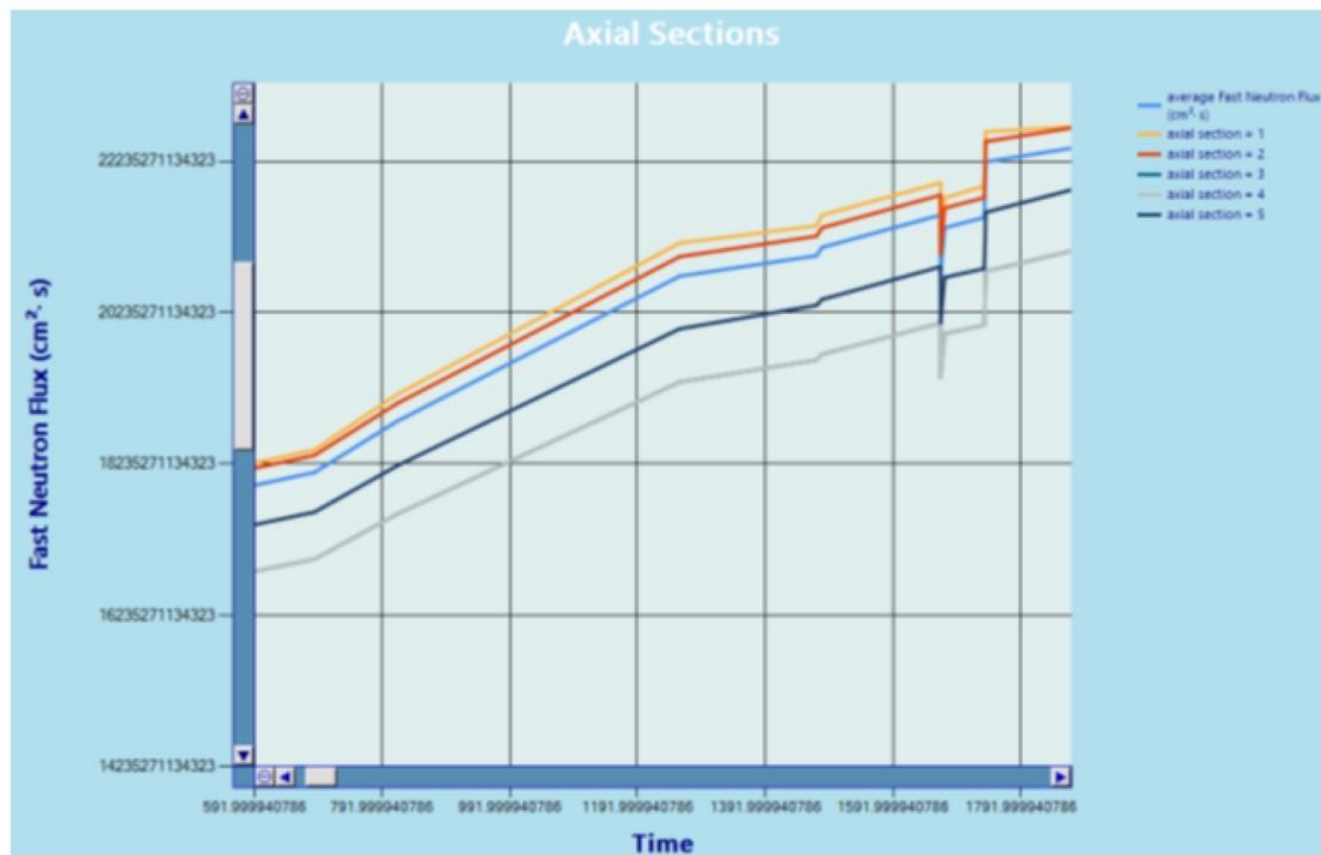
# IFA-681

## Kondenzálás (LHR-t) – FRAT





## Axiális profil – FRAT





## Szimuláció – főbb beállítások

Beállítás	Érték	Jelentés
pincha(1)	HWR	nehézzvízes reaktor
pincha(2)	THE	termális reaktor
pincha(3)	OXI	oxid üzemanyag
pincha(4)	ZIR	Zircaloy burkolat
canf	He 1	kezdeti gázkomponensek: 100% hélium
ifall	3	burkolat és tableta együttes elemzése, kezdeti rés van
por000	0,00890	üzemanyag átlagos gyártási porozitása
enriU235	0,047	kezdeti dúsítás
Wert 10	3,36 MPa	hűtőközeg nyomása

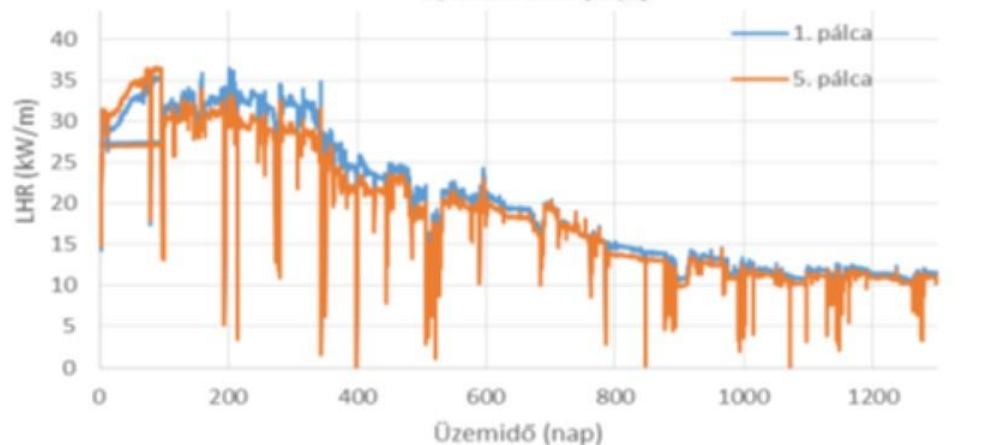
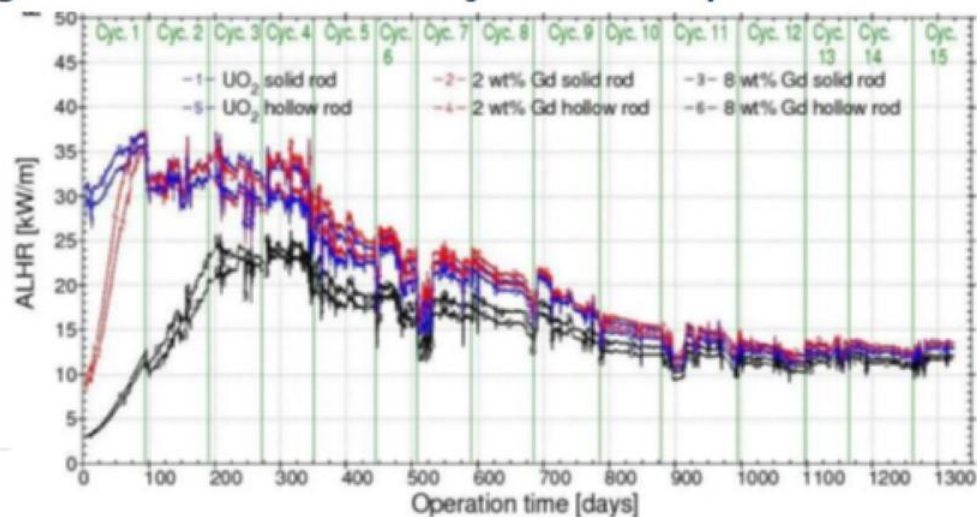
## Szimuláció – különbségek a futtatások között

Beállítás	Jelentés	Érték - tömör	Érték - lyukas
m3	axiális osztás száma (db)	4	2
hhref	osztások mérete (mm)	200-109-1-90-83,80	200-200-83,80
rib	tableta belső sugár (mm)	0-0-0-0,9	0,9-0,9
tfvolm	teljes szabad térfogat (mm <sup>3</sup> )	5898,925	6680,128

# IFA-681

## Kísérlet és szimuláció

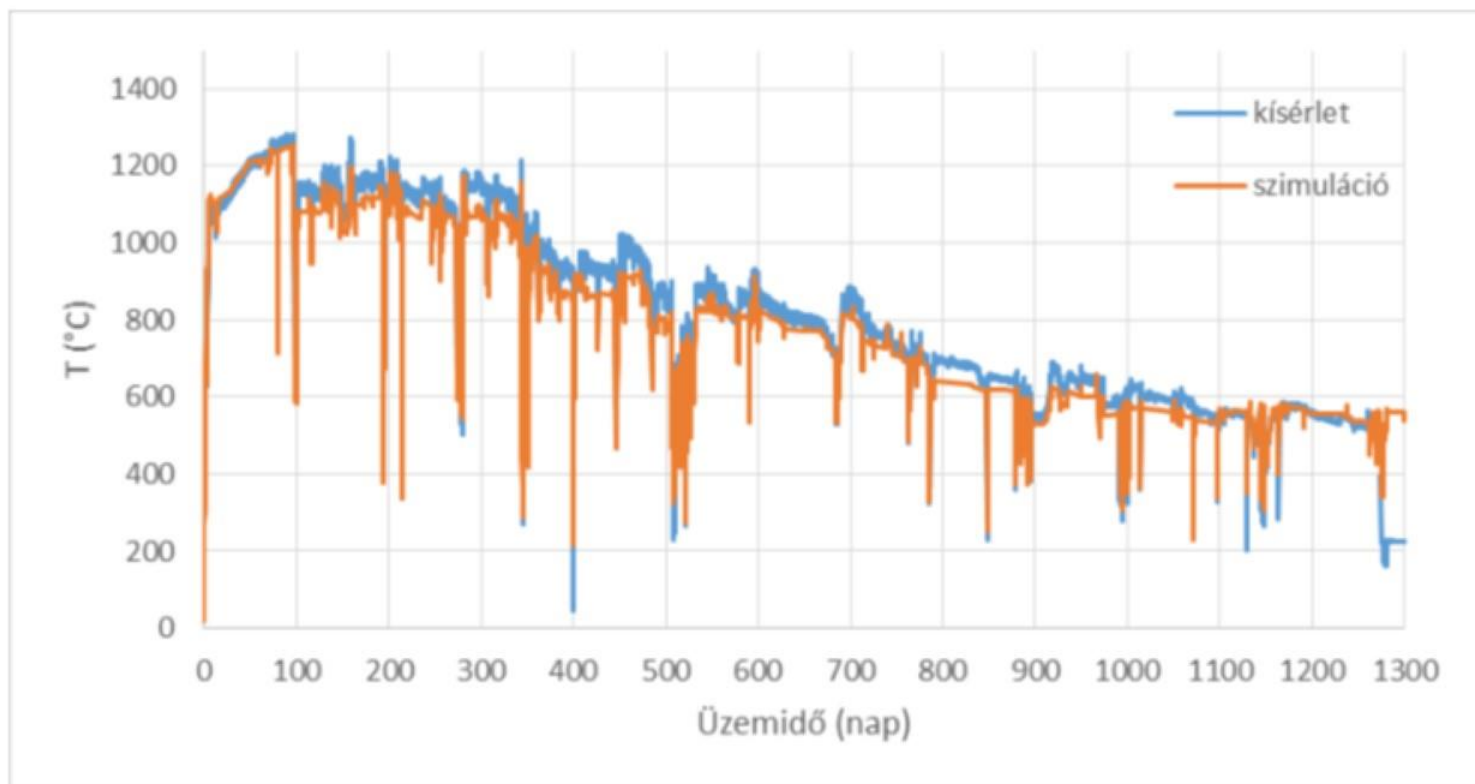
- Átlagos lineáris hőteljesítmény



# IFA-681

## Kísérlet és szimuláció

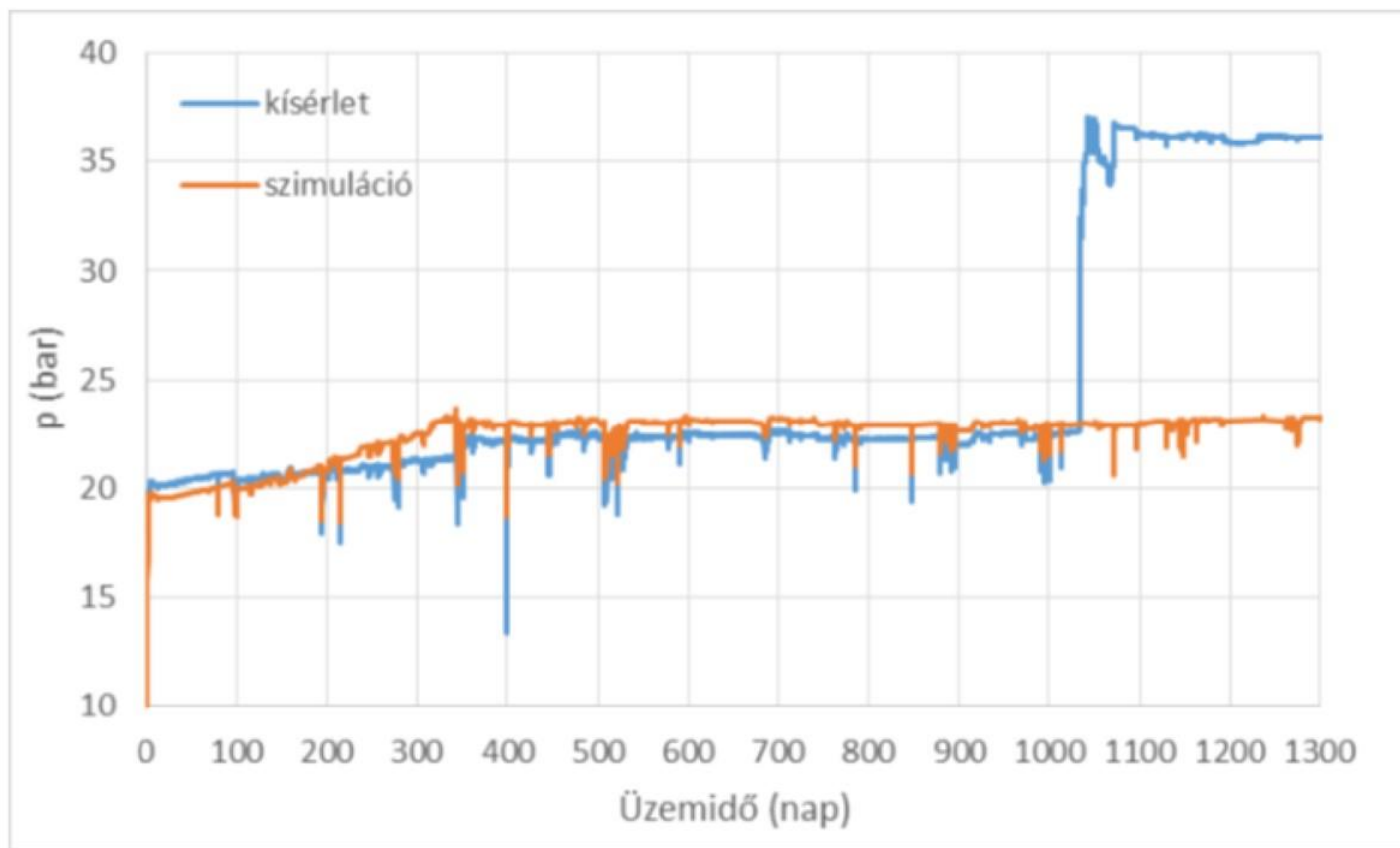
- Üzemanyag középvonali hőmérséklete (lyukas)



# IFA-681

## Kísérlet és szimuláció

- Pálca belső nyomása (tömör)







# IFA-681

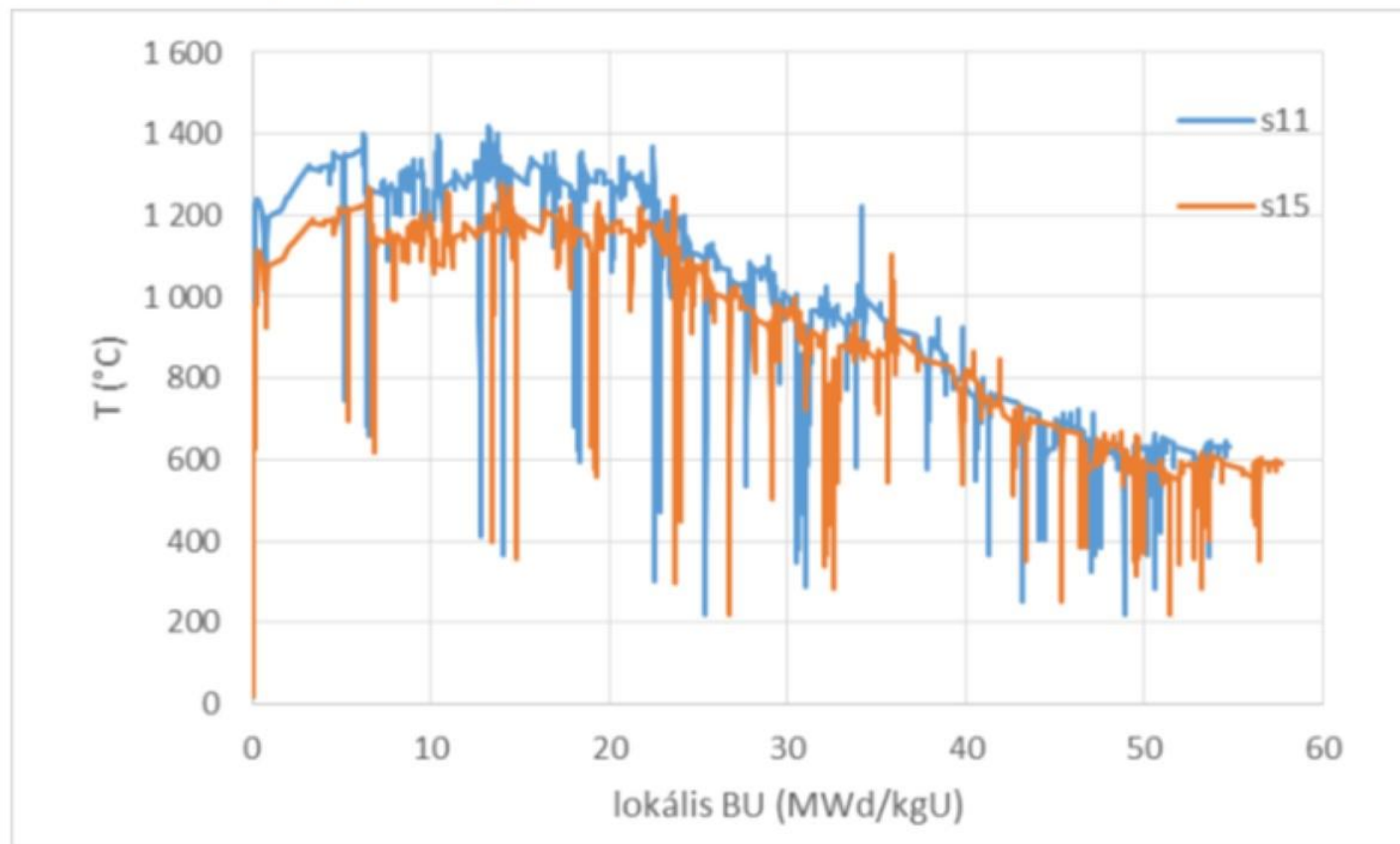
Szimuláció: tömör és lyukas

Görbe	Teljesítmény történet	Geometria
S11	tömör tableta (1)	tömör tableta (1)
S15	tömör tableta (1)	lyukas tableta (5)
S55	lyukas tableta (5)	lyukas tableta (5)
S51	lyukas tableta (5)	tömör tableta (1)

# IFA-681

Szimuláció: tömör és lyukas

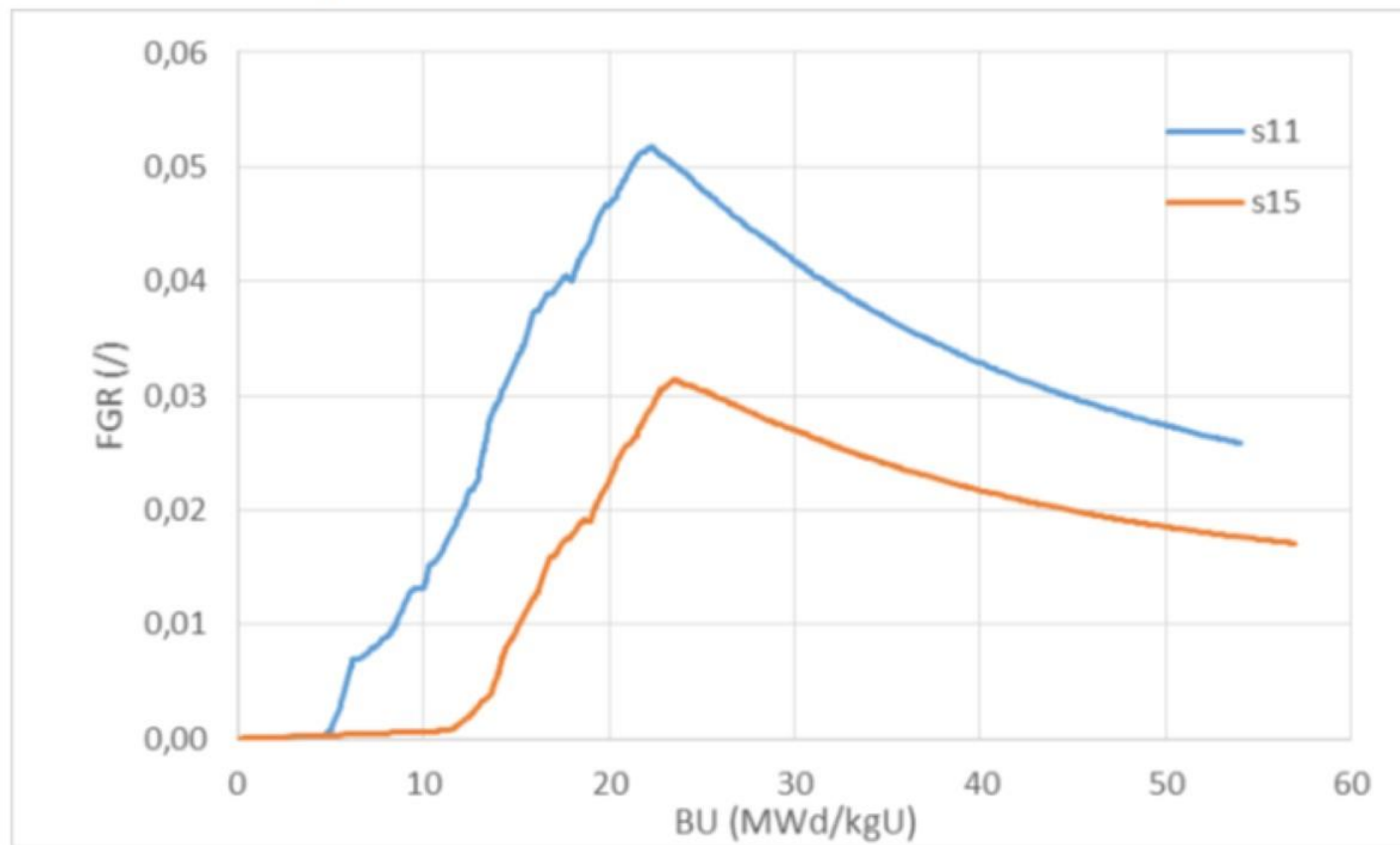
- Üzemanyag középvonali hőmérséklete



# IFA-681

Szimuláció: tömör és lyukas

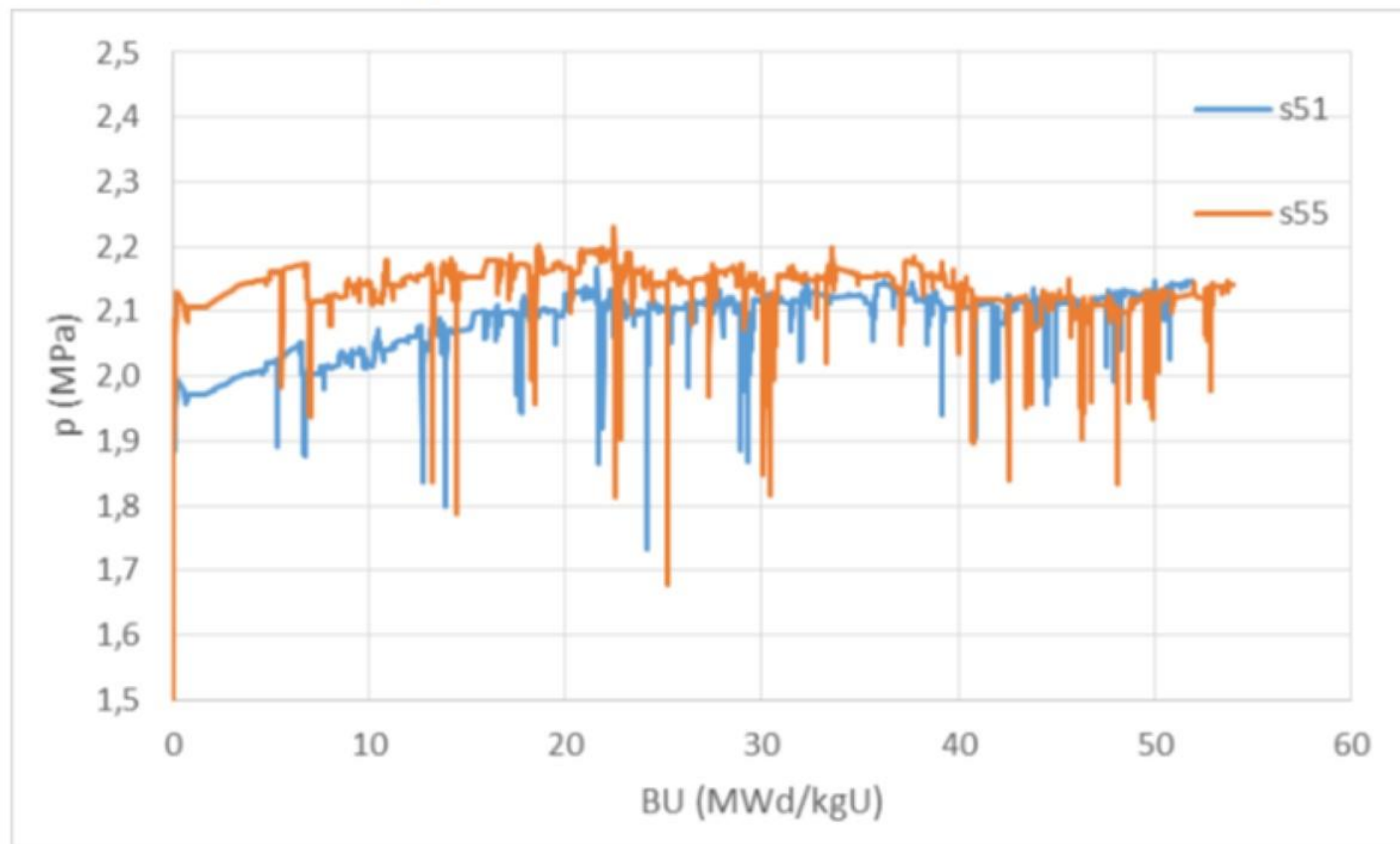
- Hasadási gázok felszabadulása



# IFA-681

Szimuláció: tömör és lyukas

- Pálca belső nyomása

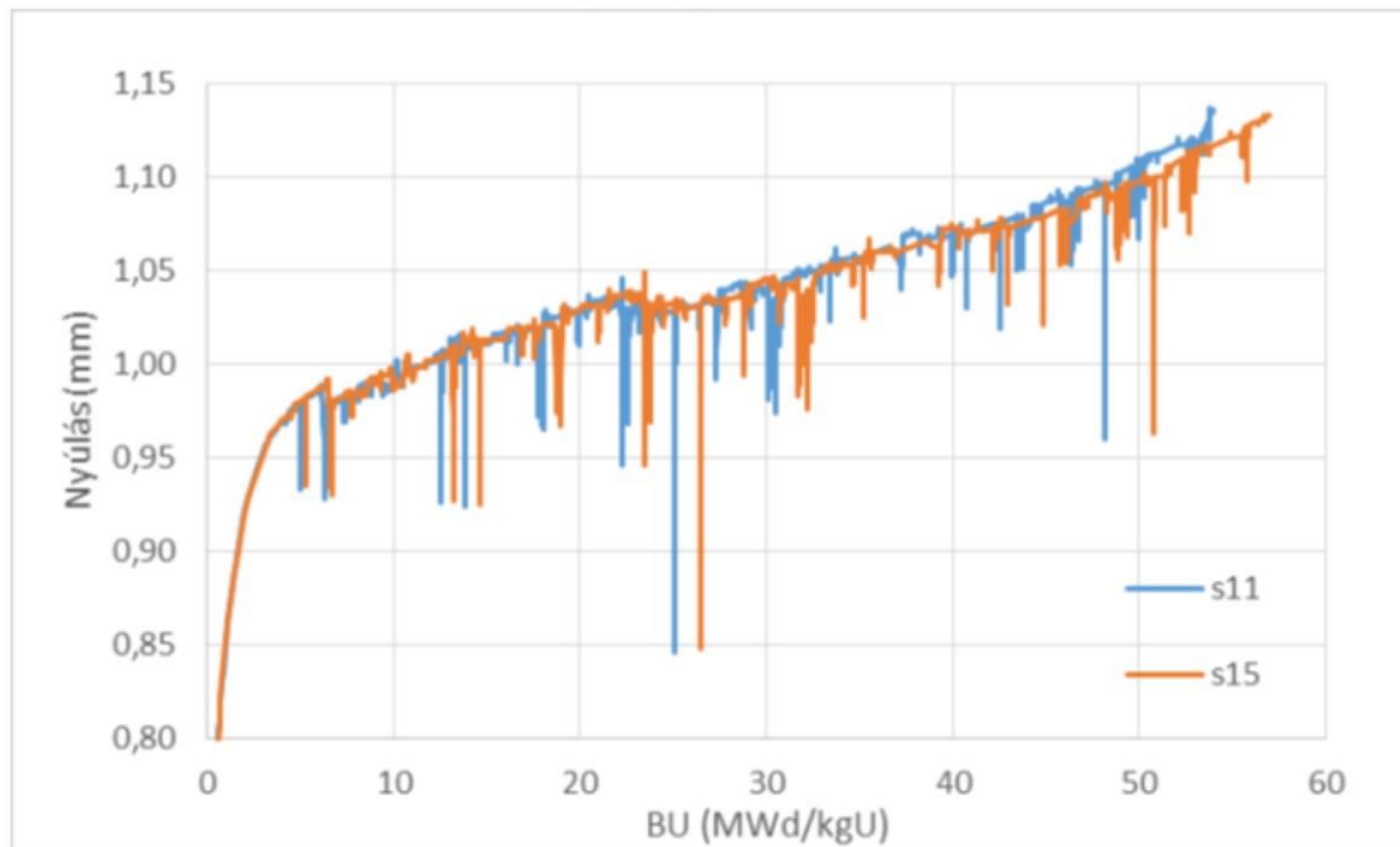




# IFA-681

Szimuláció: tömör és lyukas

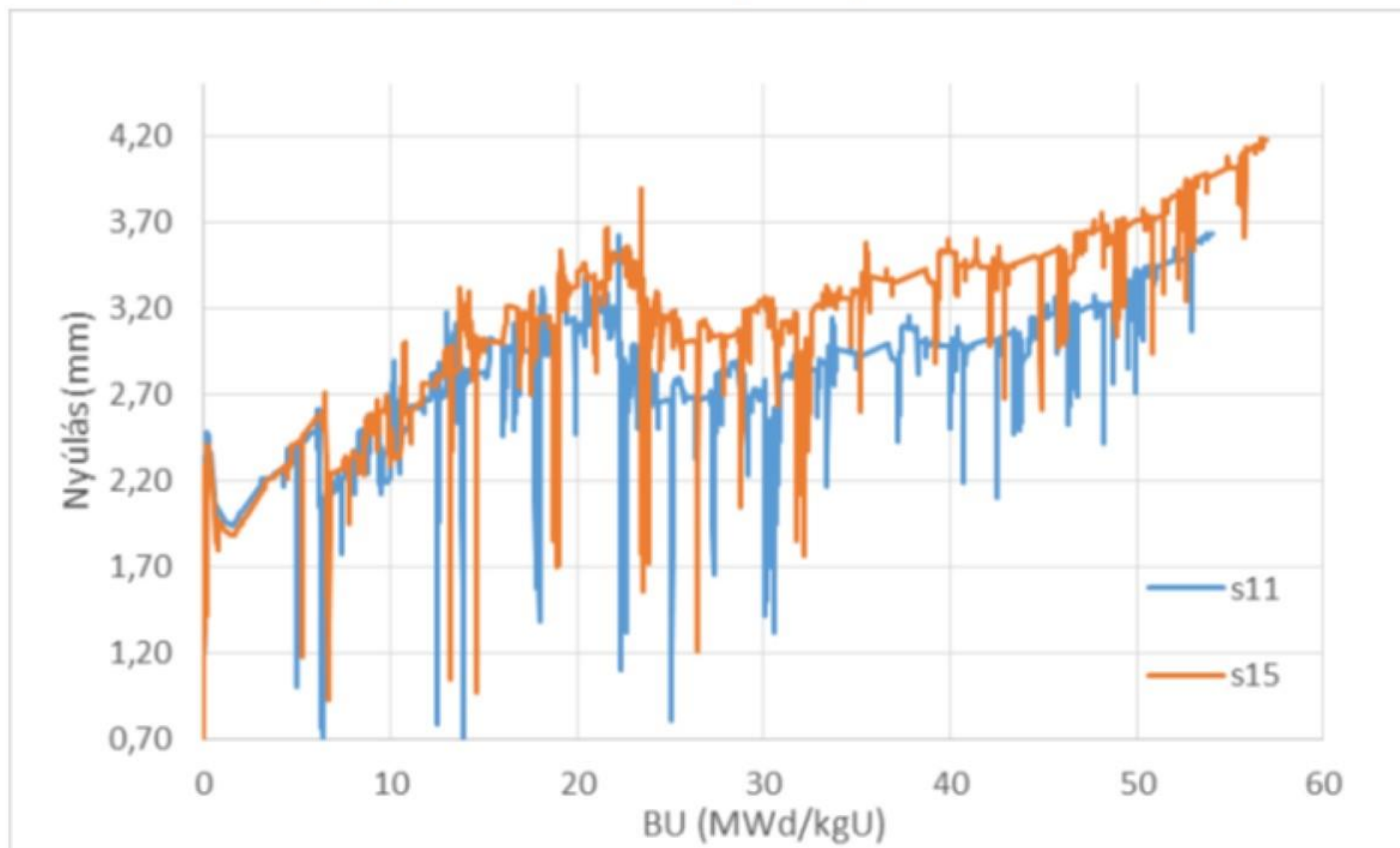
- Burkolat axiális irányú nyúlása



# IFA-681

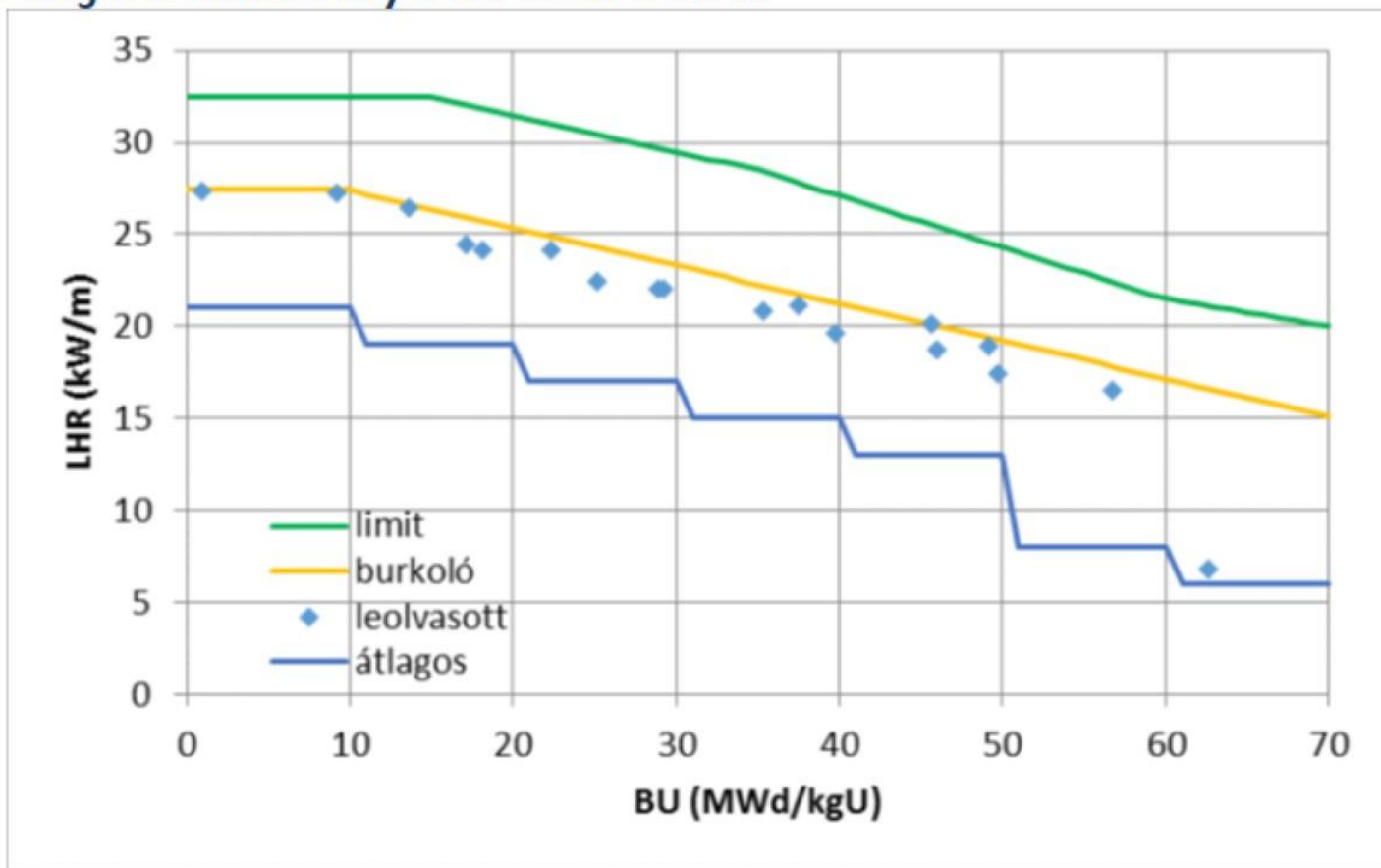
Szimuláció: tömör és lyukas

- Üzemanyag axiális irányú nyúlása



# Esettanulmány orosz fűtőelemek alapján

## Teljesítménytörténetek



# Esettanulmány

## Szimuláció – főbb beállítások

Beállítás	Érték	Jelentés
pincha(1)	WER	VVER-440
pincha(2)	THE	termikus reaktor
pincha(3)	OXI	oxid üzemanyag
pincha(4)	ZR1	E110 burkolat
canf	He 1	kezdeti gázkomponensek: 100% hélium
ifall	3	burkolat és tablettá együttes elemzése, kezdeti rés van
por000	0,05	üzemanyag átlagos gyártási porozitása (-)
enriU235	0,0487	kezdeti dúsítás (-)
m3	10	axiális osztások száma
hhref	248-248-248-248-248-248-248-248-248-121 (felső plénum)	osztások mérete (mm)

## Szimuláció – különbségek a futtatások között

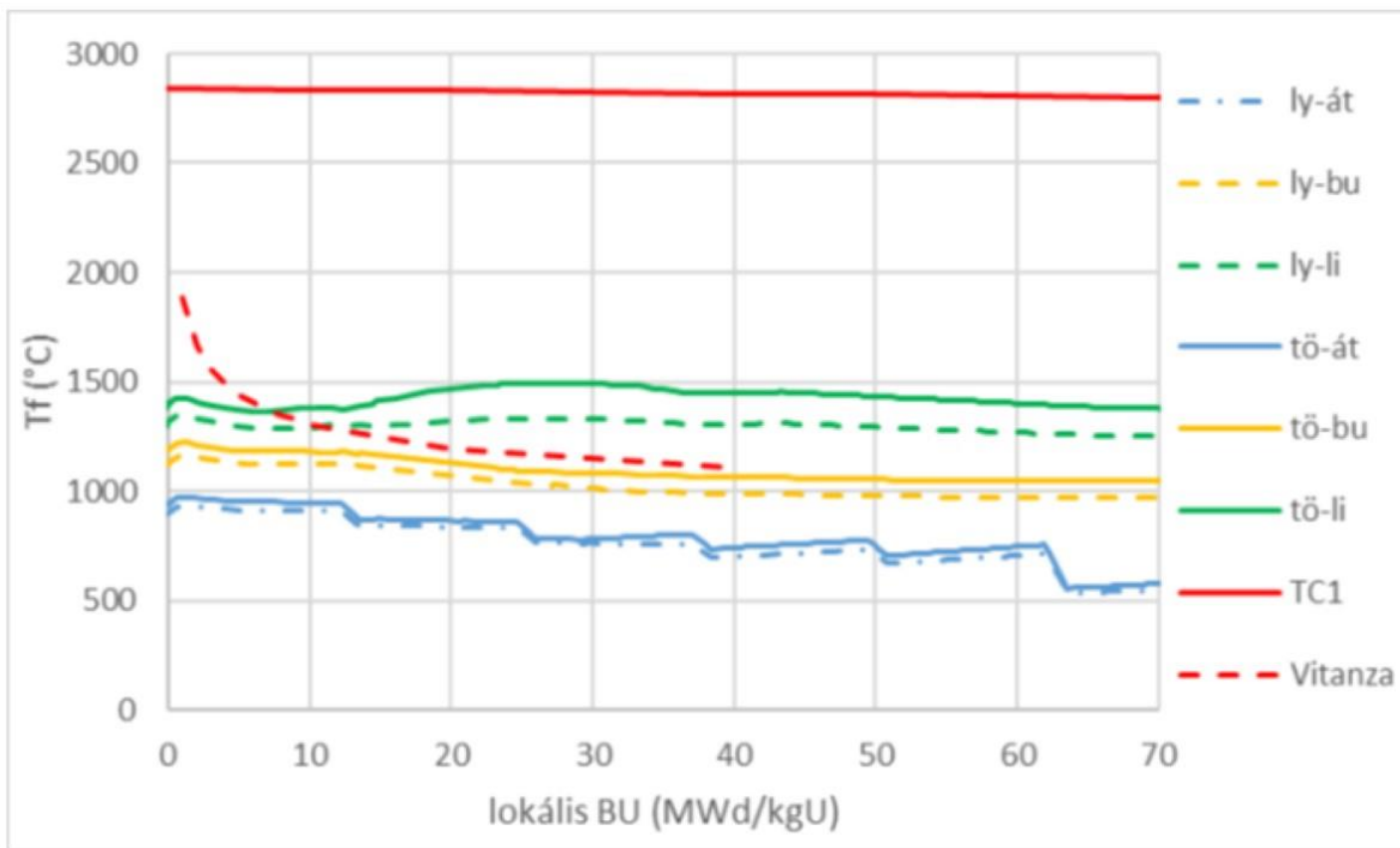
Beállítás	Jelentés	Érték - tömör	Érték - lyukas
rib	tablettá belső sugár (mm)	0	0,6
rab	tablettá külső sugár (mm)	3,9	3,8
rih	burkolat belső sugár (mm)	3,965	3,865
rah	burkolat külső sugár (mm)	4,55	4,55
tfvolm	teljes szabad térfogat (mm <sup>3</sup> )	9959,170	12365,072



# Esettanulmány

Korlátoktól való távolság

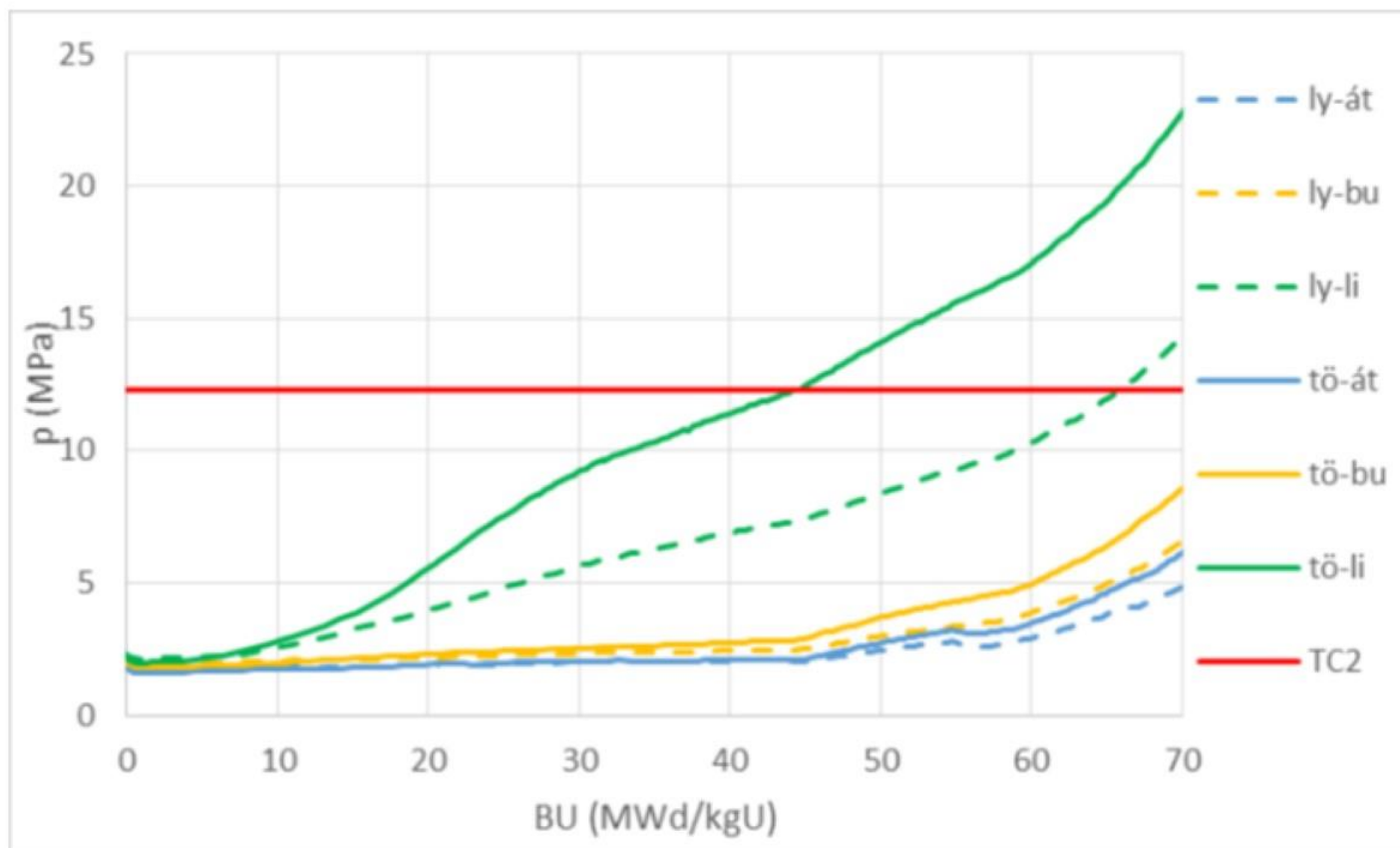
- TC1  $T_f < 2840 - 0,56 \cdot BU$
- Vitanza  $T_c = 9800 / (\ln(Bu / 5,67))$



# Esettanulmány

Korlátoktól való távolság

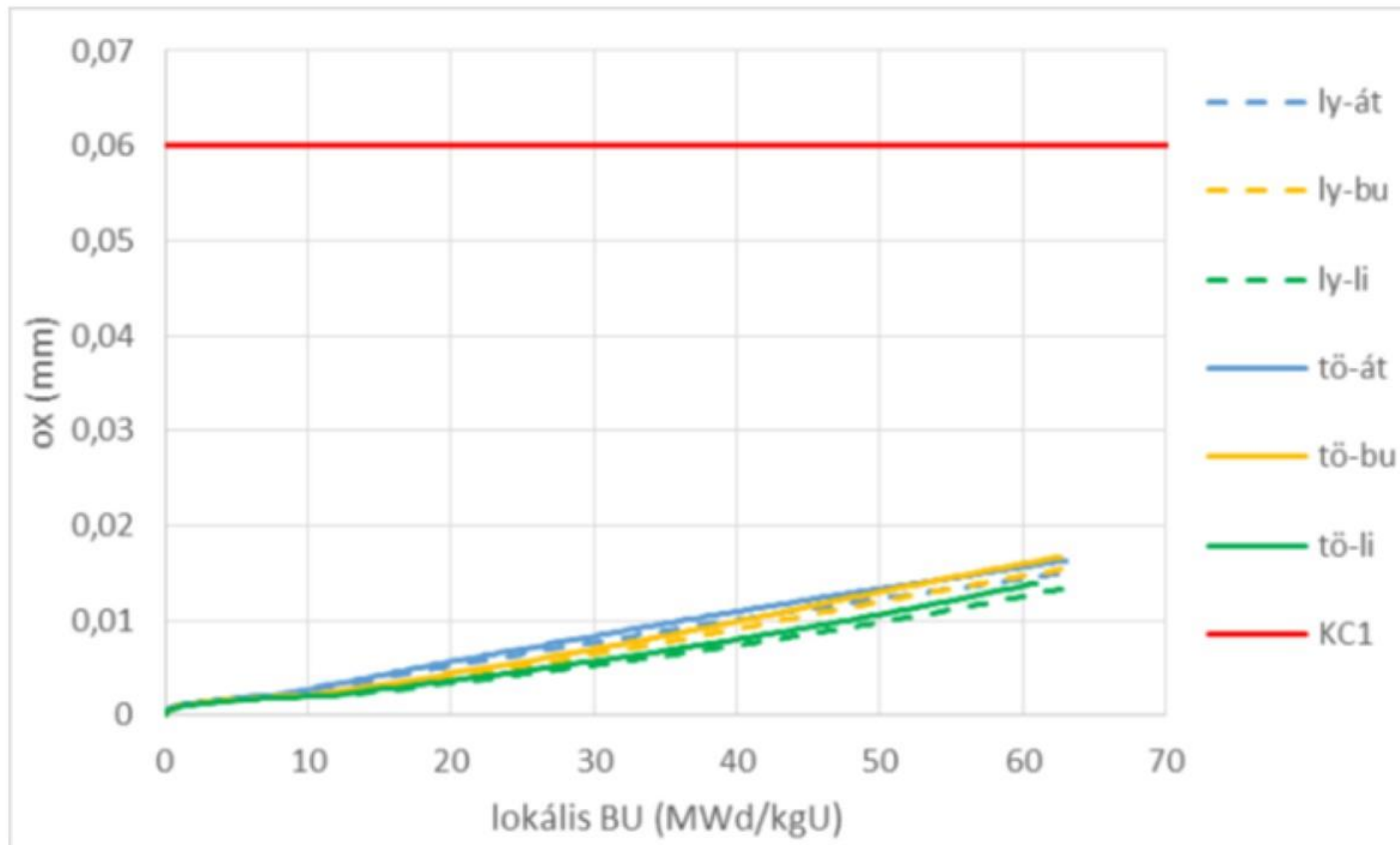
- TC2  $p_{pin} < p_{cool}$



# Esettanulmány

Korlátoktól való távolság

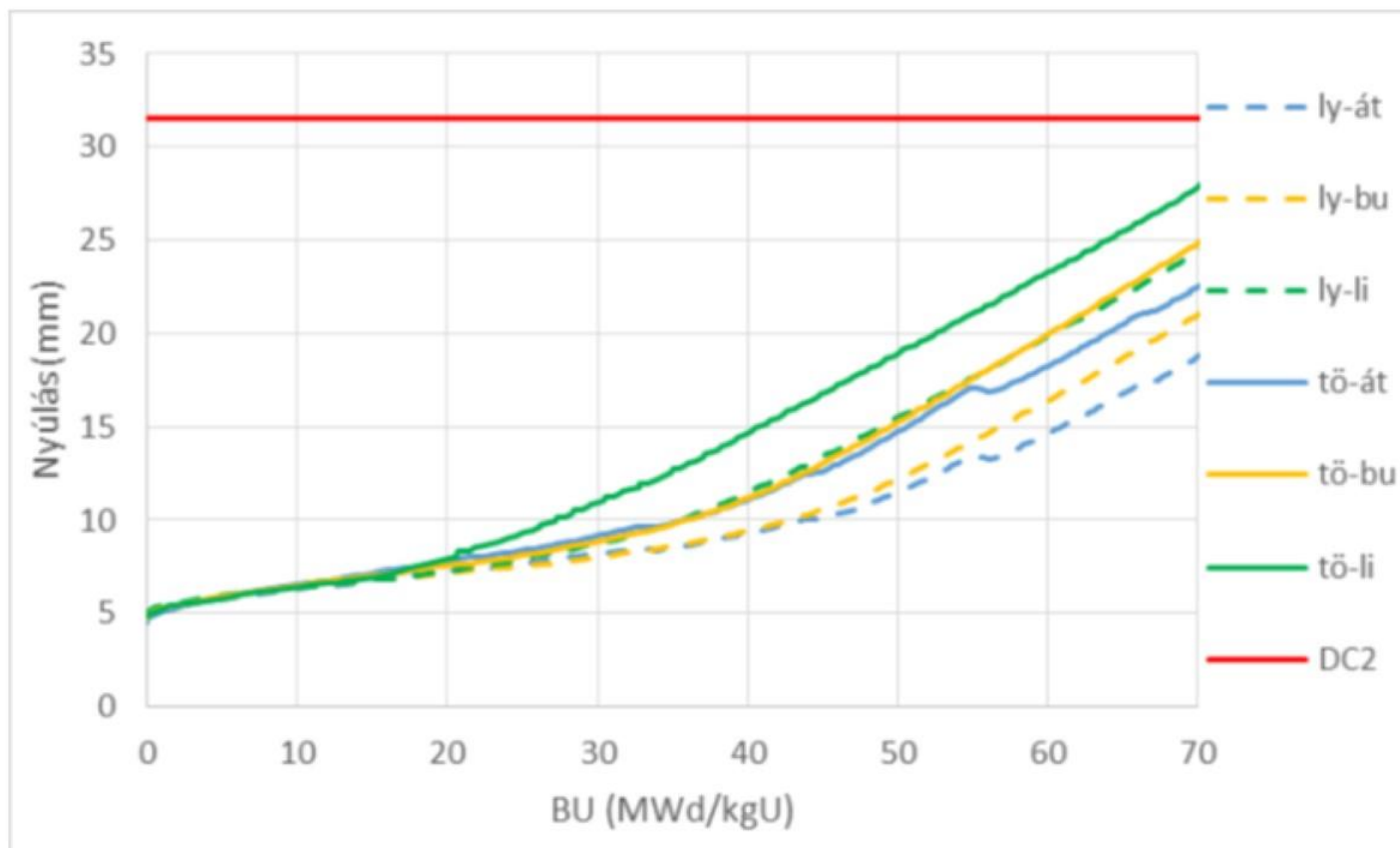
- KC1  $\sigma_x < 60 \mu\text{m}$



# Esettanulmány

Korlátoktól való távolság

- DC2  $a_x < 31,5$  mm





# Összefoglalás

## Haldeni IFA-681 kísérlet szimulációja

- $T_{\text{közép}}$  számolása lyukasra jó, tömörre nagy  $T$ -n túlbecsül
- $P_{\text{pin}}$  számolása jó
- Tömör középvonali  $T$ -je magasabb
- Tömörből több FGR

## Esettanulmány lyukas és tömör orosz fűtőelemekre

- TC1 hőfizikai:  $T_{\text{közép}}$
- FGR hasadási gázok felszabadulása
- TC2 hőfizikai:  $p_{\text{pin}}$  (átlagosra)
- KC1 korróziós: oxidréteg vastagság
- DC2 deformációs: burkolat axiális nyúlása
- Tömör vs lyukas: eltérés csak a teljesítményskála felső határánál volt

## Lehetséges folytatás

- LOCA során vizsgálni az eltérő viselkedést

# Hivatkozások

- Slonszki E., Nagy A.: Új típusú fűtőelemek bevezetésének megalapozását szolgáló kísérletek, OAH-ABA-50/15-M, MTA EK-FRL-2015-292-1-1-M1, 2015
- K. Lassmann: TRANSURANUS: a fuel rod analysis code ready for use, Journal of Nuclear Materials 188, pp. 295-302 (1992)
- [3] Barsy E., Kulacsy K.: Az új TRANSURANUS kódverzió számításainak összevetése az MTA EK-ban végzett felfűvódási-felhasadási kísérletekkel, OAH-ABA-20/15-M, 2015
- K. Lassmann, A. Schubert, J. van de Laar, P. Van Uffelen: The 'Fuel Rod Analysis Toolbox': A general program for preparing the input of a fuel rod performance code, Annals of Nuclear Energy, Vol. 81, 332-335, 2015
- F. Khattout: The Gadolinia fuel test IFA-681: Overview of in-pile measurements from beginning of irradiation to unloading, HWR-1038, 2013
- V.V. Novikov, V.I. Kuznetsov, V.A. Pudov, L.V. Korystin, B.I. Nesterov, A.S. Eremenko: Serviceability of WWER-440 fuel rods with holeless fuel in design modes of operation in modern fuel cycles, Russian-Hungarian-Finnish meeting „Experience on manufacturing, operating and advancement of fuel and fuel cycles for NPP with WWER-440 reactors”, Russia, Moscow, May 26-27, 2015
- C. Vitanza, E. Kolstad and U. Graziani: „Fission gas release from UO<sub>2</sub> pellet fuel at high burnup”, Proceedings of American Nuclear Society, Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Performance, (May 1979), Portland, Oregon, USA



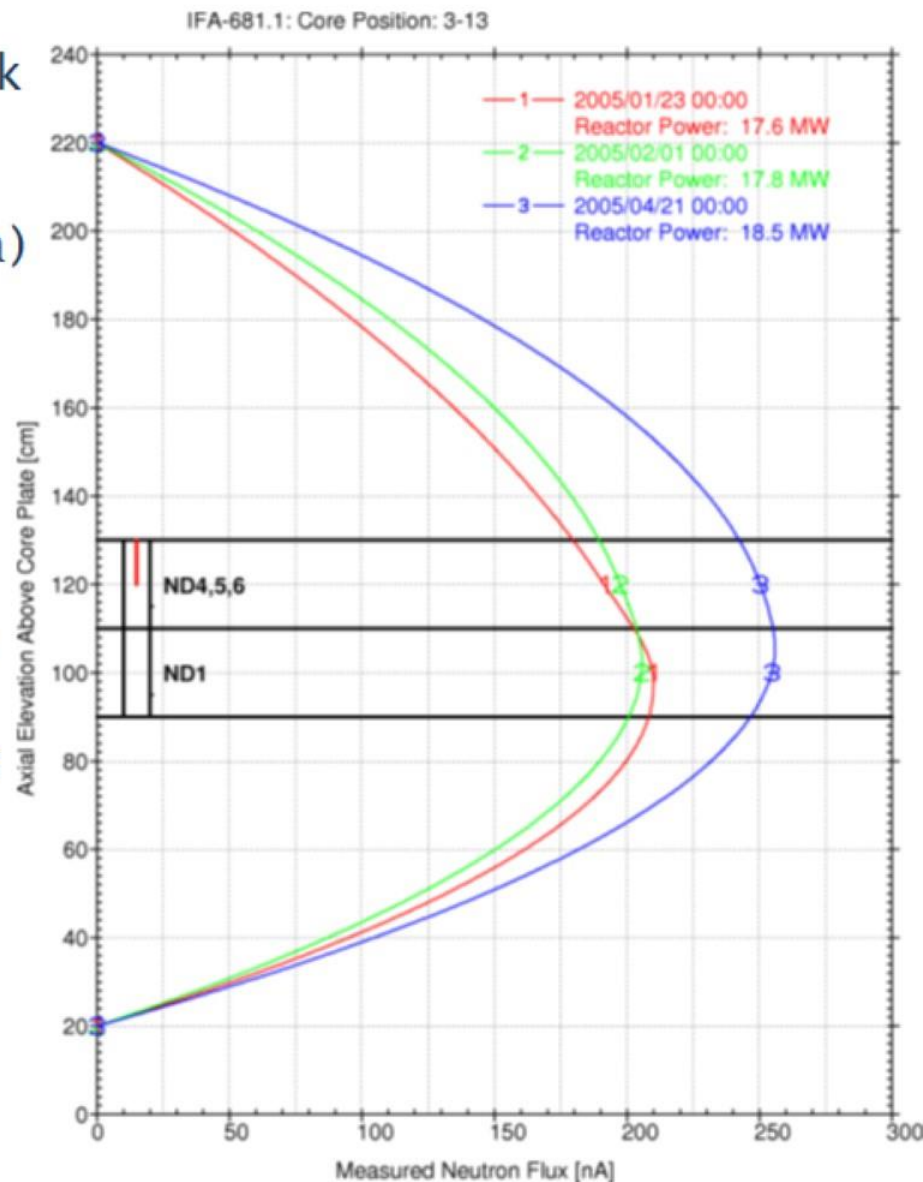
**MTA Energiatudományi Kutatóközpont**

**Köszönöm a figyelmet!**



# 4. kérdés

- Az LHR axiális profiljának lineáris közelítése alábecslést okoz, kevés nódusnál (lyukas tabletta) ez az alábecslés jelentősebb.
- A “tömör” tablettás esetben a korrekció ( $T_{\text{tömör}} = T_{\text{lyukas}} + \text{LHR} * 3,95$ ) átlagos, és mivel egy pálcában a T-LHR függés kiégésfüggő, ezért a kiégésfüggetlen korrekció lehet, hogy a kiégéstartomány valamelyik részén pontatlan





## 4. kérdés

A 9. ábrán látható, hogy a kőd furatos pasztilla esetén alulbecsüli (vagyis itt a kód nem konzervatív irányban téved), míg tömör pasztilla esetén túlbecsüli az üzemanyag hőmérsékletét. Kérjük, adják meg, mi lehet ennek az oka.

