

## ABA MMT, 2019-2022, “A GUARDYAN kód neutronsámítási modelljének verifikációja” OAH-ABA-25/20-M

### Csapattagok:

Légrády Dávid (Egy. docens koordinátor, MC, reaktorfizika)  
Tolnai Gábor (fizikus, kódolás, futtatás... szinte minden)  
Hajas Tamás (PhD hallgató, TH csatolás konvergenciaelemzése)  
Kópházi József (egy. Docens, reaktorfizika)  
Pázmán Előd (MSc hallgató, modellezés, MC módszerfejlesztés)  
Pukler Márton (MSc hallgató, MC szóráscsökkentés)  
Ferenczy Gergely (MSc hallgató, szórás modellezés)

### Korábbi csapattagok:

Molnár Balázs (PhD hallgató, MC)  
Halász Máté (adjunktus)  
Takács Hajna  
Bartik Ábel

## ABA MMT, 2019-2022, “A GUARDYAN kód neutronsámítási modelljének verifikációja ”

### Csapattagok:

Légrády Dávid (Egy. docens koordinátor, MC, reaktorfizika)  
Tolnai Gábor (fizikus, kódolás, futtatás... szinte minden)  
Hajas Tamás (PhD hallgató, TH csatolás konvergenciaelemzése)  
Kópházi József (egy. Docens, reaktorfizika)  
Pázmán Előd (MSc hallgató, modellezés, MC módszerfejlesztés)  
Pukler Márton (MSc hallgató, MC szóráscsökkentés)  
Ferenczy Gergely (MSc hallgató, szórás modellezés)

### Korábbi csapattagok:

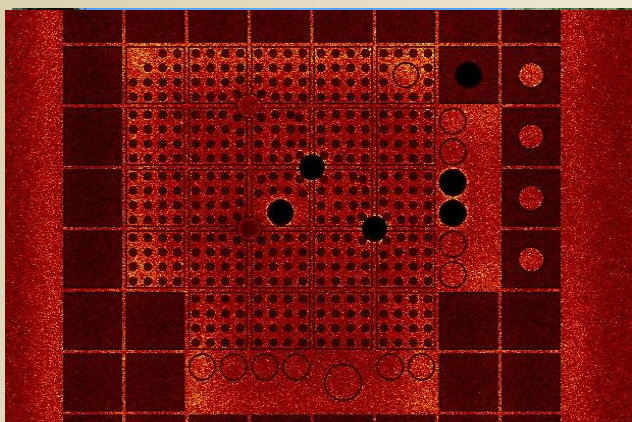
Molnár Balázs (PhD hallgató, MC)  
Halász Máté (adjunktus)  
Takács Hajna  
Bartik Ábel

### 2 sikeres munkaszakasz zárás:

- Nukleáris fizika verifikálása
- Kinetika validálása kis rendszerre (BME TR, Cd, rúdejtés)
- Sikeres felskálázás VVER-440 méreten
- Sikeres kinetikus validáció VVER-440 méreten (!)
- TH csatolás konvergenciaelemzés (kezdetek)

## Nagy pontosságú (“Ultimate Fidelity”) Monte-Carlo Reaktordinamikai kód

Egyéb HPC GPU-projekt: Orvosi Tomográfias Képrekonstrukció



BME Oktatóreaktor

### Hasonló kódok:

- dynTRIPOLI – CEA, Franciaország (CPU)
- dynSERPENT – VTT, Finnország (CPU)

### Jelenlegi előnyös különbségek:

- GPU
- Atomerőművi méretben is működik (csak nekünk!)
- Atomerőművi kísérlettel is verifikált (csak nekünk!)

### Jelenlegi versenyhátrány:

- 4xNVIDIA 1080, A6000, A4000, RTX 3090
- átmenetileg: Wigner GPU cluster, 8x A100

### Futási idők:

- Paks I., 4. blokk, realisztikus modell: 1s – 8 nap, 8s hosszú folyamat (3090)
- BME Oktatóreaktor: 1s -12h, 16-60s hosszú folyamatok (3090)

## Vizuális Monte-Carlo Renderelés

### Fizika:

- Egymástól független részecskék
- Fény egyenes mentén halad két törés között
- Elterülés törőközegek határán
- Egyszerű törési törvény(ek)
- Ritka közegen belüli diffúzió
- Kevés anyagparaméter

### Pontossági igény:

- Keltsen realiztikus hatást az eredmény
- Síkháromszögekkel leképezhető felületek

### Hardver:

- Kevés regiszter
- Szimplapontos aritmetika
- RTX

## Neutron Transzport Monte-Carlo

### Fizika:

- Egymástól független részecskék
- Neutron egyenes mentén halad két kölcsönhatás között
- Exponenciális eloszlás szerinti szabad repülés
- Bonyolult szórási törvények (k.b.70 féle)
- Mindig közegen belüli kölcsönhatás
- Több Gbyte anyagi adat

### Pontossági igény:

- 10pcm ( $10 \times 10^{-5}$ ) hiba már nem elfogadható
- Másod-harmadrendű határolófelületek
- 0.0015cm (15um) különbség már látványos hatású (lásd következő dia)

### Hardver:

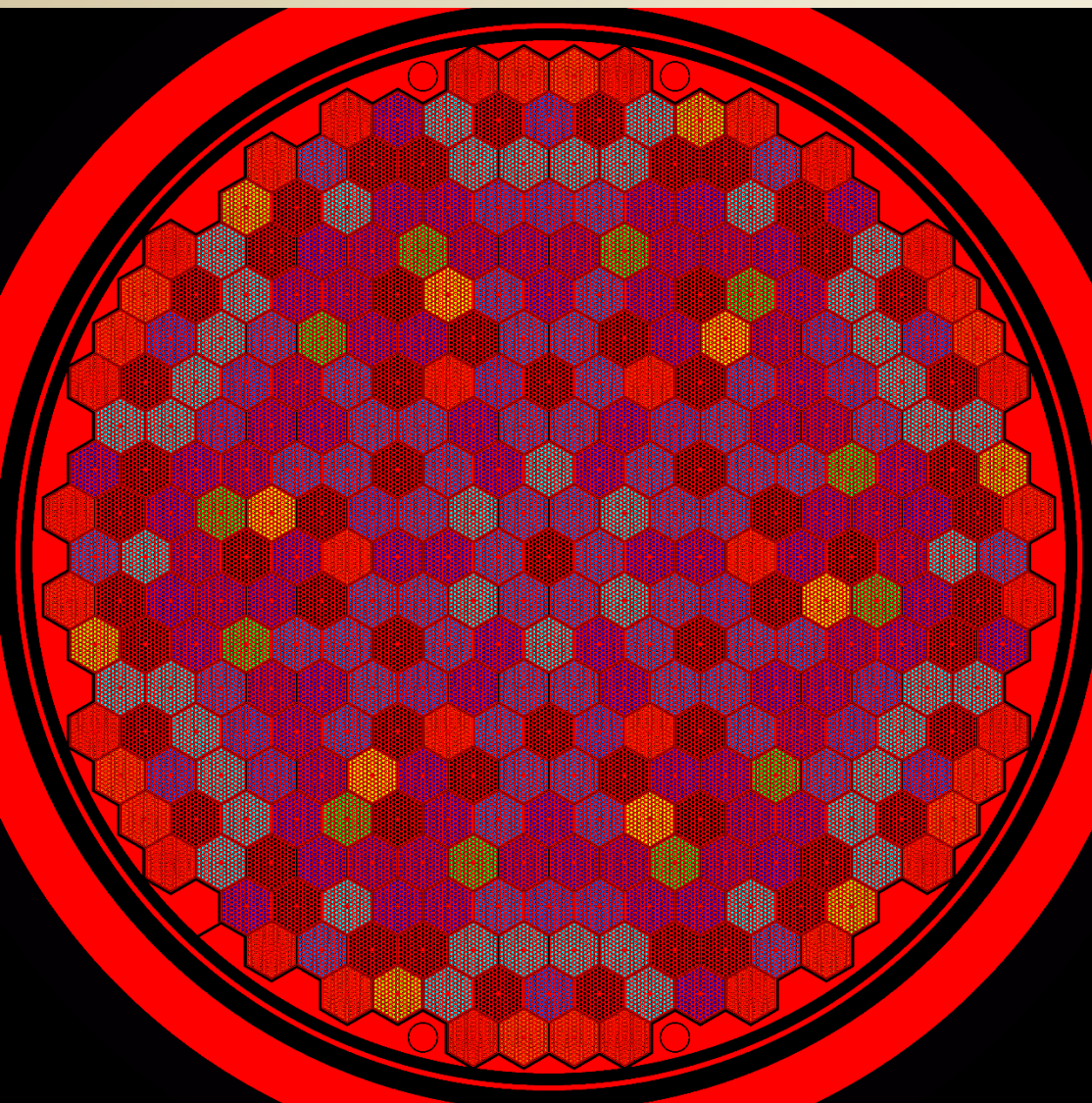
- NAGYON sok regiszter
- Duplapontos számítási egységek
- RTX?

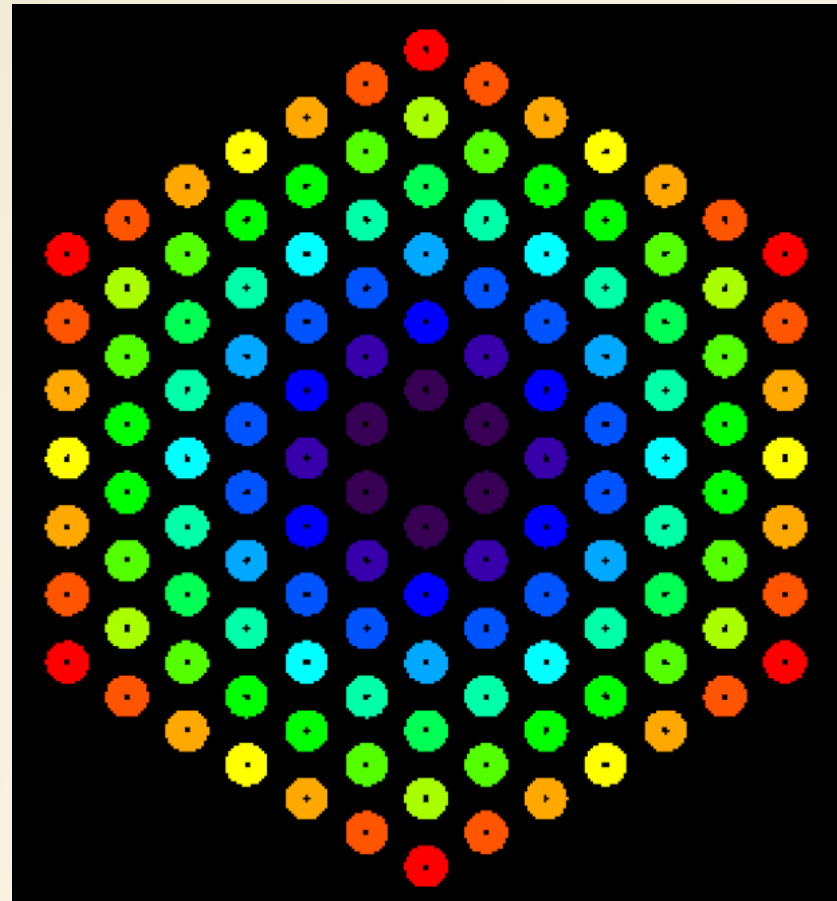
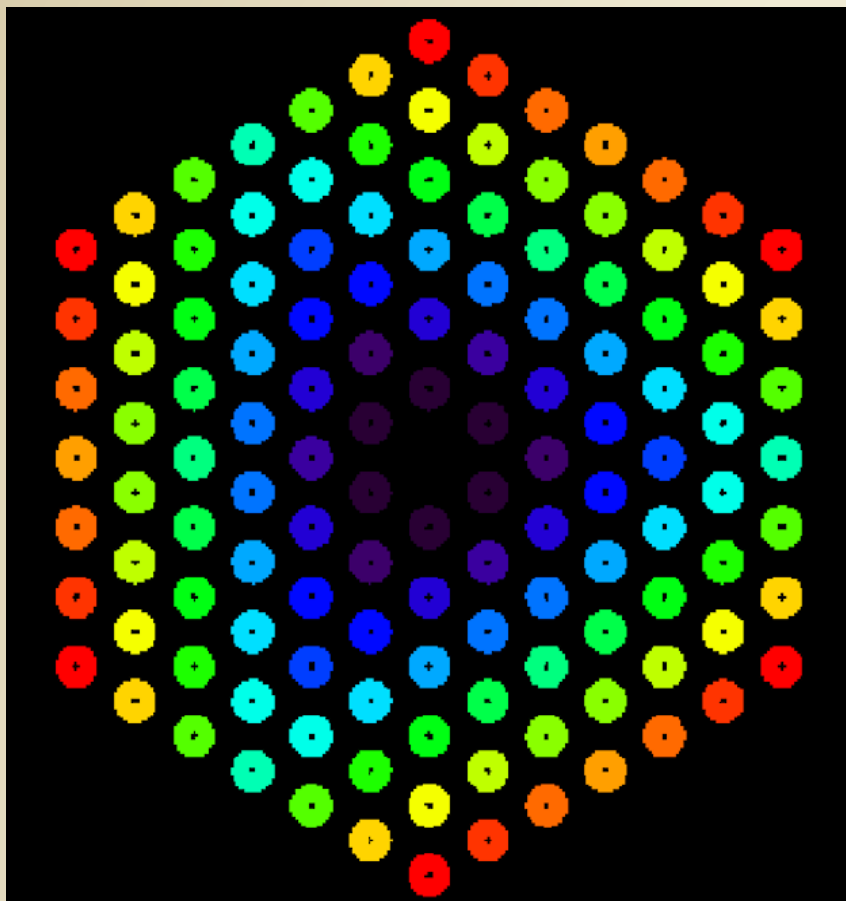


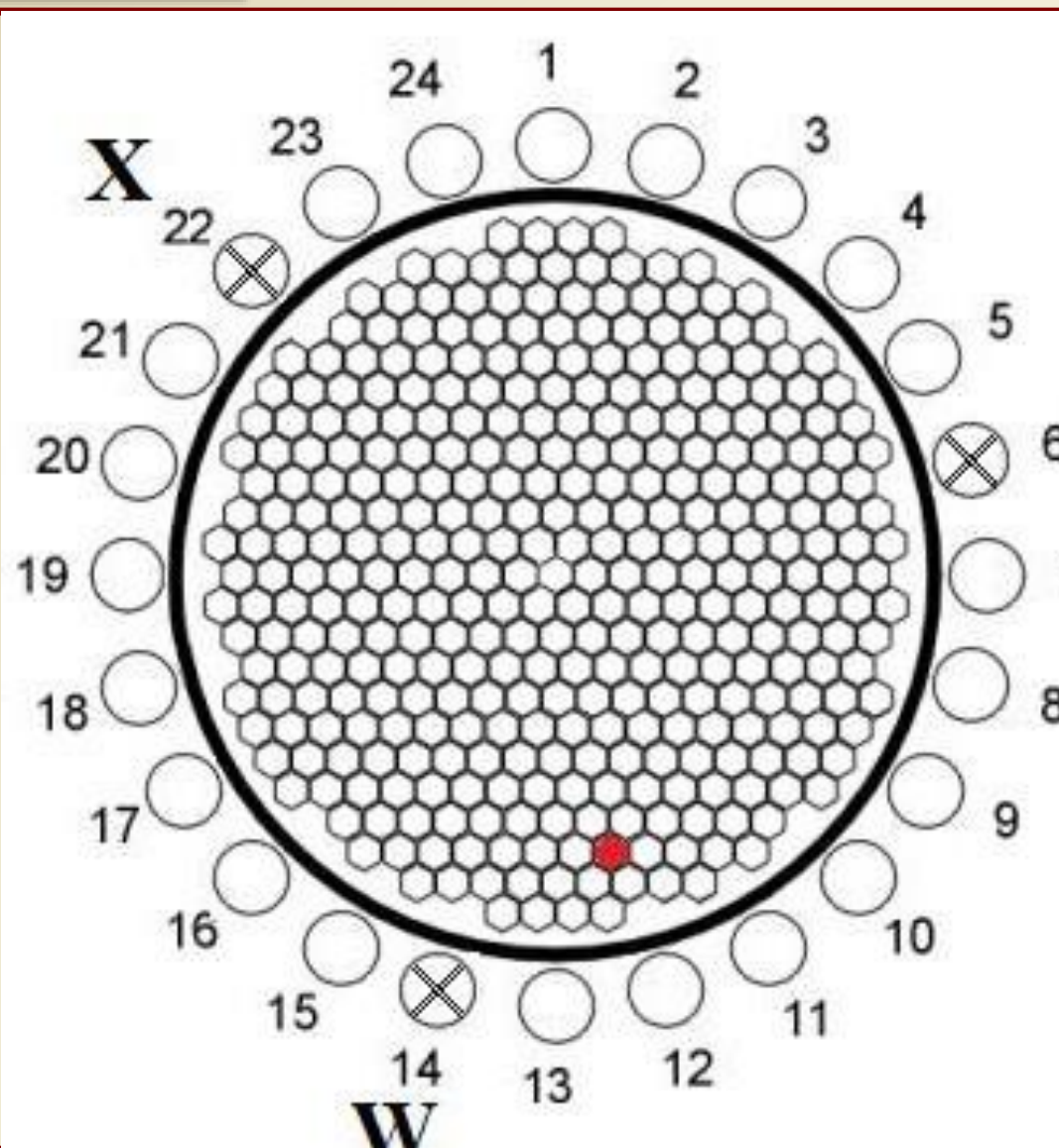
ABA MMT, 2019-2022, “A GUARDYAN kód neutronsámítási modelljének verifikációja ”

2. Munkaszakasz:

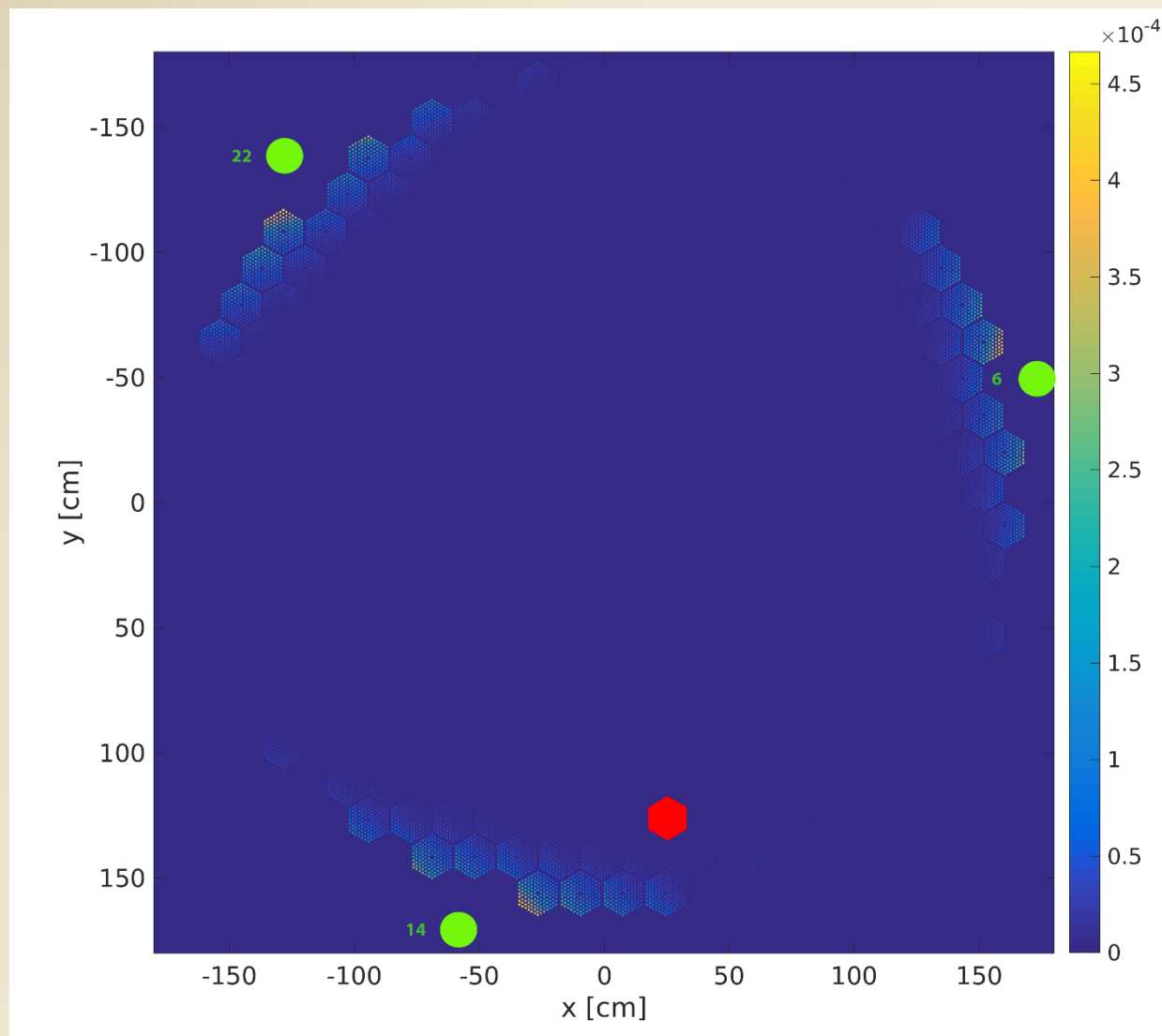
- Validáció kis teljesítményű reaktorban: hőmérsékletfüggés statikus állapotban
- Validáció erőművi méretekben: hőmérsékletfüggés statikus állapotban
- Verifikáció erőművi méretekben: rúdkiöklődési tranziens összehasonlítása a Veretina kóddal
- TH csatolás konvergenciaelemzése





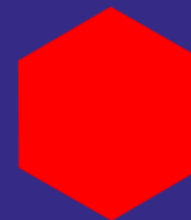




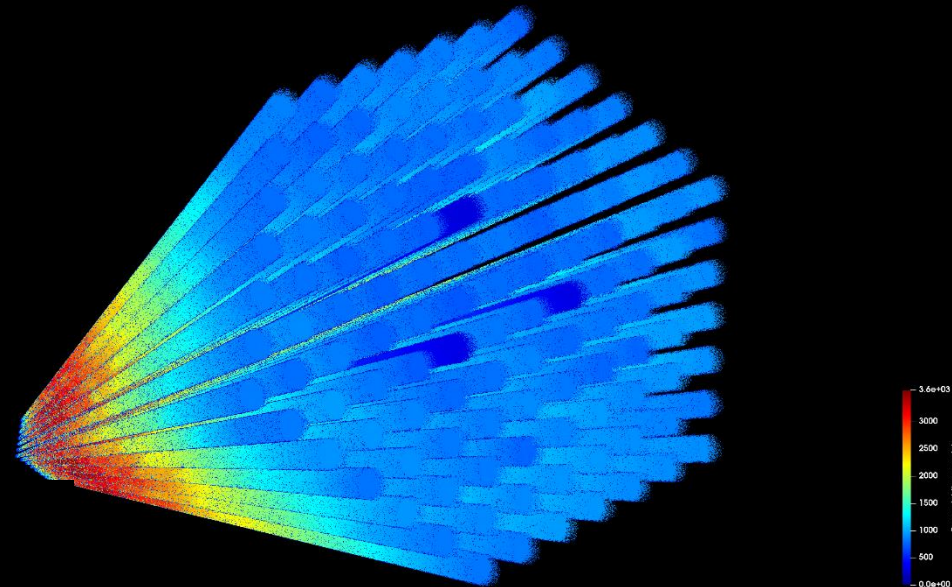
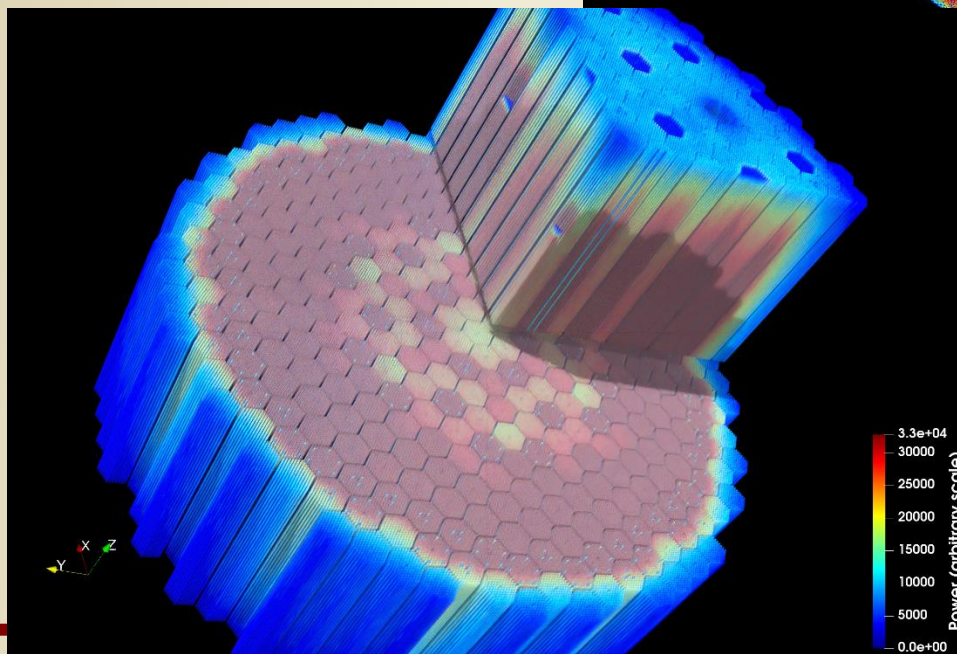




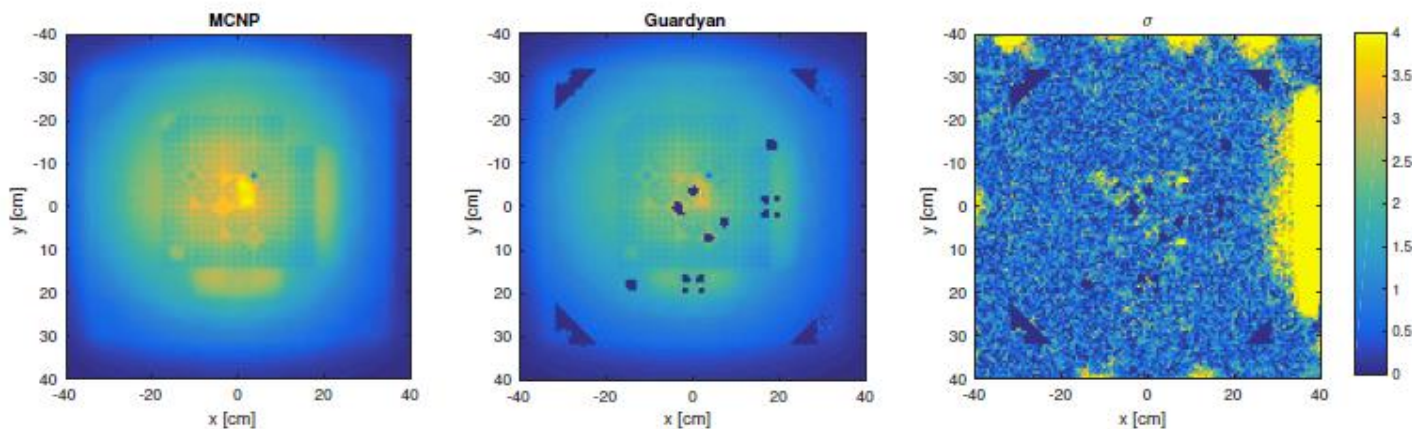
14



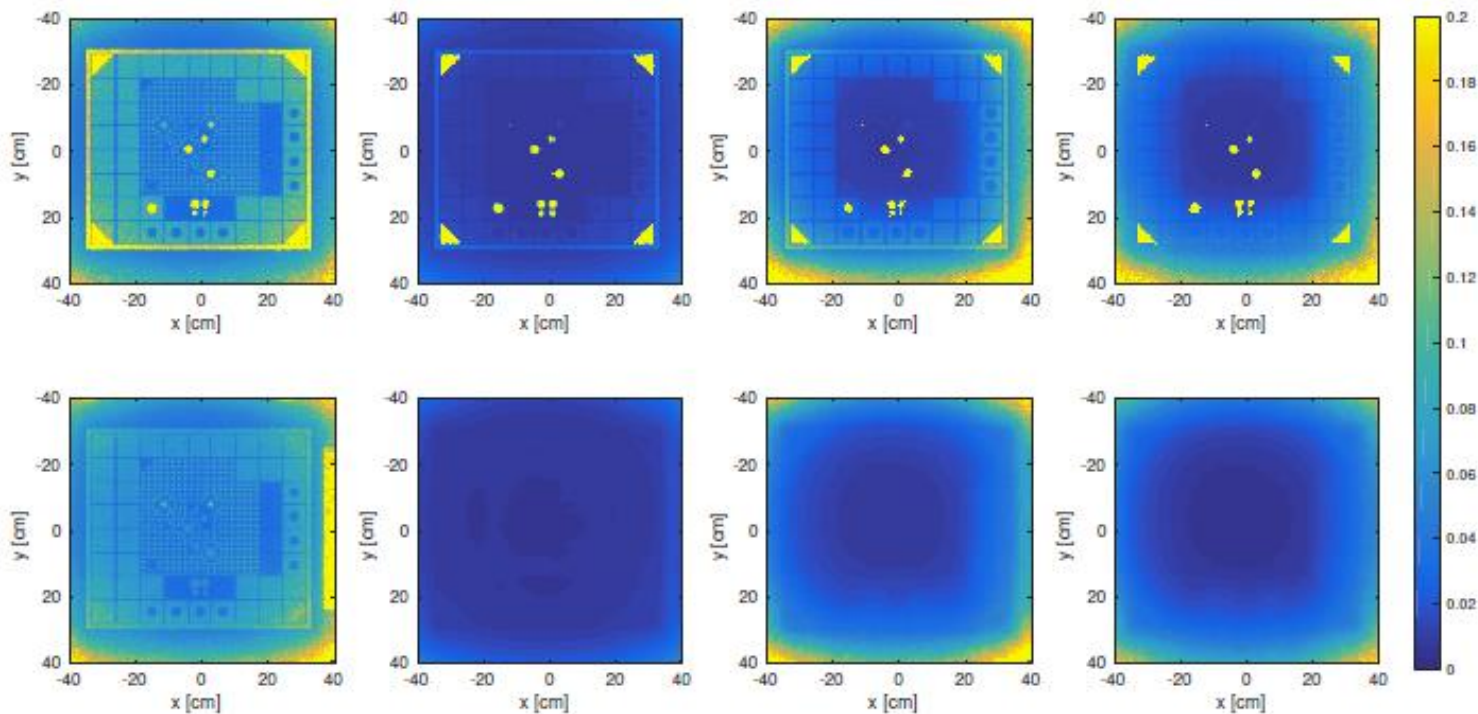
Illusztrációk: videó



Hőmérséklet (K)	MCNP6		GUARDYAN	
	$k_{eff}$	$\sigma$	$k_{eff}$	$\sigma$
298.15	1.00347	0.00007	1.00346	0.00008
315.15	1.00322	0.00007	1.00358	0.00008
332.15	1.00344	0.00007	1.00334	0.00008
349.15	1.00320	0.00007	1.00326	0.00008
366.15	1.00273	0.00007	1.00291	0.00008



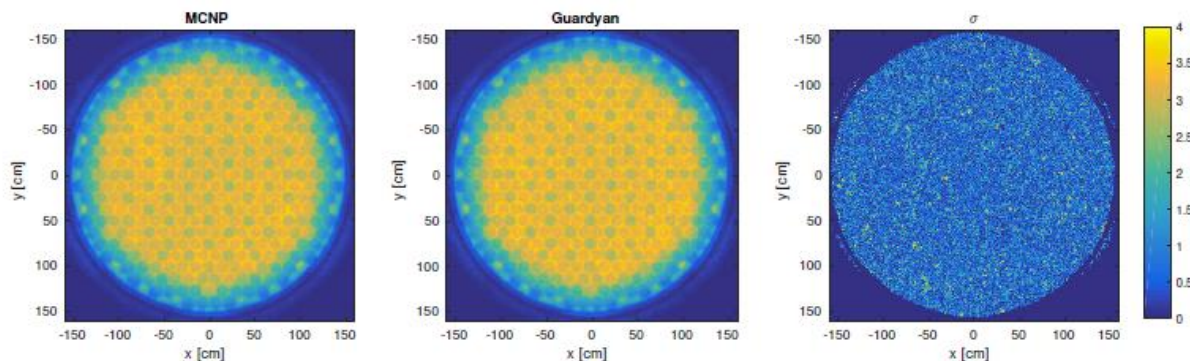
8. ábra. Fluxus a második energiacsoportra a 20 cm-es magasságban, 298 K hőmérsékleten.



11. ábra. A fluxusbecslésekhez tartozó relatív szórásokat mutatja az ábra. A felső sor a GUARDYAN, alsó sor az MCNP eredményekhez tartozik, energiacsoportok szerint balról jobbra növekvő sorrendben.

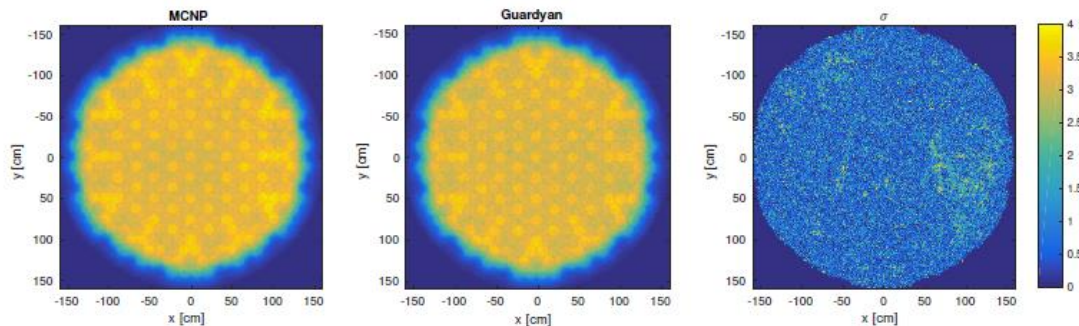
## VVER-440, Paks 4. 1. kampány BOC

Hőmérséklet (K)	MCNP6.1		GUARDYAN	
	$k_{eff}$	$\sigma$	$k_{eff}$	$\sigma$
400.0	1.01001	0.00006	1.00983	0.00008
530.0	1.00571	0.00006	1.00558	0.00007
700.0	1.00041	0.00006	1.00050	0.00008
1150.0	0.98946	0.00006	0.98957	0.00007

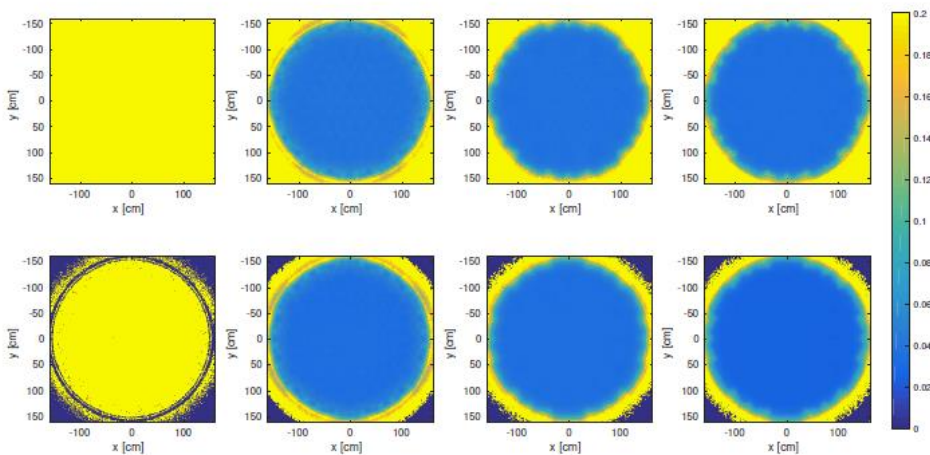


28. ábra. Fluxus a második energiacsoportra a 170 cm-es magasságban, 400 K hőmérsékleten.

## VVER-440, Paks 4. 1. kampány BOC

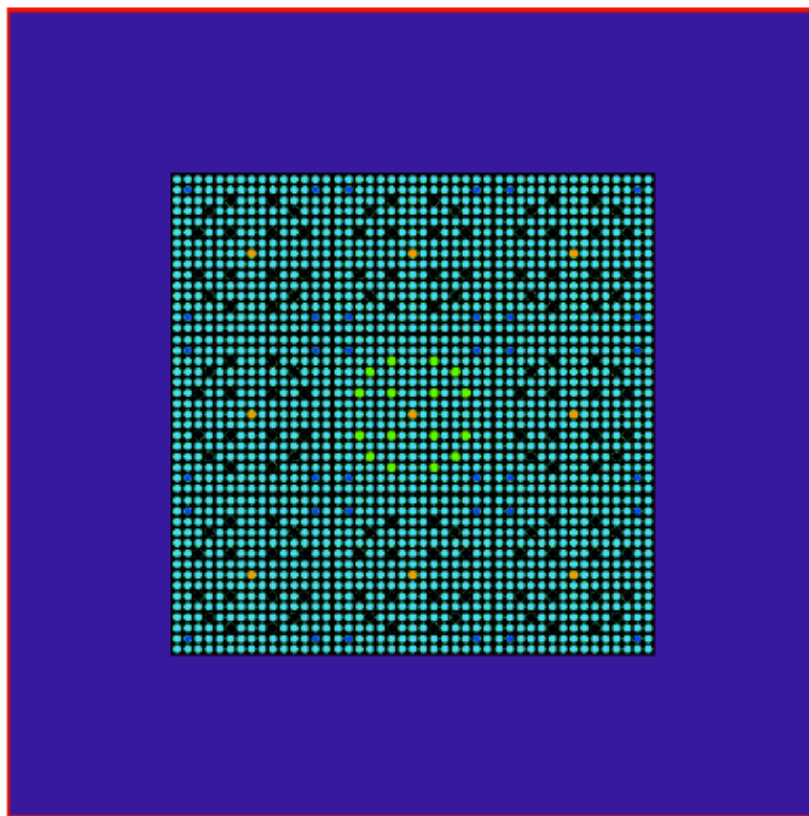


38. ábra. Fluxus a negyedik energiacsoportra a 170 cm-es magasságban, 700 K hőmérsékleten.



39. ábra. A fluxusbecslésekhez tartozó relatív szórásokat mutatja az ábra. A felső sor a GUARDYAN, alsó sor az MCNP eredményekhez tartozik, energiacsoportok szerint balról jobbra növekvő sorrendben.

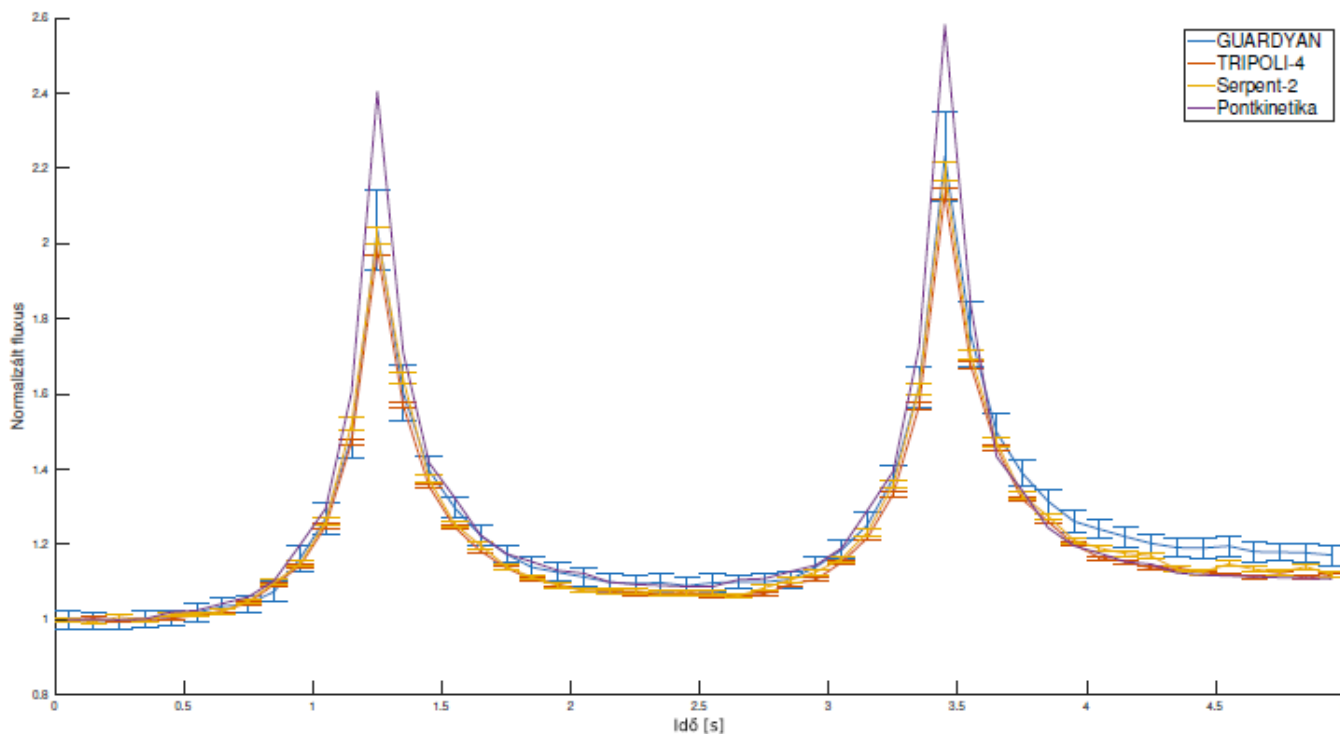
Three Mile Island Minicore Benchmark



7. ábra. TMI középső szelet anyageloszlása.

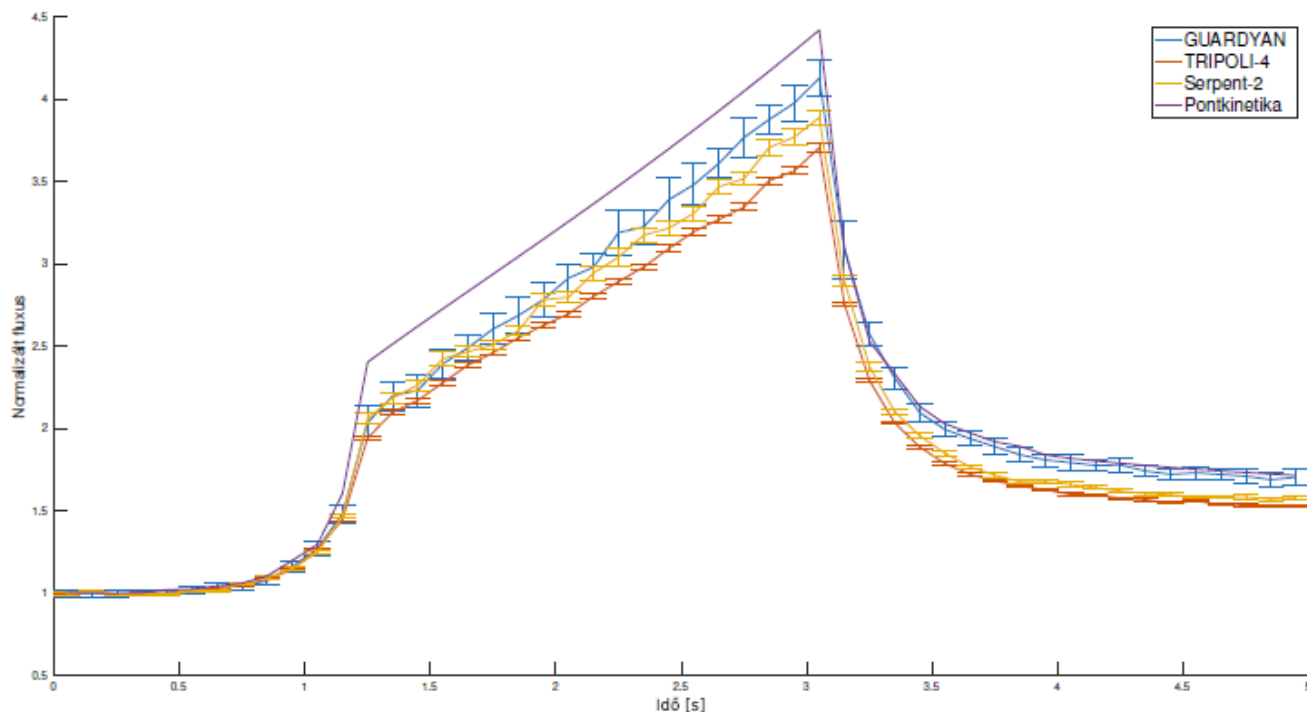


Three Mile Island Minicore Benchmark



46. ábra. A teljes neutronfluxus időfejlődése az "B" szcenárió esetén. Kékkel GUARDYAN, pirossal TRIPOLI-4, sárgával Serpent-2 szimuláció eredménye, lilával a pontkinetikai közelítés megoldása látható.

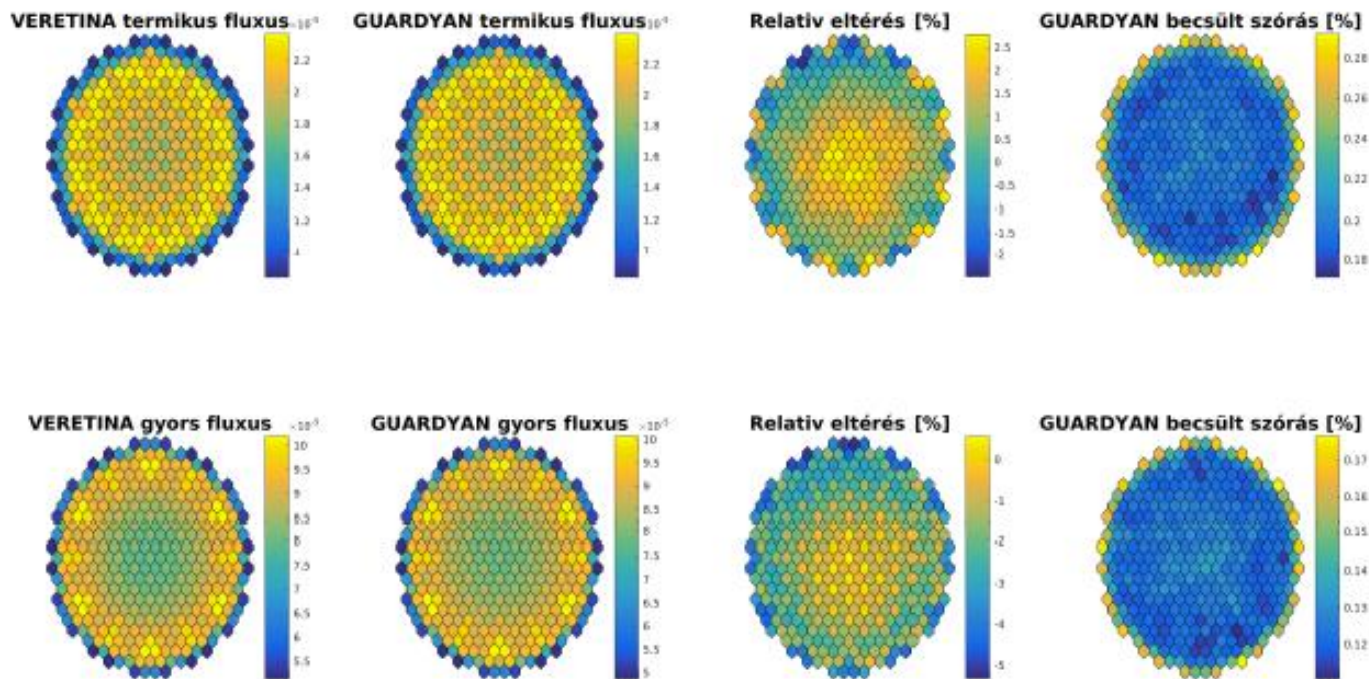
Three Mile Island Minicore Benchmark



47. ábra. A teljes neutronfluxus időfejlődése az "C" szcenárió esetén. Kékkel GUARDYAN, pirossal TRIPOLI-4, sárgával Serpent-2 szimuláció eredménye, lilával a pontkinetikai közelítés megoldása látható.

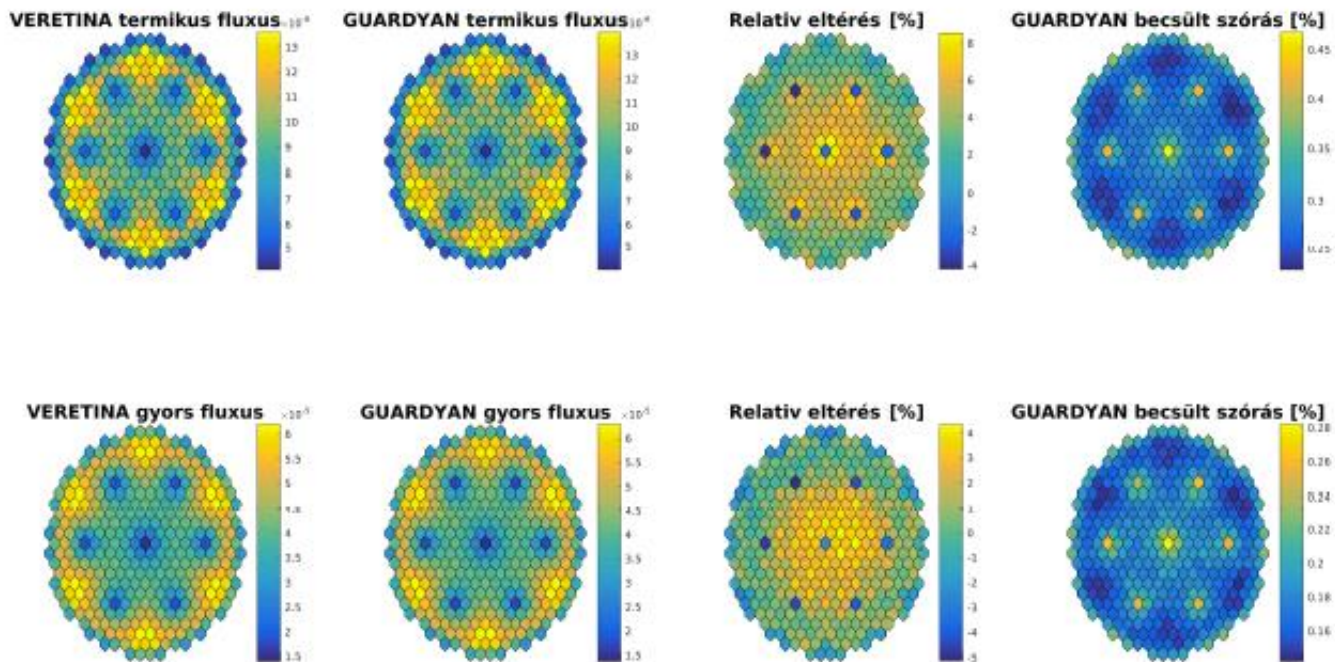


VVER 440 1. kampány, BOC



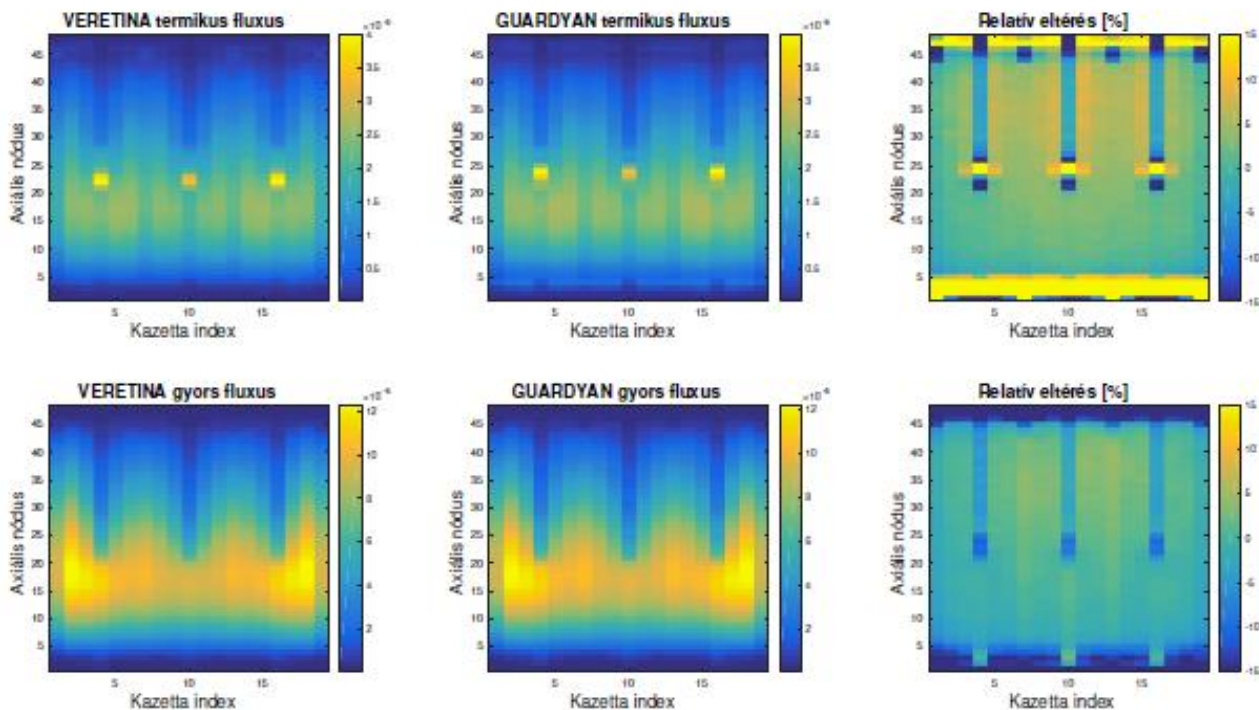
50. ábra. Termikus és gyors fluxus kazettánkénti összehasonlítása a 12. nódusban.

VVER 440 1. kampány, BOC



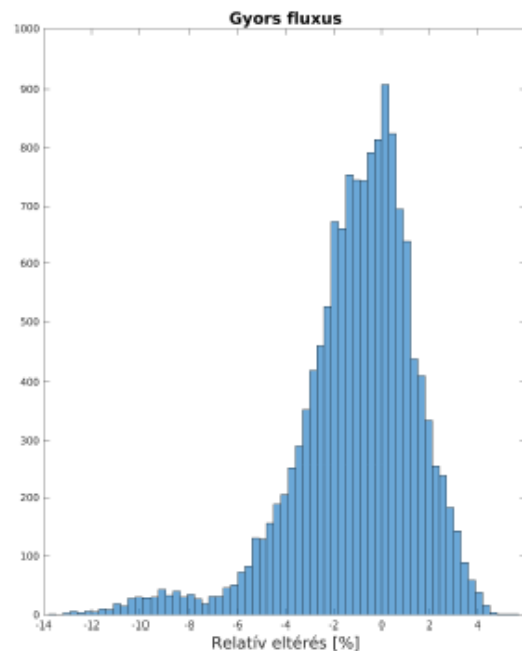
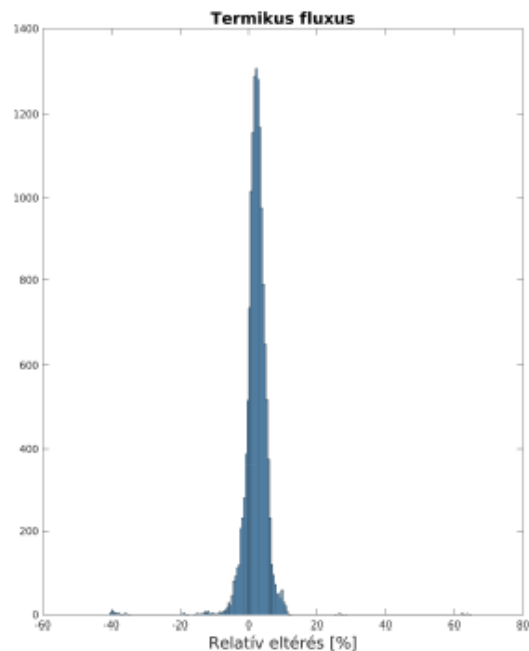
51. ábra. Termikus és gyors fluxus kazettánkénti összehasonlítása a 36. nódusban.

## VVER 440 1. kampány, BOC



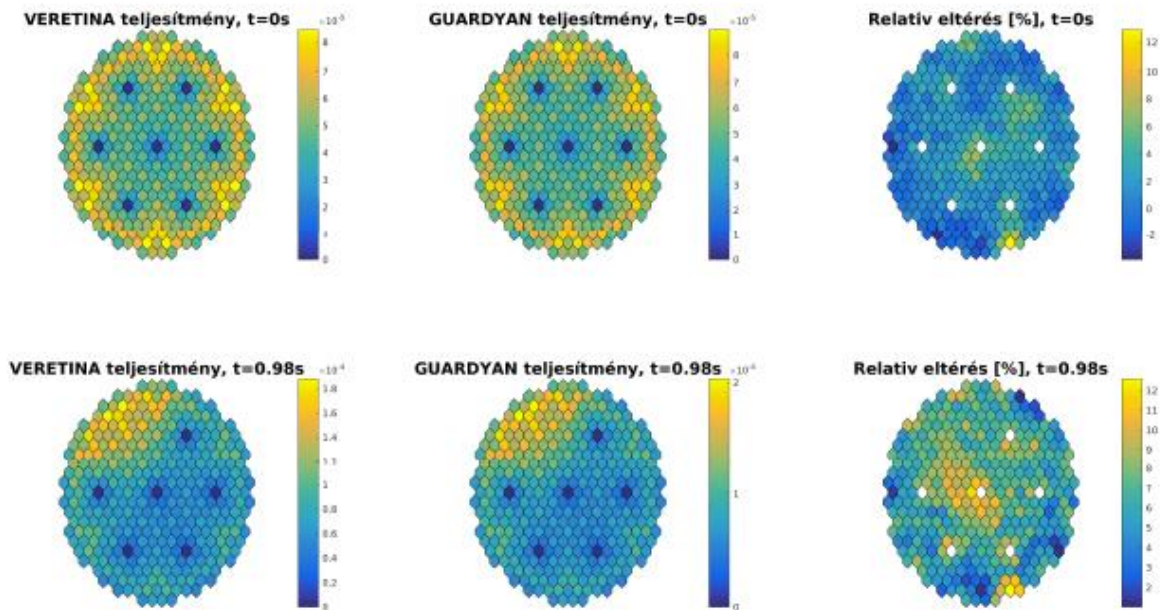
52. ábra. Termikus és gyors fluxus axiális eloszlásának összehasonlítása a középső sor kazettáira, a 4. szektor 10. kazettájával kezdve.

VVER 440 1. kampány, BOC



53. ábra. Az ábrán a relatív eltérések hisztogramja látható, bal oldalt a termikus, jobb oldat a gyors fluxusra.

VVER 440 1. kampány, BOC

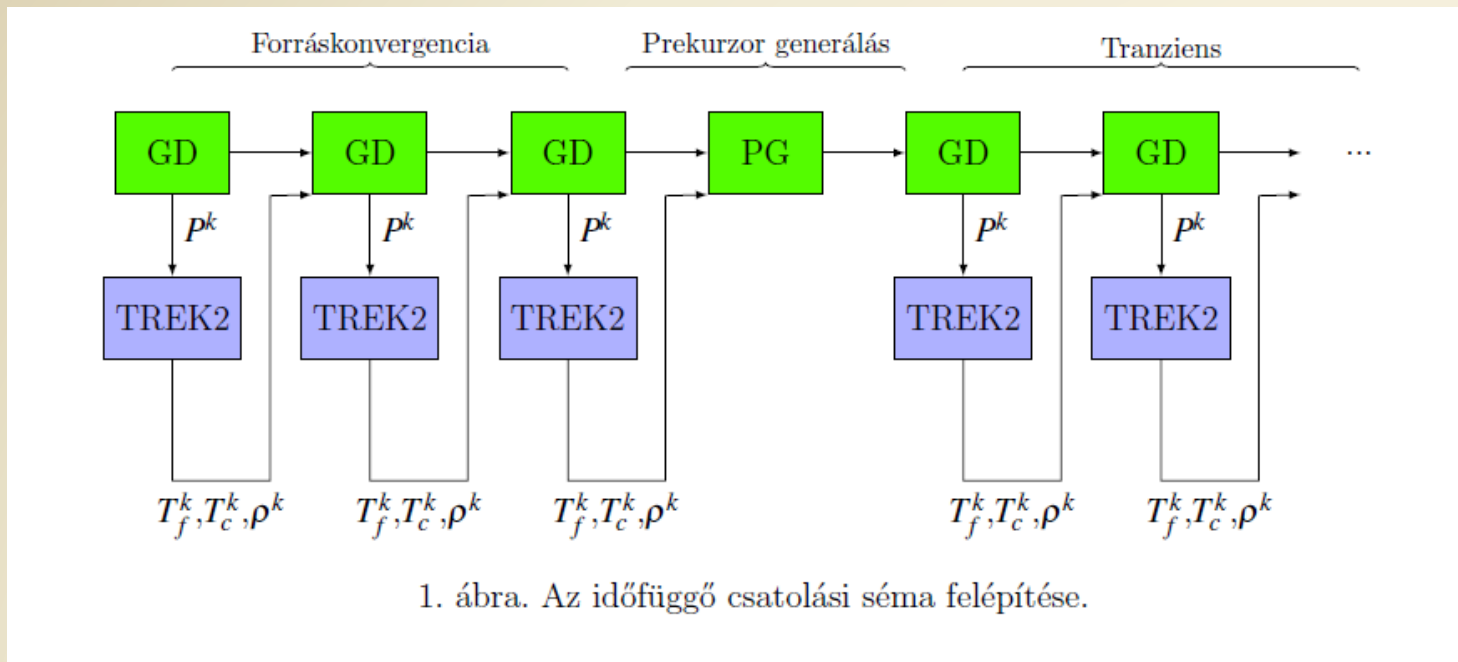


59. ábra. A 36. nódus esetén a VERETINA és a GUARDYAN becsült kazettánkénti teljesítmények és azok összehasonlítása a kezdeti állapotban ( $t=0s$ ) a felső sorban és a szimuláció végén ( $t=0.98s$ ) az alsó sorban.



Video illusztráció

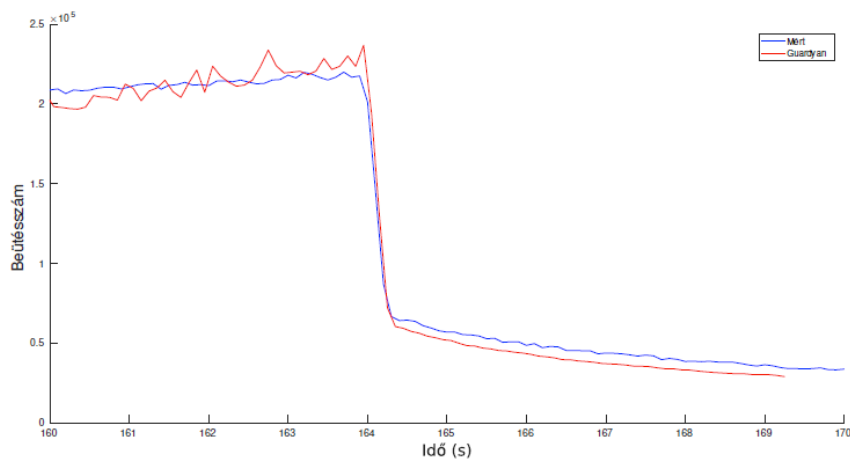




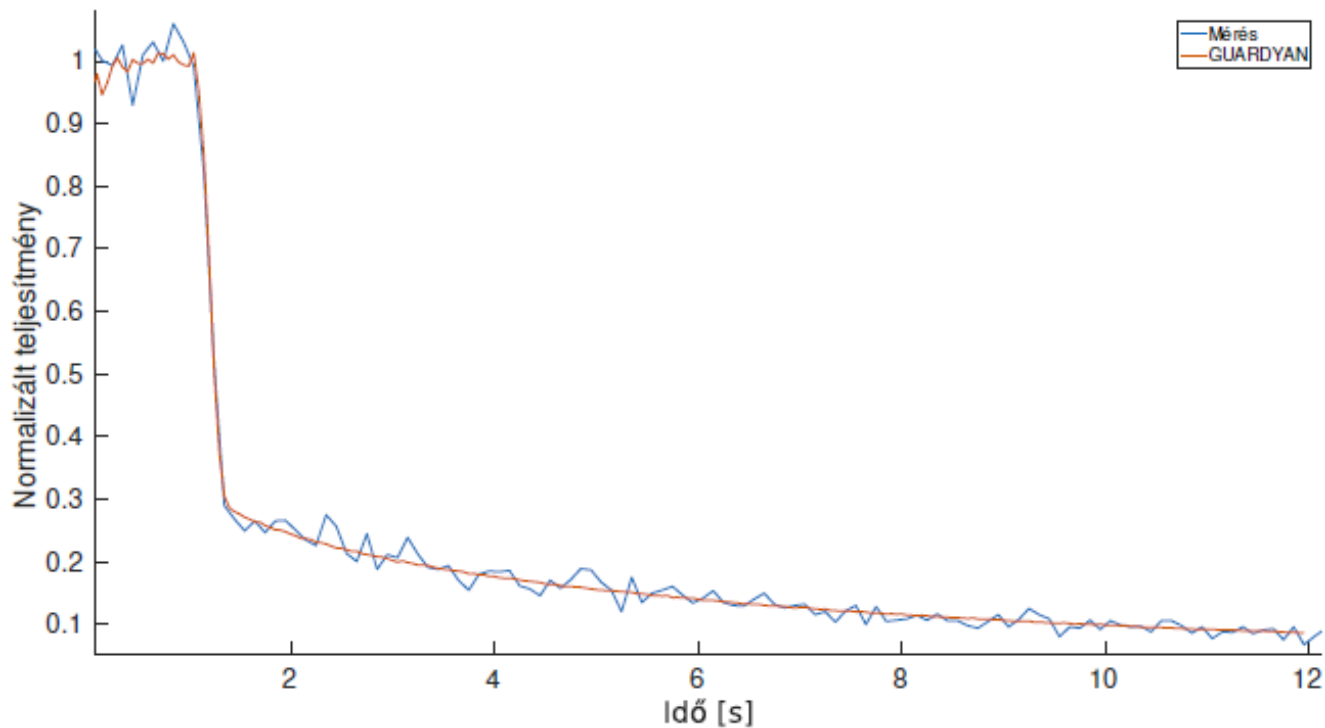


1. táblázat. Mért és számolt rúdértékeségek az Oktatóreaktorban.

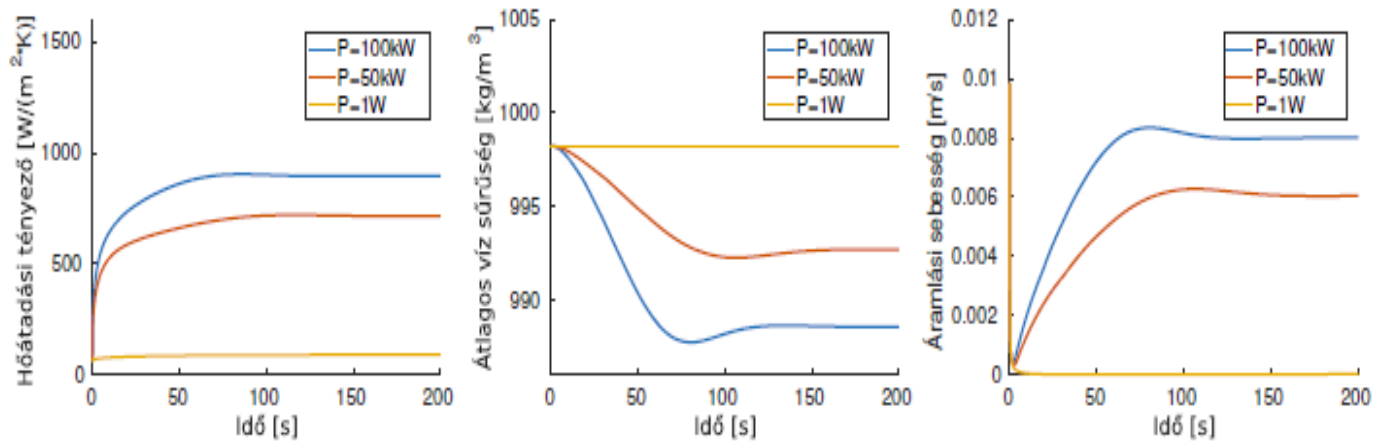
	MCNP6		GUARDYAN		Mérés	
	$\rho(\$)$	$\sigma$	$\rho(\$)$	$\sigma$	$\rho(\$)$	$\sigma$
kézi	1.898	0.004	1.873	0.015	1.887	0.005
automata	0.847	0.004	0.792	0.015	0.852	0.001
bv1	2.060	0.004	2.038	0.015	2.059	0.006
bv2	3.385	0.004	3.415	0.015	3.408	0.007
bv1+bv2	5.438	0.004	5.390	0.015	5.467	0.008



5. ábra. A korábbi jelentésben [3] bemutatott kézi rúd ejtése során fellépő tranziens.



6. ábra. A kézi rúd ejtése során fellépő tranziens, az új BME OR modellt használva.



37. ábra. TREK2 becsült mennyiségek időfüggése a BME OR modell 209-es pálcaja esetén 1W, 50kW és 100kW teljesítményen.



$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} P \\ C \\ T_f \\ T_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\rho}_{rod}(t) - \beta - \alpha_f T_{f,ref} - \alpha_c T_{c,ref} & \lambda P_0 & \frac{\alpha_f P}{\Lambda} & \frac{\alpha_c P}{\Lambda} \\ \frac{\beta \Lambda}{\Lambda P_0} & -\lambda & 0 & 0 \\ \frac{f}{\mu_f} & 0 & -\frac{\Omega}{\mu_f} & \frac{\Omega}{\mu_f} \\ \frac{1-f}{\mu_c} & 0 & \frac{\Omega}{\mu_c} & -\frac{\Omega + 2M(t)}{\mu_c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P \\ C \\ T_f \\ T_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S_P(t) \\ S_C(t) \\ \frac{1}{\mu_f} \dot{Q}(t) \\ \frac{2M(t)}{\mu_c} T_i(t) \end{pmatrix}, \quad (16)$$

$$d\underline{X} = \left[ \underline{\mu}_X(t, \underline{X}) \cdot \underline{X}(t) + \underline{S}(t, \underline{X}) \right] \cdot dt + \underline{\sigma}_X(t, \underline{X}) \cdot dW,$$

$$\begin{pmatrix} 1 - \frac{\hat{\rho}_{rod}^{n+1} - \beta + \hat{\rho}_{fb}(T_f^n, T_c^n)}{\beta \frac{\Lambda}{\Lambda P_0}} & -\lambda P_0 \\ -\frac{\beta \Lambda}{\Lambda P_0} & 1 + \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P^{n+1} \\ C^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P^n \\ C^n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S_P^{n+1} \\ S_C^{n+1} \end{pmatrix} \Delta t + \begin{pmatrix} \frac{P^n \Delta W_1}{N \Delta t_s} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (20a)$$

$$\begin{pmatrix} 1 + \frac{\Omega}{\mu_f} & -\frac{\Omega}{\mu_f} \\ -\frac{\Omega}{\mu_c} & 1 + \frac{\Omega + 2M^{n+1}}{\mu_c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_f^{n+1} \\ T_c^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_f^n \\ T_c^n \end{pmatrix} + \left[ \begin{pmatrix} \frac{1}{\mu_f} \dot{Q}^{n+1} \\ \frac{2M^{n+1}}{\mu_c} T_i^{n+1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{f}{1-f} P^{n+1} \\ \frac{\mu_f}{\mu_c} P^{n+1} \end{pmatrix} \right] \Delta t_{Th}. \quad (20b)$$

