



Verifikácia klinických plánov pri IMPT Protónová terapia s PBS

Zámečník L., Navrátil M., Vondráček V.,
Badraoui-Čuprová K., Vilimovský J., Andrlík M.,
Grilová T., Šťastná S., Michaelidesová A.

www.ptc.cz
lubomir.zamecnik@ptc.cz

Bratislavské dni, 9.-10.5.2013

PROTON
THERAPY
CENTER



Protónová terapia

Módy:

- Single Scattering
- Double Scattering
- Uniform Scanning
- Pencil Beam Scanning



Prípravné medzníky

- IBA Nozzle (trysky), Snouty, Kolimátory, RC
- Predklinické testy, tzv. „stress test“
- Akceptačné testy
- Commissioning (+ návrh na ZDS, ZPS)
- Periodické QA
- Audit, povolenie k nakladaniu
- Klinická prevádzka



Predklinické testy

Vyhodnocovanie prevádzky, stability systému:

- Operačné testy celého systémového reťazca – plánovanie, záznamy a verifikácia
- Identifikácia limitov všetkých subsystémov
- Fixácia a záznam chýb
- Získavanie skúseností fyzikov a technikov
- Získavanie významu PBS v reálnom klinickom prostredí



Akceptačné testy PBS

Procedúry:

- Presnosť dosahu, distálny spád
- Maximálna veľkosť poľa
- Laterálna dávková homogenita 2D
- Longitudinálna dávková homogenita (SOBP)
- Vlastnosti spotu – testovací obrazec
- MU reprodukovateľnosť a linearita
- Bezpečnostné interloky
- Obnovenie čiastočného ožiarenia (prerušenie a celkové dodanie)



Commissioning

- Základné informácie a potrebné merania zväzku
- Plánovací systém – náber dát, modeling zväzku, verifikácia
- Všeobecné nastavenie: HW, prídavné zariadenia, izocentrum, limity (dosah, pole, spot MU, mechanické), ...
- Integrálna DDC pre rôzne energie
- Profily spotu pre energie: vzduch/voda, v/pred/za Izocentrom (divergencia, sken. magnety)
- Použitie modifikátorov (range shifter, ridge filter)
- Absolútna kalibrácia (Gy/MU)



Meranie vo VF (Blue Phantom)

Kalibrácia dávky, overovanie dávky:

Dozimetrický reťazec – Dose1, Farmer IC, PPC 05, ^{90}Sr , Ther., Bar.

DDC – BPs':

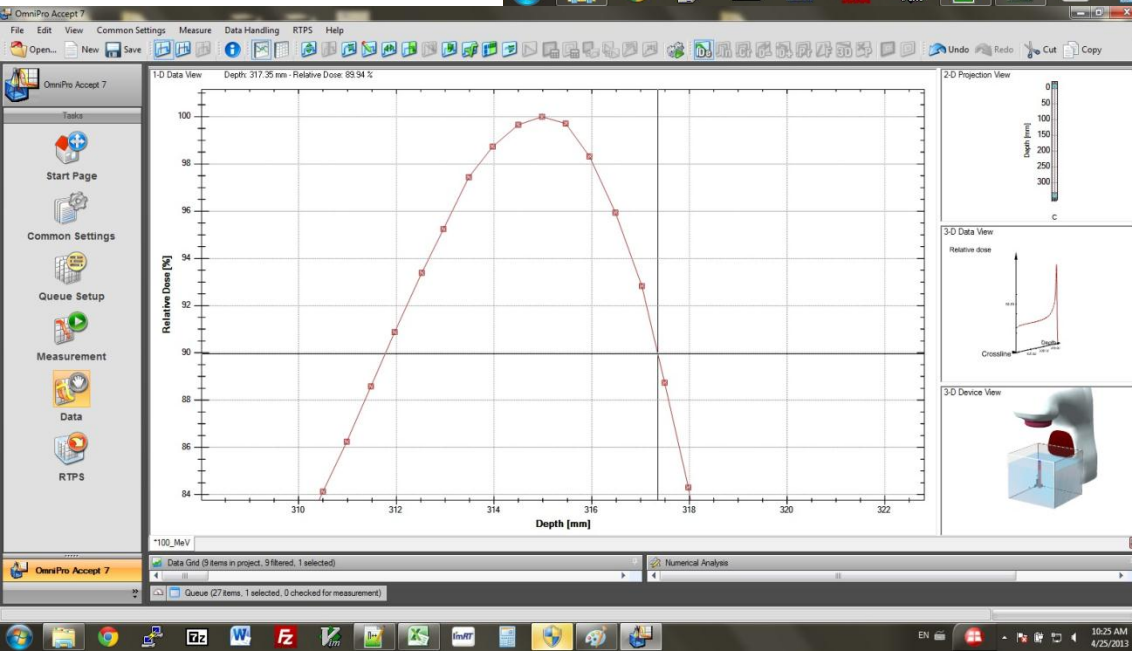
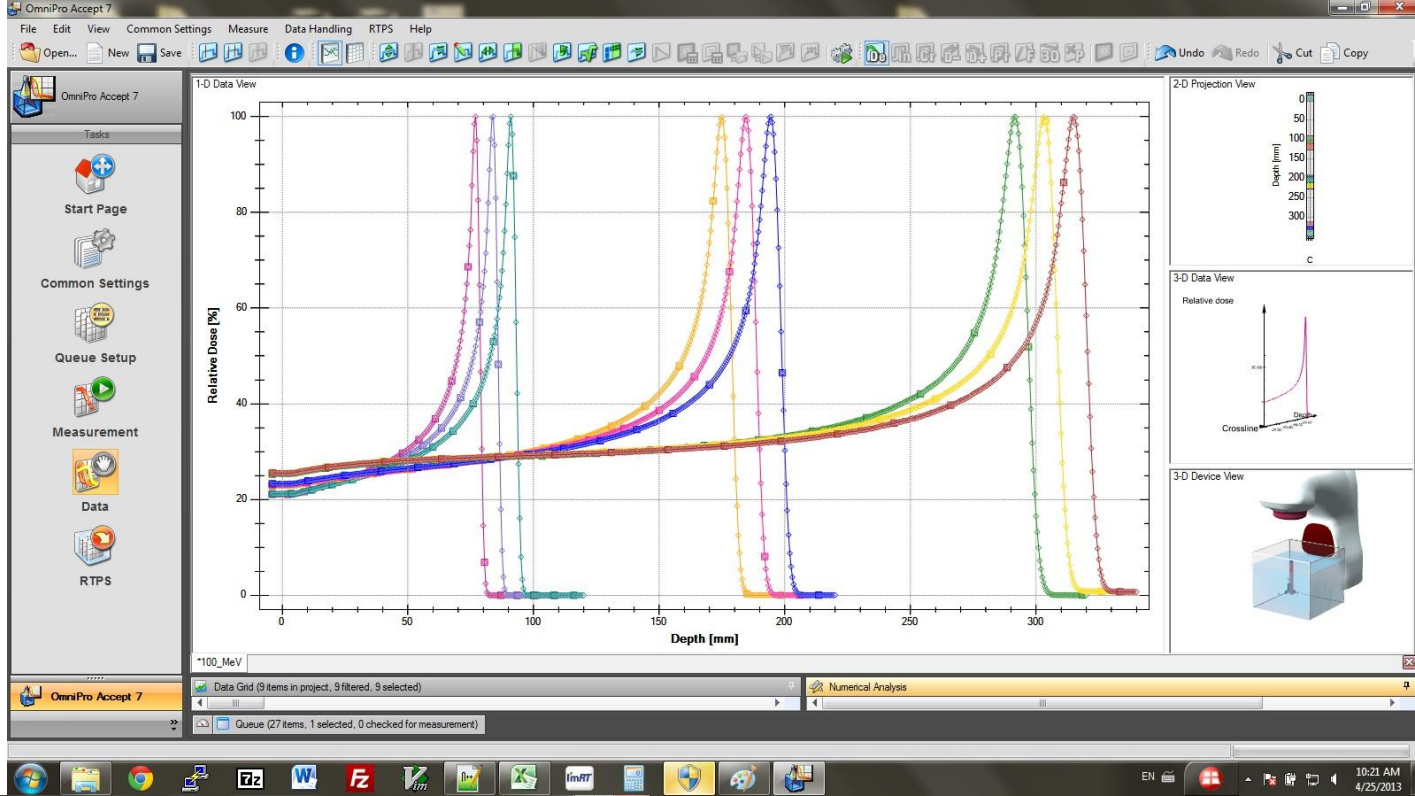
CCU, BPC (Break Peak Chamber $d=8,4\text{mm}$),
OmniPro Accept



PROTON
THERAPY
CENTER



BPs':
100 MeV –
226 MeV



Distal range:
R90%,
Pull Back:
 $\Delta 1$ MeV

PROTON
THERAPY
CENTER



Meranie spotov, fluencií

LYNX_{pT} (Fimel): scintilačný detektor, video kamera + SW (.ilx, .dcm files)



Detek.plocha:
30cm x 30cm

Rozliš.schopnosť:
0,5 mm

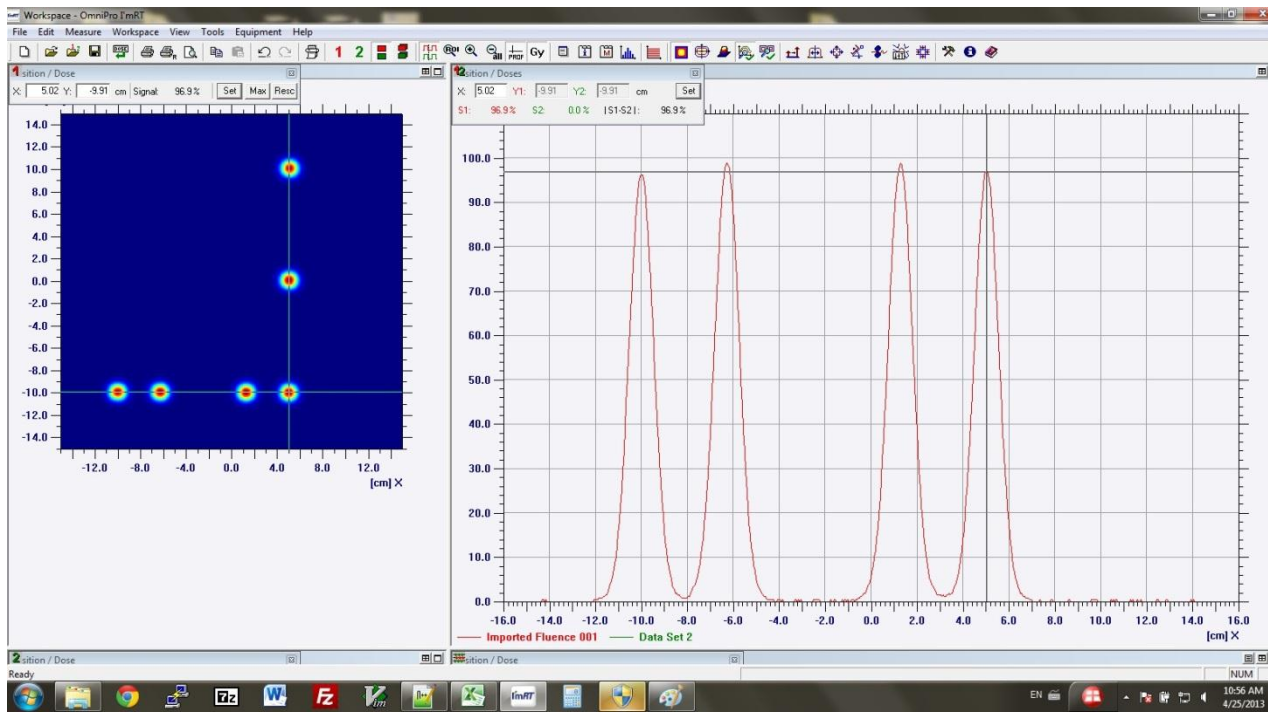
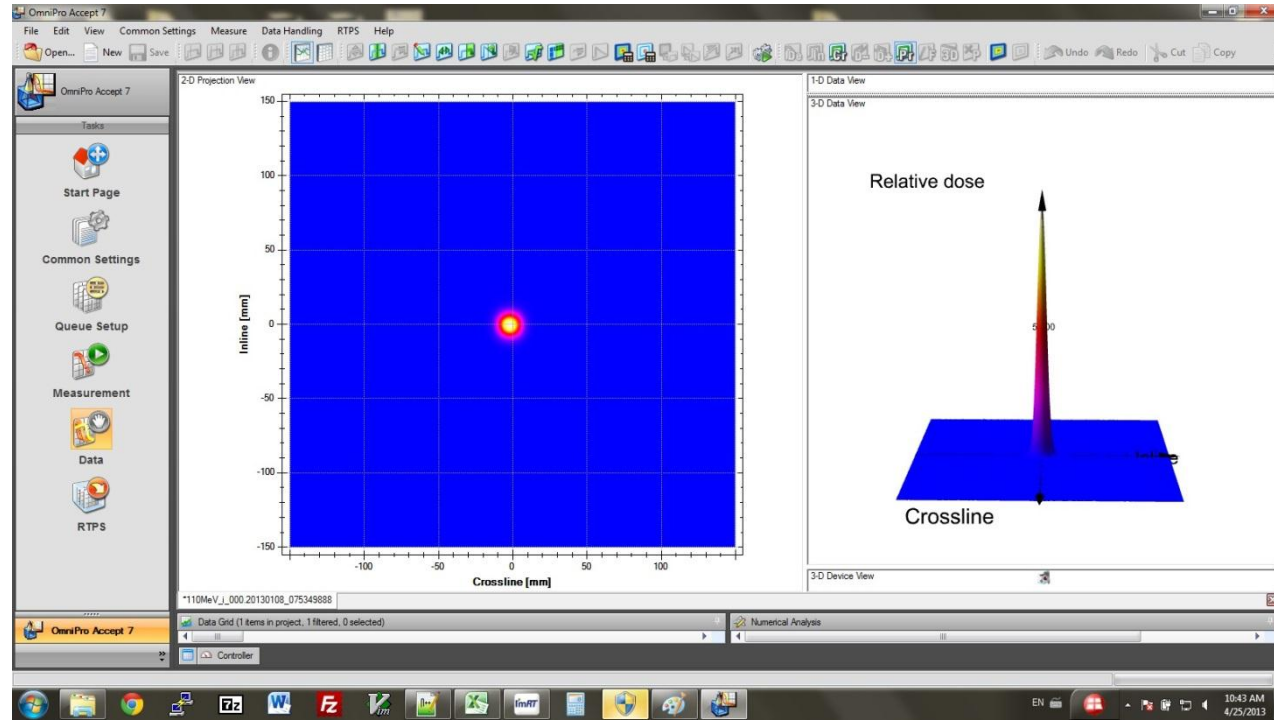
Kamera:
1024x1024,
12 bit rozl.

PROTON
THERAPY
CENTER



Spoty 110 MeV:

- na osi zväzku
- vychýlené do max. veľkosti PBS mapy



Vyhodnotenie:

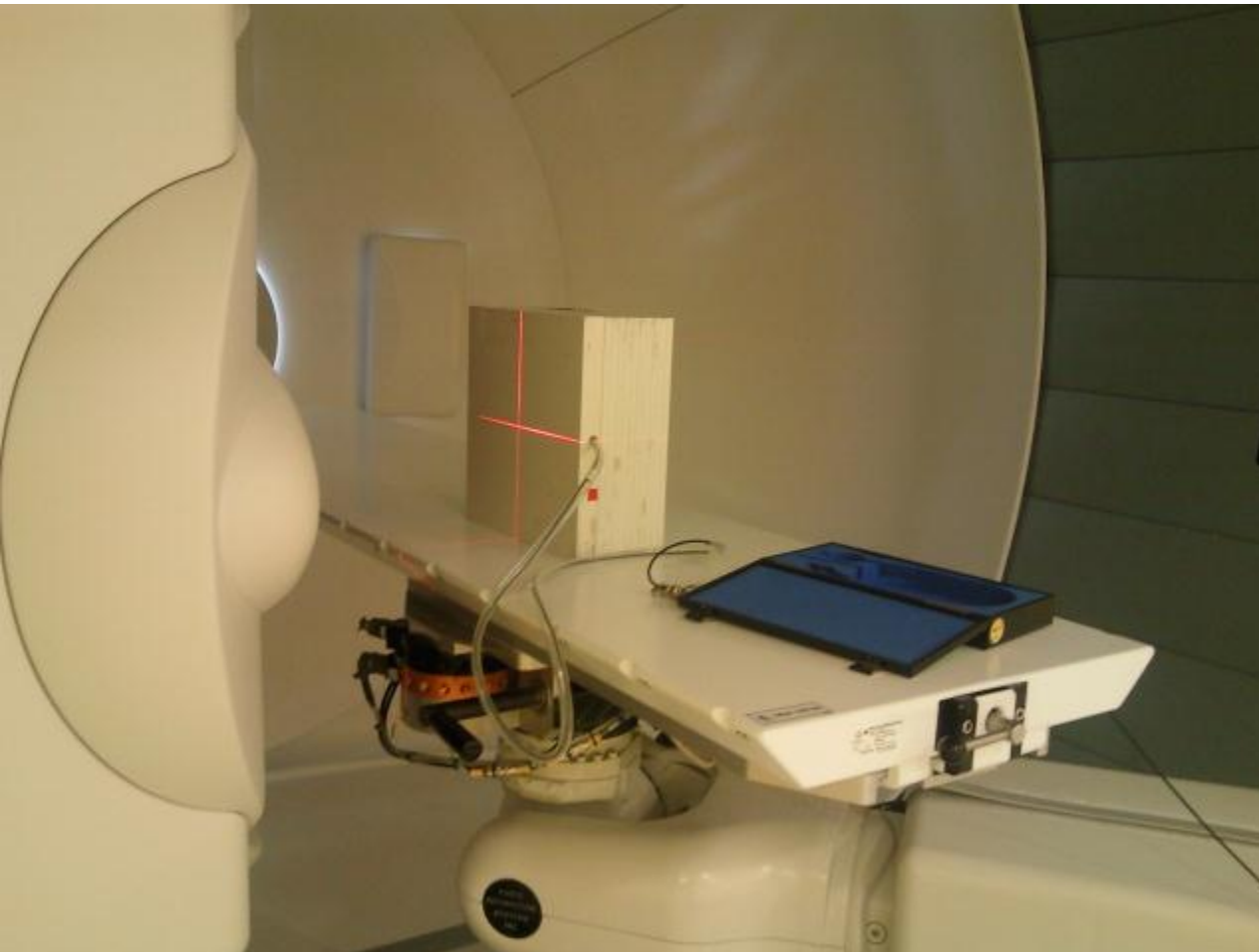
- OmniPro-Accept
 - OmniPro-ImRT
- Sigma spotu:
- 3 – 8 mm,
 - závisí od energie, trysky

PROTON
THERAPY
CENTER



Periodické QA – ZDS_r , $ZPS_{d, t, m, r}$

ZPS_d : Dávka



- RW3, Dose 1, IC Farmer.
- min., mean, max. E (100, 165, 226 MeV).
- Plateau region BP, IzoCentrum, 2 cm.



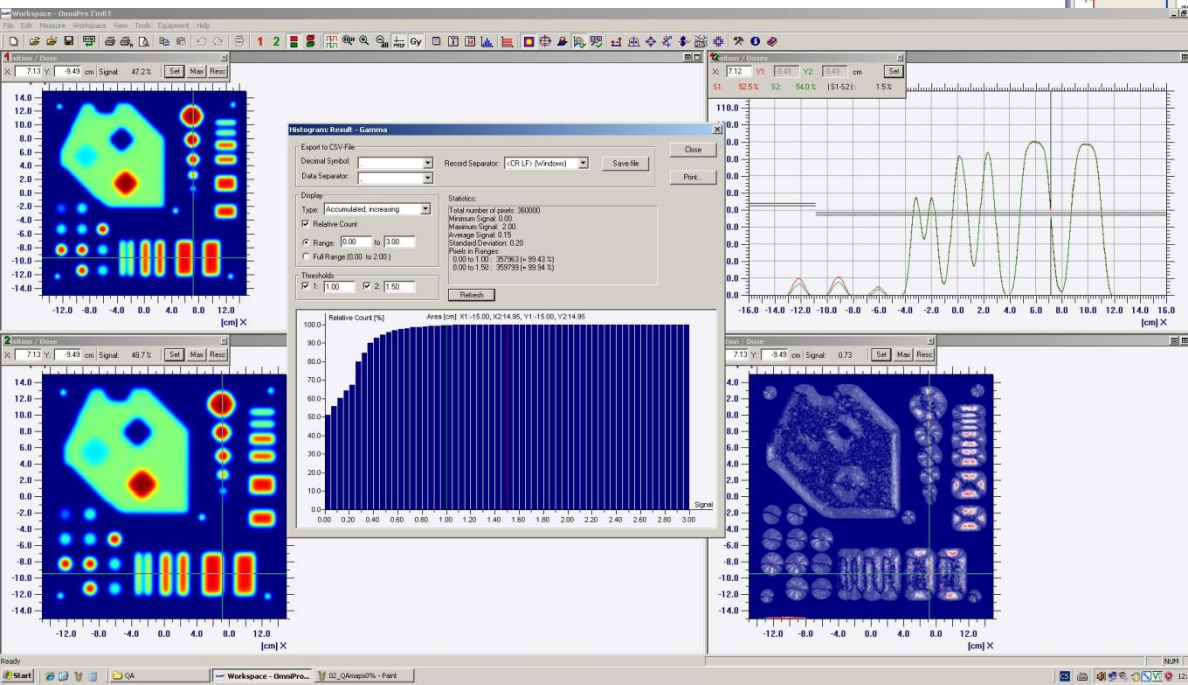
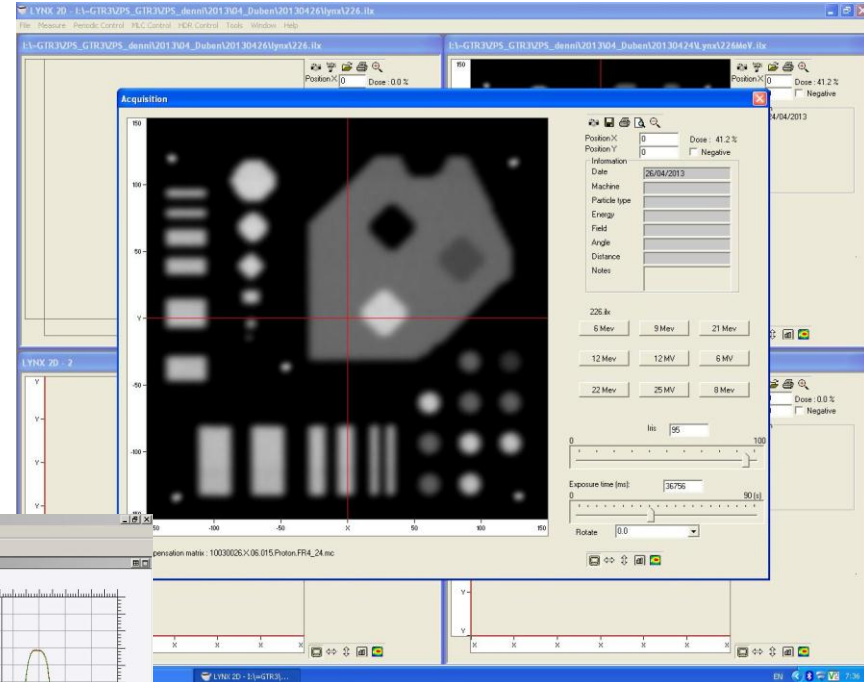
ZPS_d: Rozloženie dávky - nepravidelný obrazec

Lynx PT, OmniPro-ImRT.

Gama analýza: DD 2%, DTA 2mm.

Tolerance:

Pixely ≤ 1.0 – min. 95%
 ≤ 1.5 – min. 99%.



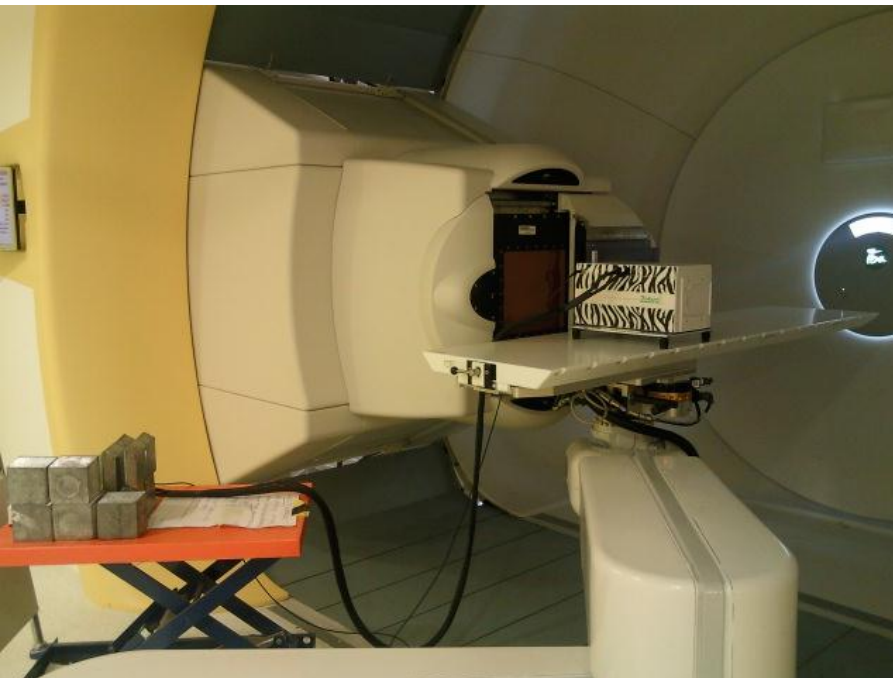
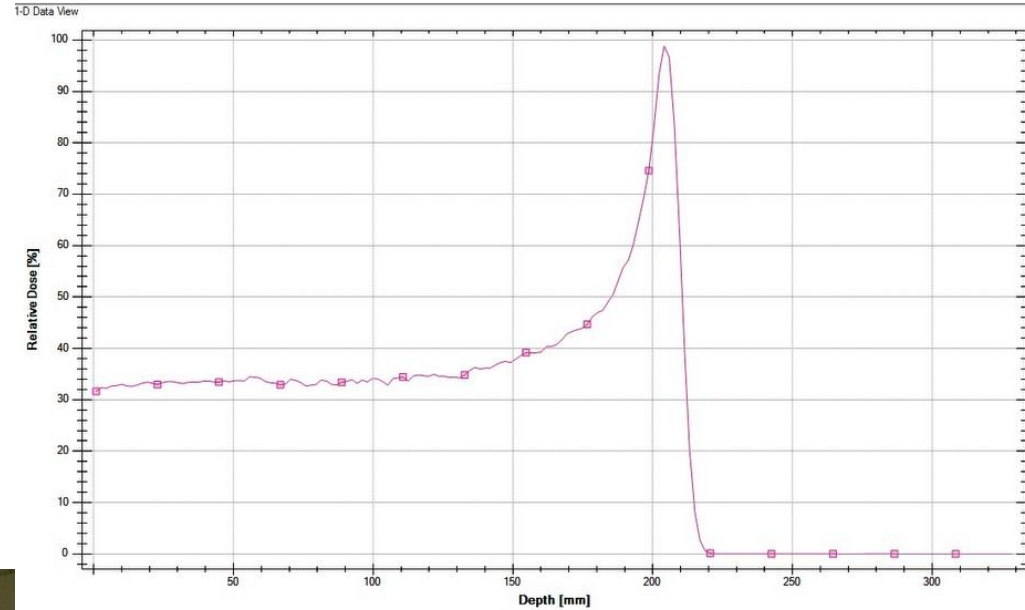
PROTON
THERAPY
CENTER



Zebra MLIC, OmniPro-Incline

MLIC: - 180 PPIC,
- separácia 2 mm,
- priemer 2,5 cm

ZPS_d: Dosah



Meranie:
BP (SOBP)-
min,mean,max.E

PROTON
THERAPY
CENTER



Protokol ZPS_d

	Datum	2.4.2013					
	Ozařovna	Gantry 3					
	Měřil						
	Poznámky						
Test č.		Naměřené	Referenční	Odchylka			
1		Naměřené	F. Manager	Tolerance			
	Teplota [°C]	22,2	22,2	Shoda	°C	0,00	Splněno
	Tlak [hPa]	982,4	982,4	Shoda	hPa	0,00	Splněno
	kTp	1,038886657					
	Dose correction factor	0,99					Splněno
	Gama analyza 2% 2mm; horizontální nastavení na laser 6, 4, laser 1 pouze do izocentru; gantry 270	PBS					
2	E=115MeV; Iris 95, time 25000 ms						
	Gamma <=1 [%]	100		95	%		Splněno
	Gamma <=1,5 [%]	100		99	%		Splněno
	Prumer ROI	0,16					
	Maximum	1,08					
2	E=145MeV; Iris 95, time 25000 ms						
	Gamma <=1 [%]	99,98		95	%		Splněno
	Gamma <=1,5 [%]	100		99	%		Splněno
	Prumer ROI	0,18					
	Maximum	1,16					
				FC65 P 2131			
2	E=226MeV; Iris 95, time 25000 ms						
	Gamma <=1 [%]	99,25		95	%		Splněno
	Gamma <=1,5 [%]	99,96		99	%		Splněno
	Prumer ROI	0,15					
	Maximum	1,79					
3	E=100MeV	Dosah: [g/cm2]	7,57	7,68	0,15	g/c	-0,11 Splněno
	E=165MeV		18,61	18,61		m2	0 Splněno
	E=226MeV	21,62	31,8867	31,9267			-0,04 Splněno
	Vrstva 15x15cm, Spotspaceing 3mm, 4000 MU	Změřená odezva [nC]	Korigovaná odezva [nC]	Referenční odezva [nC]	Dose 1: 14485		
4	E=100MeV	36,94	38,376	38,535	2	%	-0,41% Splněno
	E=165MeV	35,08	36,444	36,507			-0,17% Splněno
	E=226MeV	34,78	36,132	36,174			-0,11% Splněno



Overenie modelu zväzku + audit

- CT kalibrácia:
 - Bethe-Bloch formula - protónová brzdná schopnosť,
 - Presné chem.zloženie (váhové zastúpenie) rôznych materiálov
- WET:
 - Rôzne materiály, Doska robotického stolu
 - Fixačné pomôcky, atd.
- TPS:
 - Pozornosť na rádiologické vzdialenosti
 - Homogénne plány (kocky v rôznych hĺbkach, s RS) – dôležitosť optimalizácie
 - Nehomogenity príspevku jedného poľa (typické pre viacpoľové PBS)
 - v opačnom prípade SFUD (single field uniform dose)



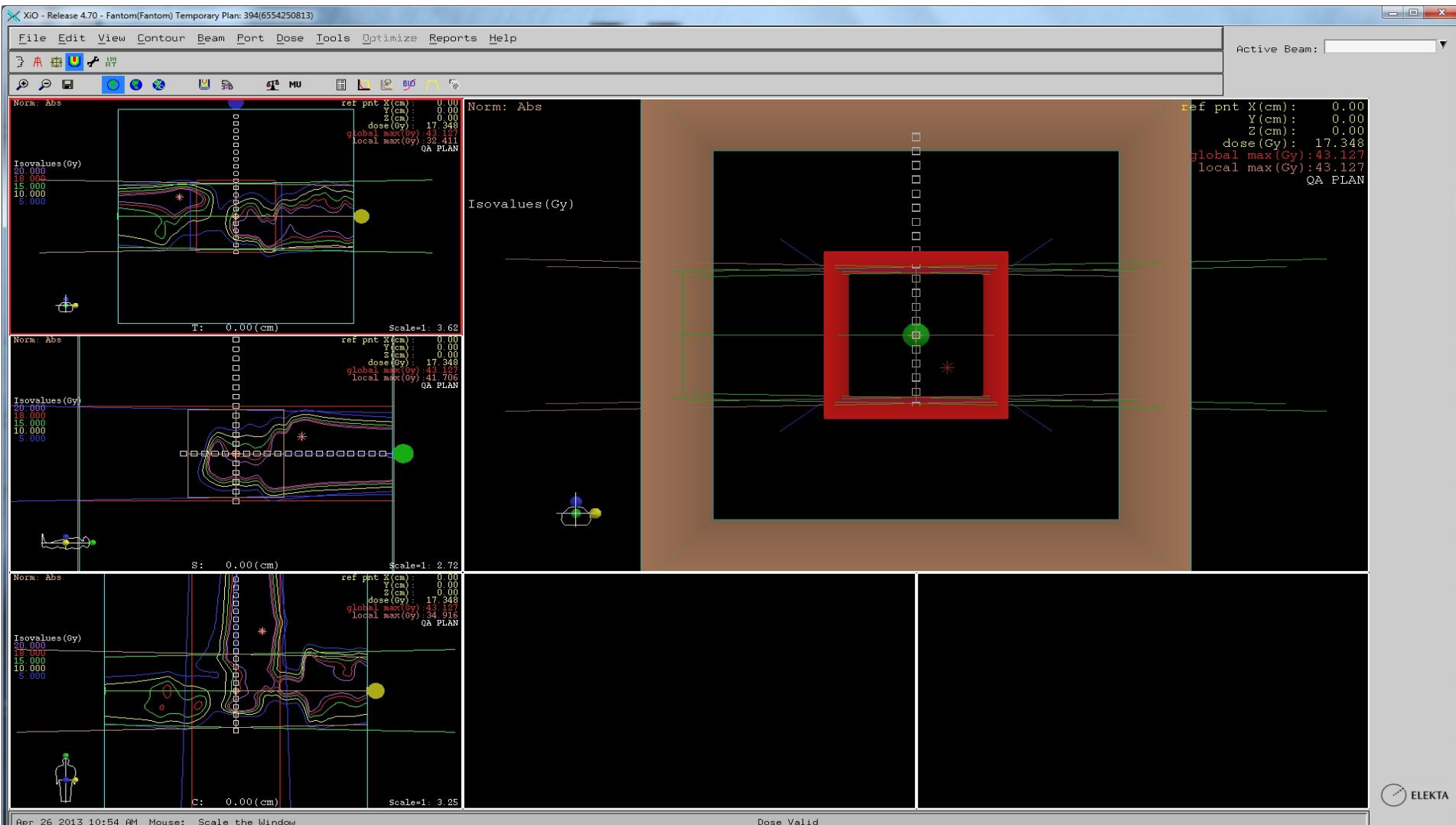
Plánovanie IMPT

- Obrazová akvizícia a registrácia
- VOI definície
- Výpočet dávky
- Optimalizácia parametrov poľa
- Vyhodnotenie plánu
- Plánovanie liečby
- Plán QA – z predikcie vo fantóme (30x30x30)



Verifikácia plánu – QA pacienta

Predikcia vo fantóme





QA pacienta

Kontrola:

1) Dávka v bodech

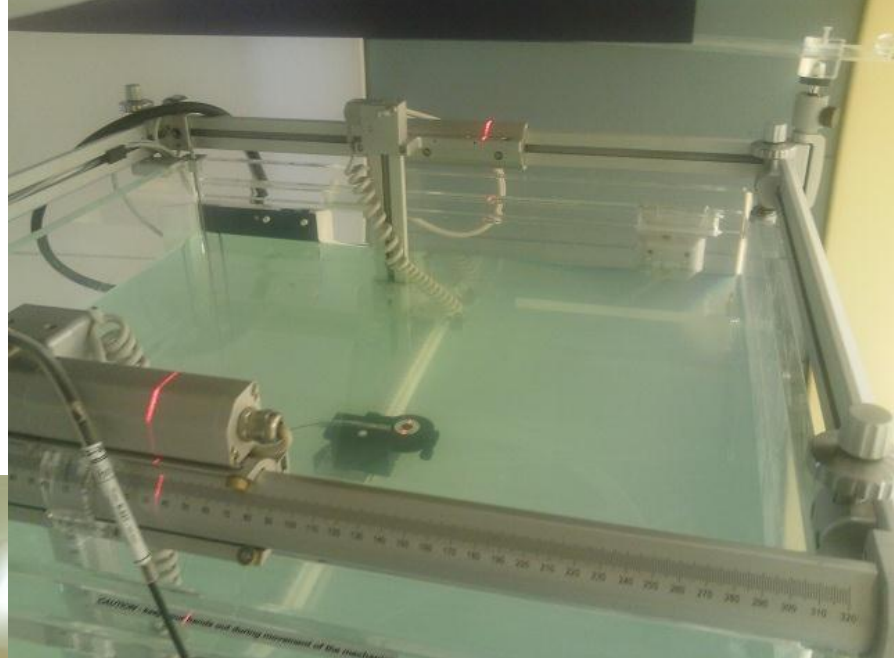
- vodný fantóm, IC Farmer, IC PPC05, ľubovoľné body

2) Dávkové mapy

- DigiPhant PT, MatriXX PT, OmniPro-ImRT



Absorb.dávka



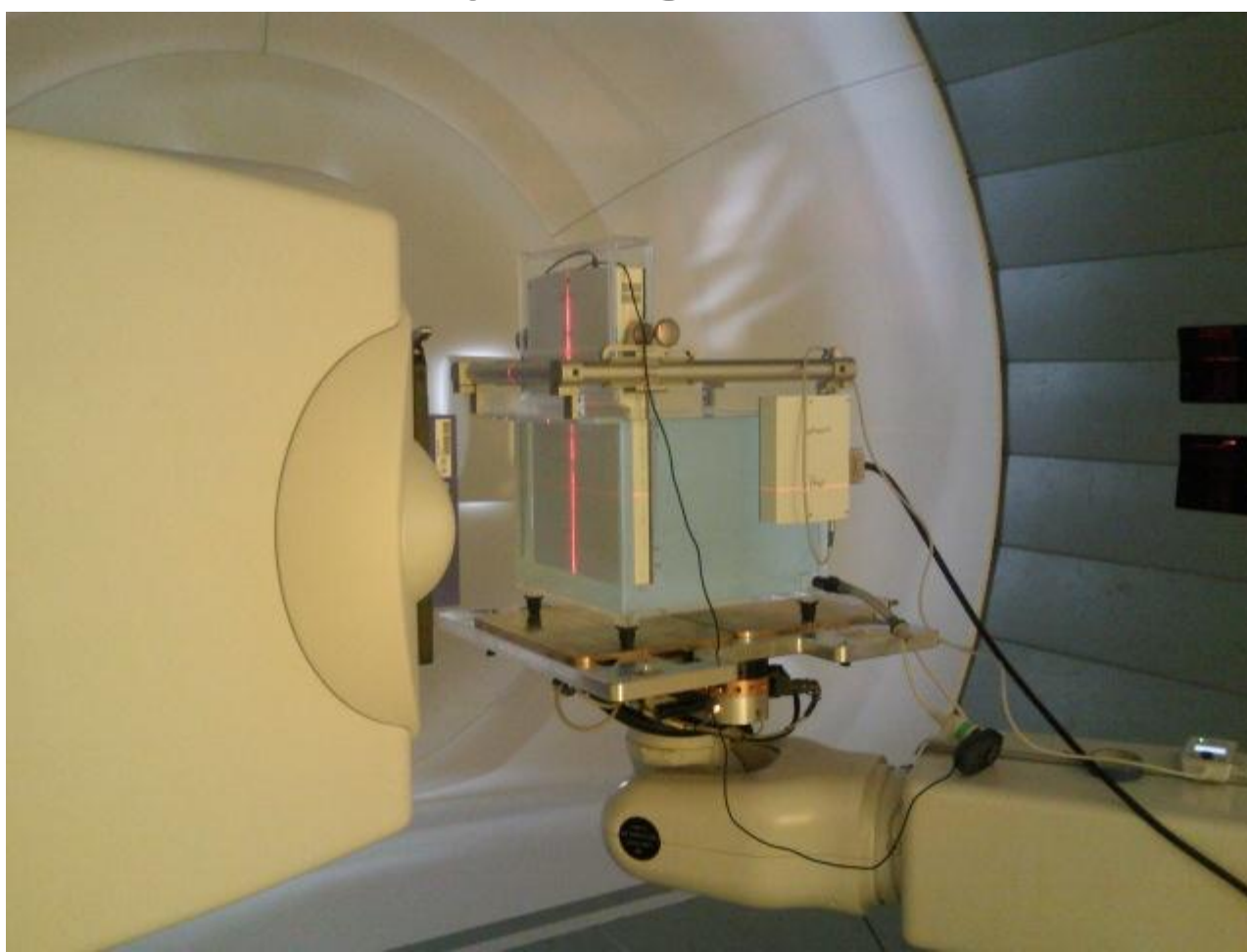
- VVF – Blue Phantom
- PPC05 (Markus)
- CCU elektrometer
- Ručný ovládač CCU

PROTON
THERAPY
CENTER



Dávkové mapy

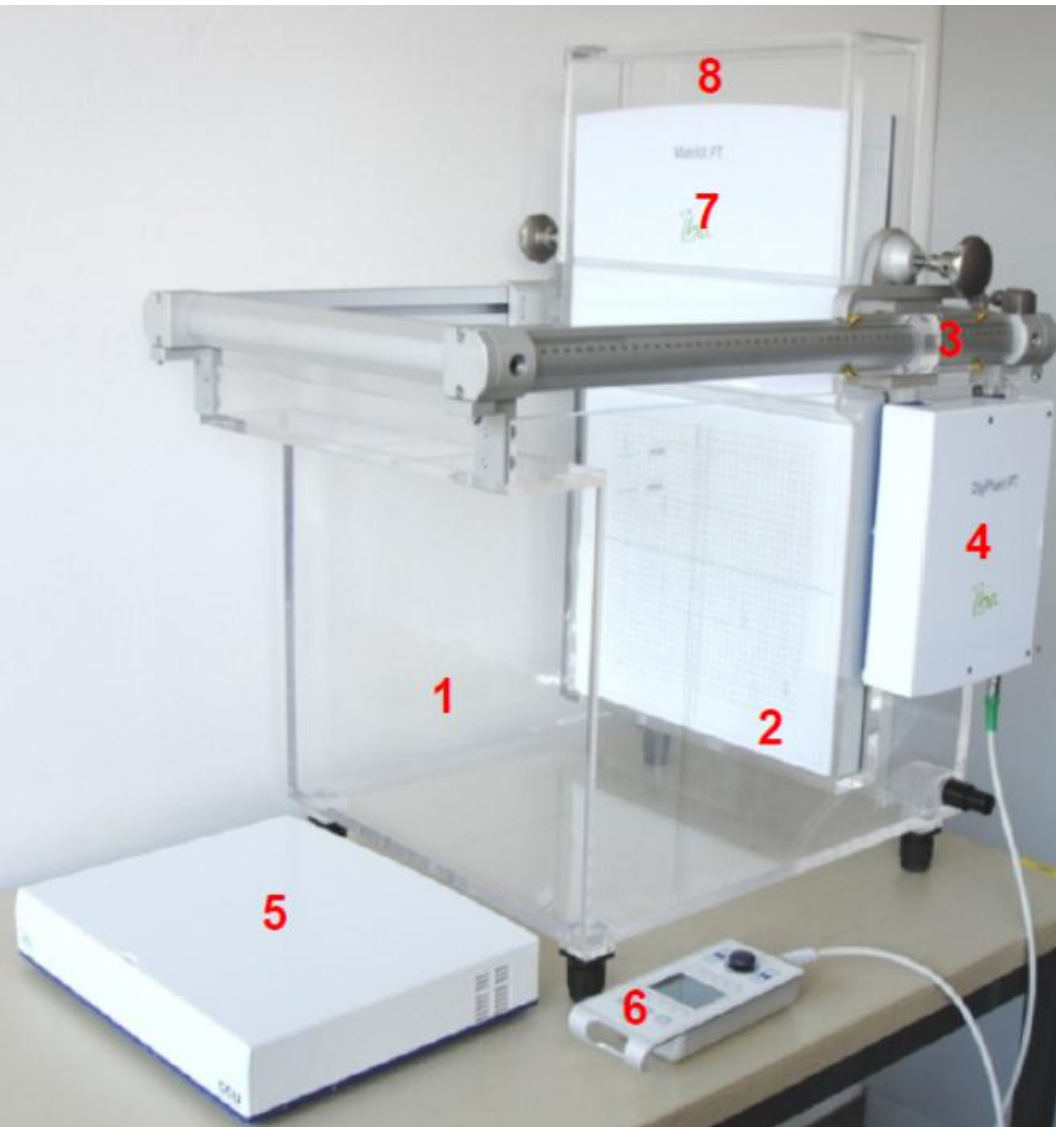
Set-up DigiPhant PT



- Verifikácia PBS plánu
- Gantry 270°
- SW DigiPhant PT
- Meranie ku kompenzácii background
- Možnosť meraní 2D i 3D
- Dávkové mapy (profily)
- Hĺbkové krivky



DigiPhant PT pre QA pacienta

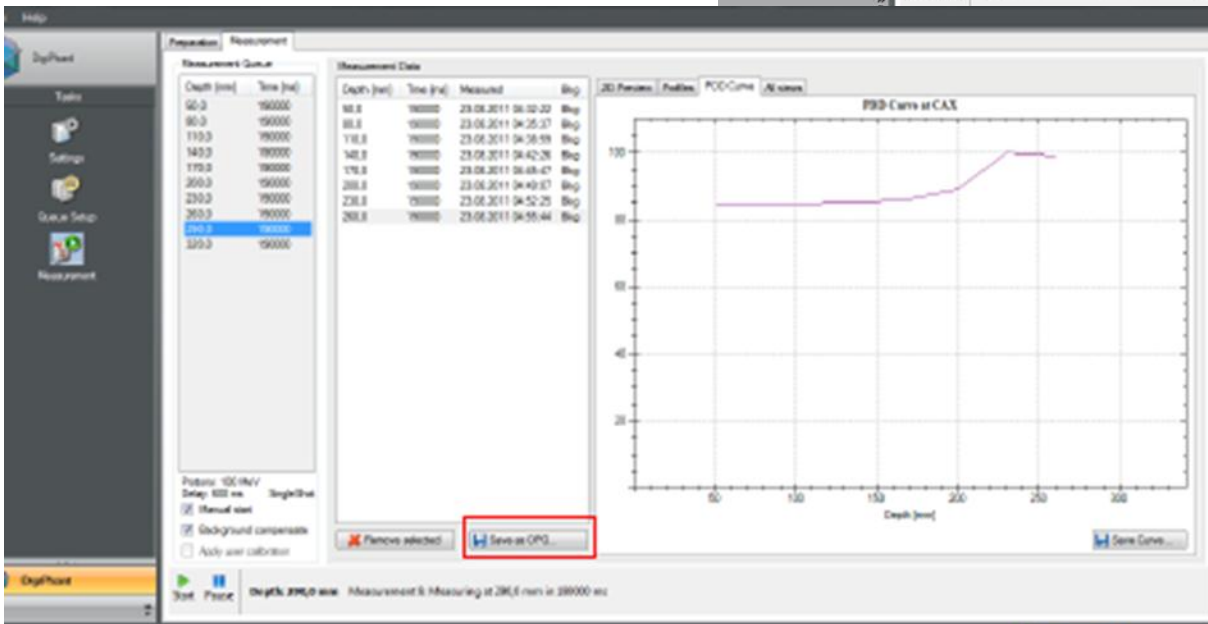
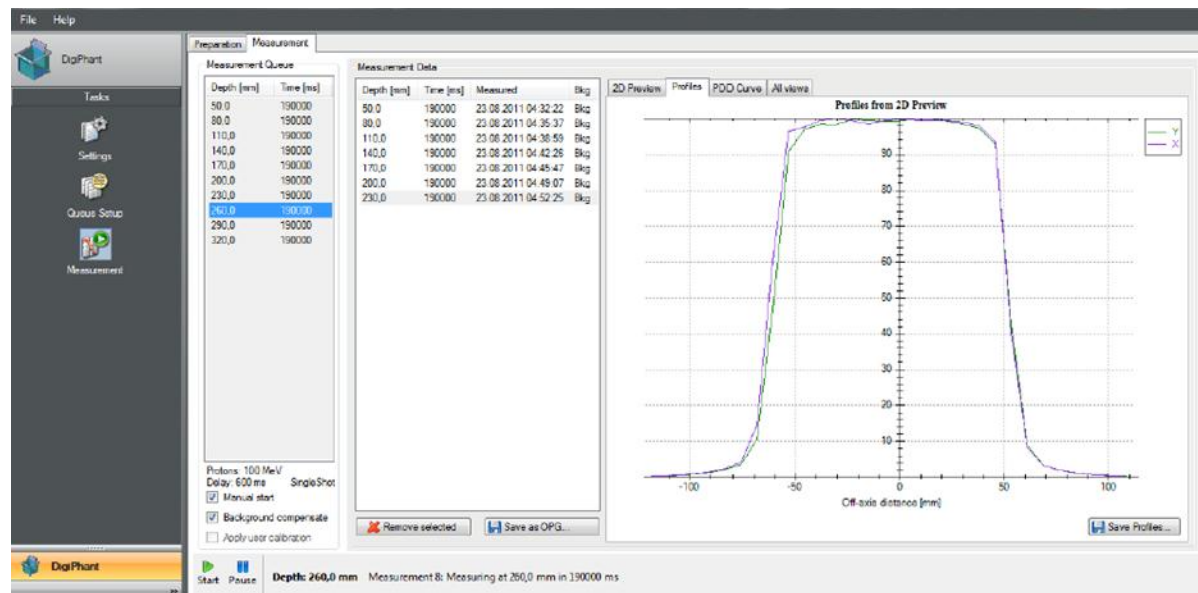


1. Vodný tank
2. Držiak MatriXX PT
3. Mechanika pre pohyb detektora
4. Spojovací box
5. CCU - kontrolná jednotka s elektromerom
6. Ručný ovládač CCU
7. MatriXX PT detektor:
1020 paralel. IC (mriežka 32x32)
aktívna meracia oblasť 24,4cm x 24,4cm
vzdialenosť komôr 7,619mm
efektívny bod merania v hĺbke 5mm
8. Vodotesná ochrana MatriXX PT



DigiPhant PT SW

Meraný profil,
dávková mapa

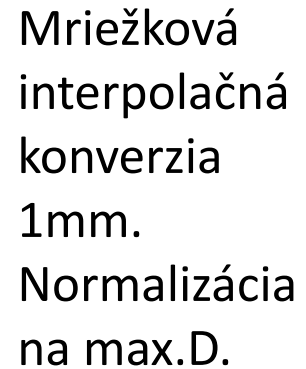


Rekonštrukcia
hĺbkovej krivky

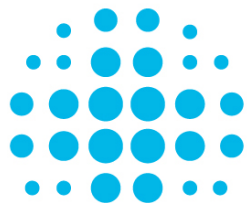
PROTON
THERAPY
CENTER



- .dcm files, rovina z TPS vs rovina v DigiPhant
- Gama analýza 3%, 3mm, relev. signál 5%, príp. ROI



PROTON
THERAPY
CENTER



Verifikácia IMPT plánu – protokol

Absorb.dávka v bodoch (VVF) + dávkové rozloženie (DigiPhant PT)

Použitý svazek a podmínky měření

Ozařovna **GTR3**

Mód **PBS**

Pole **1**

Air gap / snout position / iso **30,32 / 43 / 4**

Fantom – merení **VVF / Digipphant**

Fantom – predikční **30x30x30**

Detektor **PPC 05 650**

Kalib. Faktor $N_{D,w,Q} = 62.27$ *e7Gy/C

Kvalit. Faktor $k_{Q,Q0} = 1.002$

Elektrometr **Dose 1** Výr. číslo **16101**

Akt.tlak vzd. **991.1** hPa

Akt. teplota **22.69** °C $k_{Tp} = 1.031$

Výsledky měření - Dávka absorbovaná v bodě

Bod č.	Hloubka [cm]	Predikovaná dávka [Gy]			Odečet [nC] + 300V	Odečet [nC] + 100V	k_{sat}	Změřená dávka [Gy]	Tolerance [Gy]		Výsledek
		Minimum	Maximum	Průměr					Minimum	Maximum	
1	2.000	1.603	1.621	1.612	2.537		1.007	1.644	1.571	1.653	Spĺňuje
2	4.000	1.725	1.735	1.731	2.712		1.007	1.758	1.691	1.769	Spĺňuje
3	6.000	1.473	1.543	1.504	2.285		1.007	1.481	1.444	1.574	Spĺňuje
4	8.000	1.593	1.621	1.610	2.473		1.007	1.603	1.561	1.653	Spĺňuje
5	9.000	0.668	0.993	0.808	1.138		1.007	0.738	0.655	1.013	Spĺňuje
6		0.000	0.000	#####			1.007	0.000	0.000	0.000	pole nevyužito
7		0.000	0.000	#####			1.007	0.000	0.000	0.000	pole nevyužito

Predikce dávky v blízkém okolí měřicího bodu

			Bod č.							
Profil	Souřadnice profilu		1	2	3	4	5	6	7	
	X	Z								
1	0	0	22.5626	24.2327	21.0378	22.5562	11.1816			
2	0	-0.1	22.496	24.2183	21.6046	22.4638	13.8987			
3	0	0.1	22.6291	24.2471	20.6279	22.6486	9.3517			
4	0.1	0	22.5151	24.2845	21.318	22.6902	11.477			
5	-0.1	0	22.6169	24.1511	20.6817	22.301	10.8691			
	Y	Z								
6	0.1	0	22.6889	24.2412	20.787	22.4442	10.5717			
7	-0.1	0	22.4363	24.2243	21.2886	22.6682	11.7915			
			Průměr	22.564	24.228	21.049	22.539	11.306	#####	#####
Počet frakci	Průměr na 1 frakci		1.6117	1.7306	1.5035	1.6099	0.8076	#####	#####	
	Odchylka na 1 frakci		0.0063	0.0029	0.0264	0.0102	0.0991	#####	#####	
	Minimum na 1 frakci		1.603	1.725	1.473	1.593	0.668	0.000	0.000	
	Maximum na 1 frakci		1.621	1.735	1.543	1.621	0.993	0.000	0.000	

Gamma analýza v digiphantu - DTA - 3mmΔD 3%

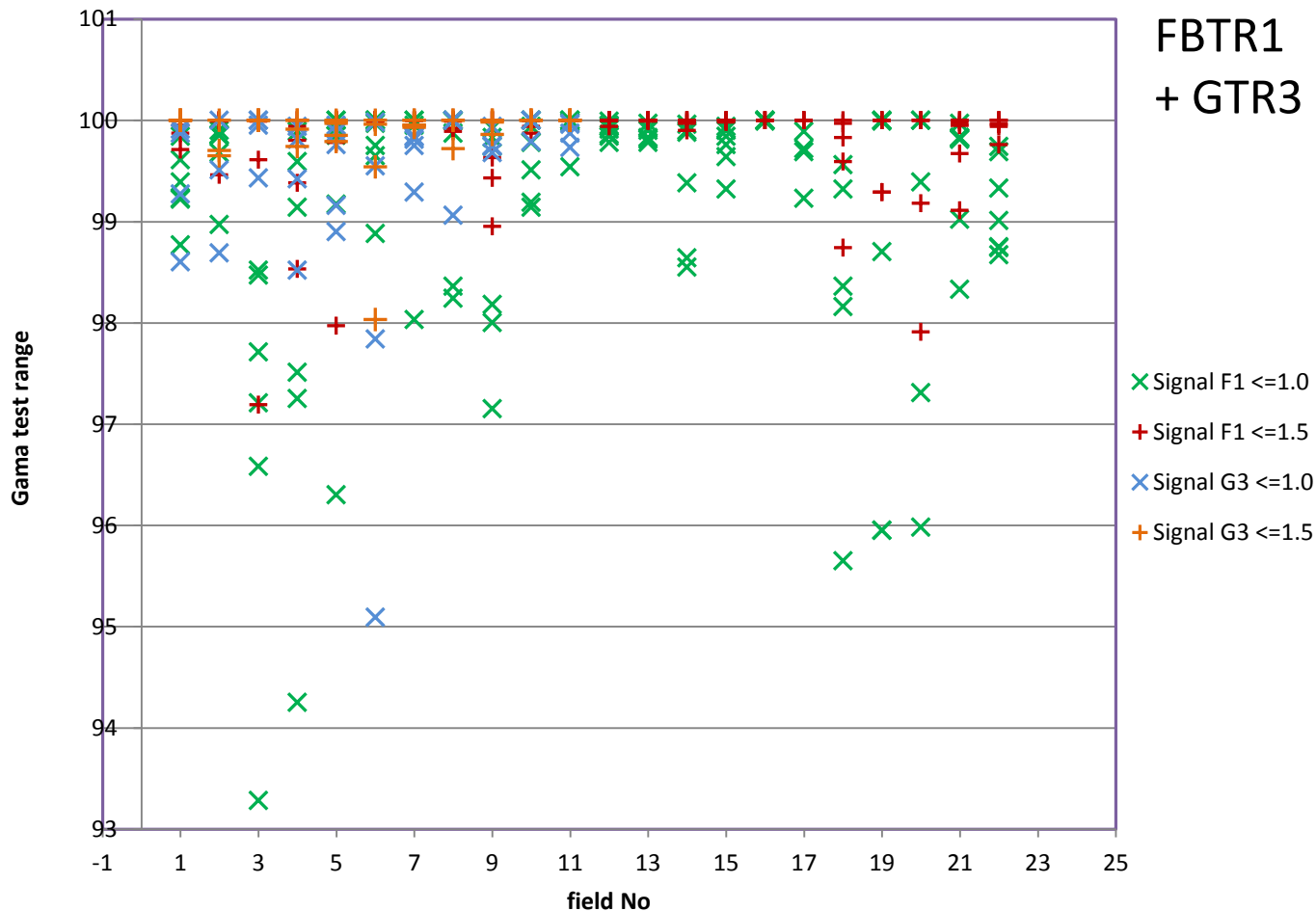
Vrstva ?		Hloubka [mm]		Average gamma	Max gamma	Gamma <=1 [%]	Gamma <=1,5 [%]	Tolerance	Tolerance	Výsledek
		Digi	Plan							
1		39	39	0.46	1.56	98.60	100.00	98.000	99.000	Spĺňuje
2		60	60	0.27	1.41	99.91	100.00	98.000	99.000	Spĺňuje
3		81	81	0.19	1.29	99.87	100.00	98.000	99.000	Spĺňuje
4		90	90	0.15	1.54	99.27	100.00	98.000	99.000	Spĺňuje
5								98.000	99.000	pole nevyužito
6								98.000	99.000	pole nevyužito
7								98.000	99.000	pole nevyužito



Výsledky gama testu: 3%, 3mm

Priemerná zhoda:
(fixed beam + gantry)

99,87% pre signál ≤ 1.0
100% pre signál ≤ 1.5





Výsledky gama testu: 3%, 3mm

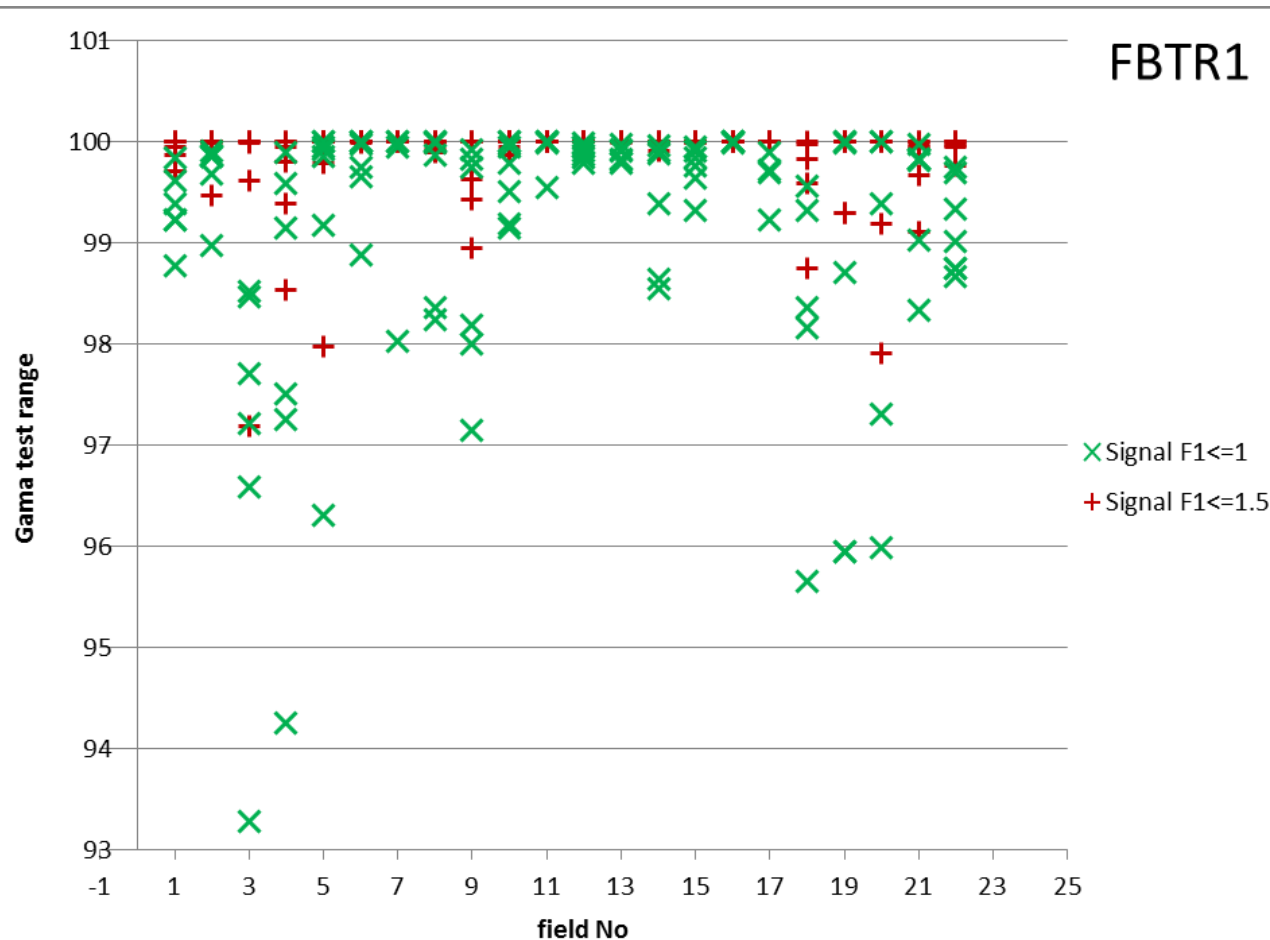
Priemerná zhoda

99,85% pre signál ≤ 1.0

pre fixed beam ožarovňu:

100%

pre signál ≤ 1.5

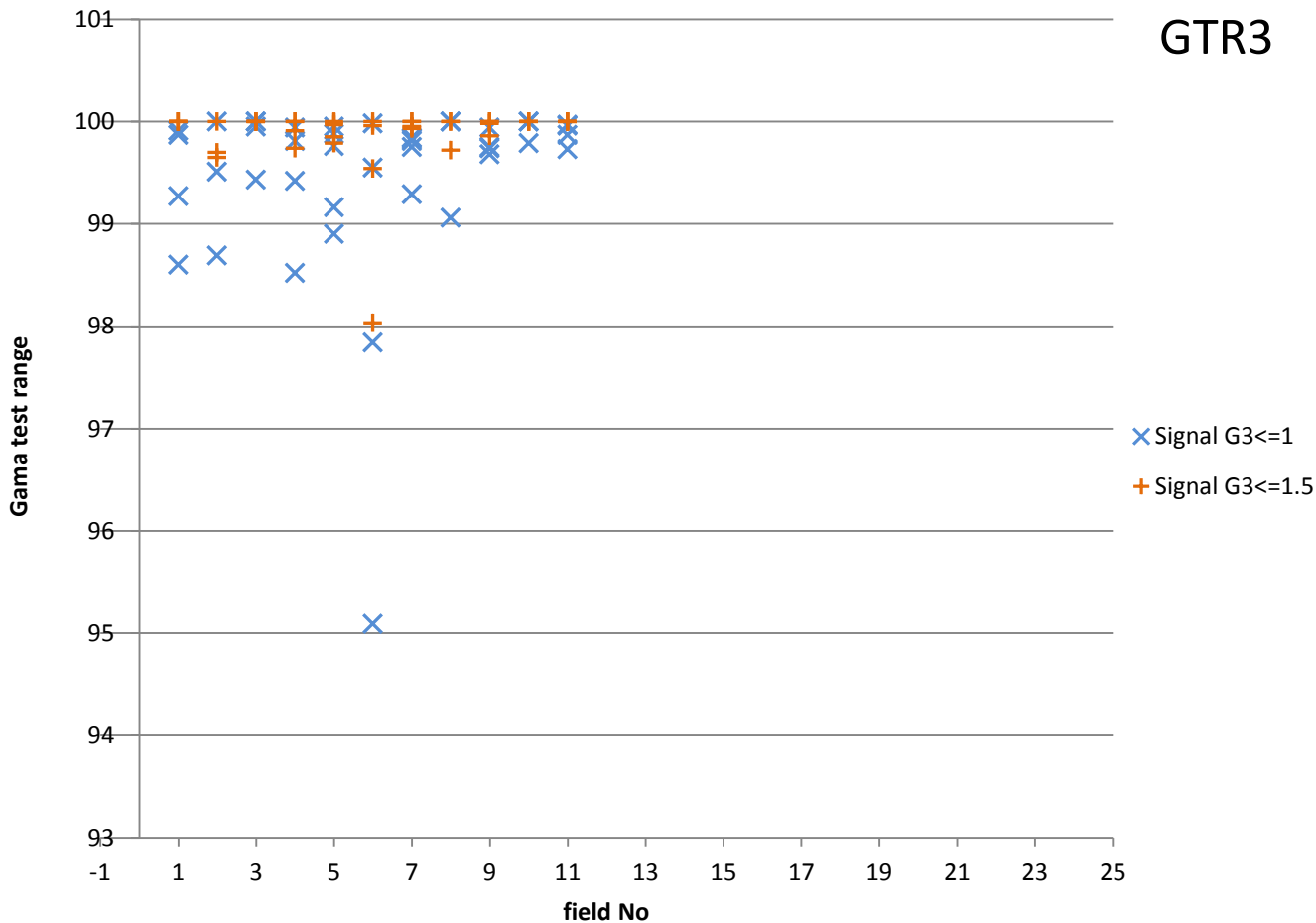




Výsledky gama testu: 3%, 3mm

Priemerná zhoda
pre gantry ožarovňu:

99,90% pre signál ≤ 1.0
100% pre signál ≤ 1.5





Výsledky dávky

Odchýlky od priemeru okolia meraného bodu
($\pm 1\text{mm}$ v troch základných rovinách):

Ožarovňa:	Priemerná odchýlka (%)	Medián
FBTR1	1,474	-0,427
GTR3	-1,297	-0,840
Spolu	0,730	-0,218



PBS +

- Nižšie náklady - fixácia, kolimátory, kompenzačné materiály,...
- Menej neutrónov
- Bezpečnejšie – úrazy asistentov a pacientov pri vkladaní kompenzátorov
- Počet polí
- Jednoduchšie plánovanie komplexnejších prípadov
- Pole v poli, resp. Integrovaný boost
- Šetrenie orgánov uprostred PTV
- Možnosť liečiť i viac nádorov s jedným poľom
- Lepšie pokrytie mnohých lokalít – báza lebečná, mozog, pelvis, ...



PBS -

- Senzitívnejšie na nepresnosť nastavenia
- Senzitívnejšie na pohyb i zmenu anatómie počas liečby
- Zvýšenie času pre QA (fyzikálne parametre)
 - spoty s malou sigmoidou
 - korekcia na saturáciu v závislosti od druhu IC
- Viac požiadaviek na objemové zobrazenie

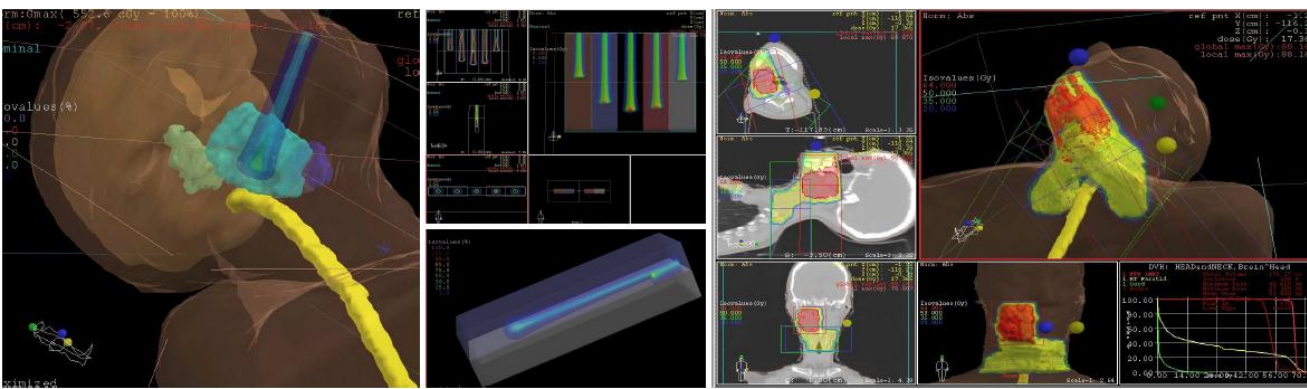


Ďalšie možnosti

- Rescanning, repainting (spot, vrstva, objem)
- $\Delta D/D \propto 1/\sqrt{n}$, kde n = počet skenov
- Beam Gating

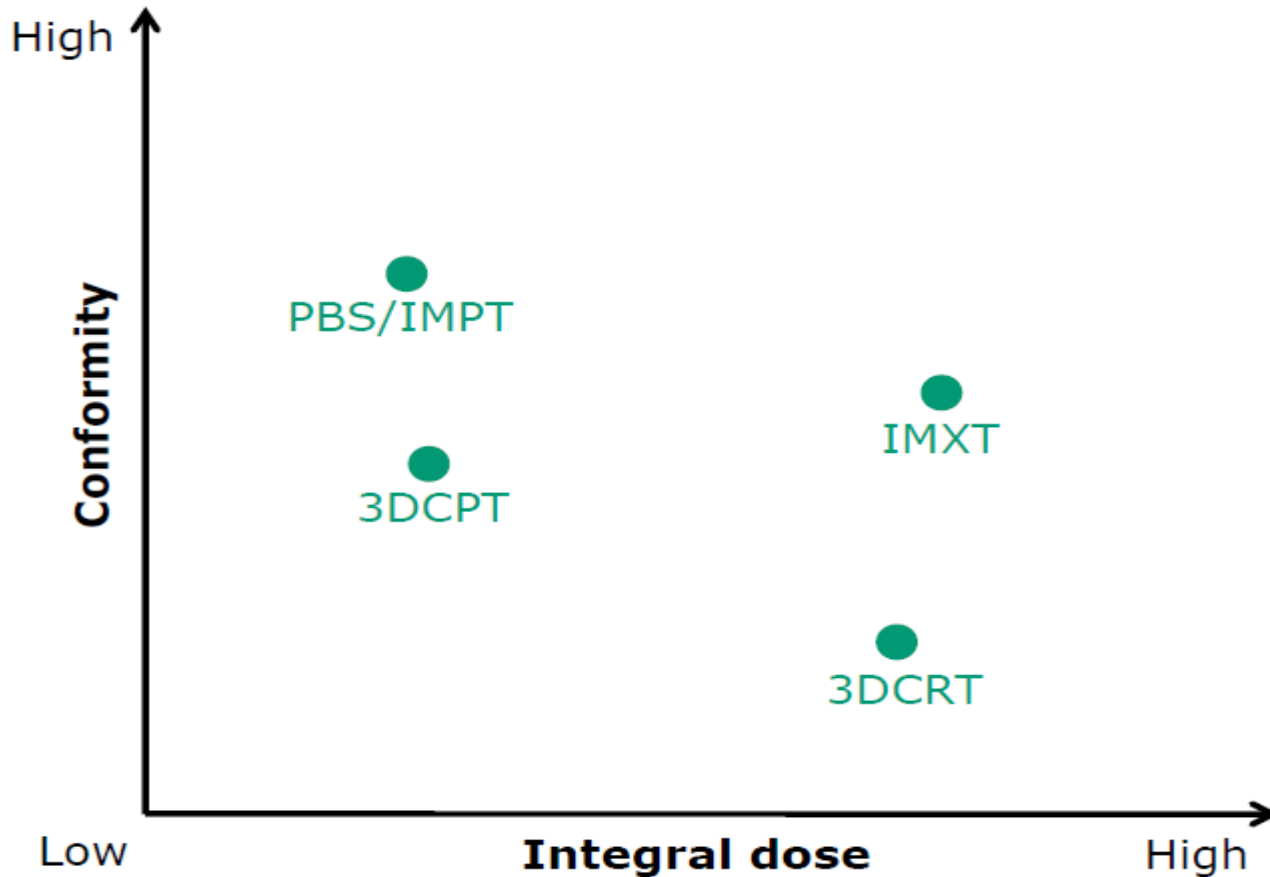
VisionRT® - Video-based Patient Positioning System
DynRT

- Real time tracking s markermi
- Focal 4D – Práca s pohyblivými štruktúrami s použitím 4D CT
- ABAS (Atlas Based Auto-Segmentation) – Pokročilé funkcie konturovania

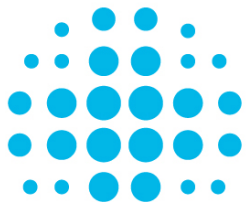




Konformita vs Integrálna dávka

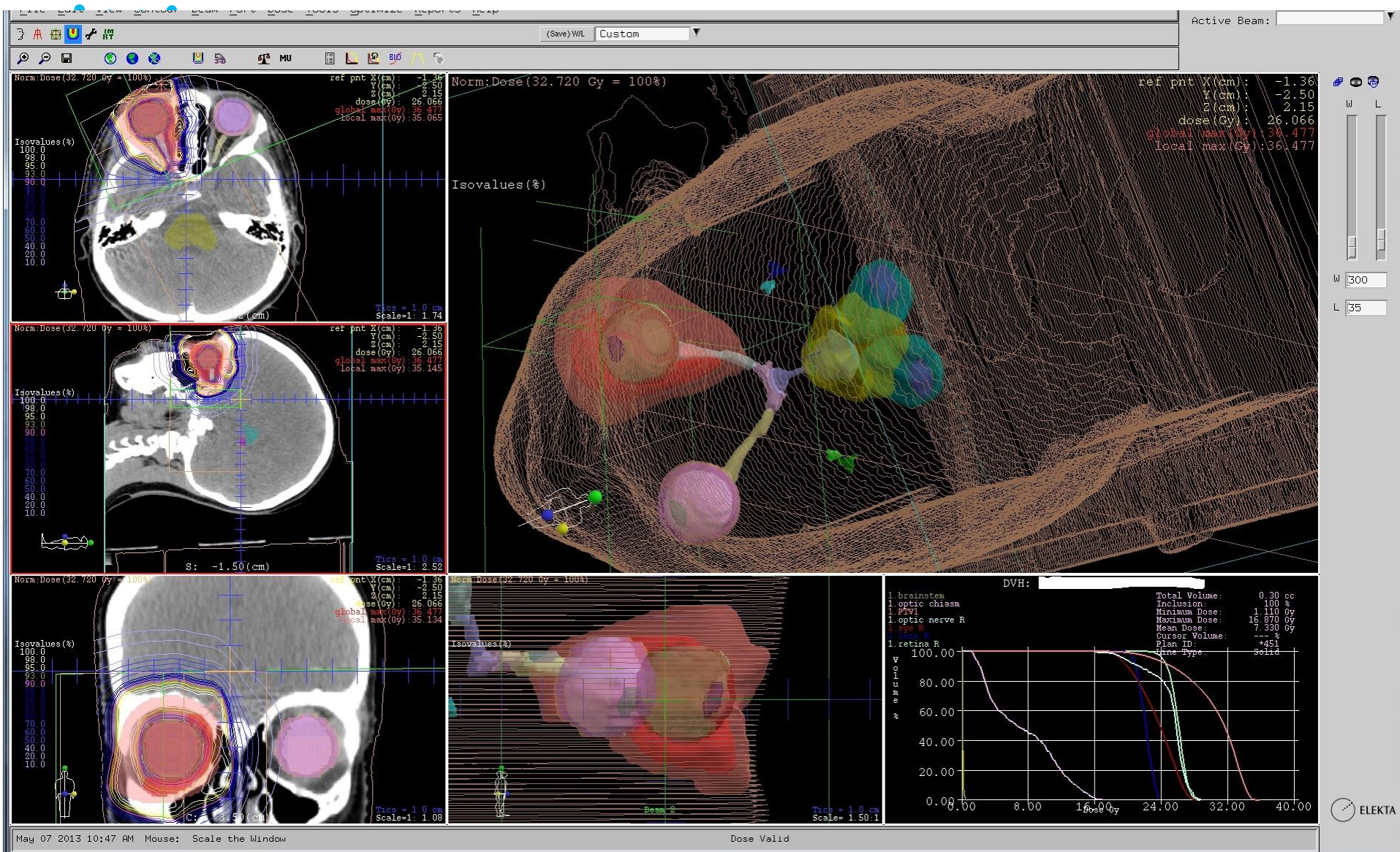


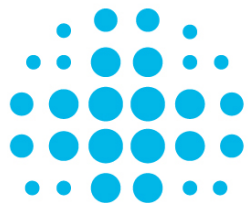
Marco Schwarz, Trento, Italy (IBA users' meeting 2013)



Pacient č.1 – nádor v oblasti ľ.oka

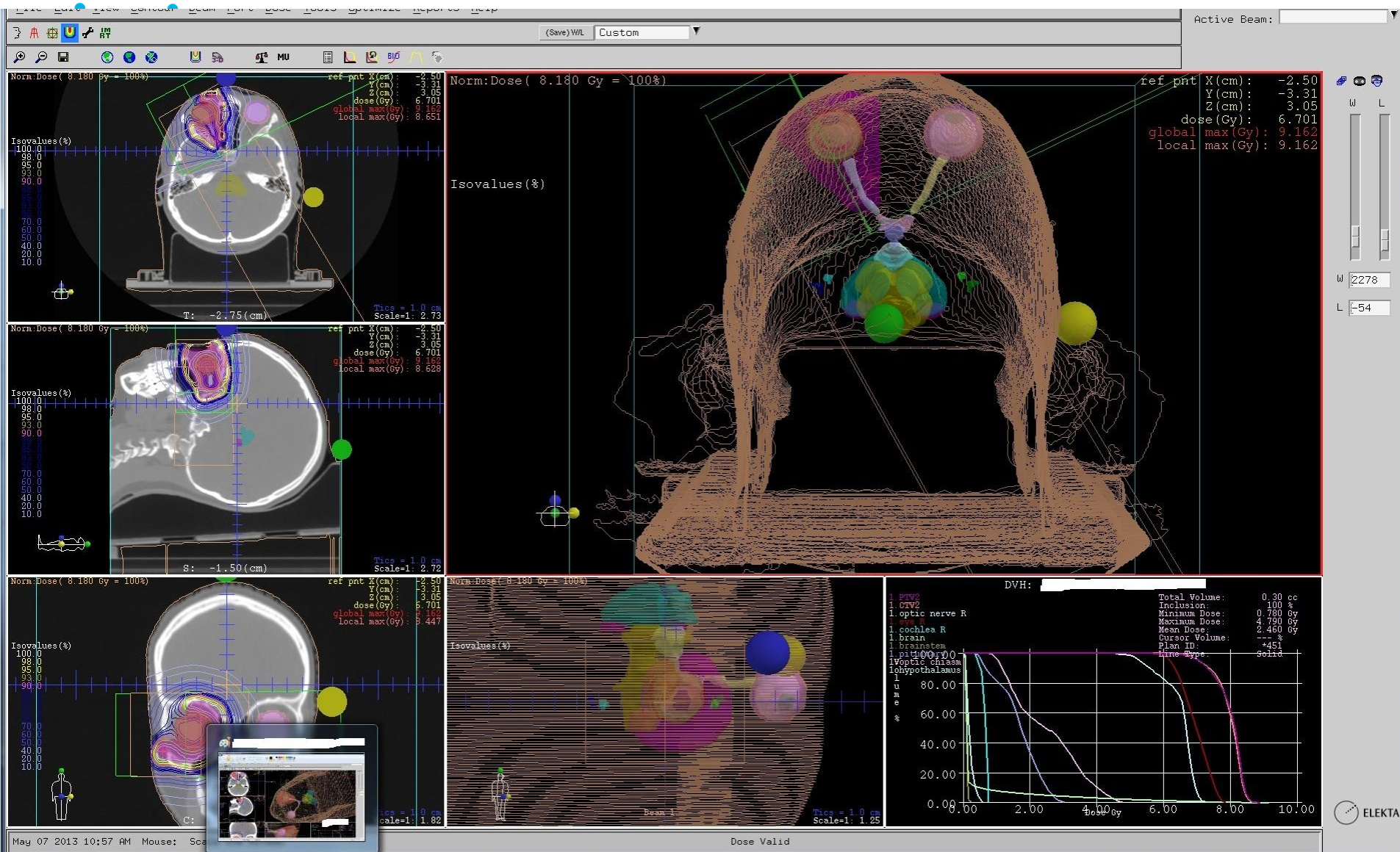
20 fr / 1,64Gy / 1,8 CGE

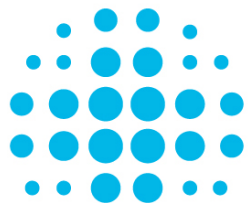




Pacient č.1 – boost v mediálnej časti

5 fr / 1,64Gy / 1,8 CGE





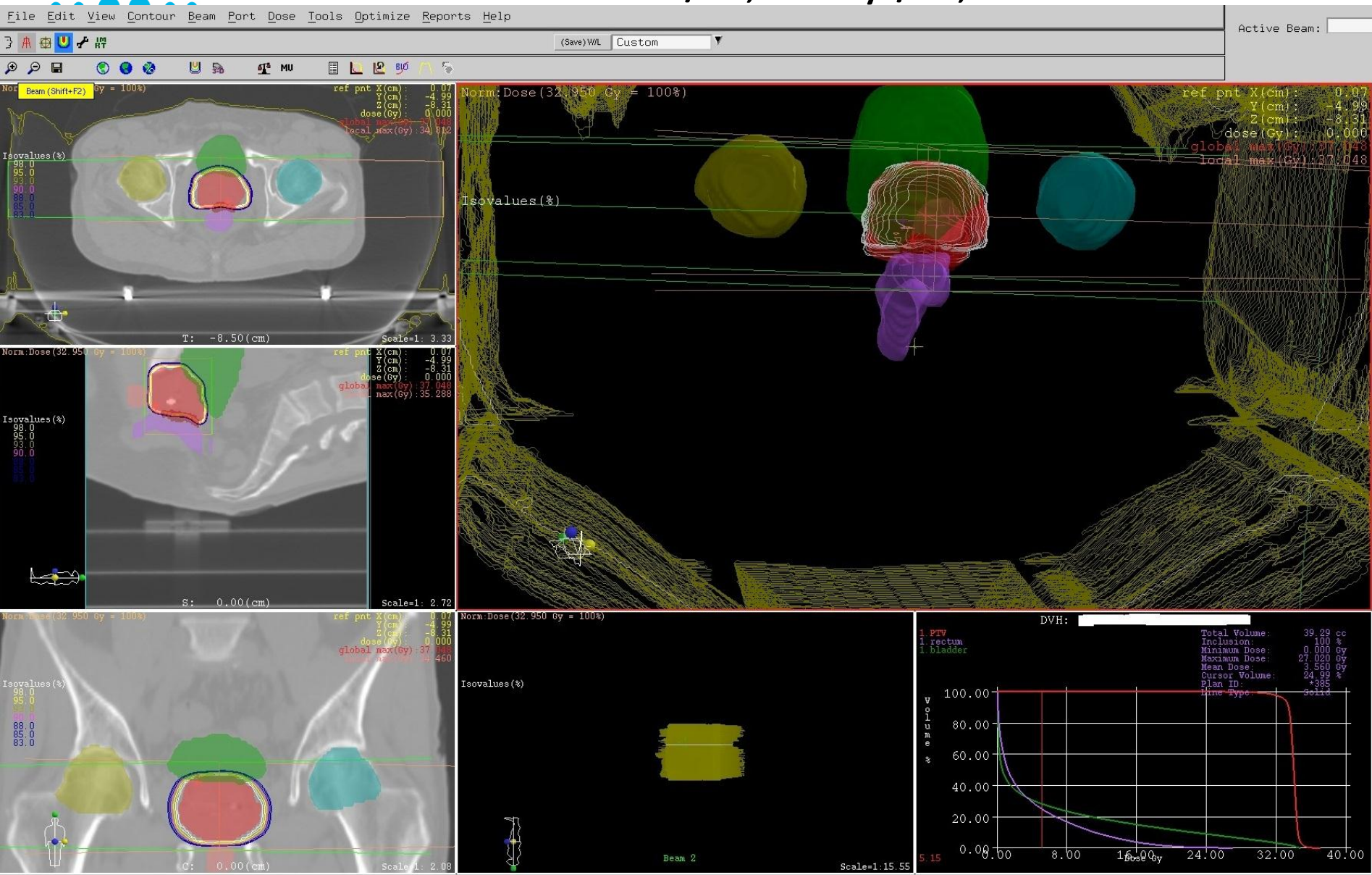
Pacient č.2 – Dutiny, sin fron, 25 fr / 1,82 Gy / 2,0 CGE





Pacient č.3 – Prostata

5 fr / 6,59 Gy / 7,25 CGE



Ďakujem za pozornosť

