



Mgr. Andrej Babič, PhD., Ing. Dušan Šalát, PhD.

Ústav radiačnej ochrany, s. r. o., Staničná 1062/24, 911 05 Trenčín

## Skúšky dlhodobej stability plánovacích systémov v rádioterapii

6. konferencia Slovenskej spoločnosti radiačnej onkológie

Bratislava, 16. 5. 2024

- ☒ Nemám potenciálny konflikt záujmov
- ☐ Deklarujem nasledujúci konflikt záujmov

Forma finančného prepojenia	Spoločnosť
Participácia na klinických štúdiách/firemnom grante	
Nepeňažné plnenie (v zmysle zákona)	
Prednášajúci	
Akcionár	
Konzultant/odborný poradca	
Ostatné príjmy (špecifikovať)	

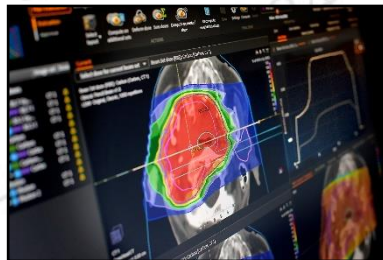
\* Podľa UEMS (upravené v zmysle slovenskej legislatívy).

## Skúška dlhodobej stability (SDS):

- Jednotlivé testy CT simulátora a LU (geometria, dozimetria, IQ, ...)
- Frekvencia 1× za 6 mesiacov

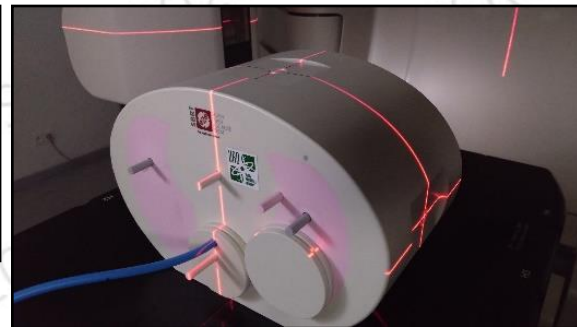
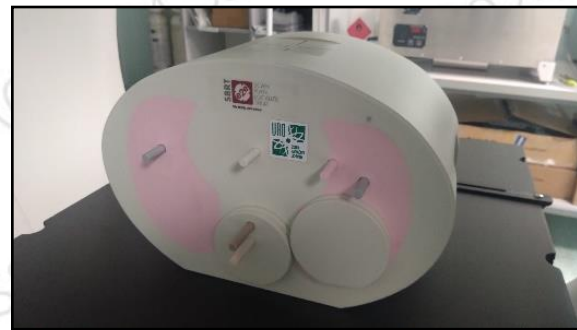
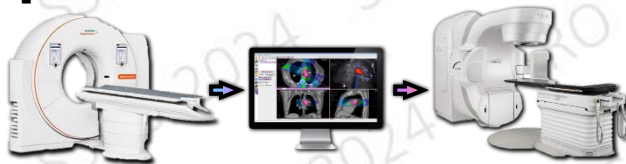
## Plánovací systém (TPS):

- SDS pre TPS sa zatiaľ nerealizujú
- Frekvencia 1× za 2 roky [Zákon č. 87/2018 Z. z.]



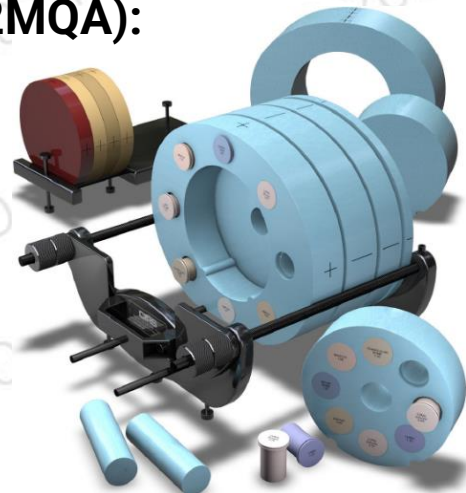
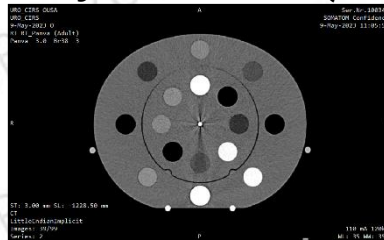
## End-to-end (E2E) test:

- Komplexný test celého reťazca CT-TPS-LU
- Vyhodnotenie celkovej presnosti RT, možnosť odhalenia klinickej chyby



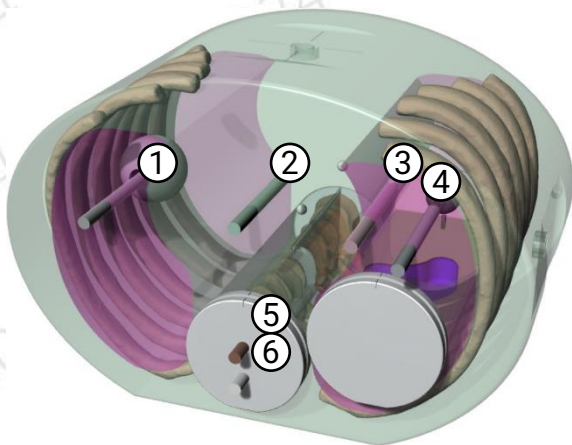
## CIRS CBCT Electron Density & Image Quality Phantom (062MQA):

- CT číslo [HU] vs. RED [ $\text{cm}^{-3}$ ] v TPS
- Aspoň 1× pre každý CT simulátor



## CIRS E2E SBRT Phantom with Removable Spine (036S):

- Antropomorfný fantóm hrudníka; 50 keV – 15 MeV
- 6 bodov na PTW Semiflex 3D ( $0,07 \text{ cm}^3$ ) alebo RTG film

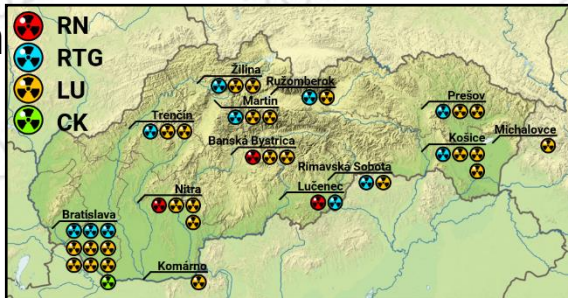


Bod	Orgán
1	Veľký nádor v pravých pľúcach ( $\varnothing 4 \text{ cm}$ )
2	Mediastínium v strede fantómu
3	Rozhranie mediastínium/l'avé pľúca
4	Malý nádor v l'avých pľúcach ( $\varnothing 2 \text{ cm}$ )
5	Chrbtica (stavec)
6	Miecha



## Prvé skúsenosti s E2E testovaním:

- FNŠP F. D. Roosevelta Banská Bystrica
- Nemocnica AGEL Komárno
- Univerzitná nemocnica Martin
- FNŠP J. A. Reimana Prešov
- Fakultná nemocnica Trenčín



## Ďalšia spolupráca a konzultácie:

- Onkologický ústav sv. Alžbety, Bratislava
- Východoslovenský onkologický ústav, Košice
- VNŠP Rimavská Sobota – Penta Hospitals

*„Ako zapojiť čo najviac pracovníkov  
a čo najlepšie prispôbiť E2E testy klinickej prevádzke?“*



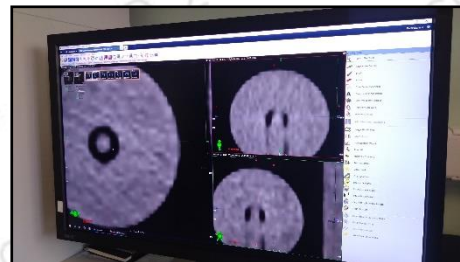
Orgán	Bod	$D_{\text{TPS}}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 1 (kalibrácia dávky):</b> X-ray 6 MV, 10 cm × 10 cm, 1 Gy					
<b>Mediastínium (cieľový):</b>	2	1,000	486,4 a.u.	–	–
<b>Plán č. 2 (veľký nádor + ochrana srdca):</b> X-ray 6 MV, VMAT, 30 × 2 Gy					
<b>Pravé pľúca (cieľový):</b>	1	1,974	1,948	+1,36 %	<b>+1,36 %</b>
<b>Plán č. 3 (malý nádor vs. rozhranie):</b> X-ray 6 MV, VMAT 3× kyv, 4 × 12 Gy					
<b>Ľavé pľúca (cieľový):</b>	4	15,638	15,958	–2,01 %	<b>–2,01 %</b>
<b>Rozhranie (kritický):</b>	3	1,516	1,646	–7,88 %	<b>–0,81 %</b>
<b>Plán č. 4 (chrbtica vs. miecha):</b> X-ray 6 MV, VMAT, 3 × 9 Gy					
<b>Chrbtica (cieľový):</b>	5	13,347	13,400	–0,40 %	<b>–0,40 %</b>
<b>Miecha (kritický):</b>	6	2,948	3,715	–20,65 %	<b>–5,72 %</b>

## Lokálna chyba TPS:

$$\delta = \frac{D_{\text{TPS}} - D}{D} \times 100 \%$$

## Globálna chyba TPS:

$$\Delta = \frac{D_{\text{TPS}} - D}{D_{\text{ref}}} \times 100 \%$$

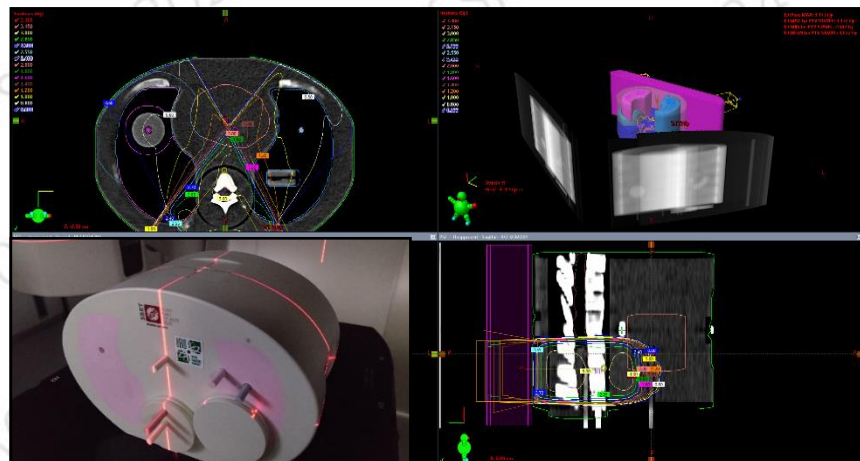
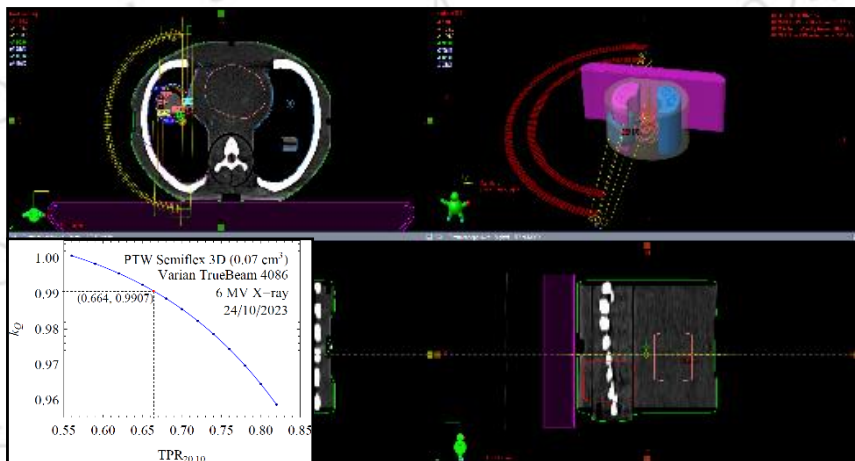


Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
Plán č. 1 (kalibrácia dávky): X-ray 6 MV FFF, 10 cm × 10 cm, 1 Gy					
Mediastínium (cieľový):	2	1,000	487,8 a.u.	–	–
Plán č. 2 (veľký nádor + ochrana srdca): X-ray 6 MV FFF, VMAT, 30 × 2 Gy					
Pravé pľúca (cieľový):				(Príliš veľká oblasť na FFF zväzok)	
Plán č. 3 (malý nádor vs. rozhranie): X-ray 6 MV FFF, VMAT 3× kyv, 4 × 12 Gy					
Ľavé pľúca (cieľový):	4	15,300	15,524	–1,44 %	–1,44 %
Rozhranie (kritický):	3	1,249	1,356	–7,88 %	–0,69 %
Plán č. 4 (chrbtica vs. miecha): X-ray 6 MV FFF, VMAT, 3 × 9 Gy					
Chrbtica (cieľový):	5	13,249	13,275	–0,20 %	–0,20 %
Miecha (kritický):	6	2,948	3,715	–21,28 %	–5,43 %



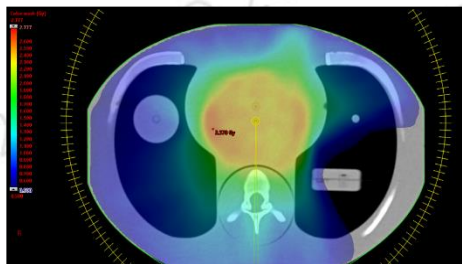
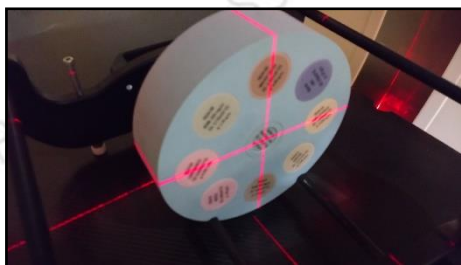
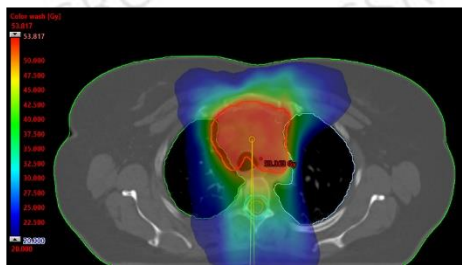


Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 1 (veľký nádor):</b> X-ray 6 MV, VMAT 2 × 180° kyv, kol. 45° a 315°, izocentrum pri strede nádora, 30 × 2 Gy					
Pravé pľúca (cieľový):	1	2,071	2,028	+2,14 %	<b>+2,14 %</b>
Pravé pľúca (cieľový), veľký posun stola (presnosť ±1 mm):	1	2,071	2,022	+2,41 %	<b>+2,41 %</b>
Chrbtica (kritický):	5	0,243	0,243	+0,07 %	<b>+0,01 %</b>
Mediastínium (kritický):	2	0,219	0,223	-1,70 %	<b>-0,19 %</b>
<b>Plán č. 2 (stavec – 2 klinové polia):</b> X-ray 10 MV, 2PP 150° a 220°, kol. 90°, EDW60IN, izocentrum na kraji stavca, 10 × 3 Gy					
Chrbtica (cieľový):	5	2,963	2,960	+0,09 %	<b>+0,09 %</b>
Miecha (kritický):	6	3,000	3,011	-0,35 %	<b>-0,36 %</b>
Mediastínium (kritický), bez použitia CBCT:	2	0,696	0,825	-15,63 %	<b>-4,35 %</b>
Mediastínium (kritický):	2	0,696	0,680	+2,38 %	<b>+0,55 %</b>
Pravé pľúca (kritický):	1	0,825	0,799	+3,27 %	<b>+0,88 %</b>

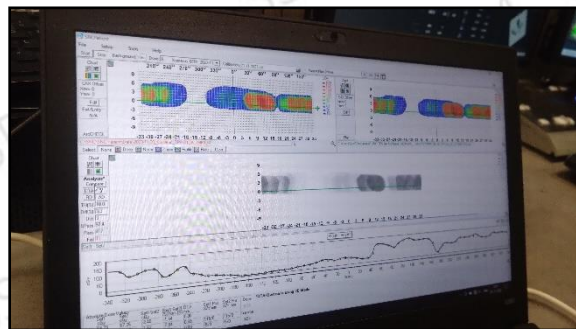
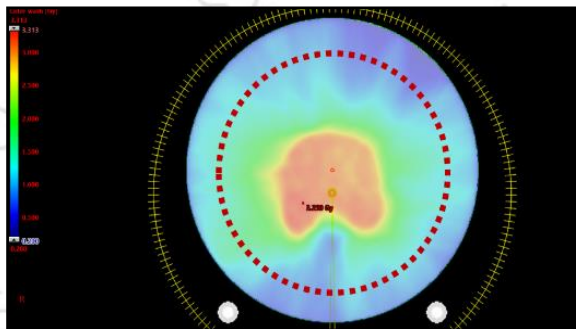
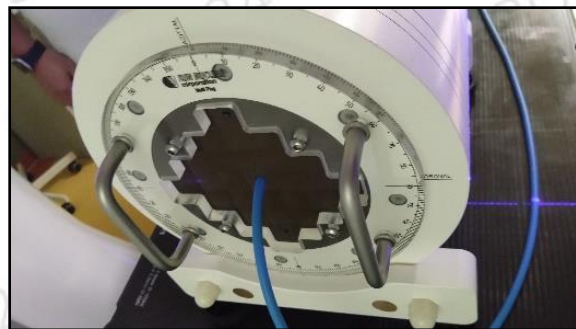
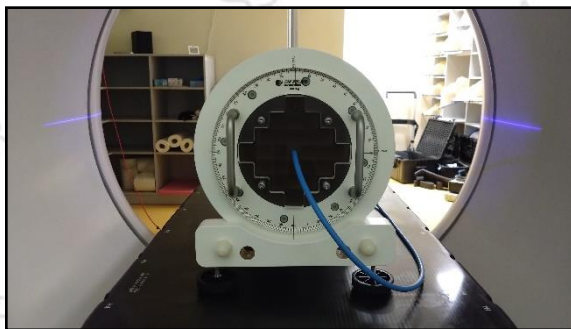
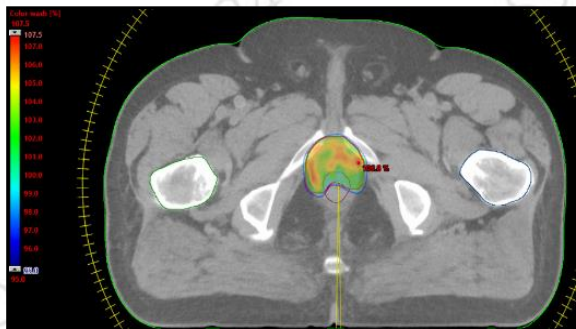




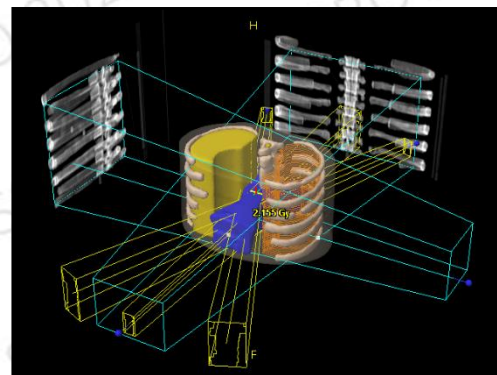
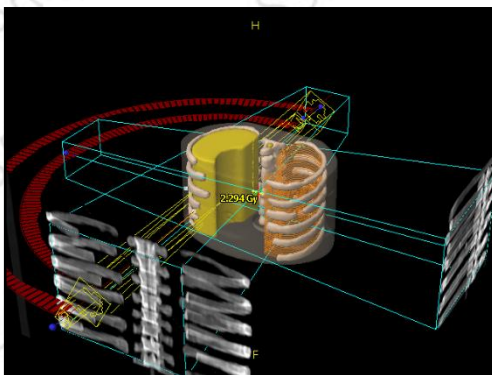
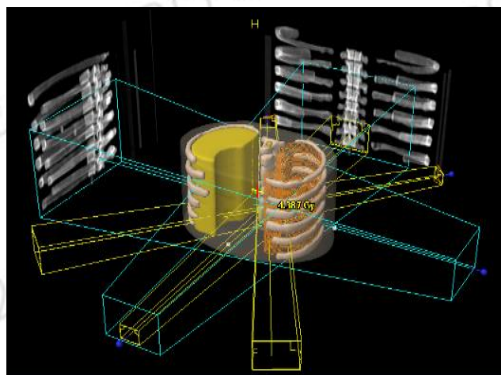
Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 1 (overenie dávky v strede fantómu):</b> X-ray 6 MV FFF, 10 cm × 10 cm, IK v izocentre, 200 MU					
<b>Mediastínium (cieľový):</b>	2	1,833	1,855	-1,18 %	<b>-1,18 %</b>
<b>Plán V. D. (plúca):</b> X-ray 6 MV FFF, VMAT 2× kyv, posun izocentra (0, -2, -2) podľa CBCT					
<b>Mediastínium (cieľový):</b>	2	2,301	2,300	+0,03 %	<b>+0,03 %</b>
<b>Ľavé pľúca (kritický):</b>	4	0,949	0,941	+0,82 %	<b>+0,33 %</b>
<b>Miecha (kritický):</b>	6	1,564	1,604	-2,47 %	<b>-1,72 %</b>
<b>Plán S. J. (plúca):</b> X-ray 6 MV FFF, VMAT 2× kyv, posun izocentra (0, -2, -2) podľa CBCT					
<b>Mediastínium (cieľový):</b>	2	3,149	3,169	-0,64 %	<b>-0,64 %</b>
<b>Ľavé pľúca (kritický):</b>	4	1,611	1,657	-2,75 %	<b>-1,44 %</b>
<b>Miecha (kritický):</b>	6	1,399	1,439	-2,80 %	<b>-1,27 %</b>



Plán (ArcCHECK)		$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\gamma_2$ %, 2 mm	$\gamma_3$ %, 3 mm
J. V. (rebro):	IMRT 7× kyv	2,504	2,538	-1,35 %	93,0 %	97,4 %
H. J. (panva):	IMRT 7× kyv	2,632	2,678	-1,73 %	98,7 %	100,0 %
P. J. (prostata):	VMAT 2× kyv	2,861	2,929	-2,32 %	99,5 %	99,8 %
Sz. I. (H&N):	VMAT 3× kyv	1,588	1,608	-1,23 %	96,7 %	99,5 %
S. V. (prostata):	VMAT 2× kyv, Vrt. +2 cm	3,028	3,065	-1,20 %	100,0 %	100,0 %
P. J. (H&N):	VMAT 3× kyv, Vrt. +2 cm	1,375	1,407	-2,25 %	97,9 %	99,6 %

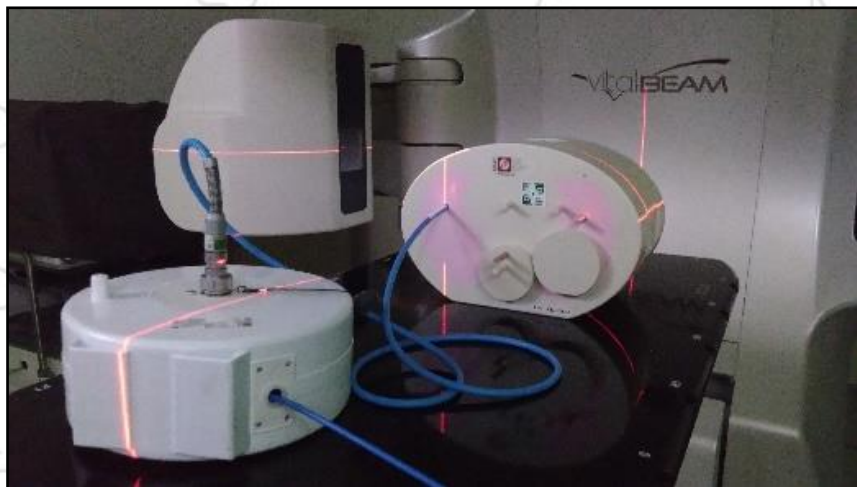


Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 1 (stavec):</b> X-ray 10 MV, 3PP 210°, 0° a 140°, izocentrum blízko IK, 1 × 4 Gy					
<b>Miecha (kritický), bez počiatočného ožiarovania:</b>	6	4,271	3,653	+16,93 %	–
<b>Plán č. 2 (veľký nádor – sféra):</b> X-ray 6 MV, VMAT 2× kyv, izocentrum blízko IK, 1 × 2 Gy					
<b>Pravé pľúca (cieľový):</b>	1	2,132	2,097	+1,69 %	<b>+1,69 %</b>
<b>Plán č. 3 (mediastínium + ochrana miechy):</b> X-ray 10 MV, 3PP (Y) 205°, 0° a 160°, 1 × 2 Gy					
<b>Mediastínium (cieľový):</b>	2	2,133	2,141	–0,37 %	<b>–0,37 %</b>



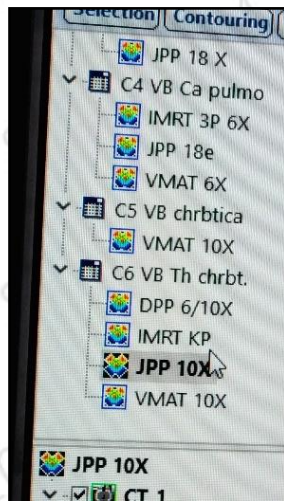


Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 1 (veľký nádor + ochrana srdca):</b> X-ray 6 MV, VMAT 2× kyv, izocentrum v strede nádora, 30 × 2 Gy					
Pravé pľúca (cieľový), 2× kV + CBCT:	1	2,021	1,987	+1,69 %	<b>+1,69 %</b>
Pravé pľúca (cieľový), preplánovanie na druhý LU:	1	2,021	1,991	+1,52 %	<b>+1,52 %</b>
Mediastínium (kritický):	2	0,176	0,114	+53,91 %	<b>+3,10 %</b>
<b>Plán č. 2 (stavec):</b> X-ray 10 MV, VMAT 2 × 360° kyv, 25 × 2 Gy					
Miecha (kritický):	5	1,297	1,314	-1,26 %	<b>-0,83 %</b>
Miecha (kritický), preplánovanie na druhý LU:	5	1,297	1,317	-1,49 %	<b>-0,98 %</b>
<b>Plán č. 3 (stavec – paliácia):</b> X-ray 18 MV, PP zospodu, 5 × 4 Gy					
Miecha (cieľový), len kV:	5	4,008	4,052	-1,08 %	<b>-1,08 %</b>
Miecha (cieľový), kV + CBCT:	5	4,008	4,050	-1,03 %	<b>-1,03 %</b>





Orgán	Bod	$D_{TPS}$ [Gy]	$D$ [Gy]	$\delta$	$\Delta$
<b>Plán č. 4 (veľký nádor): X-ray 6 MV, IMRT 3× kyv</b>					
Pravé pľúca (cieľový), lasery priamo na IK + 2× kV:	1	2,028	1,993	+1,77 %	<b>+1,77 %</b>
Pravé pľúca (cieľový), lasery priamo na IK + 2× kV + CBCT:	1	2,028	1,994	+1,71 %	<b>+1,71 %</b>
Pravé pľúca (cieľový), preplánovanie na druhý LU:	1	2,019	1,962	+2,88 %	<b>+2,88 %</b>
<b>Plán č. 5 (veľký nádor): X-ray 6 MV, VMAT 2 × 220° kyv</b>					
Pravé pľúca (cieľový):	1	2,004	1,974	+1,50 %	<b>+1,50 %</b>
<b>Plán č. 6 (stavec): X-ray 10 MV, VMAT 2× kyv</b>					
Miecha (kritický), 2× kV:	5	1,704	1,800	-5,34 %	<b>-3,21 %</b>
Miecha (kritický), 2× kV + CBCT:	5	1,704	1,829	-6,86 %	<b>-4,18 %</b>
Miecha (kritický), nový výpočet:	5	1,697	1,781	-4,72 %	<b>-2,80 %</b>



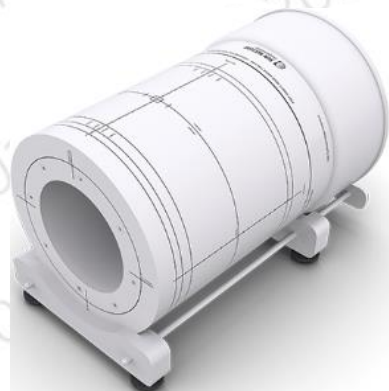
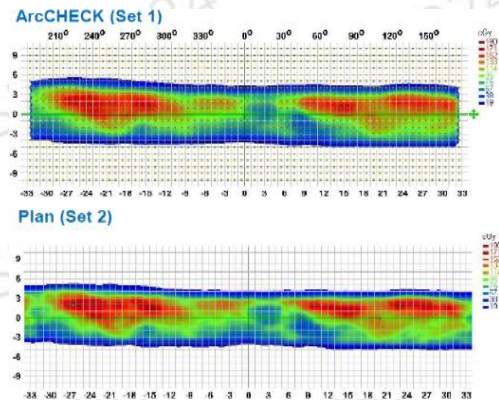
## Čo sme sa naučili:

- Klinické postupy v RT na Slovensku
  - prekvapivo vysoká rozmanitosť
- E2E testy s fantómom hrudníka
  - pridaná hodnota pre fyzikov
- Nezávislá kontrola workflow
  - zvýšenie úrovne radiačnej ochrany

## A čo bude ďalej:

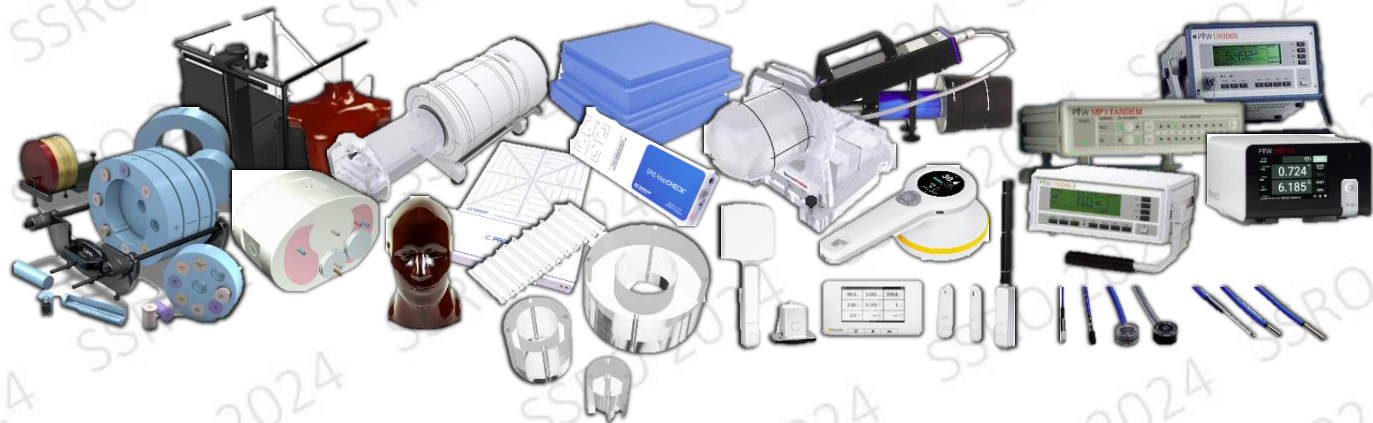
- Vytvorenie jednoduchých plánov spoločných pre všetky pracoviská
- Návrh zložitejších plánov podľa potreby každého pracoviska
- Koordinácia s pripravovaným auditom?

**Varianty:** ArcCHECK, SRS MapCHECK  
+ StereoPHAN, STEEV, QUASAR, ...



**STEEV**  
STEREOTACTIC END-TO-END VERIFICATION

Fantómy	Detektory	Elektromery
CIRS CBCT Electron Density & Image Quality Phantom	PTW Farmer	PTW TANDEM
CIRS E2E SBRT Phantom with Removable Spine	PTW microDiamond	PTW UNIDOS
Profile Analyzer (vodný fantóm)	PTW Roos	PTW UNIDOS E
RaySafe Pro-CT Dose (CTDI fantóm)	PTW Semiflex	PTW UNIDOS Tango
RSD Antropomorphic Head	PTW Semiflex 3D	
RSD Antropomorphic Thorax	PTW Soft X-Ray	
SNC ArcCHECK	PTW STEP	
SNC IC PROFILER + Solid Water HE	RaySafe 452	
SNC SRS MapCHECK + StereoPHAN	RaySafe X2	



**Ďakujem za pozornosť!**

