

Stanovení orgánových dávek v pediatrické radiologii

Kateřina Chytrá^{1,2}

Leoš Novák¹

¹SÚRO, v.v.i

²FJFI ČVUT v Praze



1. Co k tomu potřebujeme?

Co k tomu potřebujeme?

1. RTG zařízení



Co k tomu potřebujeme?

1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte

Co k tomu potřebujeme?

1. RTG zaříze
2. Antropom



Co k tomu potřebujeme?

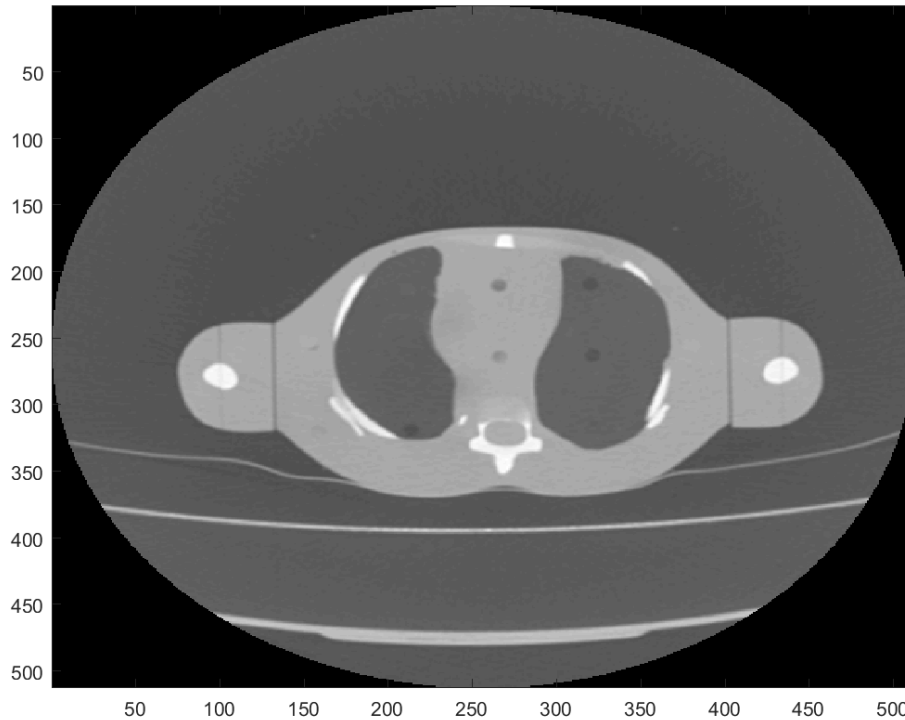
1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte



Rudolfek na CT v Motole



CT řez vs. Reálný řez



Co k tomu potřebujeme?

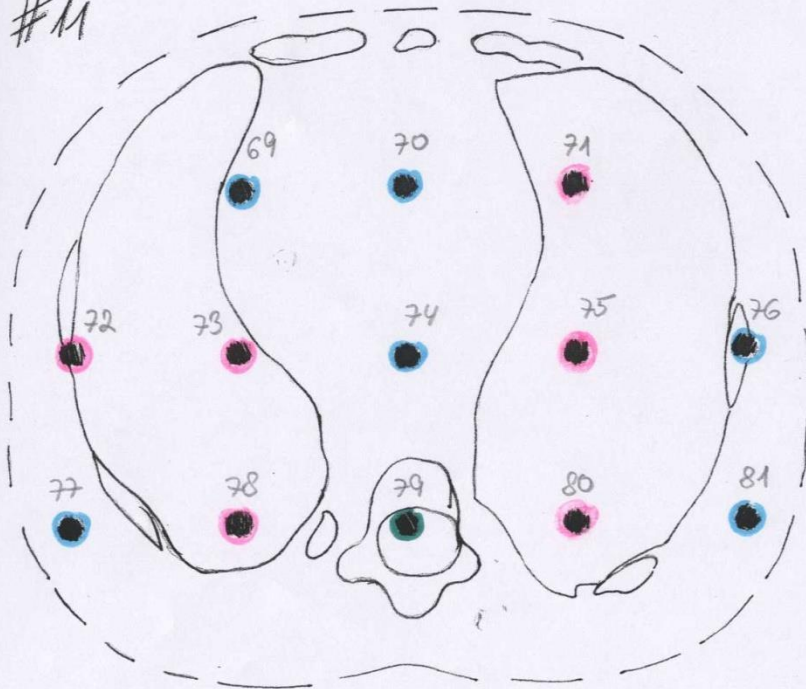
1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte
3. TLD – LiF:Mg,Cu,P

Co k tomu potřebujeme?

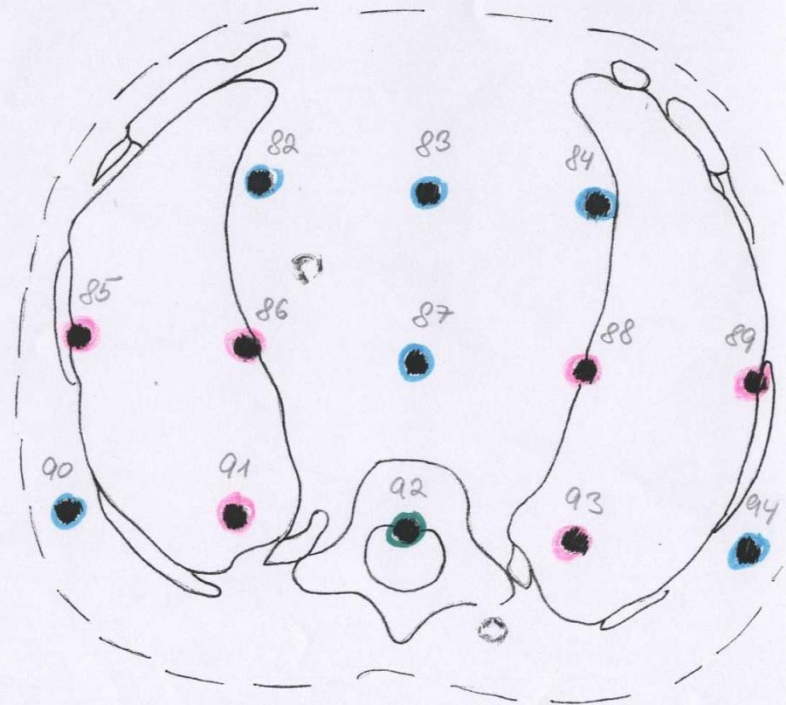
1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte
3. TLD – LiF:Mg,Cu,P
4. 2D mapy pro umístění TLD

Co k tomu potřebujeme?

#11



#12



Co k tomu potřebujeme?

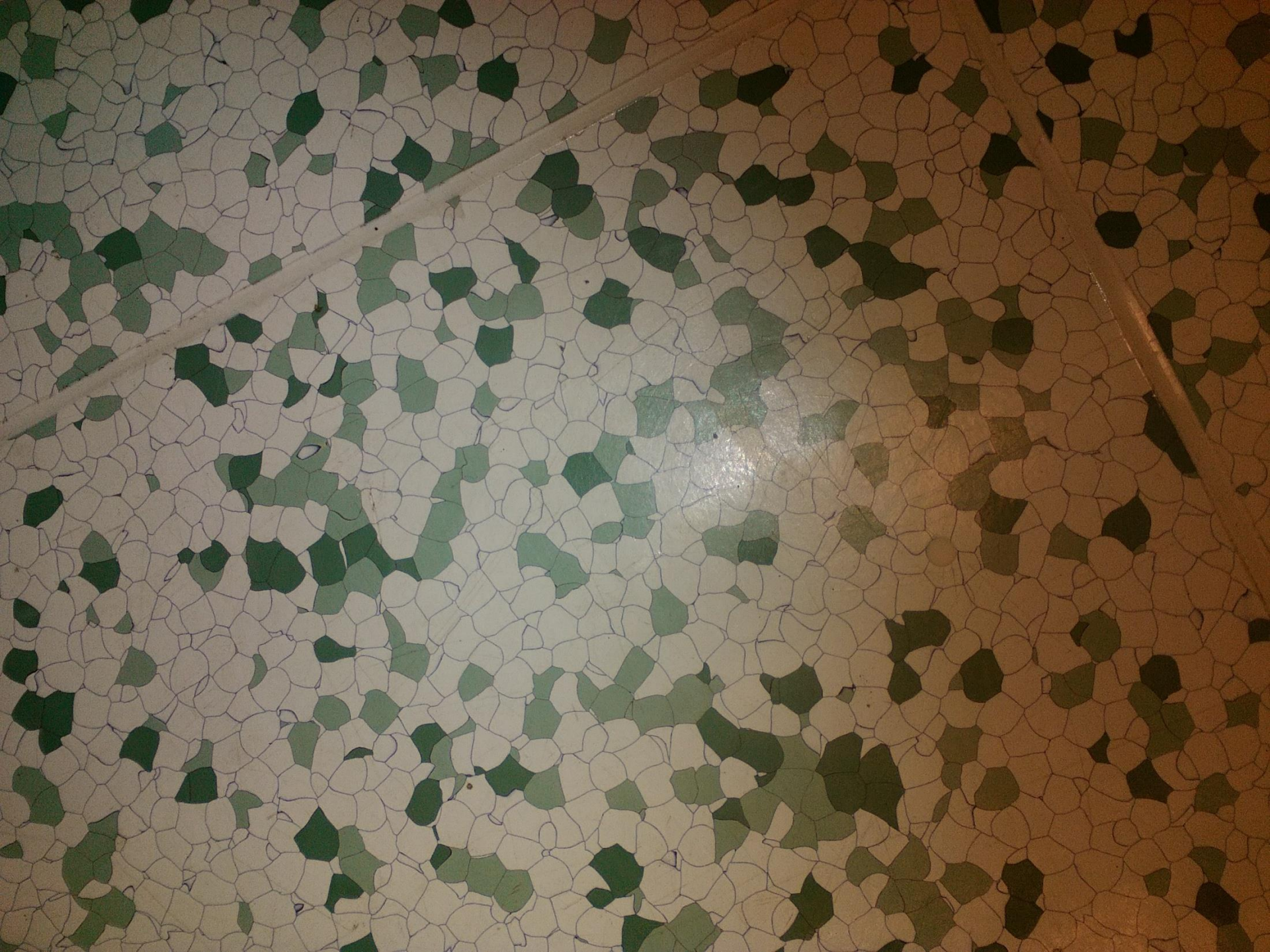
1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte
3. TLD
4. 2D mapy pro umístění TLD
5. Vakuovou pinzetu

Co k tomu potřebujeme?

1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte
3. TLD
4. 2D mapy pro umístění TLD
5. Vakuovou pinzetu
6. Reader a pec

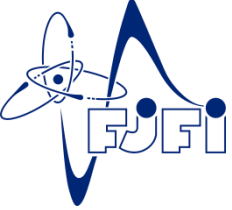
Co k tomu potřebujeme?

1. RTG zařízení
2. Antropomorfní fantom dítěte
3. TLD
4. 2D mapy pro umístění TLD
5. Vakuovou pinzetu
6. Reader a pec
7. Spoustu trpělivosti...





2. Volba expozic



Volba expozic

- Hrudník

Volba expozic

- Hrudník



Volba expozic

- Hrudník
- Břicho

Volba expozic

- Hrudník
- Břicho

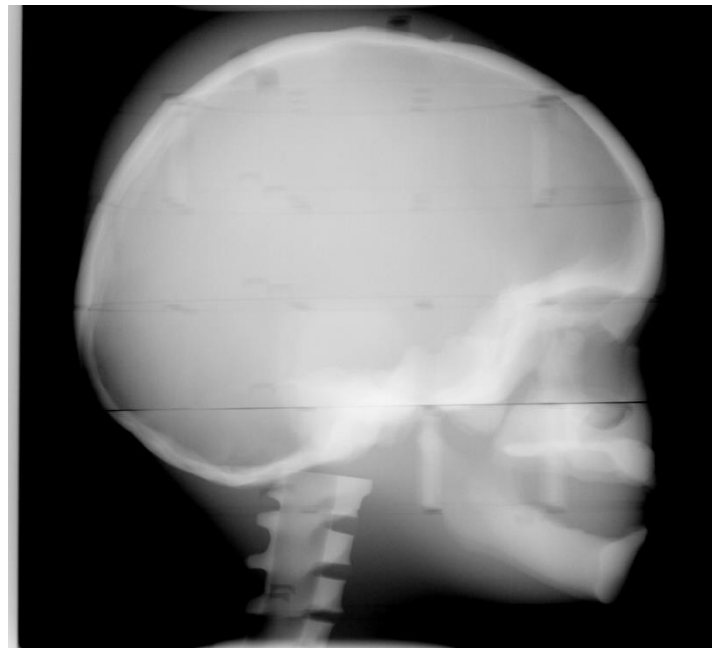


Volba expozic

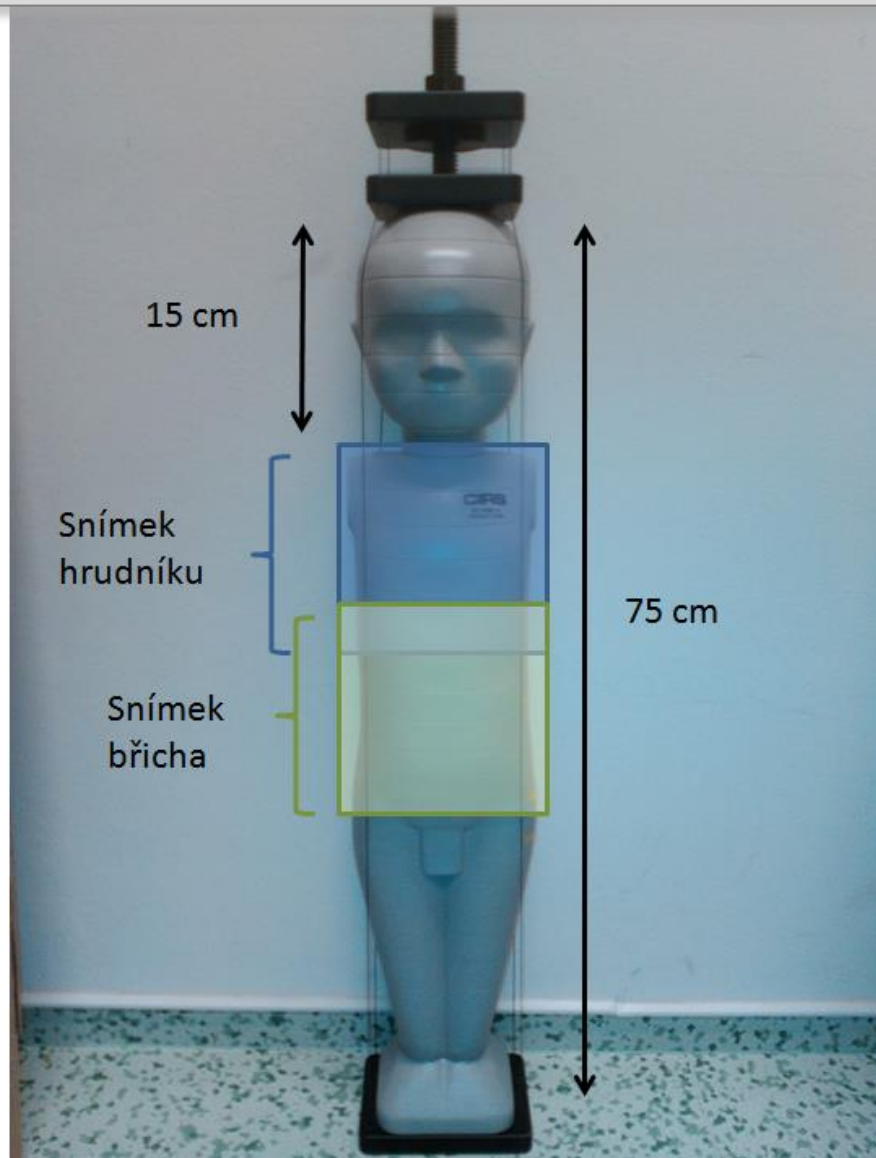
- Hrudník
- Břicho
- Lebka

Volba expozic

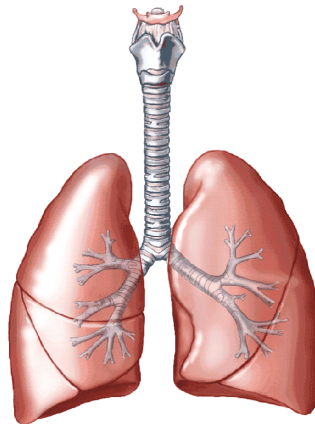
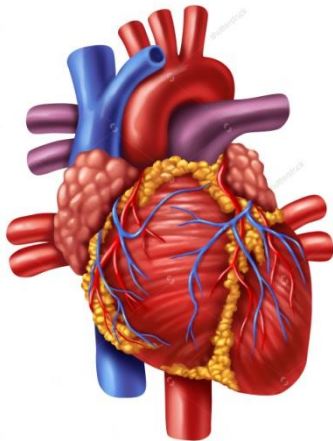
- Hrudník
- Břicho
- Lebka



Volba expozic



3. Orgány



Orgány

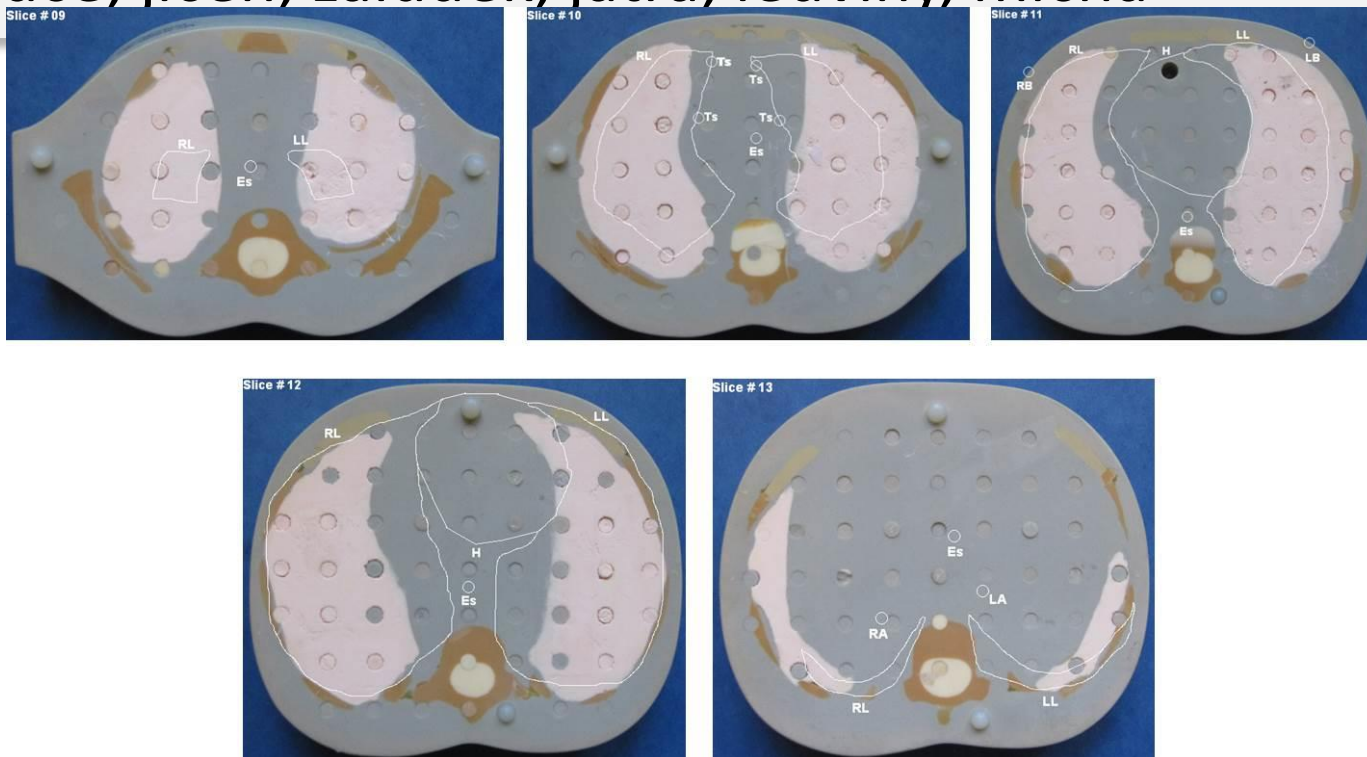
- Plíce - zřejmé

Orgány

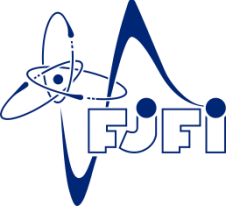
- Plíce – zřejmé
- Srdce, jícn, žaludek, játra, ledviny, mícha

Orgány

- Plíce – zřejmé
- Srdce, jícn, žaludek, játra, ledviny, mícha



Inkoom S. et al., *Location of radiosensitive organs inside pediatric anthropomorphic phantoms: Data required for dosimetry*, European Journal of Medical Physics, Vol. 31, 12/2015.



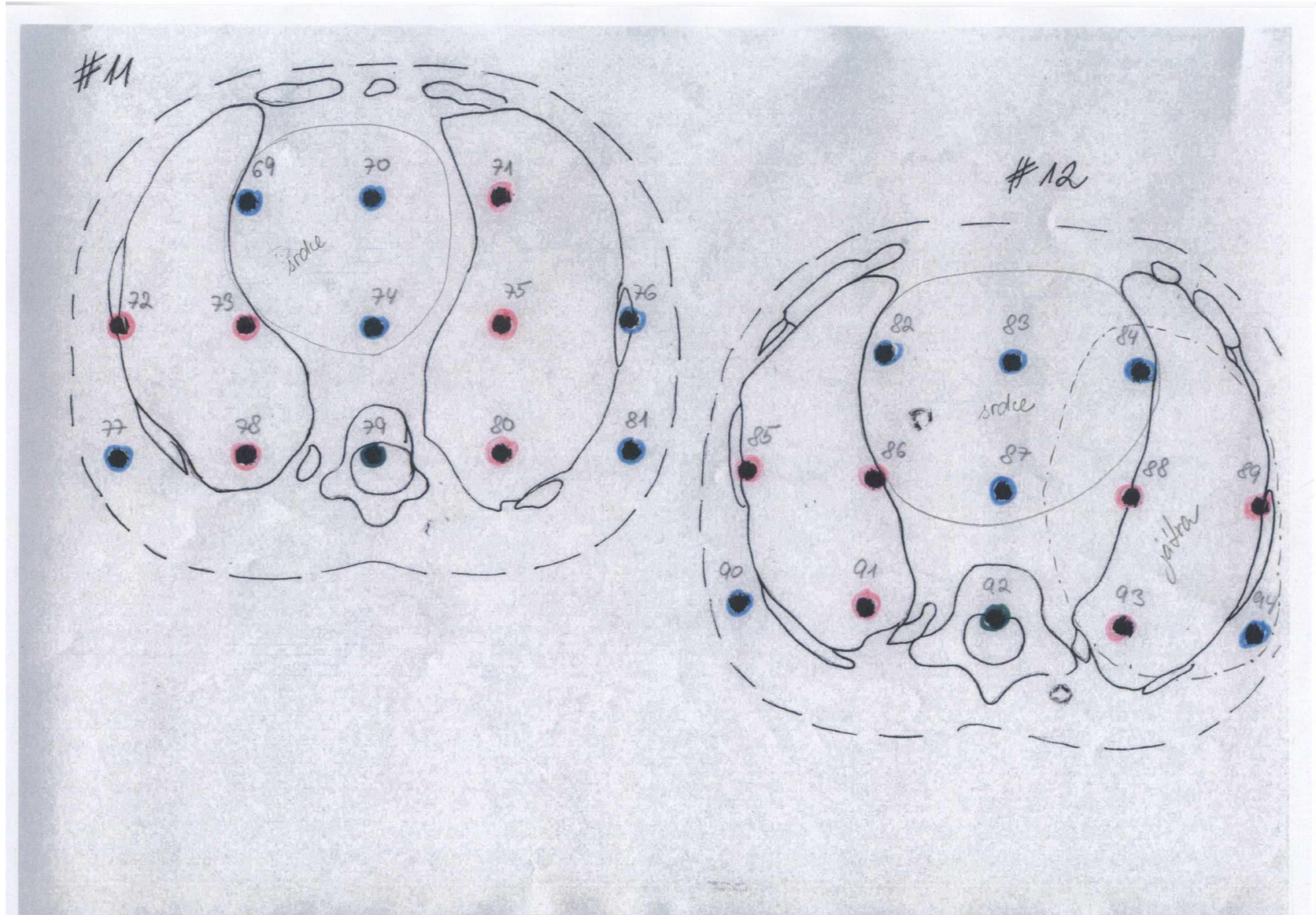
Orgány v řezech



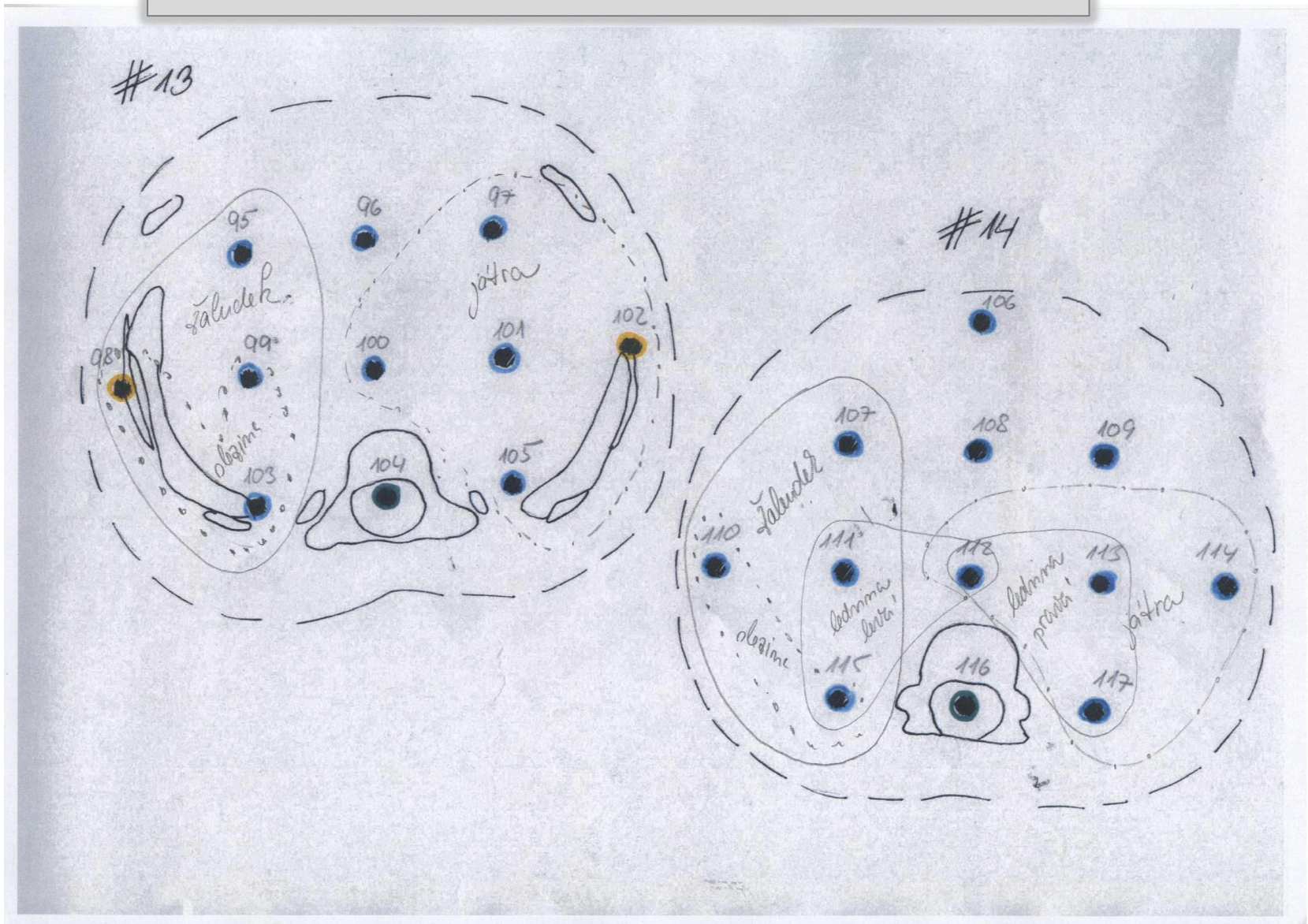
	#9				#10				#11				#12				#13						
Plíce	51	53	54	56	60	62	63	65	66	68	71	72	73	75	78	80	85	86	88	89	91	93	
trachea	58				67						79						92						104
srdce									69				70	74	82				83	84	87		
levnice	55				64							74								87			100

	#12					#13					#14			
Žaludek						95	99	98	103		107	111	110	115
Játra	84	89	88	94	93	97	102	101	100	105	114	113	112	117
Slezina						99	98	103			110	115		
L ledvina											111	112		115
R ledvina											112	113	117	

Orgány v řezech



Orgány v řezech



4. Výpočet orgánové dávky

Výpočet orgánové dávky

$$D_T = \sum_{i=1}^I f_i \left[\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} D_j \right]$$

Výpočet orgánové dávky

$$D_T = \sum_{i=1}^I f_i \left[\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} D_j \right]$$

Objemová frakce orgánu v i-tém řezu

Výpočet orgánové dávky

$$D_T = \sum_{i=1}^I f_i \left[\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} D_j \right]$$

Objemová frakce orgánu v i-tém řezu

$$D = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_T}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a} D_a$$

Výpočet orgánové dávky

$$D_T = \sum_{i=1}^I f_i \left[\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} D_j \right]$$

Objemová frakce orgánu v i-tém řezu

Počet TLD v i-tém řezu

$$D = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_T}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a} D_a$$

Výpočet orgánové dávky

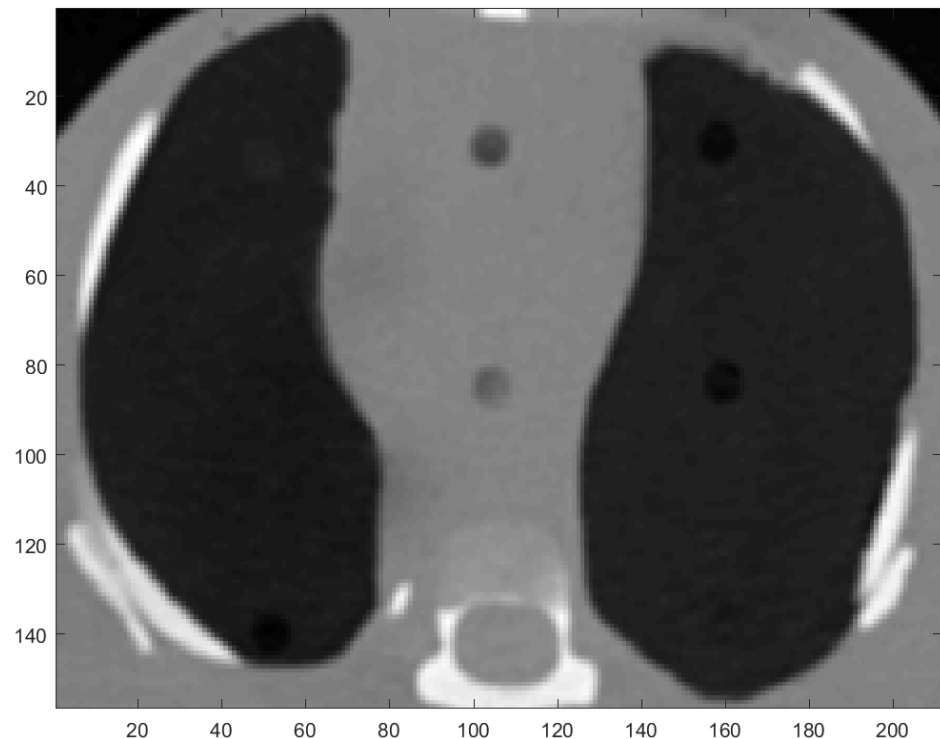
- Objemové frakce orgánů
 - TLD jen v části orgánu

Výpočet orgánové dávky

- Objemové frakce orgánů
 - TLD jen v části orgánu
 - Plíce
 - počet pixelů s $HU \in (-900; -800)$

Výpočet orgánové dávky

- Objemové frakce orgánů
 - TLD jen v části orgánu
 - Plíce
 - počet pixelů



Objemové frakce plic

Řez	Počet TLD	Objemová frakce plic
# 9	4	17%
# 10	6	30%
# 11	6	33%
# 12	6	20%

#9



#10



#11

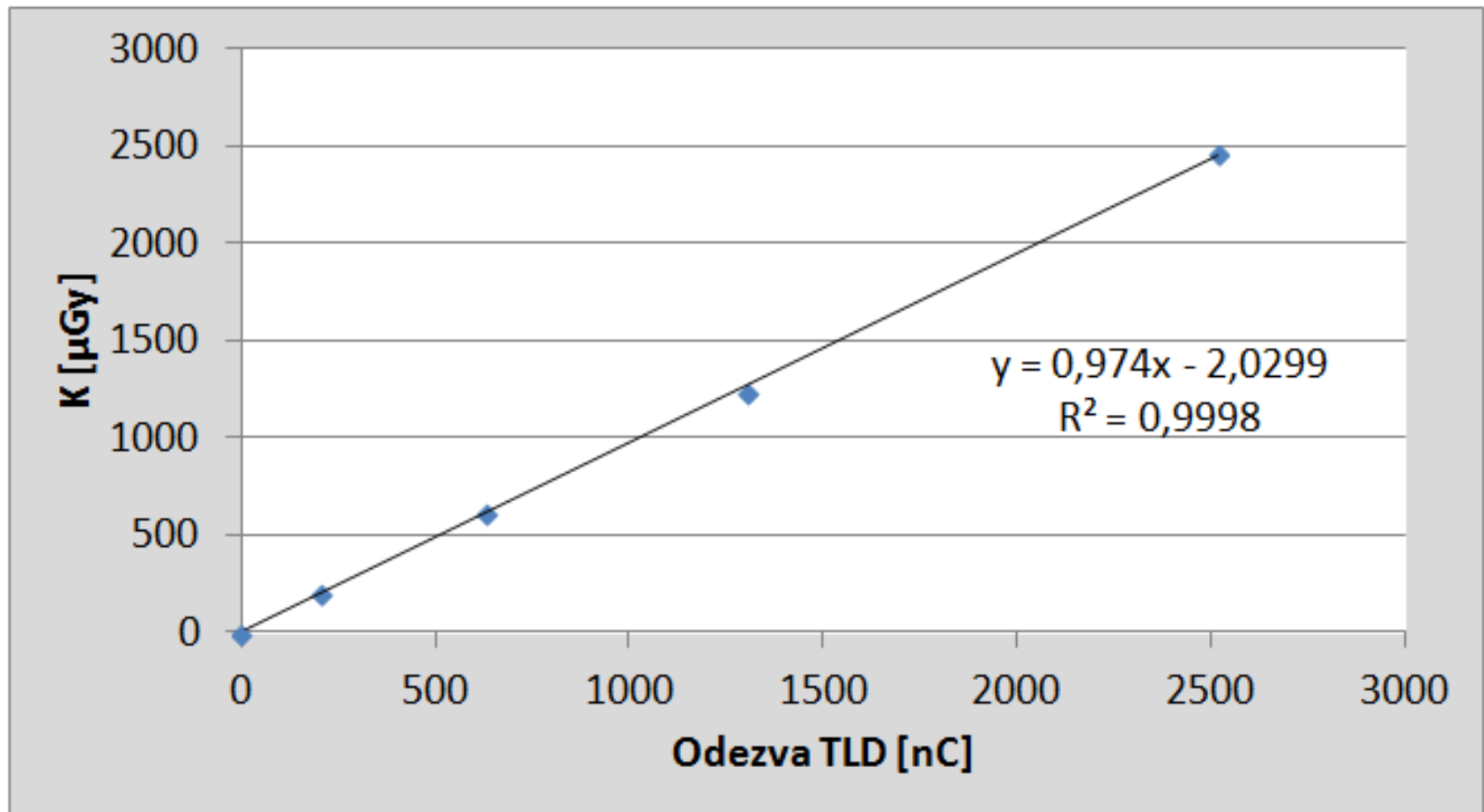


#12



Kalibrace TLD

- Kerma ve vzduchu



Koeficienty zeslabení

E [keV]	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40	0,268	0,285	0,789	0,865	0,053	0,283
60	0,209	0,217	0,424	0,269	0,041	0,216
80	0,188	0,193	0,325	0,132	0,037	0,192
100	0,175	0,179	0,282	0,088	0,035	0,178
150	0,154	0,158	0,234	0,061	0,031	0,157

Koeficienty zeslabení

	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40 keV	0,268	0,285	0,789	1,278	0,053	0,283
60 keV	0,209	0,217	0,424	0,604	0,041	0,216
80 keV	0,188	0,193	0,325	0,428	0,037	0,192
100 keV	0,175	0,179	0,282	0,356	0,035	0,178
150 keV	0,154	0,158	0,234	0,284	0,031	0,157

Koeficienty zeslabení

	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40 keV	0,268	0,285	0,789	1,278	0,053	0,283
60 keV	0,209	0,217	0,424	0,604	0,041	0,216
80 keV	0,188	0,193	0,325	0,428	0,037	0,192
100 keV	0,175	0,179	0,282	0,356	0,035	0,178
150 keV	0,154	0,158	0,234	0,284	0,031	0,157

Problém: CIRS uvádí pouze μ [cm⁻¹]

Koeficienty zeslabení

	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40 keV	0,268	0,285	0,789	1,278	0,053	0,283
60 keV	0,209	0,217	0,424	0,604	0,041	0,216
80 keV	0,188	0,193	0,325	0,428	0,037	0,192
100 keV	0,175	0,179	0,282	0,356	0,035	0,178
150 keV	0,154	0,158	0,234	0,284	0,031	0,157

Problém: CIRS uvádí pouze μ [cm⁻¹]

NIST $\rightarrow$ poměr μ / μ_{en}

Koeficienty zeslabení

	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40 keV	0,268	0,285	0,789	1,278	0,053	0,283
60 keV	0,209	0,217	0,424	0,604	0,041	0,216
80 keV	0,188	0,193	0,325	0,428	0,037	0,192
100 keV	0,175	0,179	0,282	0,356	0,035	0,178
150 keV	0,154	0,158	0,234	0,284	0,031	0,157

Problém: CIRS uvádí pouze μ [cm⁻¹]

NIST $\rightarrow$ poměr μ / μ_{en}

Monoenerg. svazek vs. spektrum

Koeficienty zeslabení

	μ [cm ⁻¹]					
	Měkká tkáň		Kost		Plíce	
	CIRS	NIST	CIRS	NIST	CIRS	NIST
ρ [g.cm ⁻³]	1,055	1,06	1,45	1,92	0,21	1,05
40 keV	0,268	0,285	0,789	1,278	0,053	0,283
60 keV	0,209	0,217	0,424	0,604	0,041	0,216
80 keV	0,188	0,193	0,325	0,428	0,037	0,192
100 keV	0,175	0,179	0,282	0,356	0,035	0,178
150 keV	0,154	0,158	0,234	0,284	0,031	0,157

Problém: CIRS uvádí pouze μ [cm⁻¹]

NIST $\rightarrow$ poměr μ/μ_{en}

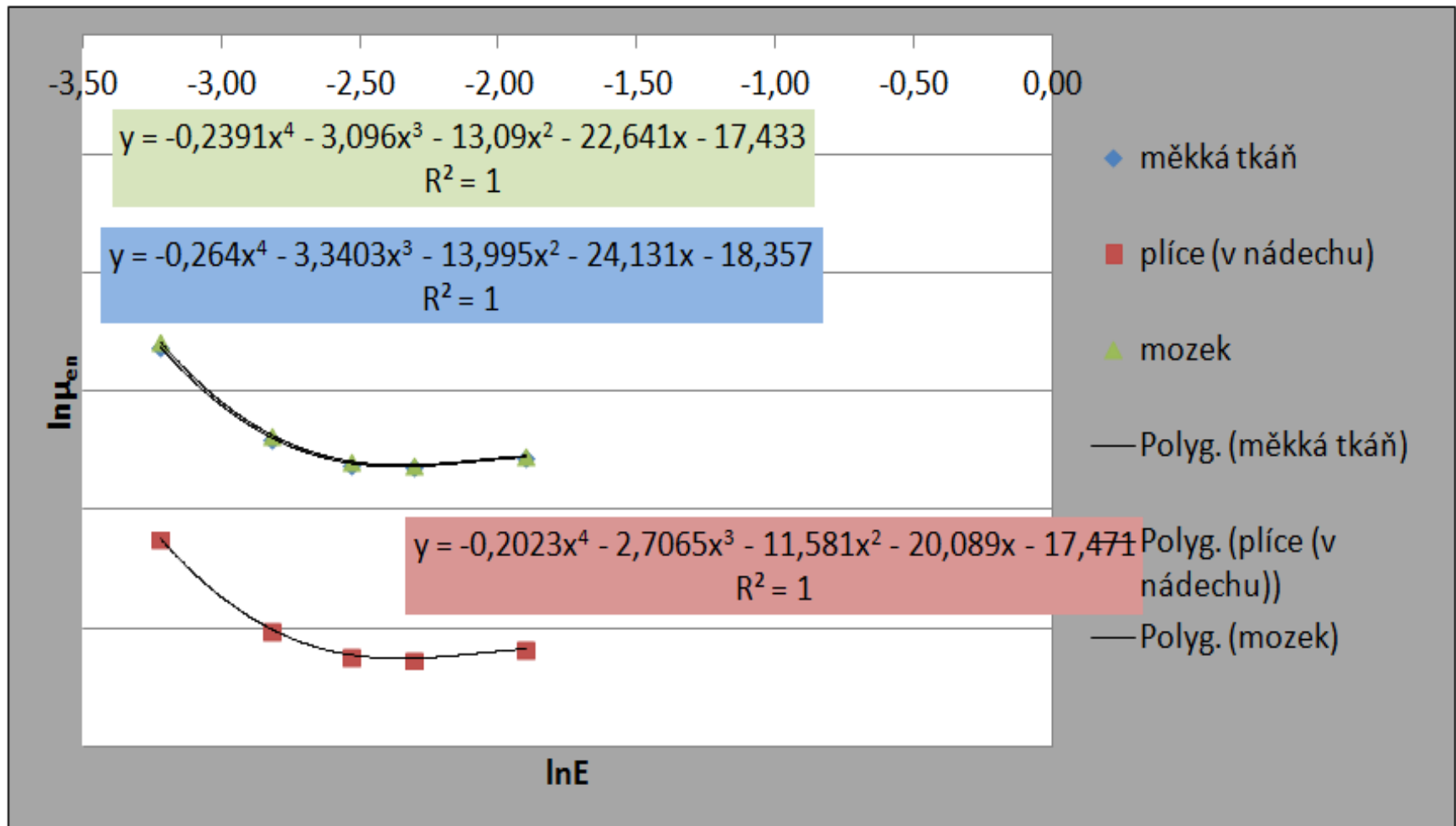
Monoenerg. svazek vs. spektrum



SpekCalc

Koeficienty zeslabení

Proklad dle údajů výrobce



Poměr koeficientů absorpce energie

$$\frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{Tk}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a}$$

	Měkká tkáň/vzduch	Plíce/vzduch	Mozek/vzduch
60 kV	1,06	1,06	1,09
80 kV	1,05	1,05	1,07
100 kV	1,05	1,05	1,07

Poměr koeficientů absorpce energie

$$\frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{Tk}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_a}$$

	Měkká tkáň/vzduch	Plíce/vzduch	Mozek/vzduch
60 kV	1,06	1,06	1,09
80 kV	1,05	1,05	1,07
100 kV	1,05	1,05	1,07

Použito: 1,07

5. Orgánové dávky - výsledky

Orgánové dávky

Změřeno

D [$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$]															
Část těla	U[kV]	Plíce		Srdce		Jícen		Žaludek		Játra		Slezina		Ledviny	
Hrudník	60	16,5	23%	19,0	27%	10,6	8%	6,9	20%	9,4	18%	4,6	20%	1,5	12%
Hrudník	100	55,1	13%	65,3	15%	43,5	7%	27,1	6%	36,8	5%	15,3	3%	8,1	0,4%
Břicho	60	0,6	1%	1,7	3%	2,1	33%	11,4	2%	6,9	11%	9,2	7%	10,0	14%
Břicho	80	1,5	48%	4,1	22%	8,7	30%	22,9	39%	14,4	35%	20,0	32%	22,1	26%

Orgánové dávky

Změřeno

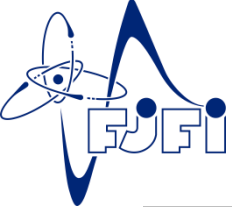
D [$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$]

Část těla	U[kV]	Plíce		Srdce		Jícen		Žaludek		Játra		Slezina		Ledviny	
Hrudník	60	16,5	23%	19,0	27%	10,6	8%	6,9	20%	9,4	18%	4,6	20%	1,5	12%
Hrudník	100	55,1	13%	65,3	15%	43,5	7%	27,1	6%	36,8	5%	15,3	3%	8,1	0,4%
Břicho	60	0,6	1%	1,7	3%	2,1	33%	11,4	2%	6,9	11%	9,2	7%	10,0	14%
Břicho	80	1,5	48%	4,1	22%	8,7	30%	22,9	39%	14,4	35%	20,0	32%	22,1	26%

PCXMC

D [$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$]

Část těla	U[kV]	Plíce		Srdce		Jícen		Žaludek		Játra		Slezina		Ledviny	
Hrudník	60	11,8	0,6%	15,1	0,9%	6,0	3,5%	13,0	1,6%	11,0	0,4%	5,0	1,6%	2,2	1,8%
Hrudník	100	51,1	0,4%	65,3	0,6%	31,3	2,8%	55,4	1,0%	48,4	0,3%	27,3	1,6%	13,9	1,0%
Břicho	60	2,34	1,4%	2,9	1,5%	2,5	8,1%	15,4	1,1%	12,4	0,5%	4,8	1,9%	2,8	1,8%
Břicho	80	5,9	1,2%	7,4	1,3%	6,9	5,7%	36,0	1,0%	29,4	0,4%	13,0	1,5%	8,4	1,5%



Orgánové dávky



Změřeno

D [$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$]

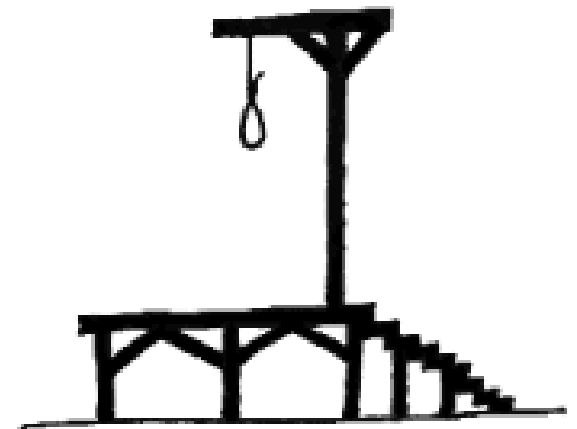
Část těla	U[kV]	Plíce		Srdce		Jícen		Žaludek		Játra		Slezina		Ledviny	
Hrudník	60	16,5	23%	19,0	27%	10,6	8%	6,9	20%	9,4	18%	4,6	20%	1,5	12%
Hrudník	100	55,1	13%	65,3	15%	43,5	7%	27,1	6%	36,8	5%	15,3	3%	8,1	0,4%
Břicho	60	0,6	1%	1,7	3%	2,1	33%	11,4	2%	6,9	11%	9,2	7%	10,0	14%
Břicho	80	1,5	48%	4,1	22%	8,7	30%	22,9	39%	14,4	35%	20,0	32%	22,1	26%

PCXMC

D [$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$]

Část těla	U[kV]	Plíce		Srdce		Jícen		Žaludek		Játra		Slezina		Ledviny	
Hrudník	60	11,8	0,6%	15,1	0,9%	6,0	3,5%	13,0	1,6%	11,0	0,4%	5,0	1,6%	2,2	1,8%
Hrudník	100	51,1	0,4%	65,3	0,6%	31,3	2,8%	55,4	1,0%	48,4	0,3%	27,3	1,6%	13,9	1,0%
Břicho	60	2,34	1,4%	2,9	1,5%	2,5	8,1%	15,4	1,1%	12,4	0,5%	4,8	1,9%	2,8	1,8%
Břicho	80	5,9	1,2%	7,4	1,3%	6,9	5,7%	36,0	1,0%	29,4	0,4%	13,0	1,5%	8,4	1,5%

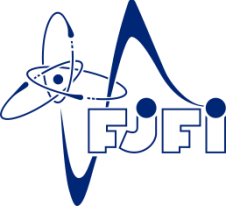
6. Nejistoty



Nejistoty

Někdy příště...

7. Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?



Proč $\uparrow$ U ... $\downarrow$ D ?



Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9		
Hrudník	100	98,4		
Břicho	60	38,7		
Břicho	80	69,8		

Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9	3,0*	
Hrudník	100	98,4	2,3*	
Břicho	60	38,7	18,4**	
Břicho	80	69,8	12,0**	

*plíce

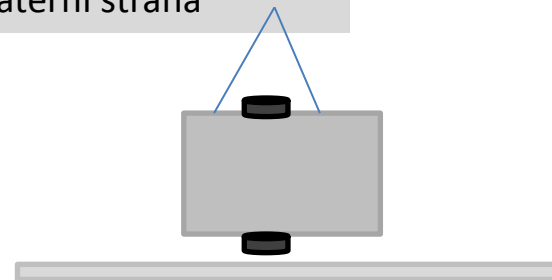
**jaterní strana

Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9	3,0*	11,5
Hrudník	100	98,4	2,3*	43,0
Břicho	60	38,7	18,4**	2,1
Břicho	80	69,8	12,0**	5,8

*plíce

**jaterní strana



Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9	3,0*	11,5
Hrudník	100	98,4	2,3*	43,0
Břicho	60	38,7	18,4**	2,1
Břicho	80	69,8	12,0**	5,8

*plíce

**jaterní strana

$$Kout(100 \text{ kV}) \approx 4 * Kout(60 \text{ kV})$$

Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9	3,0*	11,5
Hrudník	100	98,4	2,3*	43,0
Břicho	60	38,7	18,4**	2,1
Břicho	80	69,8	12,0**	5,8

*plíce

**jaterní strana

$$Kout(100 \text{ kV}) \approx 4 * Kout(60 \text{ kV})$$



4* mAs

Proč $\uparrow U \dots \downarrow D$?

Změřeno				
	U [kV]	Ke [$\mu\text{Gy/mAs}$]	Ke/Kout [-]	Kout [$\mu\text{Gy/mAs}$]
Hrudník	60	34,9	3,0*	11,5
Hrudník	100	98,4	2,3*	43,0
Břicho	60	38,7	18,4**	2,1
Břicho	80	69,8	12,0**	5,8

*plíce

**jaterní strana

$$Kout(100 \text{ kV}) \approx 4 * Kout(60 \text{ kV})$$

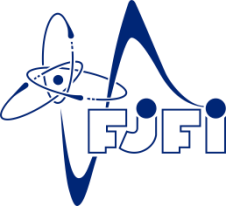


4* mAs



4* Ke, D_{org}

8. Na čem se pracuje?



Na čem se pracuje?



Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem

Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem
- CT snímky → MCNP geometrie → Scan2MCNP

Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem
- CT snímky → MCNP geometrie → Scan2MCNP

Problém?

Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem
- CT snímky → MCNP geometrie → Scan2MCNP

Problém?

Materiálové složení tkání fantomu

Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem
- CT snímky → MCNP geometrie → Scan2MCNP

Problém?

Materiálové složení tkání fantomu

Čekáme na odpověď CIRS

Na čem se pracuje?

- MC s antropomorfním fantomem
- CT snímky → MCNP geometrie → Scan2MCNP

Problém?

Materiálové složení tkání fantomu

Čekáme na odpověď CIRS

Ramanova spektroskopie

Tot' vše.

Děkuji za pozornost



Foto: Martina Vtelenská