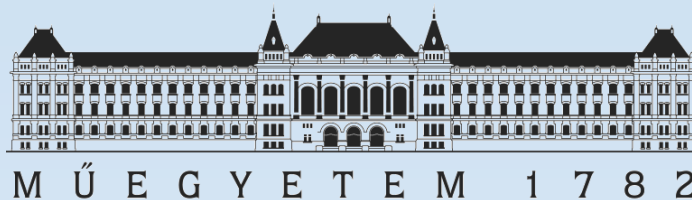




NNGYK
NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT



Lineáris gyorsítók dozimetriai ekvivalenciájának vizsgálata

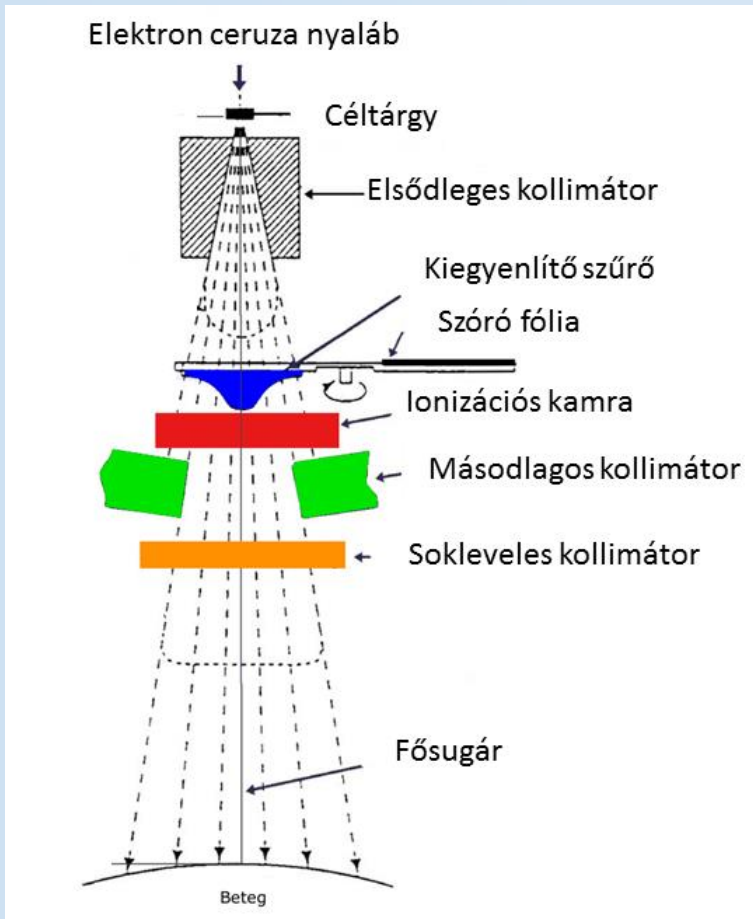
Csuha Boglárka^{1,3}, Pócza Tamás², Pesznyák Csilla^{2,3}

Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ¹
Országos Onkológiai Intézet²
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem³

L. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, 2025. április 7-9., Hajdúszoboszló

BEVEZETÉS

- Modern teleterápia: lineáris gyorsító, CT alapú tervezés, tervezőrendszer, intenzitásmodulált besugárzás, forgóíves besugárzás
- Különböző gyorsítók, különböző nyalábparaméterek, dózismodell → **dozimetriai ekvivalencia**

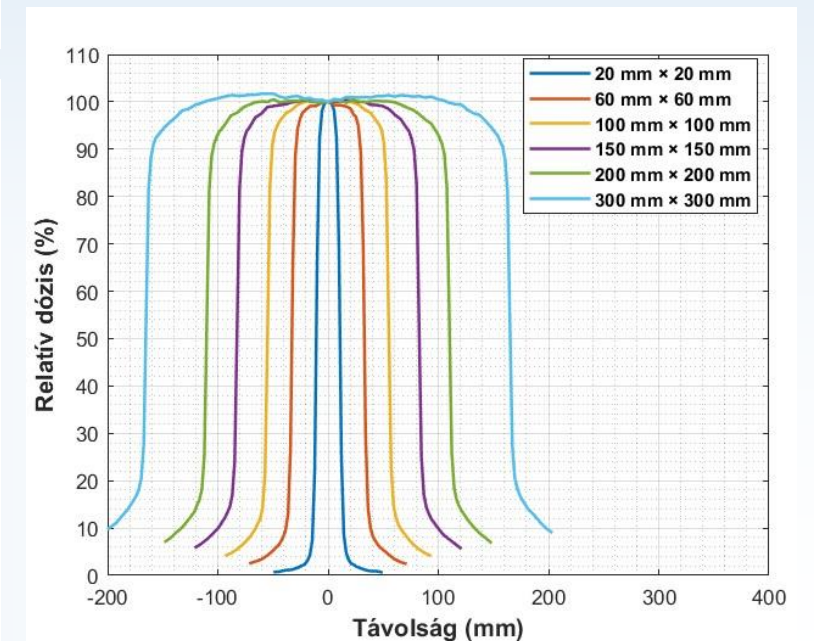
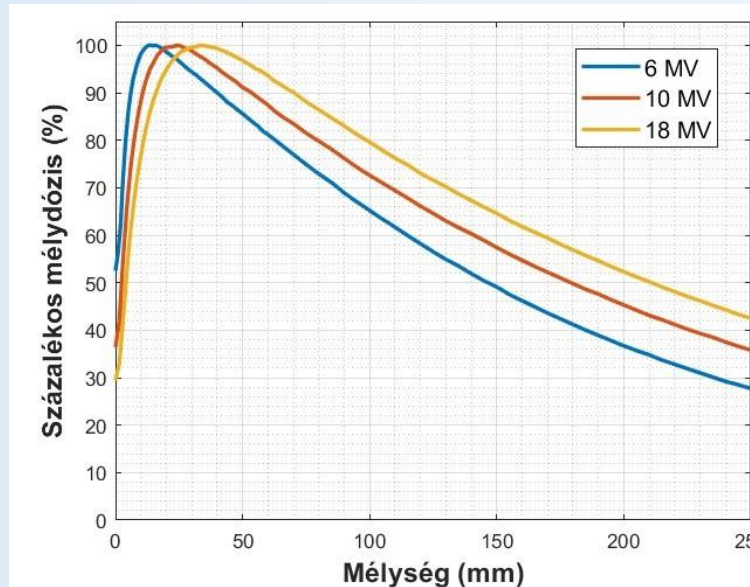
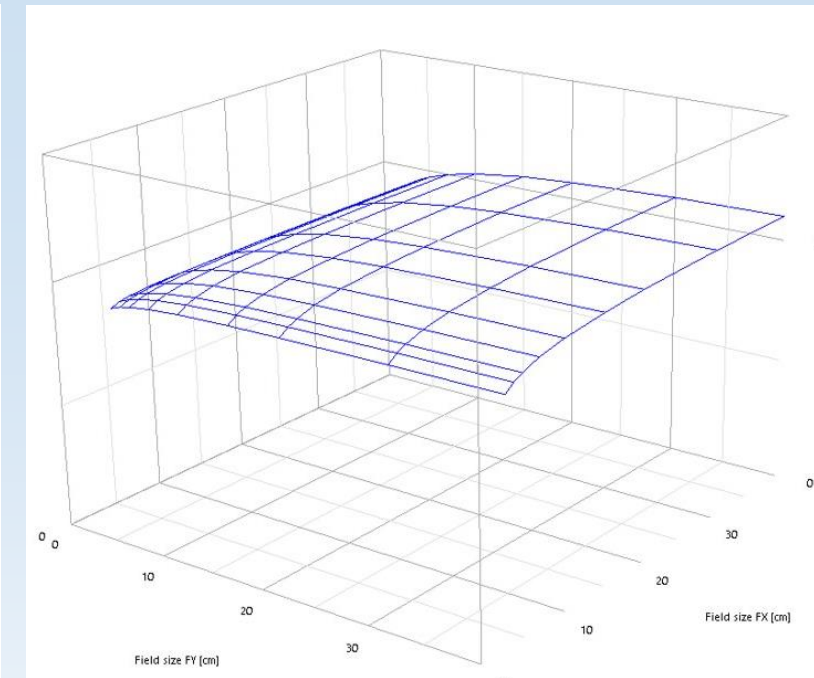
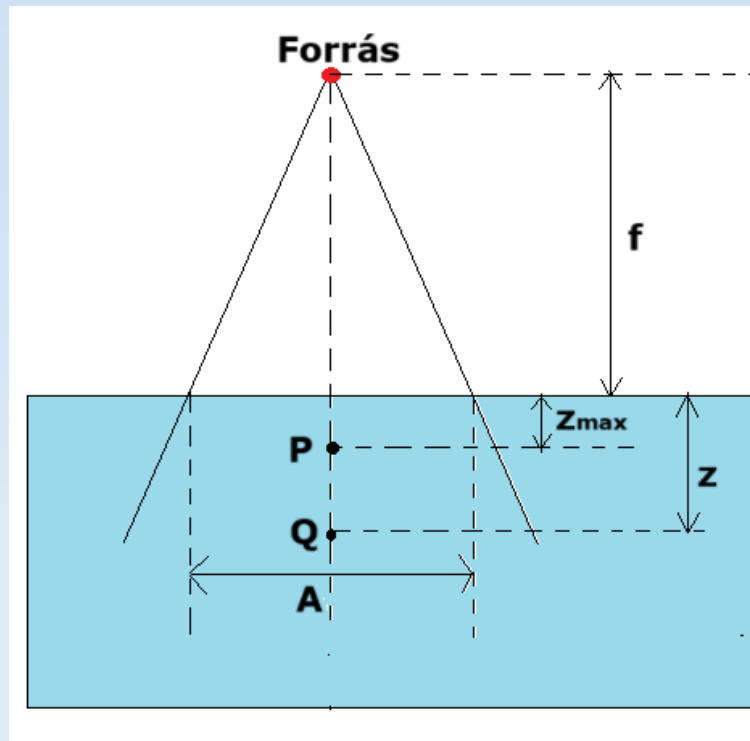


Forrás: Pesznyák Csilla, Sáfrány Géza: Sugárbiológia, Typotex, Budapest, 2016 ISBN 978 963 279 952 0



FOTONNYALÁB-PARAMÉTEREK

- Abszolút dozimetria:
 - ❖ Ionizációs kamrával mért töltés átszámolása dózisra
 - ❖ Korrekciós faktorok
 - ❖ Gyorsítók kalibrálása
- Relatív dozimetria:
 - ❖ Mélydózisgörbék
 - ❖ Profilok
 - ❖ Diagonálprofilok
 - ❖ Output faktorok



CÉLKITŰZÉSEK

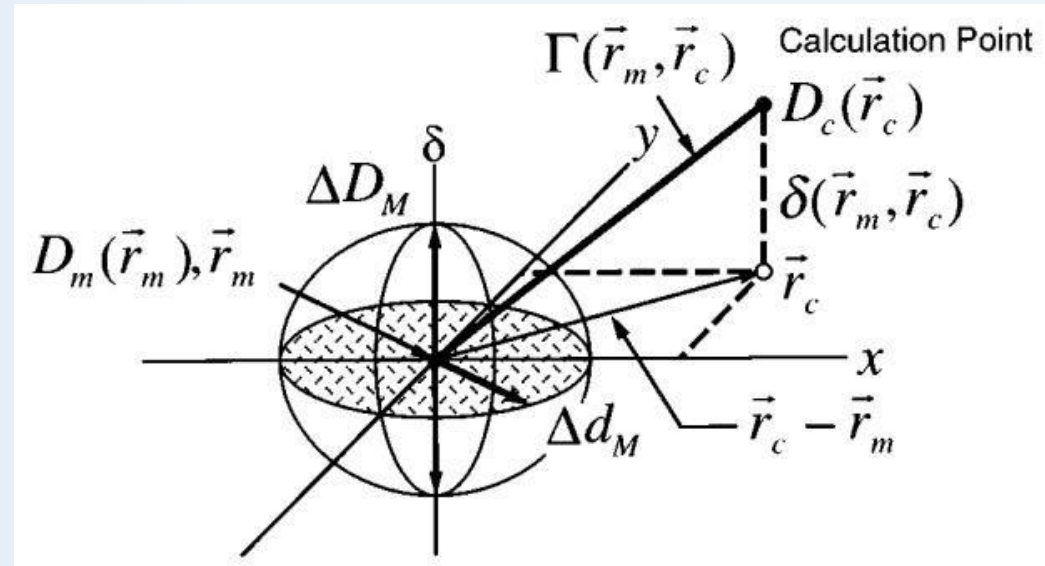
- Országos Onkológiai Intézetben található 4 darab Varian gyorsító összehasonlítása:
 - ❖ 2 darab Varian TrueBeam
 - ❖ 2 darab Varian VitalBeam
 - ❖ Üzembe helyezés 2014 és 2018 között
- Mélydózisgörbék, mezőprofilok, output faktorok összehasonlítása
- Lineáris gyorsítók modellalkotásának vizsgálata
- Virtuális standard gyorsító létrehozása, konfigurálása
- Virtuális gyorsító összehasonlítása a fizikai gyorsítókkal

GAMMA-ANALÍZIS

- Gamma függvény:

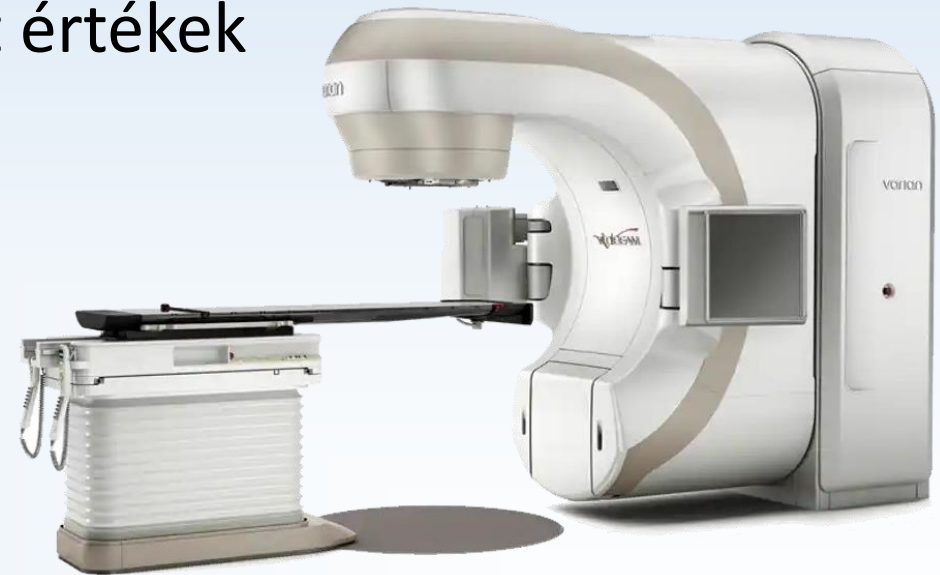
$$\gamma(r_{teszt}) = MIN \left(\sqrt{\left(\frac{r_{teszt} - r_{ref}}{\Delta_t} \right)^2 + \left(\frac{d_{teszt}(r_{teszt}) - d_{ref}(r_{ref})}{\Delta_d} \right)^2} \right)$$

- Jellemző paraméterek:
 - ❖ Δ_t : távolság tolerancia (mm)
 - ❖ Δ_d : dózis tolerancia (%)
 - ❖ TH: levágási küszöbdózis (%)
- Elfogadási kritérium: $\gamma < 1$



VARIAN DÓZISMODELL

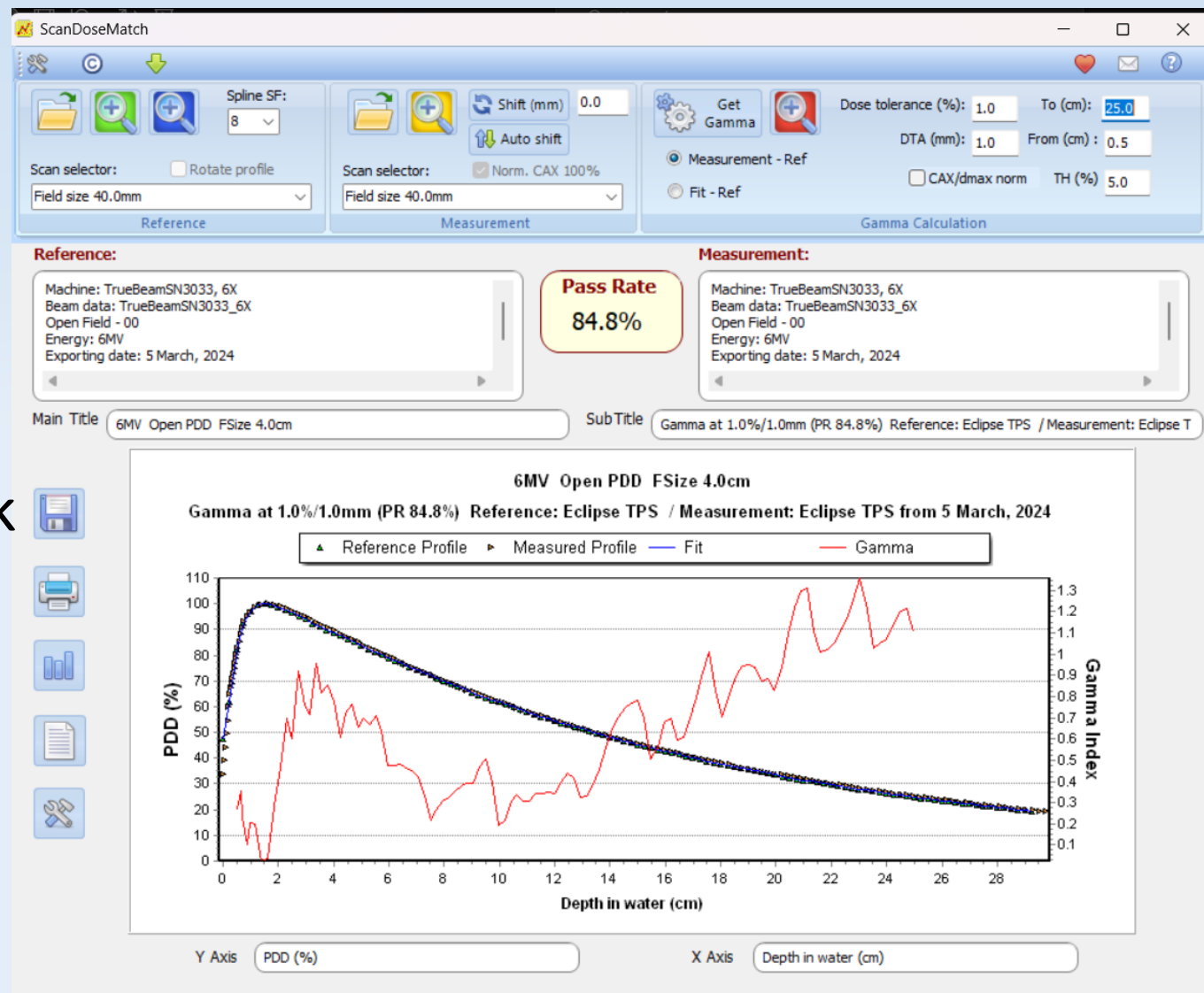
- Dózisprofilok, diagonálprofilok és mélydózisgörbék:
11 mezőméret, 5 különböző mélység
- **Mért (measured, M):**
üzembe helyezés során vízfantomban mért értékek
- **Feldolgozott mért (processed measured, PM):**
szűrt, ekvidisztáns adatok, szimmetrizálás
- **Számolt (calculated, C):**
dózisszámoláshoz használt modell
- Output faktorok esetén:
output tábla, mért értékekből interpoláció



Forrás: <https://www.varian.com/>

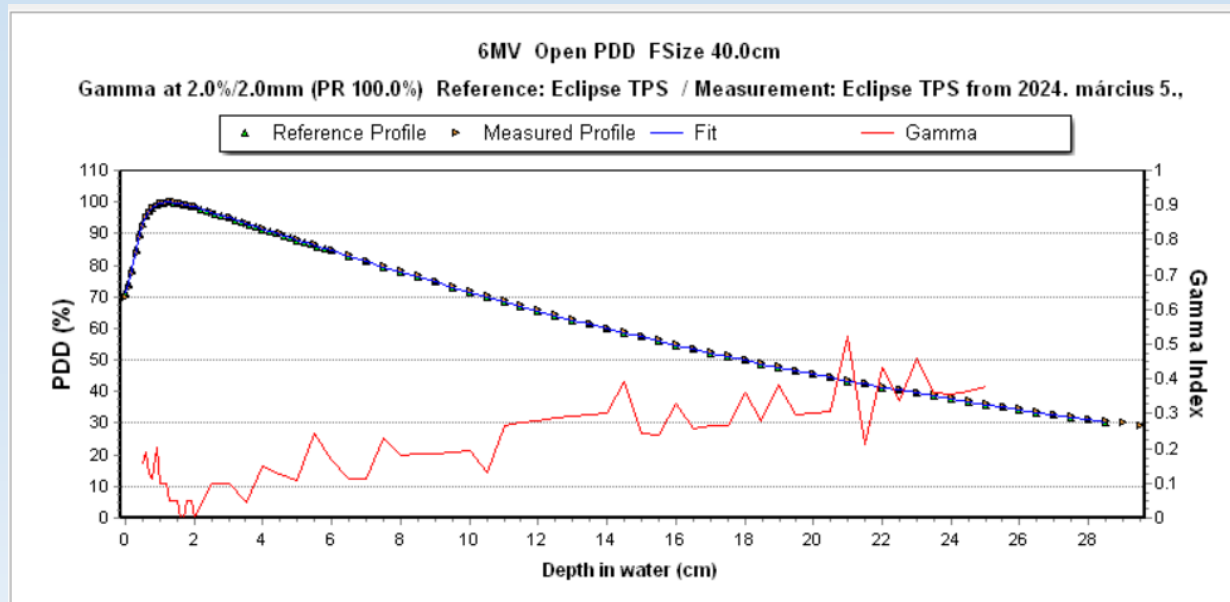
DÓZISMODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

- ScanDoseMatch (QXRay Consulting) szoftver
- 1D gamma-analízis (1%/1mm, 2%/2mm, 3%/3mm)
- Tervezőrendszerből exportált adatok
- 4 gyorsító: TB1, TB2, VB1, VB2
- 3 energia: 6 MV, 6 MV FFF, 10 MV
- 3 mezőméret: 4 cm × 4 cm, 10 cm × 10 cm, 20 cm × 20 cm
- Profiloknál és diagonálprofiloknál 3 mélység: 5 cm, 10 cm, 20 cm



MÉLYDÓZISGÖRBÉK

- Különböző gyorsítókat hasonlítva mindössze 4 helyen tapasztalható minimális eltérés
- Csak 1%, 1mm esetén van eltérés a különböző típusú mélydózisgörbék között



Gamma-megfelelőség (%)	Mezőméret (mm×mm)	6 MV	6 MV FFF	10 MV
Mért - Feldolgozott mért	40 × 40	100	100	100
	100 × 100	100	100	100
	200 × 200	100	100	100
Feldolgozott mért - Számolt	40 × 40	94,63	92,10	90,30
	100 × 100	95,75	98,65	100
	200 × 200	100	100	99,55
Mért - Számolt	40 × 40	95,08	90,23	86,65
	100 × 100	95,08	99,10	97,38
	200 × 200	100	100	99,55

Az egyes összehasonlítások átlagolt gamma-megfelelőség értékei (%)

PROFILOK

- Egyes gyorsítók egymáshoz hasonlítása (2%, 2mm)
- Mért: teljes profil
- Feldolgozott mért és Számolt: félsprofil
- Gyorsítók jobban hasonlítanak egymásra, mint a profilok a modellalkotás mért és feldolgozott mért lépésében

Energia	Mélység (mm)	Mért	Feldolgozott mért	Számolt	Feldolgozott mért - Számolt
6 MV	50	99,44	99,78	98,81	93,03
	100	99,74	99,87	99,60	93,72
	200	99,70	100	99,86	89,95
6 MV FFF	50	97,51	99,18	98,49	95,08
	100	99,30	99,57	99,41	95,68
	200	99,56	100	100	91,90
10 MV	50	96,15	98,62	99,67	95
	100	98,70	100	100	94,69
	200	99,30	100	100	92,29

Energia	Mezőméret (mm×mm)	Mért	Feldolgozott mért	Számolt	Feldolgozott mért - Számolt
6 MV	40 × 40	99,16	99,73	98,49	95,65
	100 × 100	99,83	99,92	99,85	94
	200 × 200	99,89	100	99,93	88,26
6 MV FFF	40 × 40	97,95	99,20	98,25	95,70
	100 × 100	99,00	99,66	99,73	95,11
	200 × 200	99,31	99,89	99,92	90,13
10 MV	40 × 40	97,38	99,20	99,67	99
	100 × 100	98,46	99,58	100	97,48
	200 × 200	98,32	99,84	100	93,96

Az egyes összehasonlítások átlagolt gamma-megfelelőség értékei (%)

DIAGONÁLPROFILOK

Energia	Mélység (mm)	Mért	Feldolgozott mért	Számolt	Feldolgozott mért - Számolt	Mért - Feldolgozott mért
6 MV	50	90,68	93,94	95,69	99,83	100
	100	92,13	94,27	94,51	98,55	100
	200	87,31	91,49	89,47	91,20	100
6 MV FFF	50	91,79	91,93	91,86	99,80	100
	100	87,00	90,07	91,89	100	100
	200	82,37	88,71	91,88	96,20	100
10 MV	50	93,74	96,86	98,98	99,83	100
	100	94,33	97,40	99,61	97,88	100
	200	90,79	95,44	98,57	94,05	100

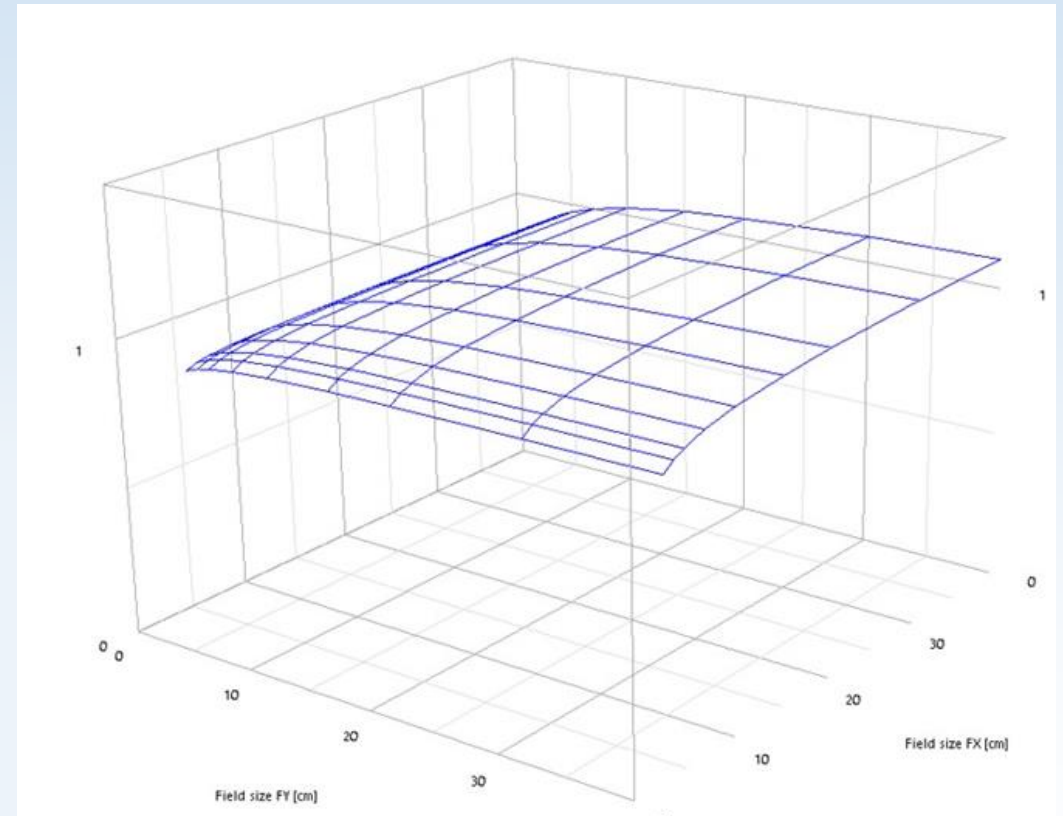
Az egyes összehasonlítások átlagolt gamma-megfelelőség értékei (%)

- Félprofilok vizsgálata
- Mezőméret fix: 40 cm × 40 cm (nyílt mező)

OUTPUT FAKTOROK

	30.0	40.0	50.0	70.0	100.0	150.0	200.0	300.0	400.0
30.0	0.883	0.897	0.904	0.912	0.917	0.921	0.924	0.926	0.926
40.0	0.898	0.914	0.923	0.933	0.941	0.946	0.949	0.952	0.952
50.0	0.907	0.925	0.935	0.947	0.956	0.963	0.966	0.970	0.970
70.0	0.918	0.939	0.952	0.967	0.979	0.987	0.992	0.997	0.998
100.0	0.928	0.952	0.966	0.985	1.000	1.011	1.018	1.024	1.026
150.0	0.936	0.962	0.979	1.000	1.019	1.033	1.043	1.051	1.054
200.0	0.940	0.967	0.984	1.008	1.028	1.045	1.056	1.067	1.069
300.0	0.945	0.973	0.991	1.016	1.038	1.058	1.072	1.085	1.089
400.0	0.947	0.975	0.994	1.020	1.043	1.064	1.079	1.093	1.097

- Az egyes Output táblázatok összehasonlítása pontonként (gyorsítónként 81 output érték)
- Max eltérés: 1,5%,
- Max átlagos eltérés: 0,25%



VIRTUÁLIS GYORSÍTÓ LÉTREHOZÁSA

- MATLAB-ban írt kódok
- Adatok beolvasása a kiexportált fájlokból
- Közös mérési pontok megadása
- Minden adatsor interpolációja, majd ezek átlagolása
- Tervezőrendszerbe importálás, külön számolási algoritmusként létrehozás TB SN 9999 néven
- Gold Data adatokra is külön algoritmus létrehozása
- MLC paraméterek beállítása

```
$NUMS 011
$STOM
#
#
#
#
#
#
%VERSION 02
%DATE 14-12-20
%DETY CHA
%BMTY PHO
%TYPE OPD
%AXIS Z
%PNTS 077
%STEP 010
%SSD 1000
%FLSZ 020*020
<+000.0 +000.0 +000.0 +047.2>
<+000.0 +000.0 +001.0 +051.2>
<+000.0 +000.0 +002.0 +057.3>
<+000.0 +000.0 +003.0 +068.7>
<+000.0 +000.0 +004.0 +077.7>
<+000.0 +000.0 +005.0 +084.2>
```

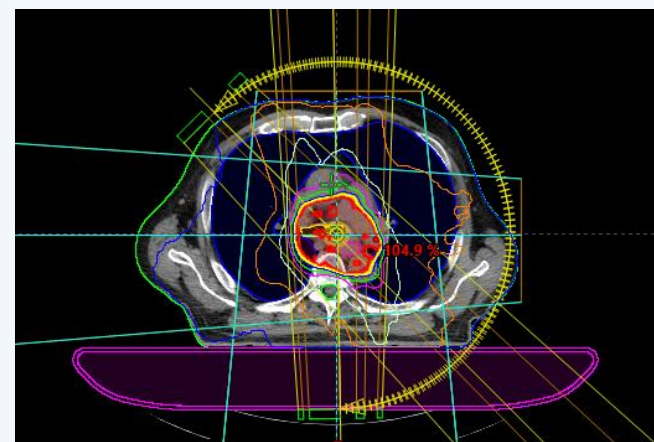
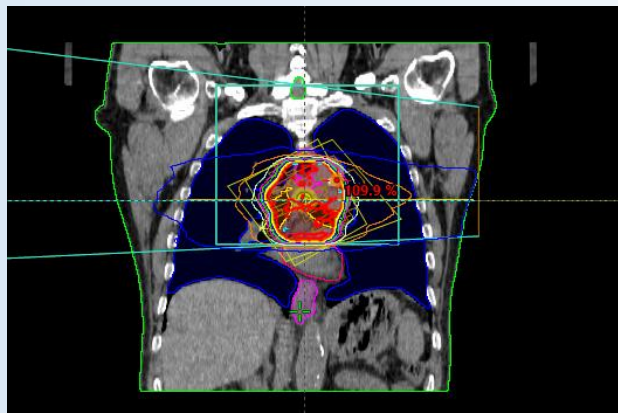
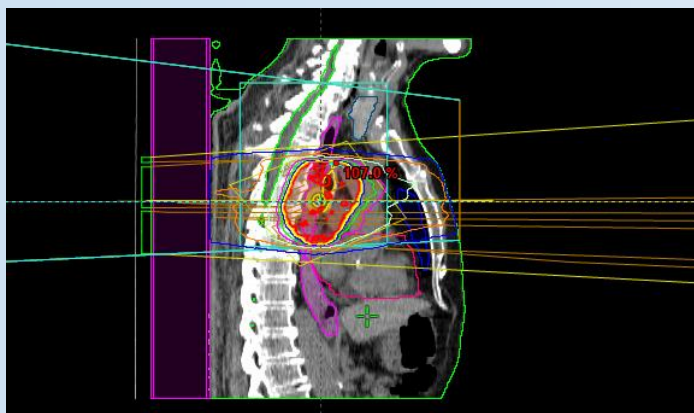
```
machine: TrueBeamSN1671, 6X
algorithm: Acuros_OOI_16.1.0
beam data: TrueBeamSN1671
add on: Open Field - 00
data: OPD
beam: high energy photons
energy [MV]: 6
exporting date: 5 March, 2024
column legend: Field Size [mm]
row legend: Depth [mm]
data legend: Relative dose [%]
```

	20.0,	30.0,	40.0,	50.0,	60.0,	80.0,	100.0,	120.0,	150.0,	200.0,	300.0,	400.0
0.00,	48.60,	48.40,	49.20,	50.40,	51.00,	52.50,	54.20,	55.80,	58.20,	61.90,	67.90,	71.20
1.00,	52.40,	52.40,	53.40,	54.30,	55.00,	56.20,	58.00,	59.50,	61.80,	65.30,	71.30,	74.50
2.00,	59.10,	58.50,	59.50,	60.20,	61.00,	62.00,	63.60,	64.90,	67.30,	70.60,	75.80,	78.80
3.00,	70.50,	70.10,	70.50,	71.10,	71.60,	72.20,	73.50,	74.70,	76.40,	79.20,	83.40,	85.30

ELKÉSZÍTETT TERVEK

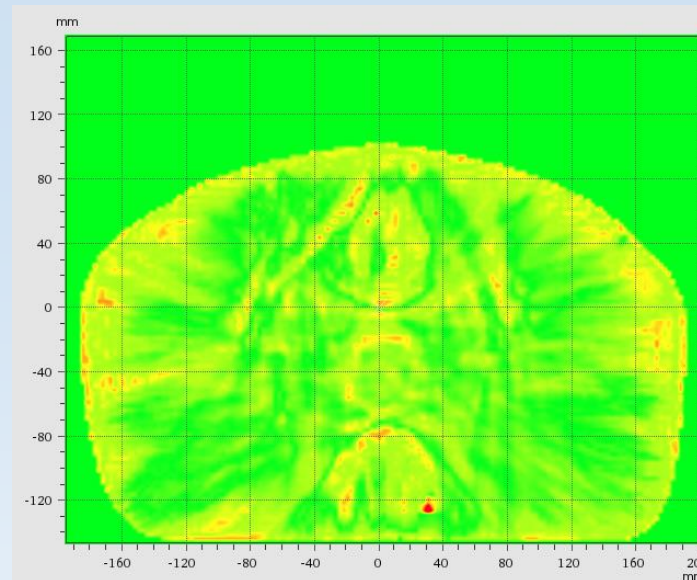
- Klinikumban korábban leadott tervek
- Tervenként azonos monitoregység
- Optimalizáció a virtuális gyorsítóra
- Számolás:
 - ❖ Virtuális gyorsító
 - ❖ 4 fizikai gyorsító
 - ❖ Gold Data

Sorszám	Régió	Energia	Technika	Mezők száma
1.	tüdő	6 MV	VMAT	2ív
2.	prosztata	6 MV	VMAT	2ív
		6 MV FFF	VMAT	2ív
		10 MV	VMAT	2ív
3.	tüdő	6 MV FFF	VMAT SBRT	4ív
4.	fej-nyak	6 MV	VMAT	2ív
5.	emlő	6 MV	IMRT	4mező

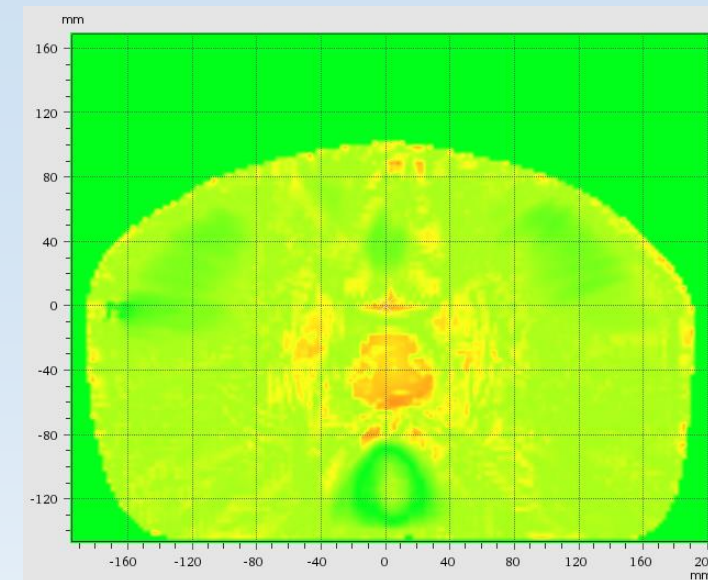


TERVEK SZOFTVERES ÖSSZEHASONLÍTÁSA

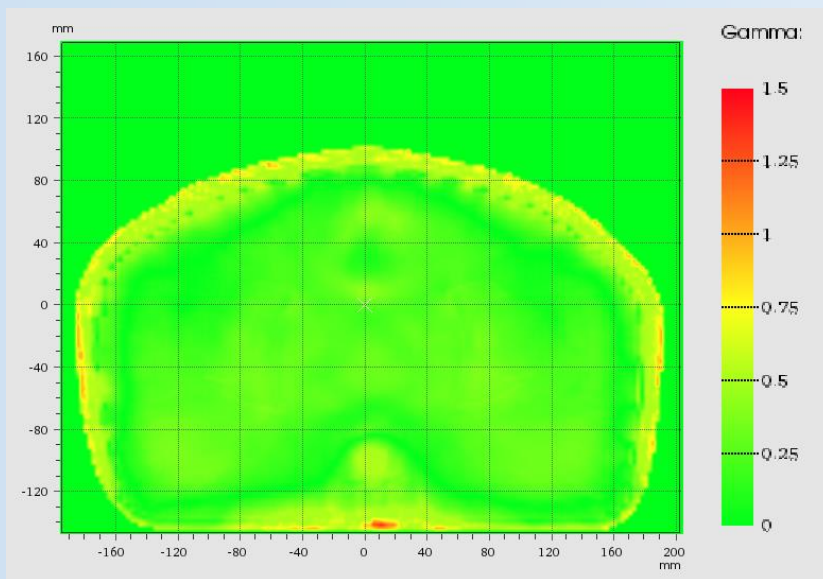
- Mephysto Verisoft
- 3D gamma-analízis, 1%,1mm
- Referencia: virtuális gyorsítóra készült terv



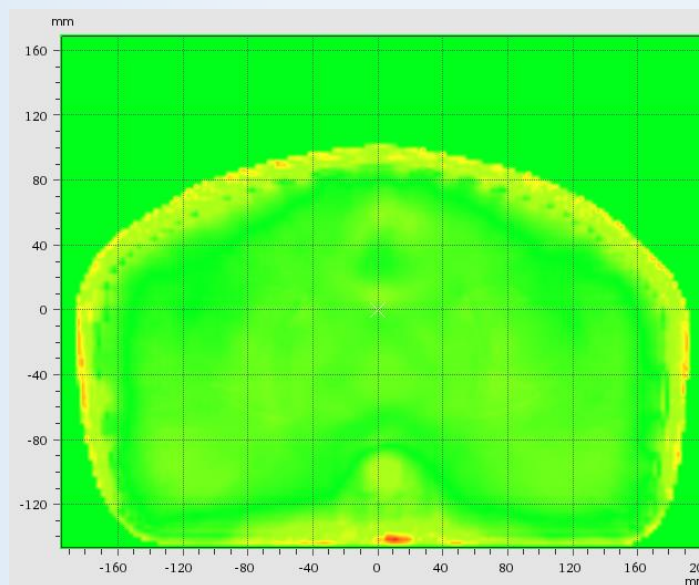
TB1, 99,8%



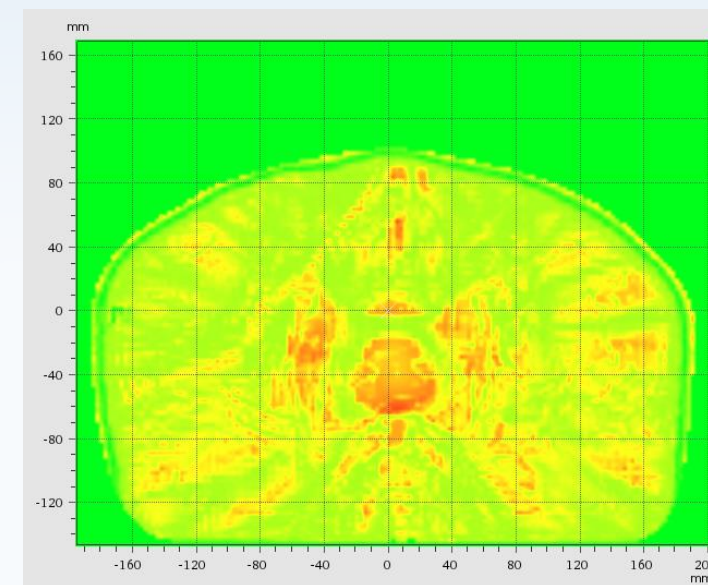
TB2, 98,6%



Gold Data, 100%



VB1, 99,9%



VB2, 97,3%

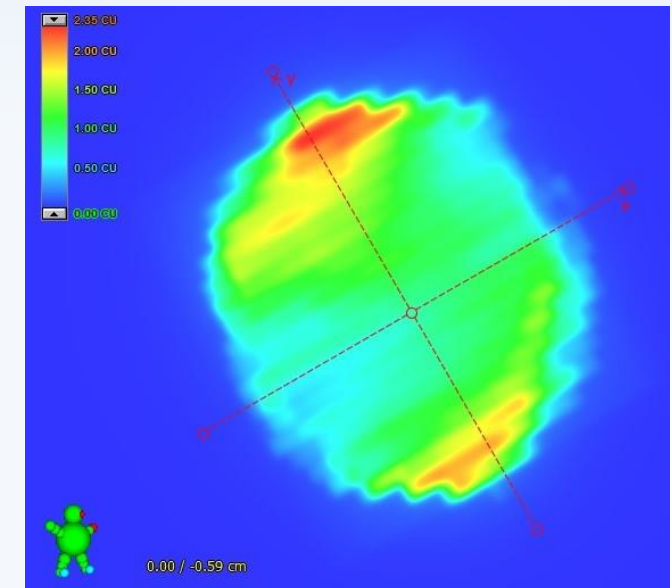
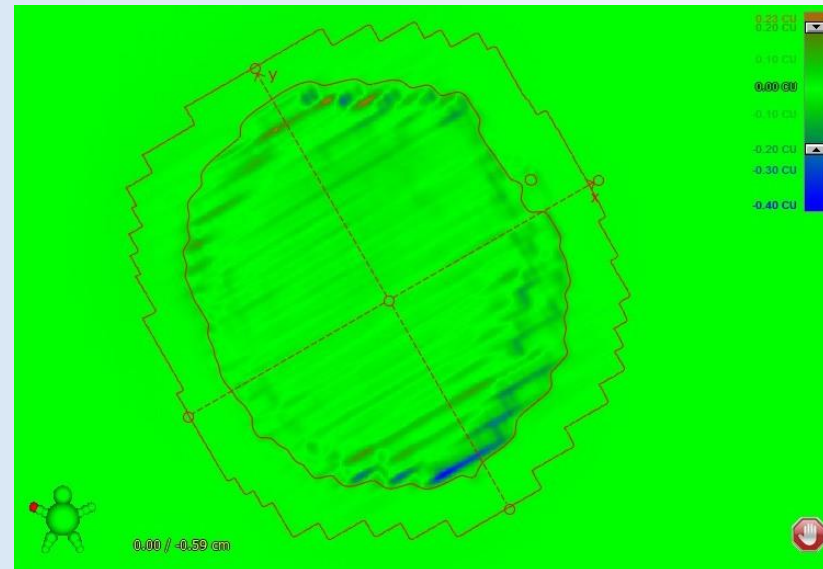
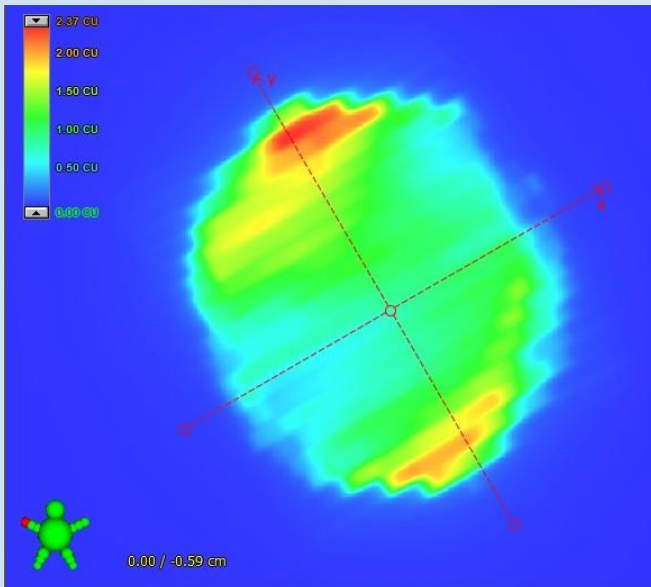
TERVEK SZOFTVERES ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

Gamma-megfelelőség (%)		1%, 1mm					2%, 2mm				
Terv	Energia	Gold Data	TB1	TB2	VB1	VB2	Gold Data	TB1	TB2	VB1	VB2
1.	6 MV	99,4	84,8	78,1	100	89,6	100	99,4	98,9	100	99,9
2.	6 MV	99,6	94,3	71,5	100	83,7	100	99,9	96,6	100	99,4
	6 MV FFF	99,8	99,5	98,6	96,6	97,3	100	100	100	100	99,6
	10 MV	100	99,8	97,4	99,9	97,6	100	100	100	100	99,6
3.	6 MV FFF	100	100	100	98,9	98,9	100	100	100	100	100
4.	6 MV	100	85,7	75,6	100	90,7	100	99,9	94,1	100	99,9
5.	6 MV	97,7	91	35,9	99,8	97,7	100	99,9	73,9	100	99,9

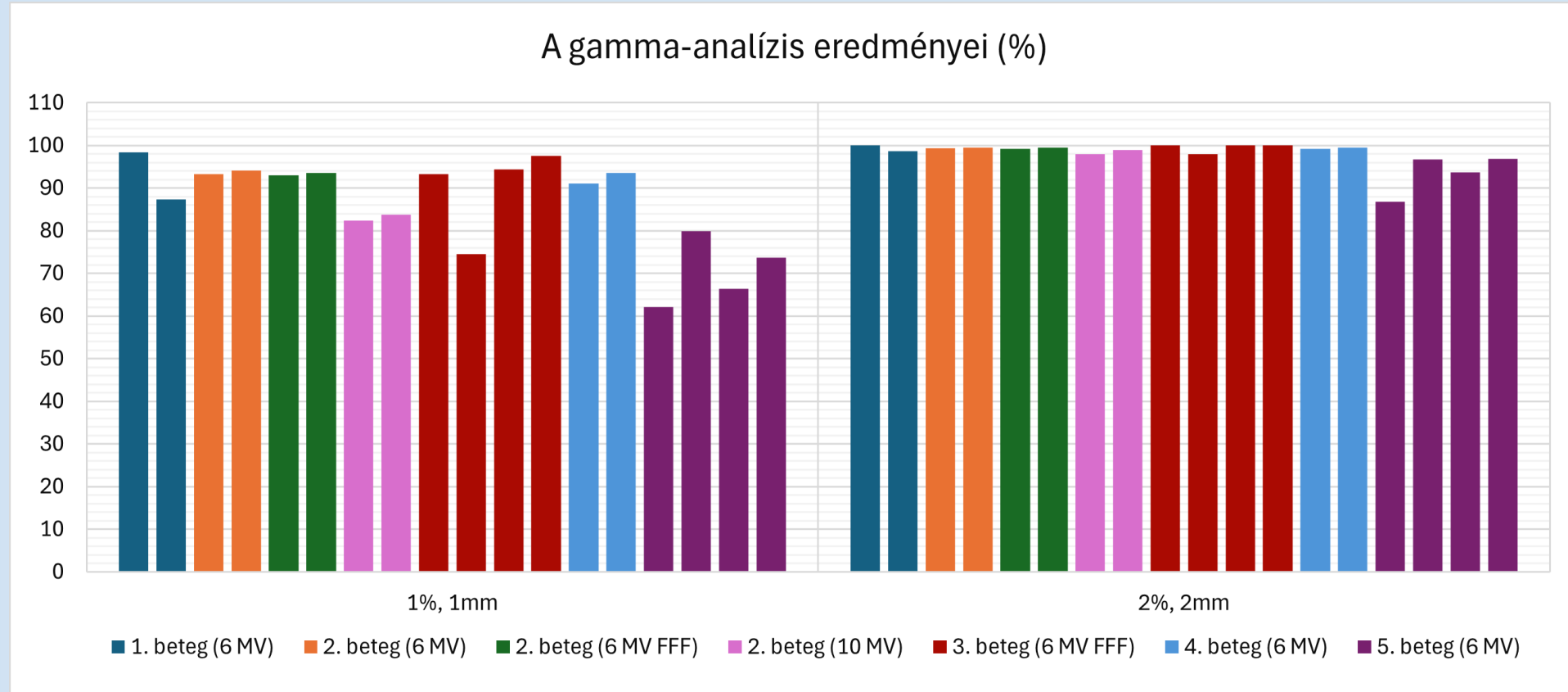
- Átlag dózisban maximum eltérés: 1,84%
- IMRT terv jelentősebb eltérést mutat a TB2 esetén

PORTÁLDOZIMETRIAI MÉRÉSEK

- EPID: amorf szilícium detektor
- Izocentrum, abszolút dózis, EPID-kalibráció
- VitalBeam 1 gyorsítón, portáldozimetria mód
- 2D gamma-analízis
- Prediktált és mért dóziseloszlások összehasonlítása



PORTÁLDOZIMETRIAI MÉRÉSEK



- 2%, 2mm mellett négy terv esetén 95% feletti egyezés, minden mezőre
- 1%, 1mm mellett az 5. betegnél (IMRT) rosszabb eredményeket kaptam

KONKLÚZIÓ, KÖVETKEZTETÉSEK

- Modellalkotásban a mért és feldolgozott mért görbék csak vizuálisan különböznek, gamma-analízisben teljes egyezést mutatnak.
- Az egyes gyorsítók közti különbségek összemérhetők a dózismodellek különbségével.
- Virtuális gyorsító legjobban a Gold Datához hasonlít.
- Gyorsítók közti átjárhatóság lehetséges mind a terveket hasonlítva, mind az átlagdózisokat tekintve.
- Virtuális gyorsítóra készült tervek megfelelő minőségben leadhatóak, portáldozimetriával ellenőrizhetőek.
- A portáldozimetriai mérések jó eredményeket adtak, azonban szükség van további, független mérésekre is.

A white circular robot head with a winking eye and a smile, mounted on a mechanical base with a green laser line passing through it. The robot is positioned in front of a large, glowing orange ring. A green laser line is visible, passing through the center of the robot's head. The background is a blurred, industrial-looking environment.

Köszönöm a figyelmet!