



# NEUTRON SUGÁRZÁS ELLENI BIOLÓGIAI VÉDELEM VIZSGÁLATA MONTE CARLO MODELLEZÉSSEL

Hajdú Dávid<sup>1,2</sup>, Zagyvai Péter<sup>1,2</sup>, Dian Eszter<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> MTA Energiatudományi Kutatóintézet

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

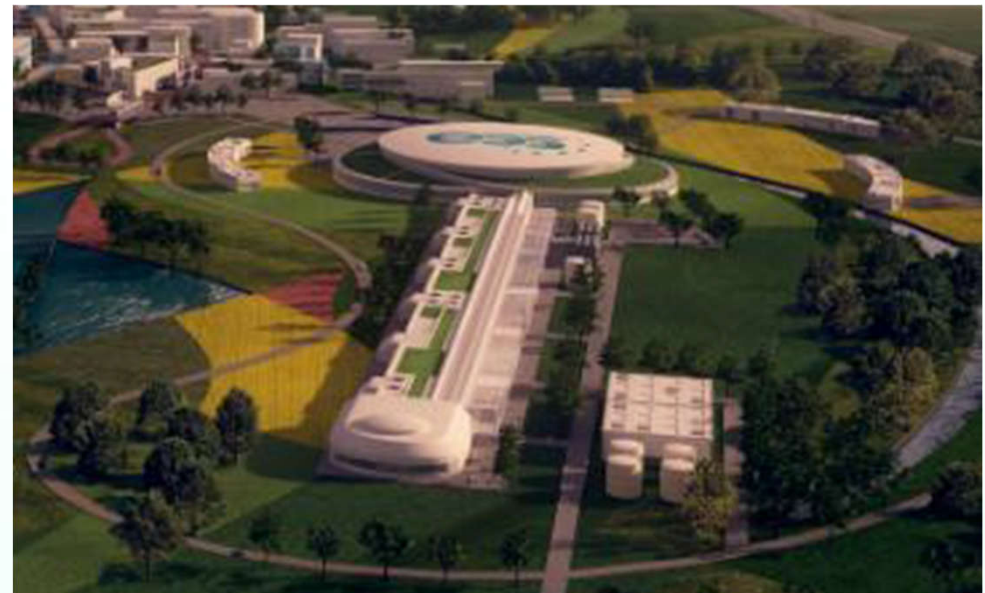
<sup>3</sup> European Spallation Source, ESS ERIC

# Bevezető

- Betonvizsgálat jelentősége
  - Európai Neutronkutató Központ építés alatt
  - Makromolekuláris diffraktométer (NMX) magyar közreműködés (MTA EK, Wigner FKI)
  - Sugárvédelmi tervezés (BME)
- A vizsgálat szempontjai:
  - Neutron- és prompt-gamma sugárzás árnyékolás
  - Különböző típusú betonok vizsgálata MCNP modellezéssel
  - Bór-karbid árnyékoló hatása

# Az ESS – Európai Neutronkutató Központ

- Az ESS (European Spallation Source)
  - Lund, Svédország
  - 17 tagország
  - 70% in-kind
  - új távlatok az anyagvizsgálatban



# Az ESS – Európai Neutronkutató Központ

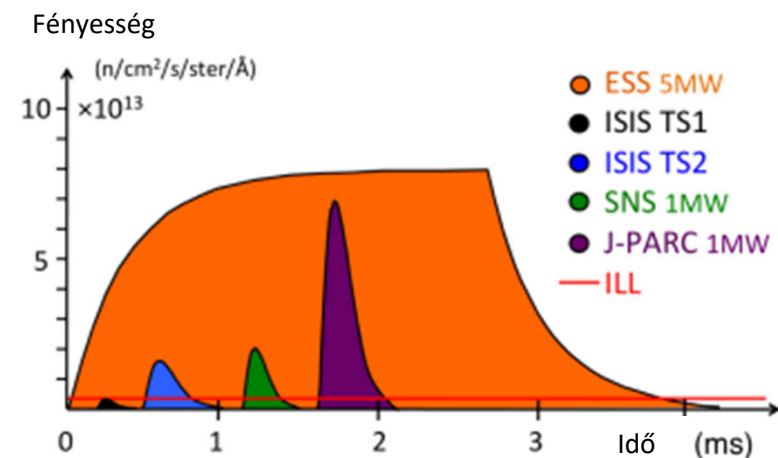
- Az ESS (European Spallation Source)

- Egyedi paraméterek:

- 2,86 ms pulzushossz (hosszú pulzusú)
- kimagasló fényesség

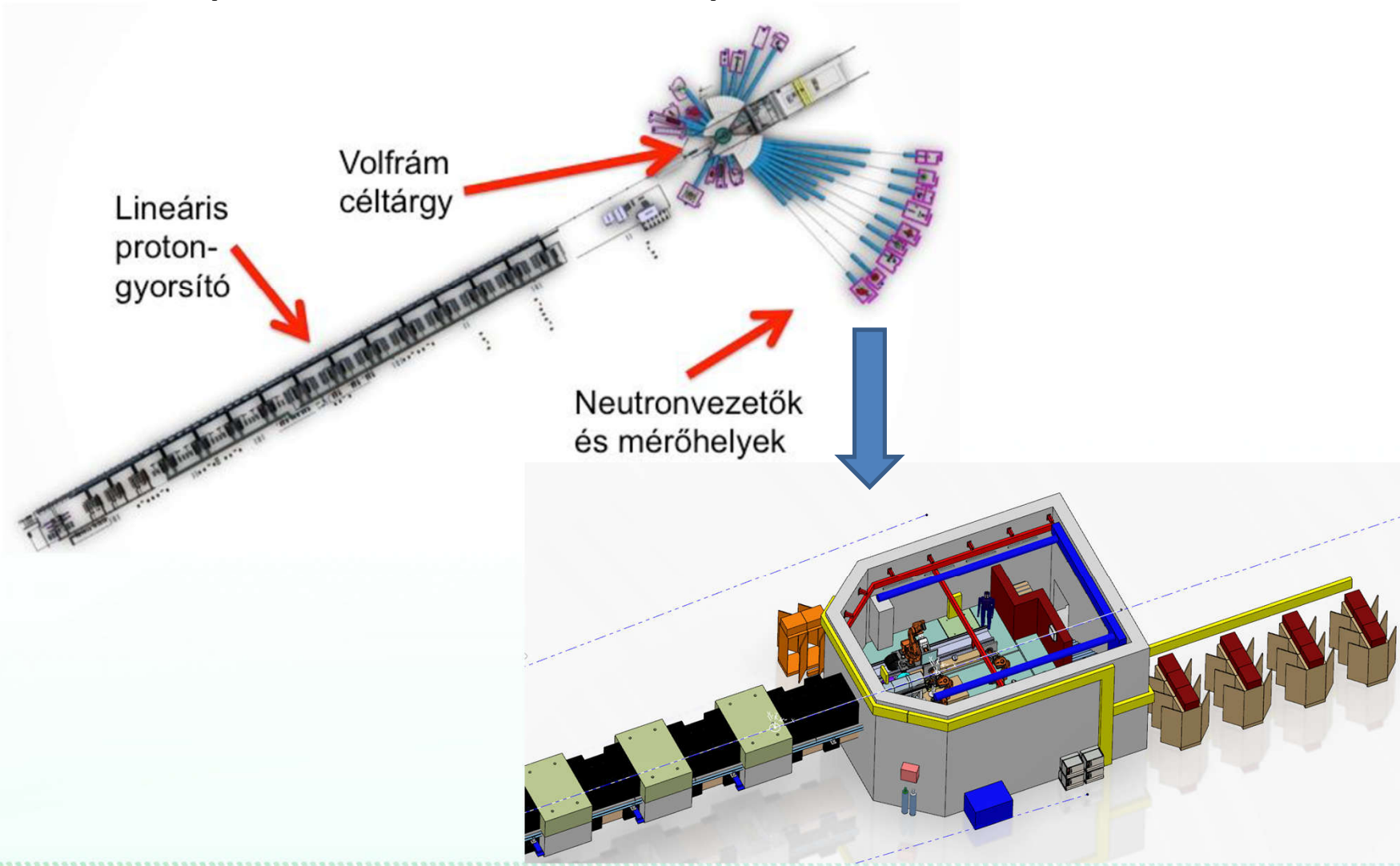
- Új lehetőségek

- gyorsabb mérések
- kisebb minták
- nagyobb felbontás

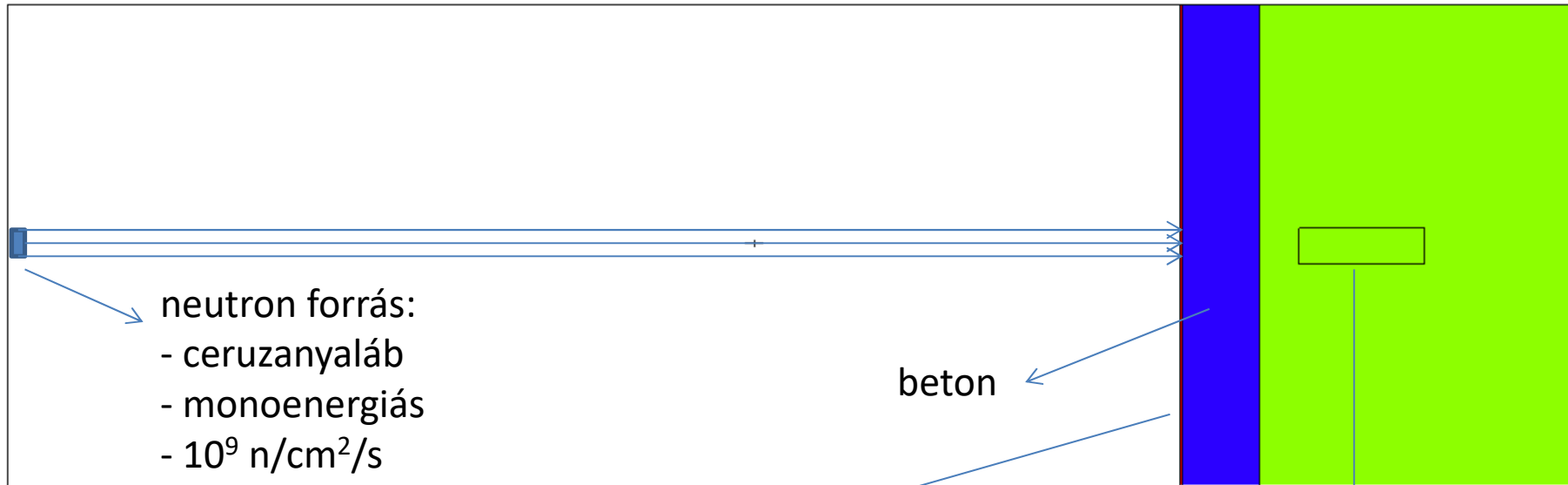




# ESS felépítése, NMX mint példaberendezés



# Vizsgált elrendezés (MCNP6)



neutron forrás:  
- ceruzanyaláb  
- monoenergiás  
-  $10^9$  n/cm<sup>2</sup>/s  
-  $r = 0,5$  cm

beton

MirroBor

- $s = 5$  mm
- B<sub>4</sub>C
- Természetes bór izotópösszetétel



FHT 762 Wendi-2

- H\*(10), ICRP 74
- $d = 23$  cm
- $h = 32$  cm

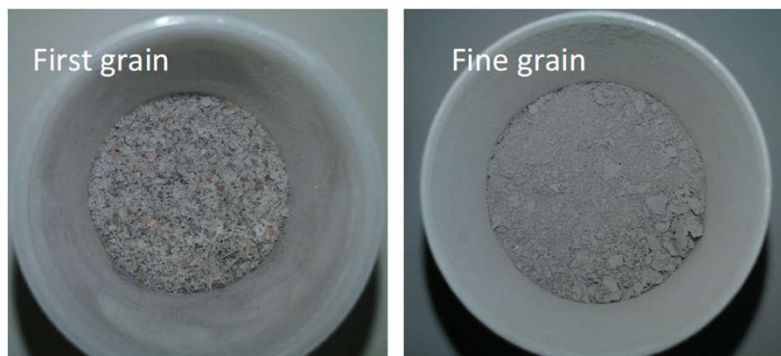


# Vizsgált paraméterek

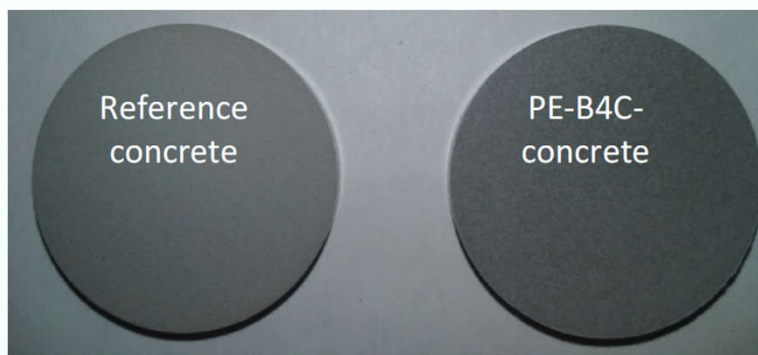
- Energia
  - Tipikus diffraktométer hullámhossz-tartománya:
    - 0,6-10 Å
  - 1 meV, 10 meV, 30 meV, 100 meV, 200 meV
- beton típusok
  - MCNP Los Alamos beton (RJ McConn: Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modelling)
  - ipari beton, névleges és mért összetétel (XRF)
  - PE-B4C beton, névleges és mért összetétel (XRF)
- beton vastagság
  - 20 cm, 50cm
- Bór-karbid
  - 5 mm réteg

# Röntgenfluoreszcens spektroszkópia

- Mintaelőkészítés
  - Őrlés golyós malomban



- Pasztillává préselés

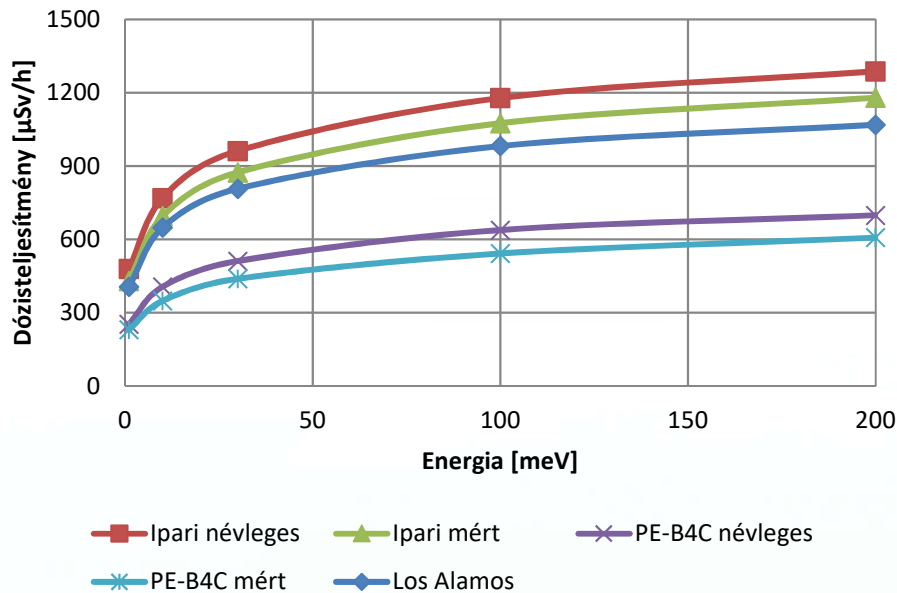


Concrete			PE-B4C-Concrete			Limit of Detection	
Reference	Polarized XRF Epsilon5 Average St Dev		Reference	Polarized XRF Epsilon5 Average St Dev			
Matrix wt%							
B,C			0.760	11.025	1.533		
PE			10.200			-	
Major elements wt%							
Na	1.060	1.968	0.197	0.617	1.291	0.197	
Mg	0.237	0.953	0.295	0.196	0.983	0.295	
Al	3.700	6.656	0.036	2.350	5.512	0.036	
Si	32.700	30.098	0.003	28.600	27.037	0.003	
P	0.045	< LOD	-	0.026	0.000	0.000	
S	0.236	0.169	0.015	0.278	0.237	0.015	
K	2.120	2.190	0.001	1.260	1.947	0.001	
Ca	7.120	6.634	0.000	8.100	8.543	0.000	
Fe	1.160	1.343	0.001	1.160	1.467	0.001	
Trace elements ppm							
Cl	30.0			35.5	130.0	10.0	
Sc		14.3	2.1		11.8	3.4	
Ti	910.0	1760.0	10.0	520.0	1590.0	10.0	
V		55.5	0.2		57.6	7.1	
Cr		44.3	0.3		82.2	1.3	
Mn		230.0	0.0		230.0	10.0	
Co		32.2	2.2		61.1	1.5	
Ni		6.4	0.7		11.7	0.8	
Cu		22.4	0.5		43.5	0.6	
Zn		87.7	0.5		100.1	0.9	
Ga		10.9	0.6		7.8	0.4	
Ge		3.2	0.2		4.9	0.3	
As		< LOD	-		2.9	0.1	
Se		< LOD	-		0.0	0.0	
Rb		76.0	0.7		59.4	0.4	
Sr		380.9	1.3		311.7	1.2	
Y		12.3	0.4		11.6	0.2	
Zr		114.1	0.8		91.4	0.4	
Nb		6.2	0.1		5.4	0.1	
Mo		2.2	0.1		3.0	0.1	
Ag		< LOD	-		< LOD	-	
Cd		< LOD	-		< LOD	-	
In		1.3	0.1		1.7	0.2	
Sn		2.8	0.3		2.8	0.0	
Sb		1.2	0.2		1.6	0.2	
Cs		3.9	0.1		2.6	0.3	
Ba		665.1	1.6		508.5	1.1	
La		23.7	0.3		20.0	0.3	
Ce		37.0	7.9		41.2	0.5	
Pr		5.5	0.5		4.8	0.5	
Nd		18.6	4.3		19.5	0.2	
W		ground in WC	111.4	0.4	ground in WC	164.8	0.5
Pb		19.4	0.4		18.3	0.9	
Th		4.7	0.2		3.8	0.3	
U		3.4	0.2		2.7	0.4	

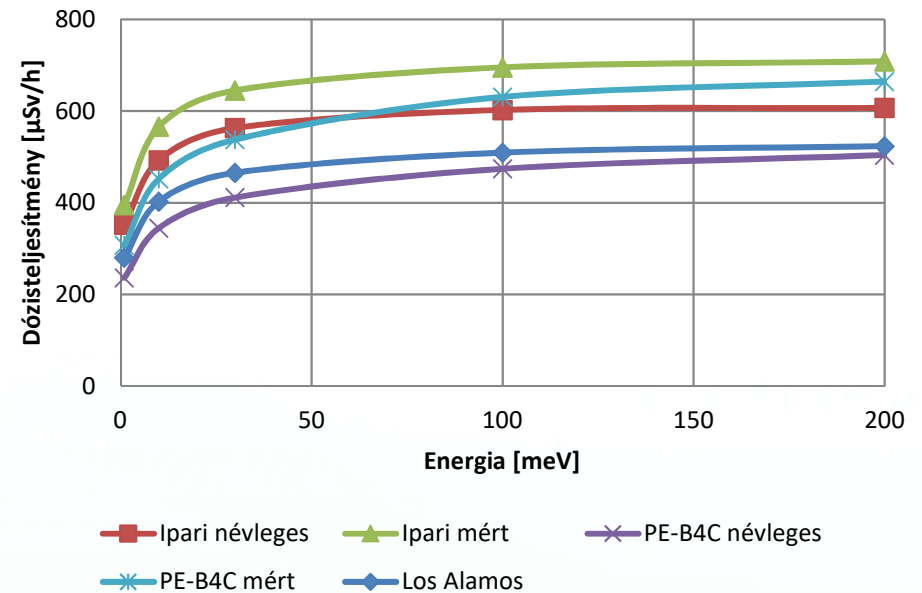


# Dózisteljesítmények 20 cm vastag beton esetén

## Neutron dózisteljesítmény 20 cm



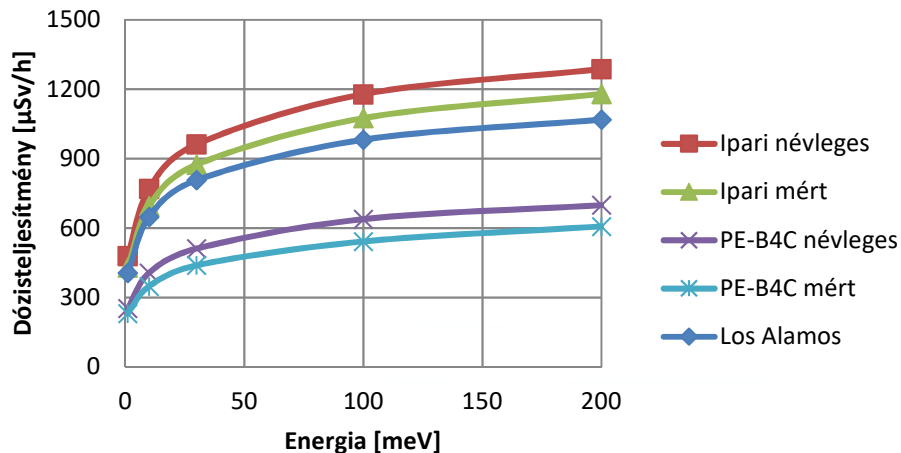
## Prompt foton dózisteljesítmény 20 cm



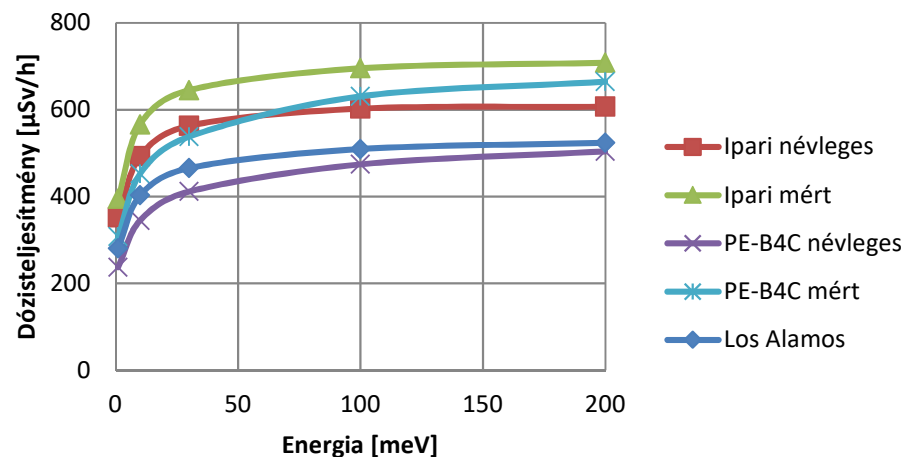
- Ipari és referencia beton hasonló energiafüggés
- Mért és névleges betonok energiafüggése is hasonló
- PE-B4C beton sokkal jobb árnyékoló
- Nyomszennyezők ellentétes hatása

# Beton vastagság hatása

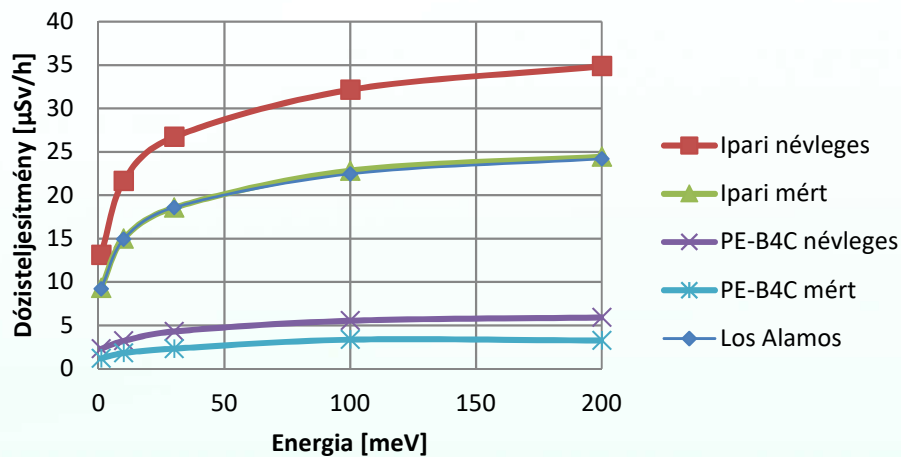
## Neutron dózisteljesítmény 20 cm



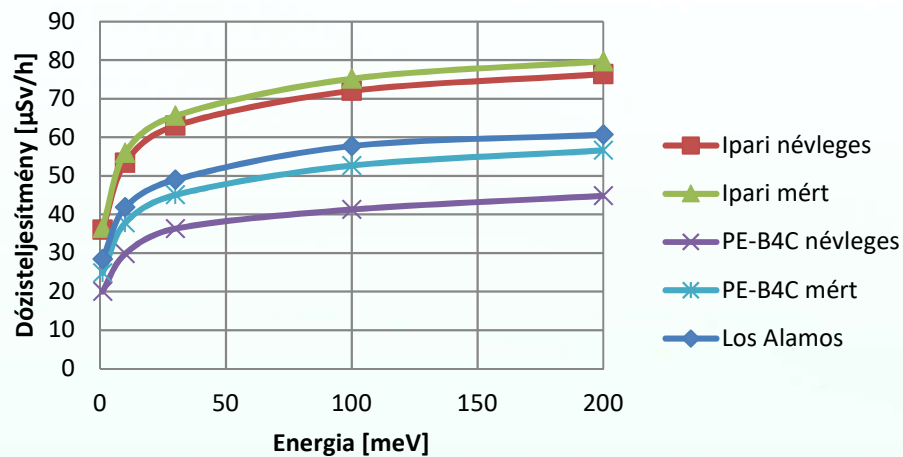
## Prompt foton dózisteljesítmény 20 cm



## Neutron dózisteljesítmény 50 cm

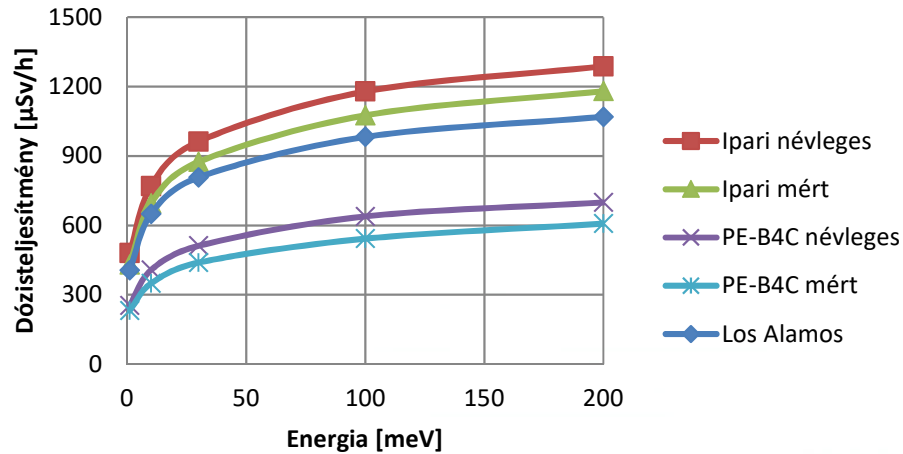


## Prompt foton dózisteljesítmény 50 cm

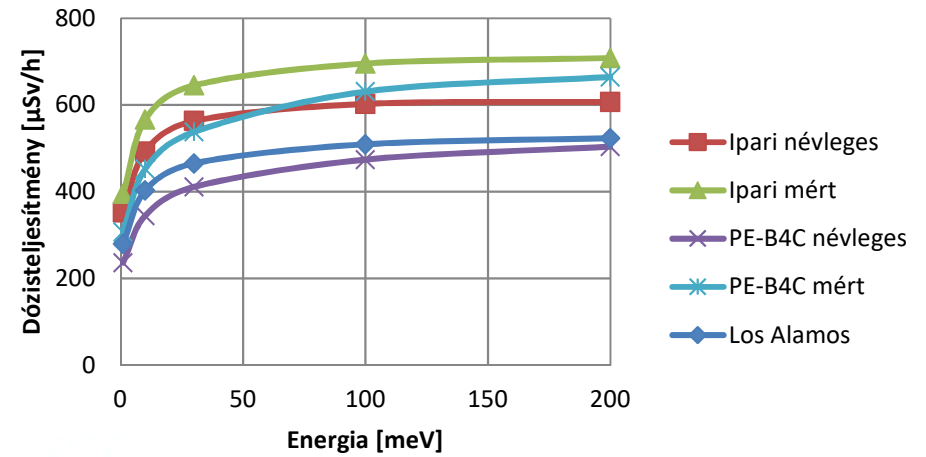


# Bór-karbid árnyékoló hatása

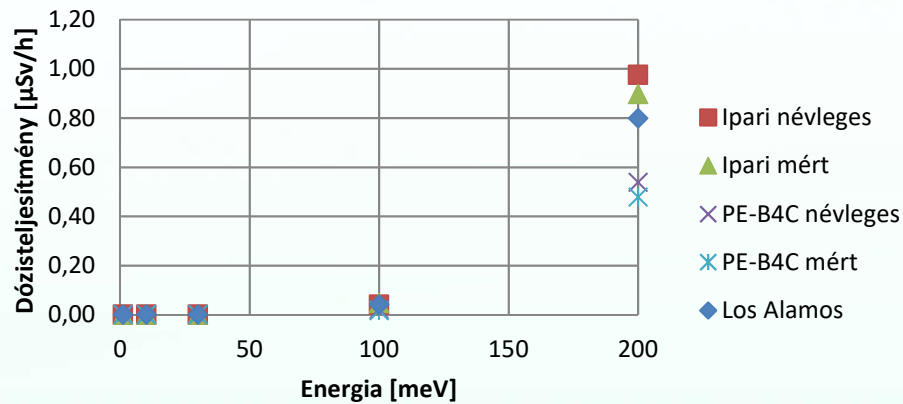
## Neutron dózisteljesítmény 20 cm



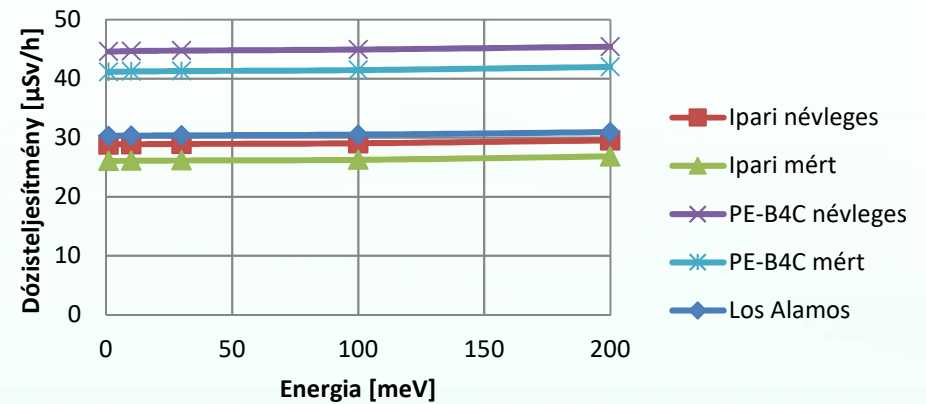
## Prompt foton dózisteljesítmény 20 cm



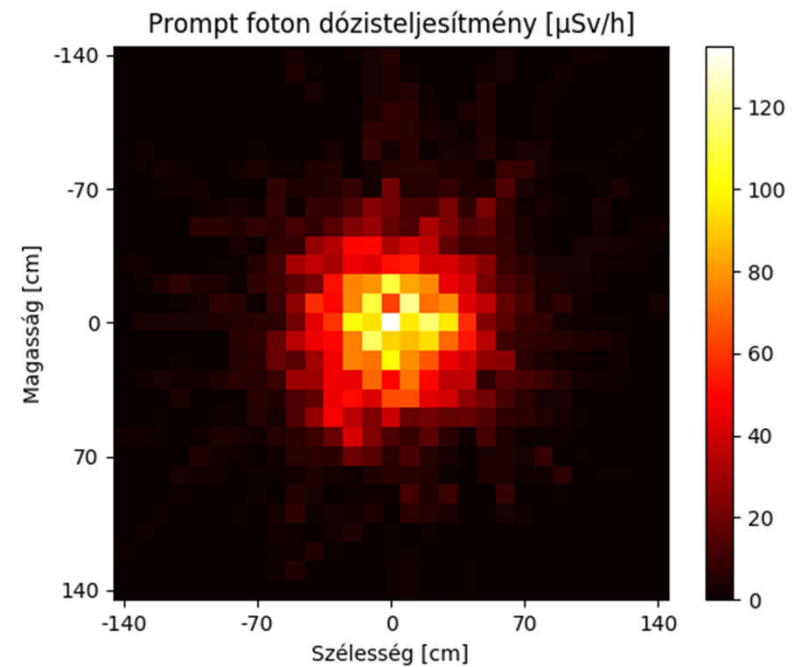
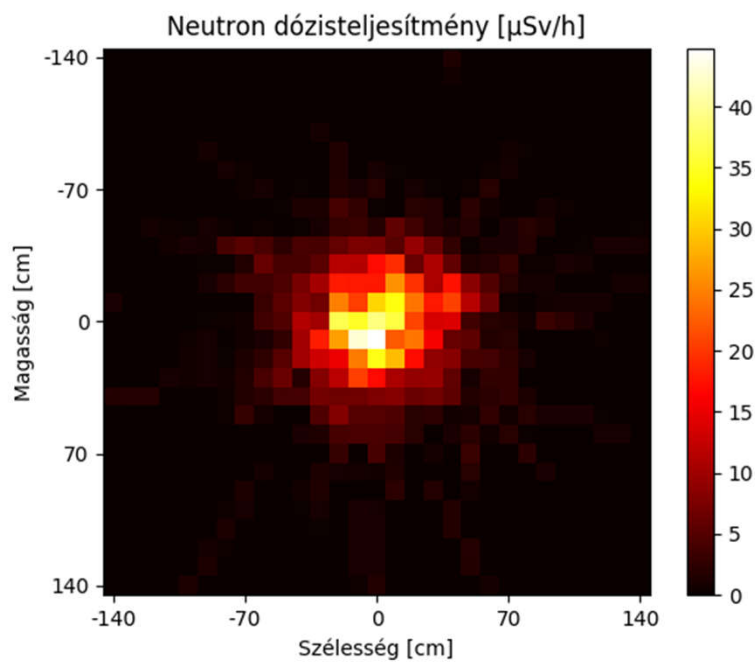
## Neutron dózisteljesítmény 20 cm + Mirrobor



## Prompt foton dózisteljesítmény 20 cm + Mirrobor



# Neutron- és foton dózisteljesítmény eloszlása 50 cm vastag ipari beton faltól 10 cm-re (mért összetétellel)



# Következtetések

- A PE-B4C beton sokkal hatékonyabb neutron elnyelő, és a bór neutron elnyelése miatt a prompt foton dózisteljesítményt is csökkentette az ipari betonhoz képest
- Mind az árnyékolási képesség, mind a prompt foton keletkezés tekintetében nem elhanyagolható a pontos (nyomelem szintű) összetétel ismerete
  - A későbbi felaktiválódás számításoknál az összetétel ismerete kiemelten fontos lesz
- Az 5 mm-es Mirrobor árnyékolás hozzáadásával mind a neutron mind a prompt foton dózisteljesítmény szignifikánsan csökkent



# A munka folytatása...

- További vizsgálatok:
  - Realisztikus neutron spektrum
  - Érzékenység vizsgálatok, pl. víztartalom, sűrűség
  - További betonminták vizsgálata
- Aktiváció számítás
  - Bomlási gamma sugárzás dózisteljesítménye
  - Hulladék keletkezési szempontok
- Aktivációs mérések a Budapesti Kutatóreaktorban (BKR)

Köszönöm  
a figyelmet!

