



Srovnání kvantitativních ukazatelů kvality plánu v radioterapii s metodou Visual Grading Analysis pro oblast hlavy a krku

Bc. Jana Ruschaková

Vedoucí:

Ing. Tereza Hanušová PhD.

Visual Grading Analysis (VGA)

- VGA studie zahrnuje soubor snímků, které jsou hodnoceny radiology.
- Hodnocení odráží vnímanou kvalitu obrazu konkrétních anatomických struktur na snímcích.
- VGA studie požaduje kritéria hodnocení snímků na bodové škále, snímky, pozorovatele, software pro zobrazení snímků a následné statistické vyhodnocení VGA analýzy.
- Hodnocení, která udělují radiologové jsou typicky na ordinální škále, kde je definováno pořadí hodnotících stupňů, ale škálovací vzdálenost mezi jednotlivými stupni není přesně definována.
- Distribuce ordinárních dat tedy není známa, z tohoto důvodu není vhodné používat statistické metody, které předpokládají konkrétní rozdělení, je tedy nutné používat neparametrické statistické metody.



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Clinical Grading Analysis (CGA)

- Metoda CGA byla odvozeana od VGA pro využití v radioterapii.
- Publikované studie o porovnávání radioterapeutických plánů zahrnují kvantitativní srovnání fyzikálních ukazatelů, jako např. parametry DVH, někdy i parametry odvozené z biologických modelů, např. TCP či NTCP.
- Tato srovnání mohou ukázat numerickou výhodu jednoho plánu oproti jinému, ale klinická relevance výsledků nemusí být však jasná.
- CGA může potenciálně nabídnout nové informace, které nejsou zahrnuty ve studiích, které se zaměřují pouze na DVH parametry.
- Cílem metody CGA je identifikovat klinicky relevantní rozdíly mezi plány.



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Praktická část výzkumného úkolu

- Pro praktickou část bylo vybráno 20 pacientů, kteří měli připravené ozařovací plány pro oblast hlavy a krku ve Fakultní Thomayerově nemocnici.
- Byli vybráni pacienti, pro které byl vytvořen plán a následně byl vytvořen i replán.
- Replán byl upraven tak, aby v něm byla předepsána stejná dávka a počet frací jako pro plán původní. Názvy plánů byly změněny tak, aby při jejich prezentaci radiačním onkologům nebylo znatelné, který plán je původní a který je replán. Plány byly pojmenovány jako plán A a plán B.
- Bude provedeno hodnocení plánů radiačními onkology a následné statistické vyhodnocení CGA.
- Výsledky CGA budou srovnány s kvantitativními ukazateli pro hodnocení plánů DVH parametry dle standardu FTN, Gradient Index, Conformity Index, počet MU, objem 5% izodózy).



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE





ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Stanovení korekčních faktorů na zpětný rozptyl pro nový scintilační detektor v radioterapii

Bc. Ivana Žůrková

Školitelé: Ing. Tereza Hanušová, Ph.D., Ing. Vladimír Linhart, Ph.D.

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

Experimentální detektor KDAIZ

- Prototyp plastového scintilátoru, vyvinutý na KDAIZ FJFI ČVUT
 - K měření v radioterapii
 - Tvořen plastovou scintilační fólií monitorovanou kamerou
 - Uvnitř black boxu je zrcadlo k odrazu svazku ke kameře
- Výhody detektoru:
 - Umožňuje měřit velká radiační pole
 - Dobré prostorové rozlišení
 - Odezva v reálném čase
- Měření probíhá ve vzduchu
 - Odezva nezahrnuje zpětně rozptýlené záření
 - Je potřeba stanovit korekční faktory na zpětný rozptyl



Linac:

Linac type: Siemens Artiste Linac
Accelerating HV: 6 and 18 MV

CCD:

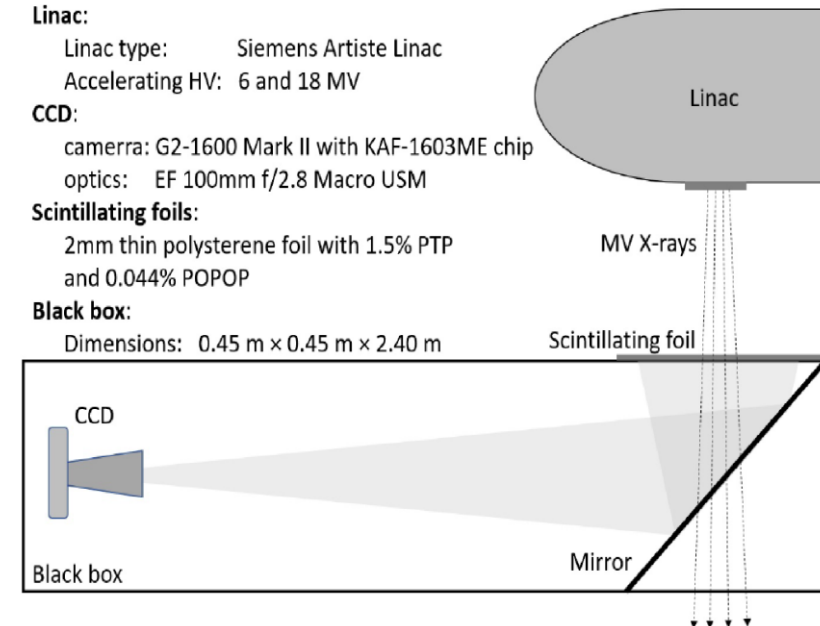
camera: G2-1600 Mark II with KAF-1603ME chip
optics: EF 100mm f/2.8 Macro USM

Scintillating foils:

2mm thin polysterene foil with 1.5% PTP
and 0.044% POPOP

Black box:

Dimensions: 0.45 m × 0.45 m × 2.40 m



Měření a zpracování dat experimentálním detektorem

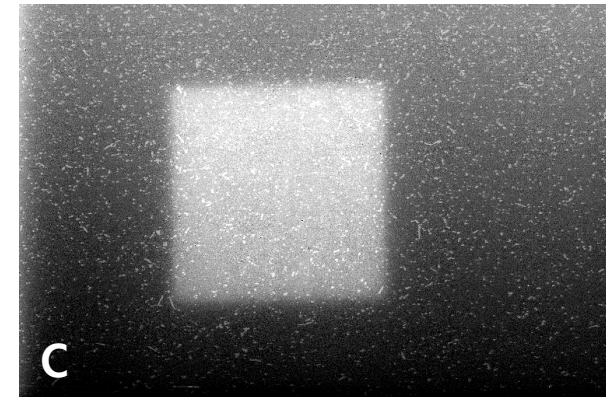
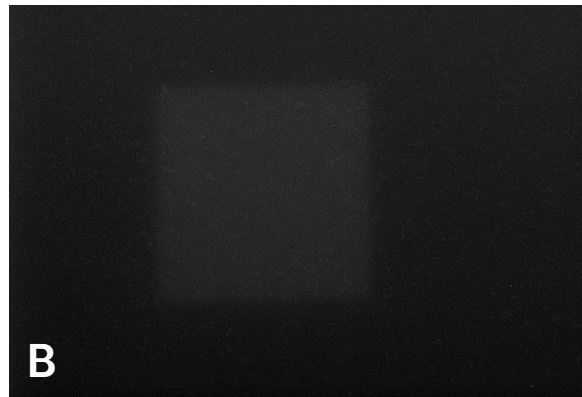
■ Podmínky a geometrie měření

- SAD = 100 cm
- 2 velikosti pole: $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- 2 nominální energie fotonového svazku: 6 MV, 18 MV



■ Vizualizace naměřených dat

- Čtverec uprostřed snímků – signál odpovídající vymezenému radiačnímu poli
- Pixely s vysokou intenzitou – způsobeny přímými interakcemi záření s kamerou
→ odstraněny

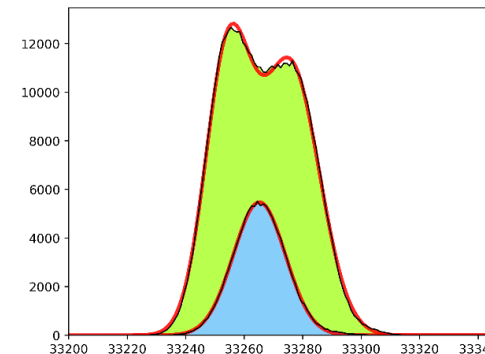
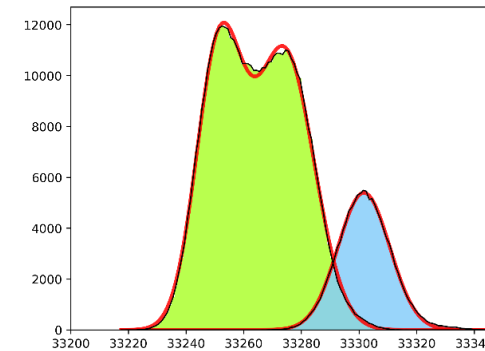
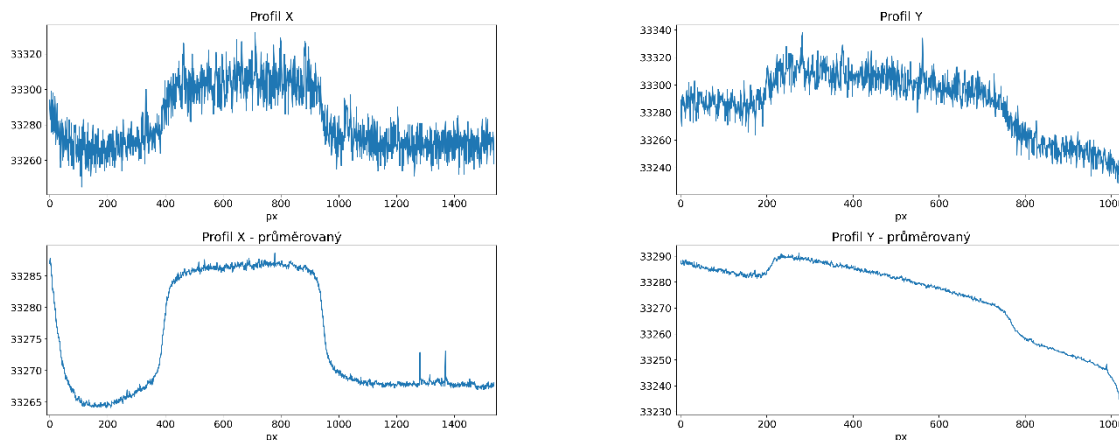


Původní snímek (A), snímek po odstranění přímých interakcí (B) + změna rozsahu zobrazených intenzit (C)

Zpracování dat detektoru KDAIZ

- Vykreslení profilů snímků
 - Před a po vyhlazení (průměrování)
- Získání užitečného signálu
 - A) Výpočet průměrné intenzity ve vydefinovaných oblastech signálu a pozadí
 - B) Proklad Gaussovou křivkou
 - Výsledná odezva = rozdíl středních hodnot
 - pro oblast signálu (modrá)
 - a pro oblast pozadí (zelená)

6 MV
Hloubka 4 cm

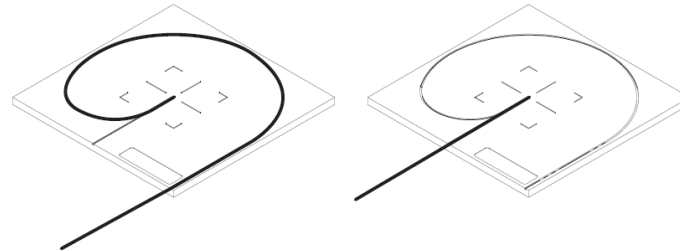


Stanovení korekčních faktorů na BS

■ Korekční faktor na zpětný rozptyl (BSF)

- = podíl odezvy naměřené s voděkvivalentními deskami (= rozptylovým materiálem) D_{fan} a odezvy naměřené bez desek ve vzduchu D_{air}

$$BSF = \frac{D_{fan}}{D_{air}}$$

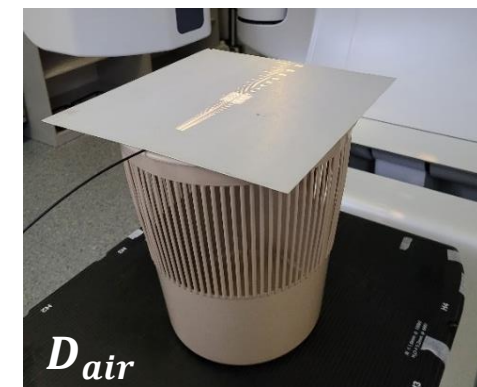
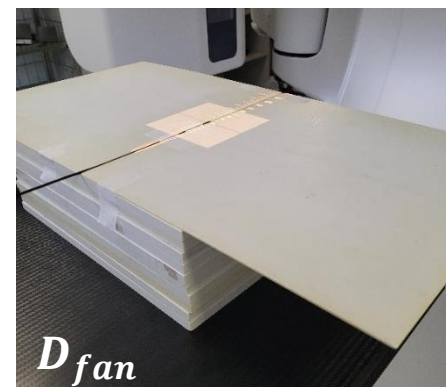


■ Detektor Exradin W1

- Plastový scintilační detektor ve formě vlákna
- Použit k měření odezev, které byly použity ke stanovení korekčních faktorů na zpětný rozptyl
- Korekce na Čerenkovovo záření – ozářením 2 různých konfigurací vlákna detektoru

■ Výsledné hodnoty BSF

- Souhrnné pro energie 6 MV i 18 MV
- Rozdílné podle velikosti radiačního pole
- $3 \times 3 \text{ cm}^2$: $BSF = 1,020 \pm 0,006 \sim (2,0 \pm 0,6) \%$
- $10 \times 10 \text{ cm}^2$: $BSF = 1,035 \pm 0,006 \sim (3,5 \pm 0,6) \%$



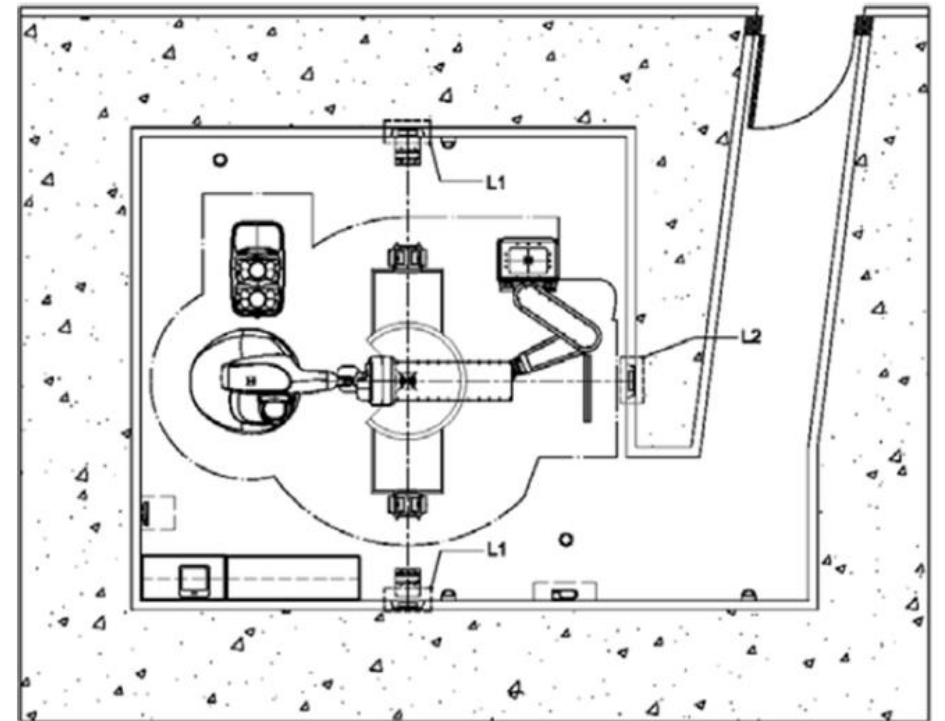
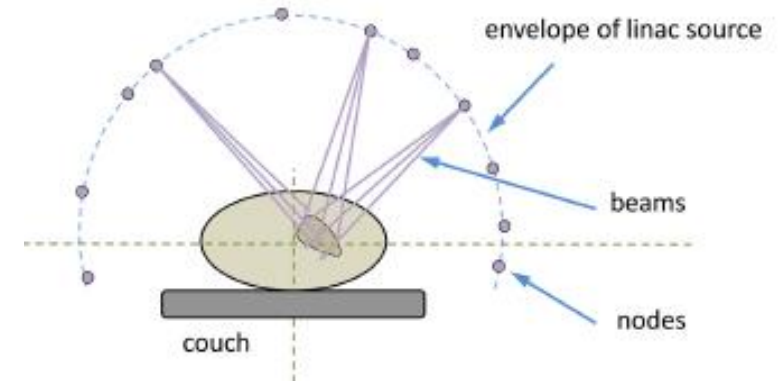
Stínění zdrojů ionizujícího záření pro radioterapii: Cyberknife

Autor: Bc. Vojtěch Bártek

Spoluautor: Ing. Pavel Dvořák, Ph.D.

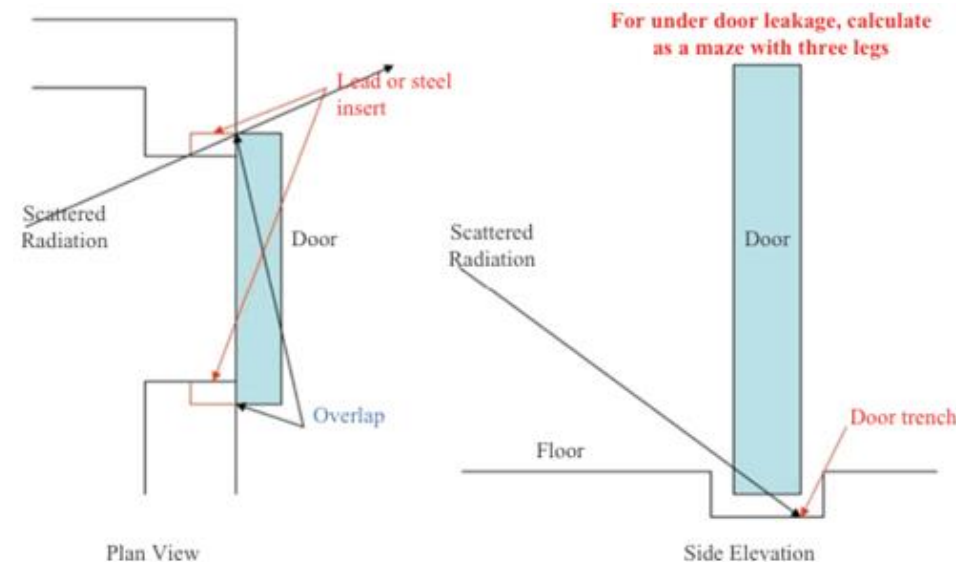
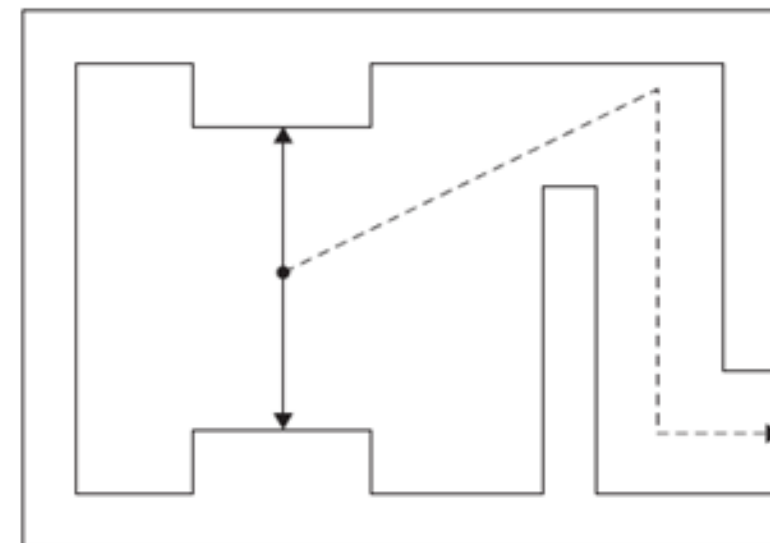
Specifika stínění Cyberknife

- Směry svazku – primární vs sekundární stínění
 - Určeny tzv. nody (uzly) – až 180 + v každém nodu náklon až do 8 pozic
 - Sekundární stínění – pouze strop, klinicky zakázaný směr
- Velikost pole
 - Fixní a Iris kolimátor – 5 až 60 mm při SAD = 80 cm
 - InCise MLC – maximálně 9,75 cm x 11 cm při SAD = 80 cm
- Modulační faktor
 - Určení navýšení v ozařovací době (f), 7-15 MU/cGy
- Směrový faktor
 - Fixní a Iris kolimátor – 0,075
 - InCise MLC – 0,05



Specifika stínění Cyberknife

- Pracovní vytížení
 - Konzervativní odhad – 445 Gy/týden při SAD = 100 cm
 - Může se lišit podle používaných kolimátorů
- Rozdílné TVL pro bariéry
 - i konzervativní hodnoty nižší oproti konvenčnímu linacu
- Přístup – labyrint vs přímé dveře
 - Labyrint
 - rozptyl záření skrz labyrint
 - Přímé dveře
 - stíněné několika cm olova
 - dodatečné stínění v okrajích dveří a podlaze



Porovnání vypočtených a naměřených hodnot reálného pracoviště

- Naměřené hodnoty obecně řádově nižší
- V oblasti dveří rozdíl nejvíce výrazný (body 5 a 6)
- Možné rozdíly
 - Hodnoty TVL
 - Intenzita rozptýleného záření
 - Orientační charakter empirických vzorců
 - Odhad parametrů výpočtu

Měřicí bod	Svazek	Vypočtený IDR ^d (μSv/h)	Naměřený IDR (μSv/h)
1 ^b	A-F	*	0
2	A	0,23	0,01
3	B	0,13	0,01
4	C	0,02	0,01
5	D	11,88	1,28
5 a 6	F	51,06	7,88 a 5,88
7 ^c	B-D	*	0,18
8	E	3,02.10 ⁻⁵	0,03
9	F	0,16	0,28
10, 12 a 13 ^b	G	*	0
11	G	0,19	0,1
14	H	135,4	119,88
14 ^b	sekundární	0,11	0

(a) Naměřené hodnoty jsou opraveny na přírodní pozadí

(*) Nebyl proveden výpočet přímo pro dané místa

(b) Naměřené hodnoty jsou na úrovni přírodního pozadí pro všechny použité svazky

(c) Je uvedena nejvyšší naměřená hodnota a tomu odpovídající svazky

(d) IDR - okamžitý dávkový příkon

Porovnání odhadu ročního $H^*(10)$

- Závislost na nastavení podmínek (U, T, W, f)
- Jedná se pouze o odhad reálného provozu pracoviště
- Možnost srovnání s nastavenou dávkovou optimalizační mezí

Oblast	Podmínky	Vypočtený roční $H^*(10)$ (mSv)	Odhad ročního $H^*(10)$ (mSv) z měření	DOM (mSv)
ovladovna+dveře	a	1,51	0,277	1
ovladovna+dveře	b	2,58	0,56 ^d	1
ovladovna+dveře	c	0,59	0,11 ^d	1
nad ozařovnou	b	0,213	*	0,25
nad ozařovnou	c	0,052	*	0,25

(a) svazek září 2 h denně, z toho 20 minut je radiační pracovník v oblasti dveří, $U = 1/3$, 261 dní ročně

(b) vytížení 300 Gy/den, 261 dní ročně, $f = 15$, $U = 1/3$ a T určené podle místa

(c) vytížení 445 Gy/týden, 261 dní ročně, $f = 12,3$, $U = 0,075$ a T opět určené podle místa

(d) přibližný odhad určený z poměrů IDR

(*) měřené hodnoty byly na úrovni pozadí

Vztah mezi IDR a DOM

- Možnost hodnocení efektivnosti stínění na základě IDR
- Přepočet z TADR pomocí faktorů (U, W, T)
- Maximální možný IDR závisí na nastavení DOM (1 mSv resp. 0,25)

Podmínky	Maximální možný IDR ($\mu\text{Sv/h}$) v ovladovně	Maximální možný IDR ($\mu\text{Sv/h}$) u dveří*	Maximální možný IDR ($\mu\text{Sv/h}$) nad ozařovnou
a	6	36	0,5
b	1,6	16	0,13
c	29	290	0,54

(a) svazek září 2 h denně, z toho 20 minut je radiační pracovník v oblasti dveří, $U = 1/3$, 261 dní ročně

(b) vytížení 300 Gy/den, 261 dní ročně, $f = 15$, $U = 1/3$ a T určené podle místa

(c) vytížení 445 Gy/týden, 261 dní ročně, $f = 12,3$, $U = 0,075$ a T opět určené podle místa

(*) pro svazek F

Modelový popis protónových zväzkov cyklotrónu U-120M

Autor: Bc. Daniel Adamčík

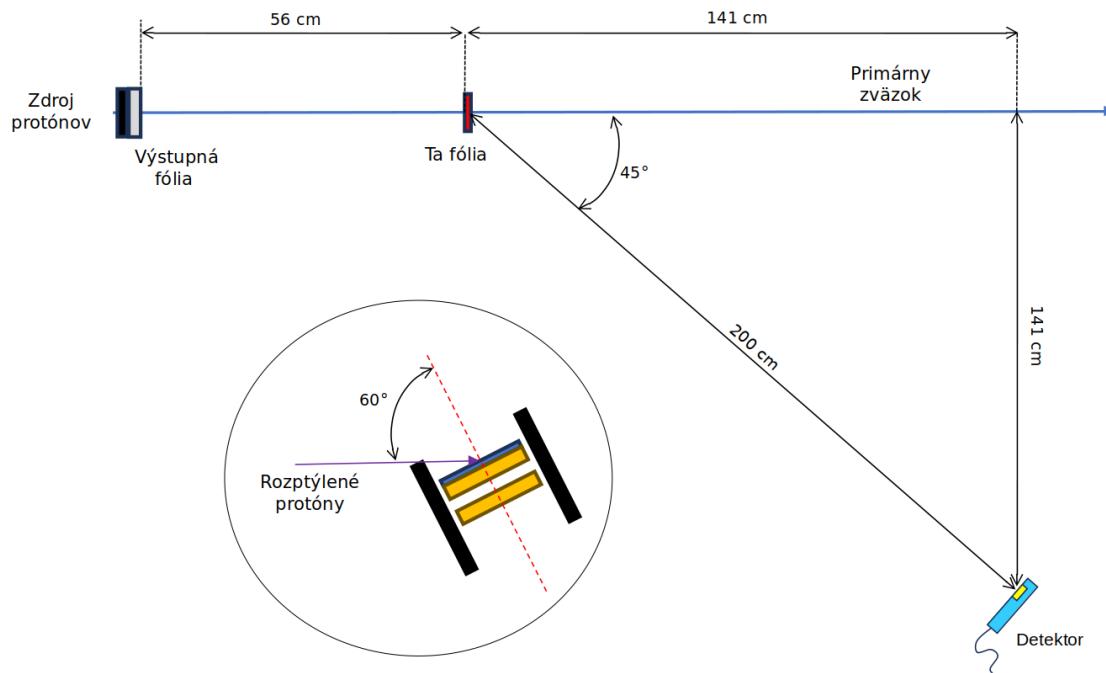
Vedúci: RNDr. Pavel Kunderát, Ph.D. (ÚJF AVČR)

Študentská konferencia rádiologickej fyziky a dozimetrie
KDAIZ FJFI ČVUT

6. - 8.10.2024

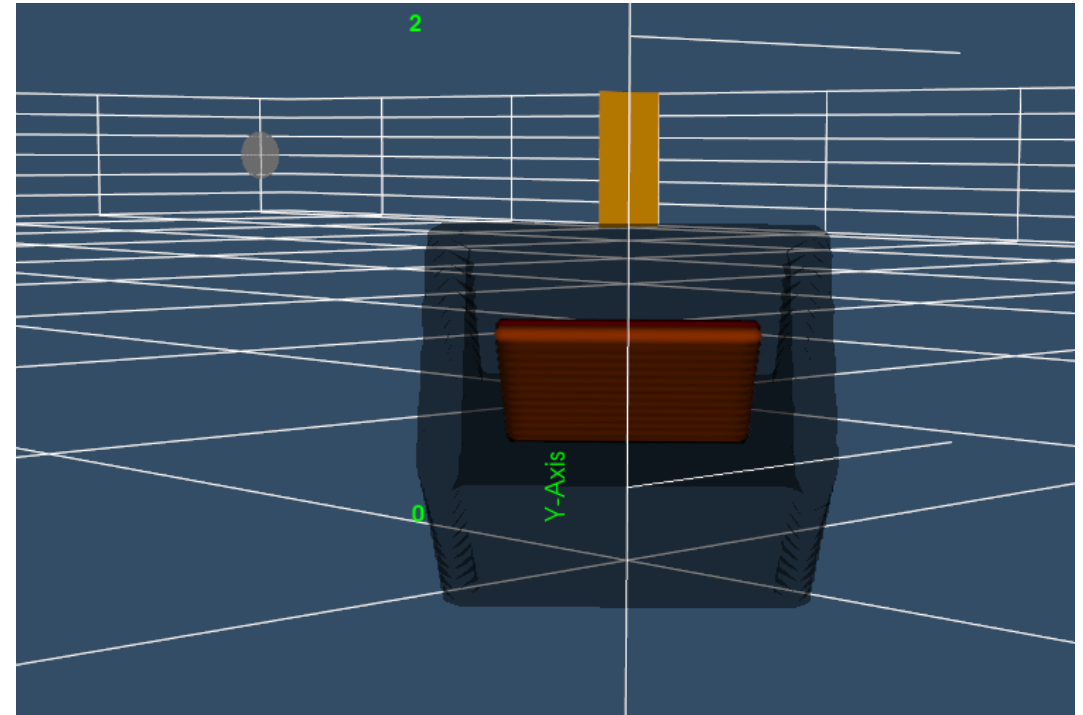
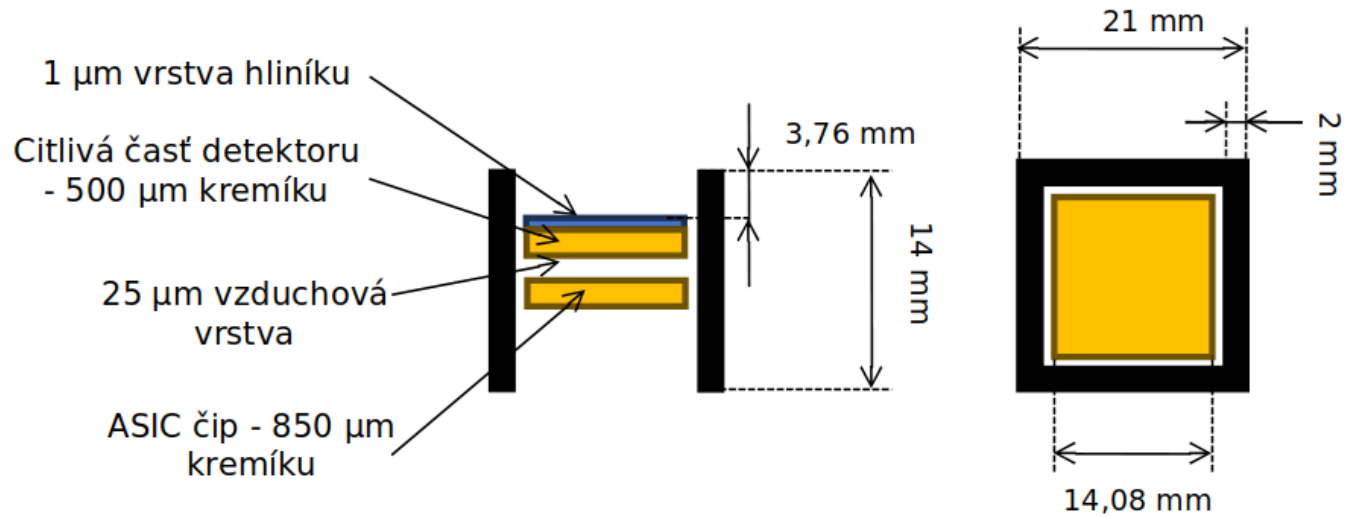
Experiment na cyklotróne U-120M - Zadanie a zostava

- Cieľ: vytvoriť zjednodušený model protónového zväzku cyklotróny U-120M (ÚJV AVČR Řež) v transportnom kóde PHITS
- Meranie: detekcia rozptýlených protónov na Ta fólii pomocou detektoru Timepix (doc. Granja, Ing. Poklop, Ing. Štursa) → nepriama dozimetria zväzku



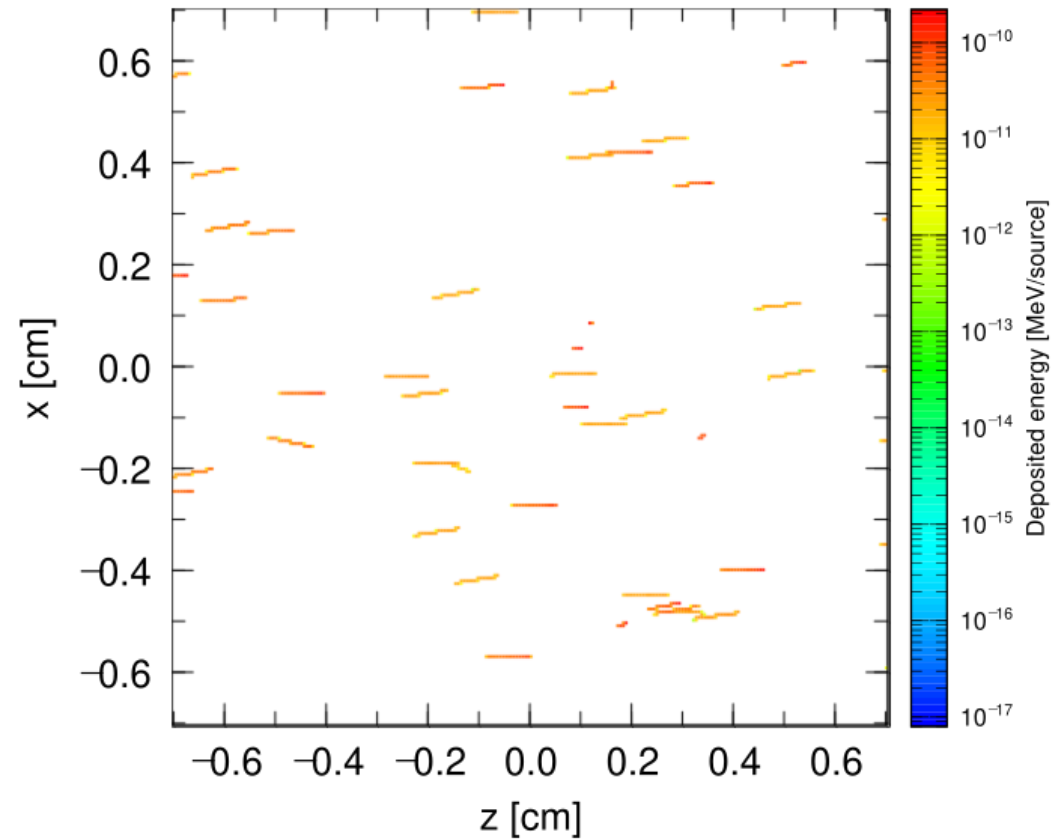
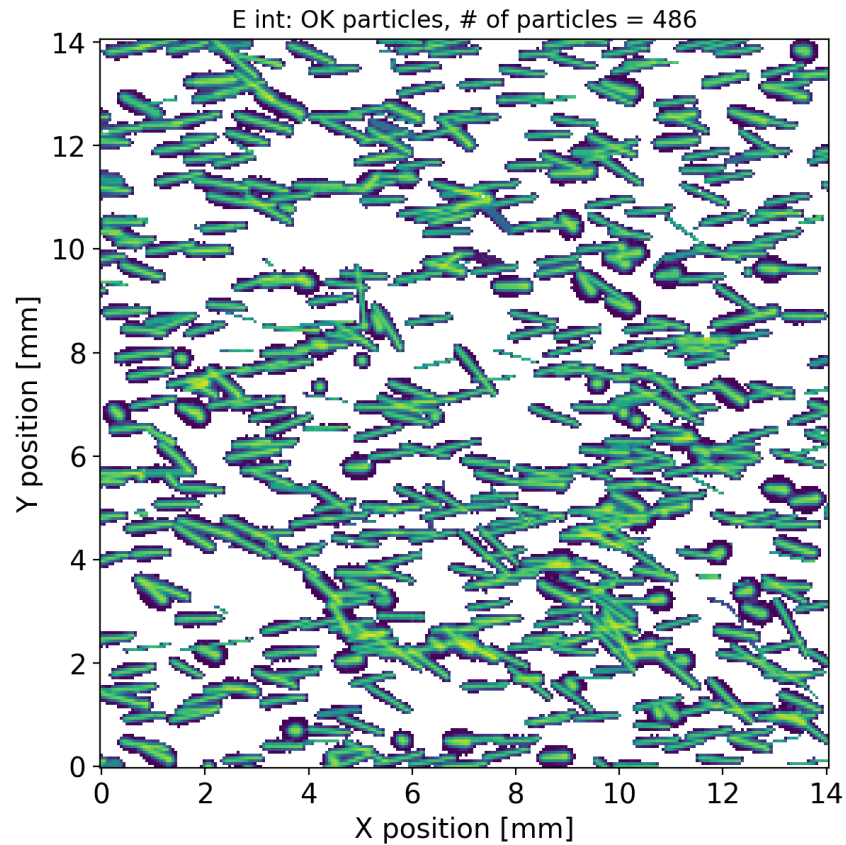
Monte Carlo model - Geometria

- Model vytvorený vo PHITSe (má užívateľky prívetivé nástroje)
- Vstupný kód: <https://github.com/Danchiku/U120M-beam-model>



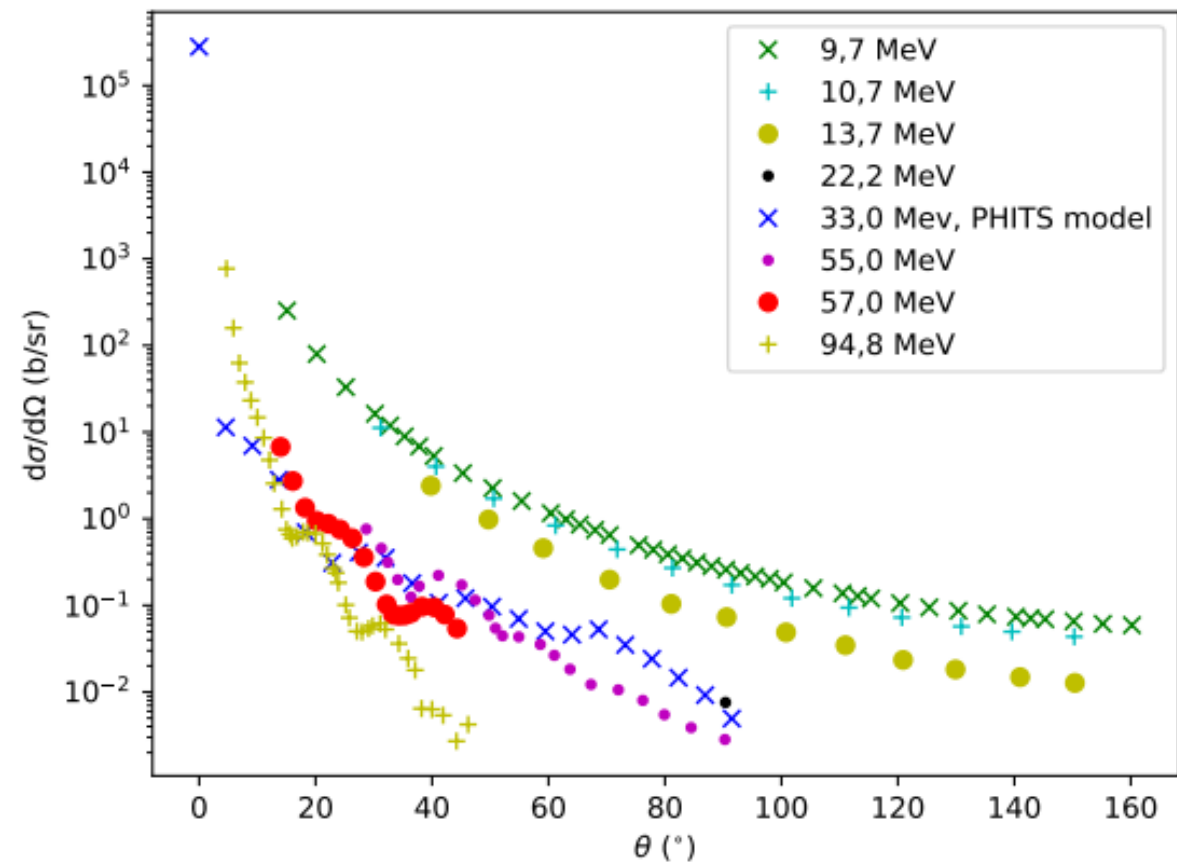
Experiment a model - Výsledky

- Porovnanie stôp častíc z experimentu a z modelu
- Nedostatočná štatistika získaná z vlastného PC (kvôli výpočtovej náročnosti) → simulácia na Metacentre



Záver

- Problémy:
 - Nedostatočná štatistika
 - Výsledky modelu rozptylu PHITSu sa odchyľujú od reálnych dát z databáze EXFOR
- Čo ďalej?
 - Vyskúšať iné knižnice/modely rozptylu
 - Získať väčšiu štatistiku dát → Metacentrum
 - Pokračovať v experimente, zlepšiť model



Radiobiologická účinnost ozařování v režimu FLASH

AUTOR: PAVEL BRÁZDA

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. PAVEL BLÁHA, PHD.

CONV



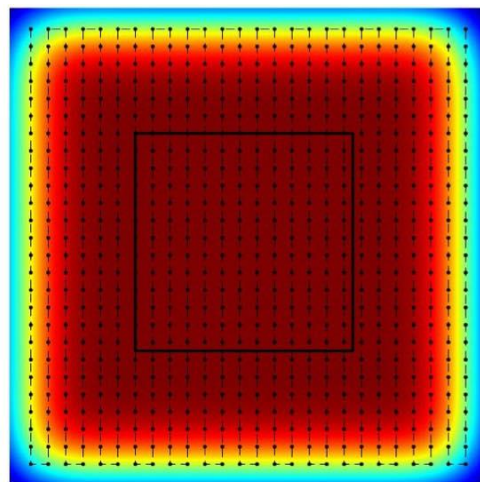
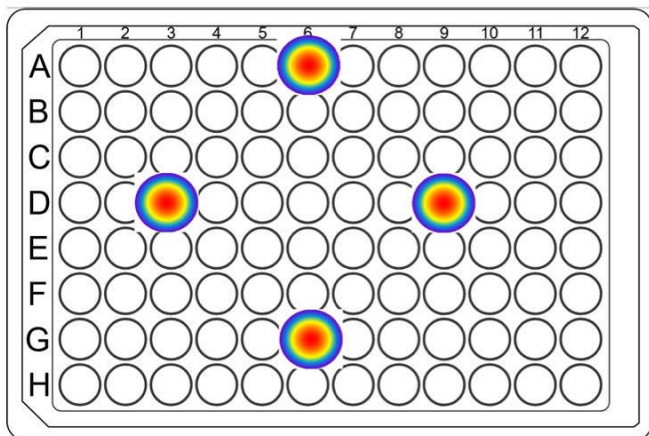
FLASH



Ozařování v režimu FLASH

- = ozařování ultra vysokými dávkovými příkony (UHDR) (> 40 Gy/s)
- **FLASH efekt** = ochrana zdravých tkání při UHDR + zachování účinků na nádory, mechanismy dosud nejsou objasněny (množství hypotéz)
- Pro výzkum zejména elektrony, ale i fotony, protony a další
- Studie zejména **na hlodavcích** a buňkách (u buněk efekt komplikovanější), ale i první ozáření lidé
- Další živočišné modely (kočky, psi, ...)
 - Ukázali na některé problémy

Gaide et al., Radioth. Oncol., 2022. Srovnání ozáření dvou nádorů jednoho pacienta - žádný rozdíl mezi FLASH a CONV (shora: před léčbou, po 17 d a po 24 m)



Vlevo: FLASH - buňky v jamce ozářeny vždy jediným spotem

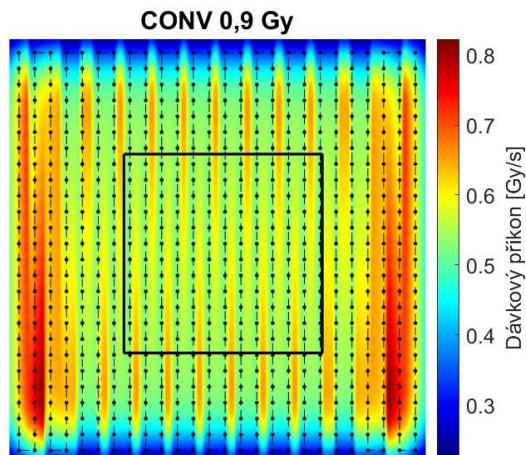
Vpravo: CONV – buňky umístěny ve vyznačené středové oblasti mapy skenované tužkovým svazkem → problém s určením dávkového příkonu

Experiment

- První experiment v Proton Therapy Center Czech s.r.o. (PTC) zaměřený na FLASH (klonogenní test)
- Dva způsoby ozáření za účelem rozdílných příkonů (viz obr)
 - Všechny buňky jedním spotem (FLASH) X buňky v homogenně ozářené mapě (CONV)
- Pro FLASH určení dávkového příkonu jednoduché X CONV
 - V případě CONV způsobu je doba ozáření různých míst odlišná → rozdílné dávkové příkony na různých místech

Tab. FLASH příkony

D [Gy]	t_s [ms]	\dot{D} [Gy/s]
0,3	42	7,143
0,9	126	7,143
1,3	181	7,182
1,7	235	7,184



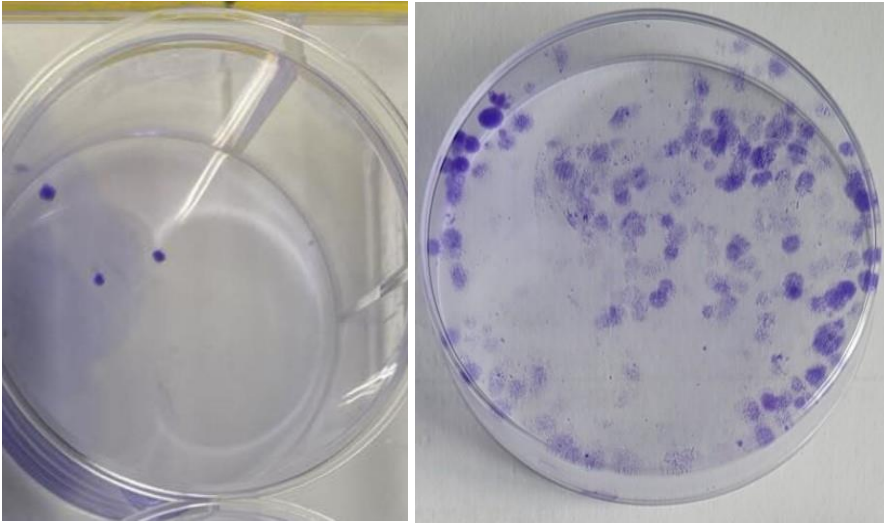
Tab. CONV příkony

D [Gy]	Med(\dot{D}) [Gy/s]
0,3	0,36
0,9	0,55
1,7	0,62
3	0,67

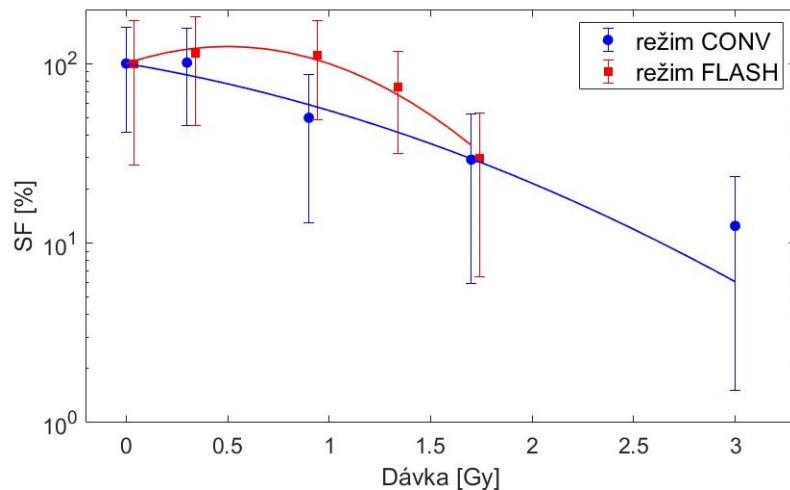
Dosažené dávkové příkony

- Pro FLASH jednoduše vydělením dávky časem ozáření spotu (čas všude stejný...)
- CONV příkony pomocí skriptu v MATLABu
 - Vstupuje dávkový profil spotu, časy a souřadnice jednotlivých spotů, počet MU
 - Výstup je 2D mapa dávkových příkonů (viz prostřední obrázek) → v Tab. uveden medián z oblasti buněk (vyznačený čtverec uprostřed)
- Zjednodušeně lze říci, že pro FLASH bylo dosaženo více než 10x vyšších dávkových příkonů (pro FLASH málo)
- Možnost dosáhnout vyšších příkonů pro FLASH při nastavení vyšší energie??

Výsledky



Vlevo: kolonie z ozařování – malé, buňky nahuštěné X Vpravo: větší méně husté kolonie



- V čase vypracovávání práce se povedlo uskutečnit pouze jedno ozařování
- Přežití buněk (i neozářených) bylo neočekávaně velmi nízké → špatná statistika, potřeba dalších opakování experimentu
- Možné důvody nízkého přežití: neznámá vada média, odchylka buněčné kultury
- V návaznosti otestováno zvláště přežití neozářených buněk → stále poměrně nízké, ale jiný vzhled kolonií (viz obrázky)
- Pravděpodobně došlo ke kombinaci zmíněných příčin (v budoucnu je třeba jim předejít)
- Další experimenty jsou plánovány na podzim a zimu 2024/25

Závěr

- V rámci práce proveden první experiment v PTC, další budou následovat
- Problémy: nízký dávkový příkon a nestandardní chování použitých buněk
- FLASH radioterapie může významně zvýšit kvalitu života mnoha pacientů
- Stále velmi intenzivní výzkum, mechanismy dosud neobjasněny



Při prvním ozařování pacient pozoroval záblesk modrého světla - Čerenkovovo záření

Photon-counting CT– analýza a využití spektrálních dat pro hodnocení kalcifikací

Čeněk David

Vedoucí:

Ing. Lucie Sůkupová, PhD. ¹

Měření ve fantomu

■ PCCT skener **NAEOTOM Alpha**

- Siemens Healthineers

■ Tři akviziční protokoly Typ akvizice

- Calcium Scoring Sekvenční
- Valve Spirální
- TAVI Spirální

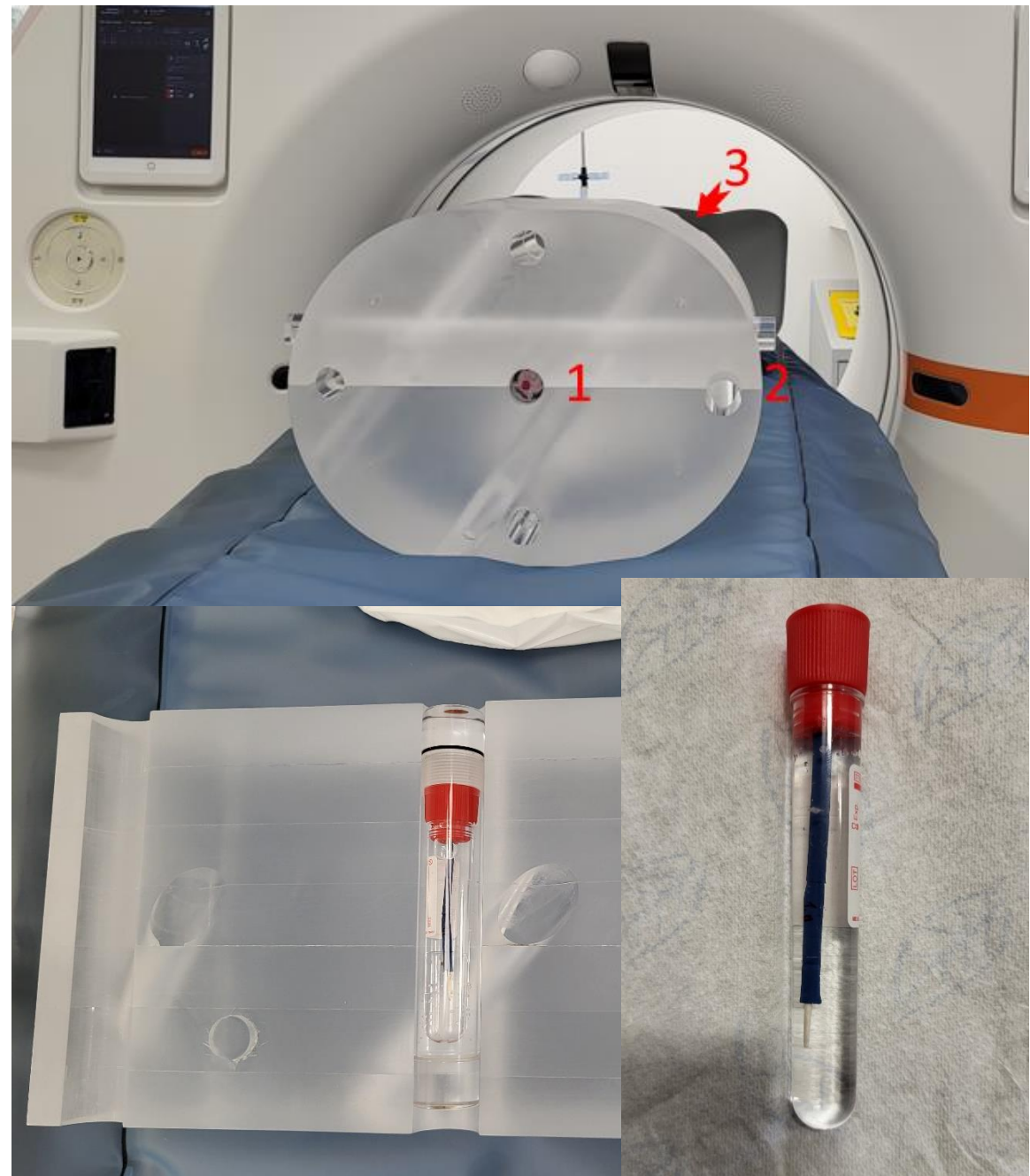
Akviziční protokol	kV	CTDIvol [mGy]	eff. mAs	ref. mAs	pitch faktor
Calcium Scoring	140	5,5	23,8	12	0,816
Valve	120	52,0	59,4	58	0,180
TAVI	90	4,8	148,8	102	3,200

Vybrané materiály

- Kuřecí kost
 - Různé velikosti
- Sádra

Fantom

- PMMA válec s otvory
- Otvory pro vložení zkumavek



Rekonstrukce

■ Rekonstrukční kernel

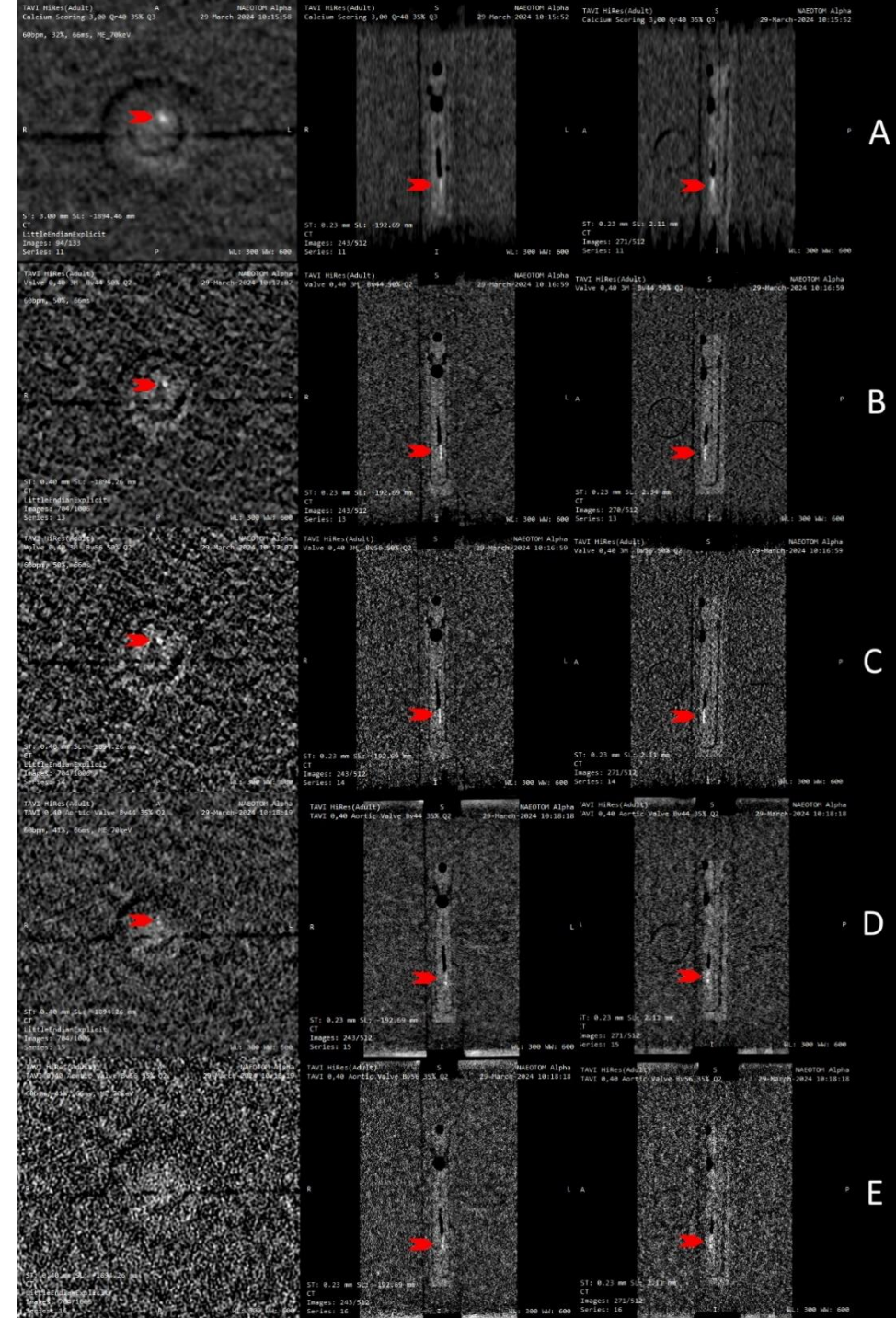
- Qr40
- Bv44 a Bv56

■ = dvě různé ostřičí úrovně

■ Tloušťka rekonstruovaného řezu

- 3 mm
- 0,4 mm

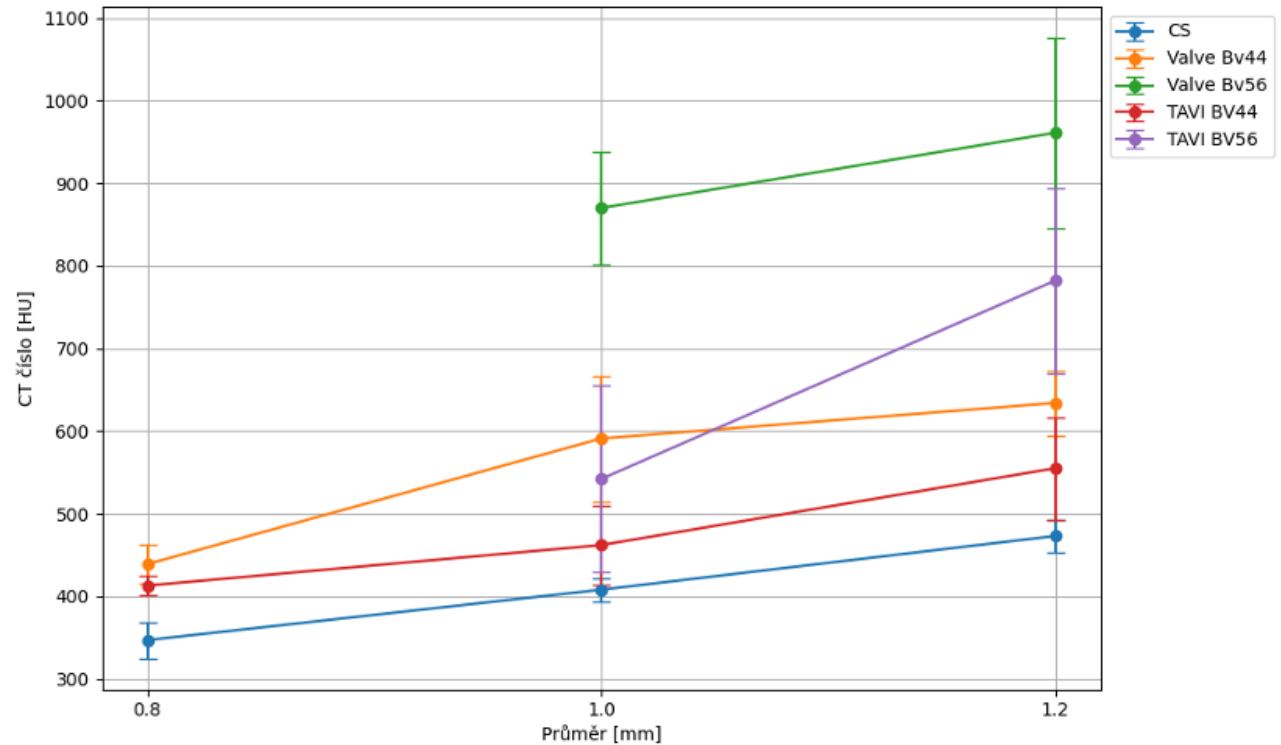
Photon-counting CT– analýza a využití spektrálních dat pro hodnocení...



- A – Calcium Scoring Qr40 (3 mm)
- B – Valve Bv44 (0,4 mm)
- C – Valve Bv56 (0,4 mm)
- D – TAVI Bv44 (0,4 mm)
- E – TAVI Bv56 (0,4 mm)

Porovnání protokolů

- CT čísla
- Velikost kalcifikace
 - Rozdíl průměru válce (kalcifikace) určeného v zobrazovacím softwaru od velikosti změřené posuvným měřidlem vyjádřený v procentech

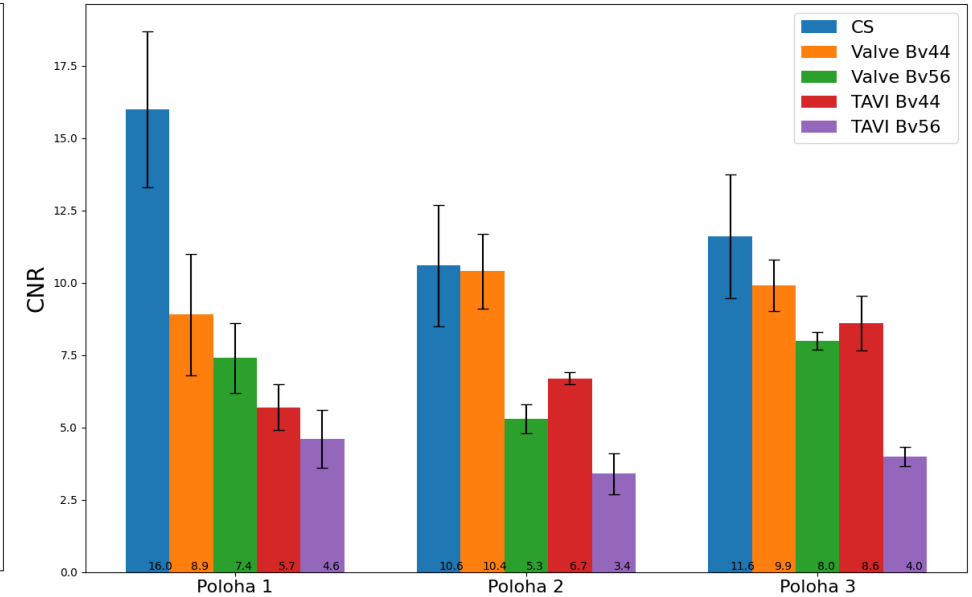
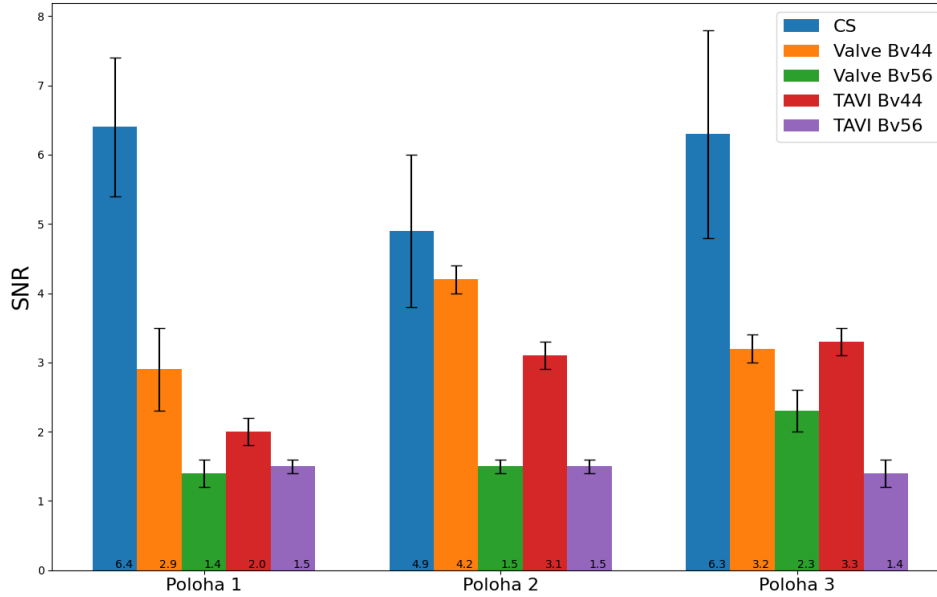


	Odchylka určeného průměru [%]		
	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3
CS	23 ± 5	36 ± 7	53 ± 17
Valve Bv44	15 ± 4	6 ± 6	23 ± 11
Valve Bv56	-6 ± 4	13 ± 10	32 ± 11
TAVI Bv44	15 ± 10	34 ± 21	51 ± 21
TAVI Bv56	-3 ± 11	8 ± 33	29 ± 31

Porovnání protokolů a kernelů (CNR, SNR)

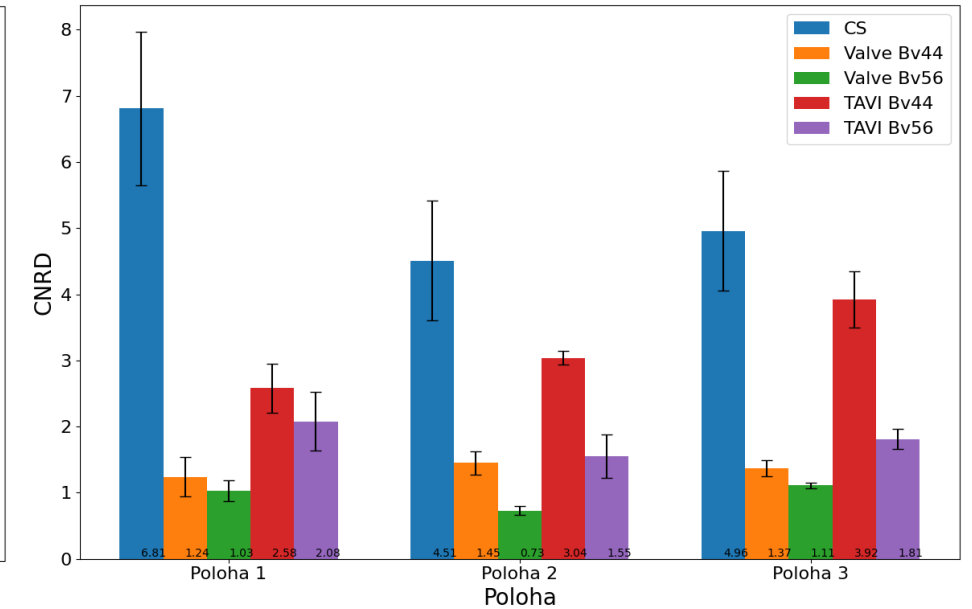
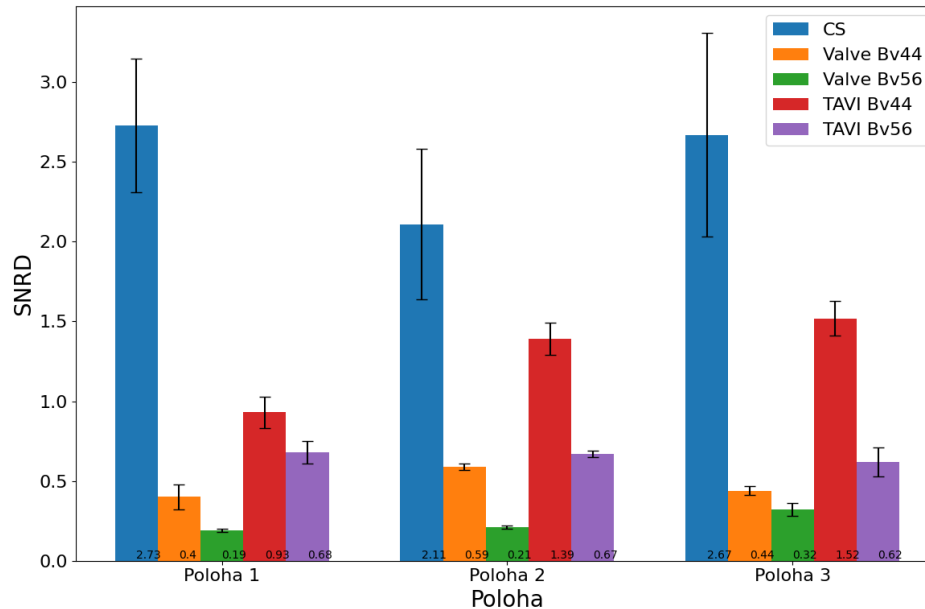
$$\text{SNR} = \frac{\text{HU}_j}{\text{IN}}$$

$$\text{CNR} = \frac{\text{HU}_k - \text{HU}_j}{\text{IN}}$$



$$\text{SNRD} = \frac{\text{SNR}}{\sqrt{\text{CTDI}_{vol}}}$$

$$\text{CNRD} = \frac{\text{CNR}}{\sqrt{\text{CTDI}_{vol}}}$$



Zhodnocení

- **Calcium Scoring (+Qr40)**
 - Nejlepší SNR i CNR
 - Nadhrocování velikosti kalcifikací
- **Valve**
 - Nejpřesnější velikost kalcifikací
 - Nejvyšší dávková zátěž
 - Zobrazení malých kalcifikací téměř ve všech polohách
- **TAVI**
 - Nejnižší dávková zátěž

Rekonstrukční kernely

- **Bv 44**
 - **Vhodnější**
 - Nižší šum – identifikace menších kalcifikací
- **Bv 56**
 - Příliš vysoký šum pro malé kalcifikace

Energy Dispersive Laue Diffraction of nuclear reactor materials by means of pnCCD

As the world strives to reduce its greenhouse gas emissions nuclear power has emerged as one of the leading sources of energy for a cleaner future. 59 nuclear reactors are under construction alongside an additional 47 planned reactors as of December 31st, 2023¹. Within this new nuclear future, the current global reactor fleet must continue to operate safely and efficiently for many more decades to come, through planned lifecycle extension, along with positive development of next generation reactor concepts attempting to improve upon efficiency and power output.

Figure 1: Current Nuclear power reactors in operation 31/12/2023¹

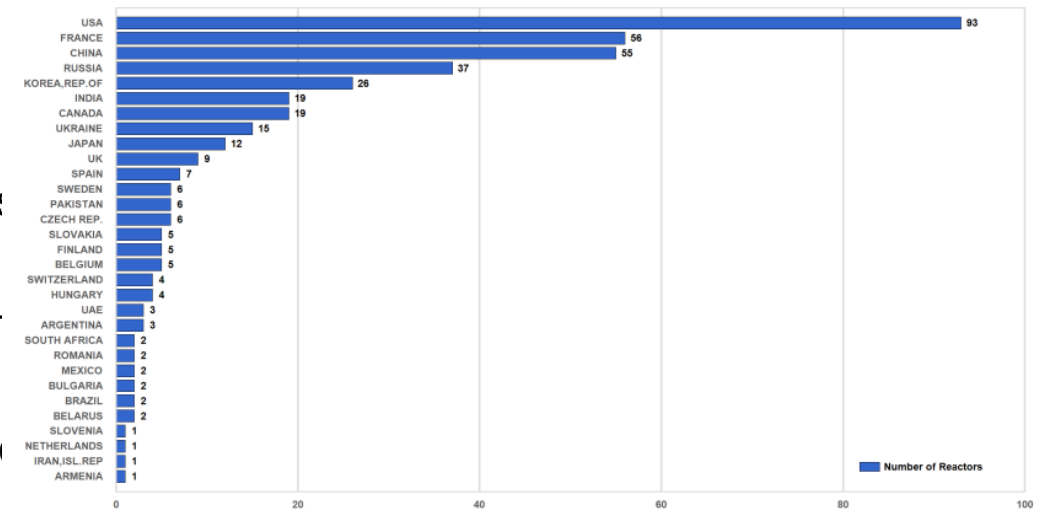
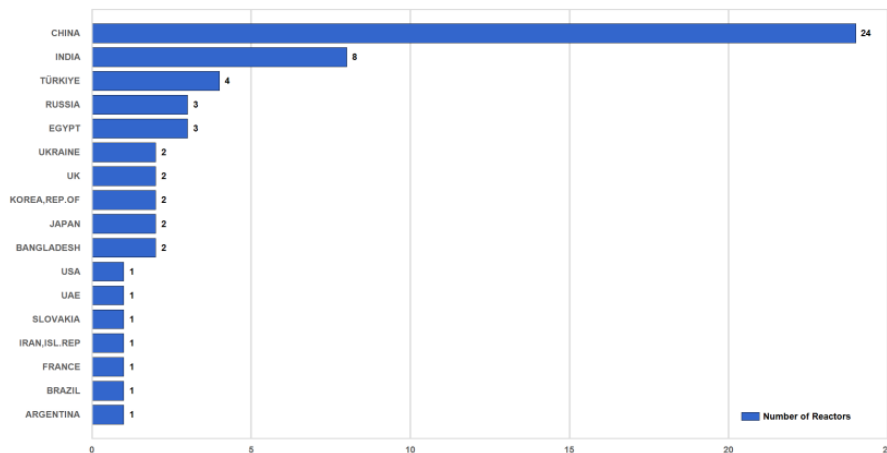


Figure 2: Nuclear power reactors under construction 31/12/2023¹

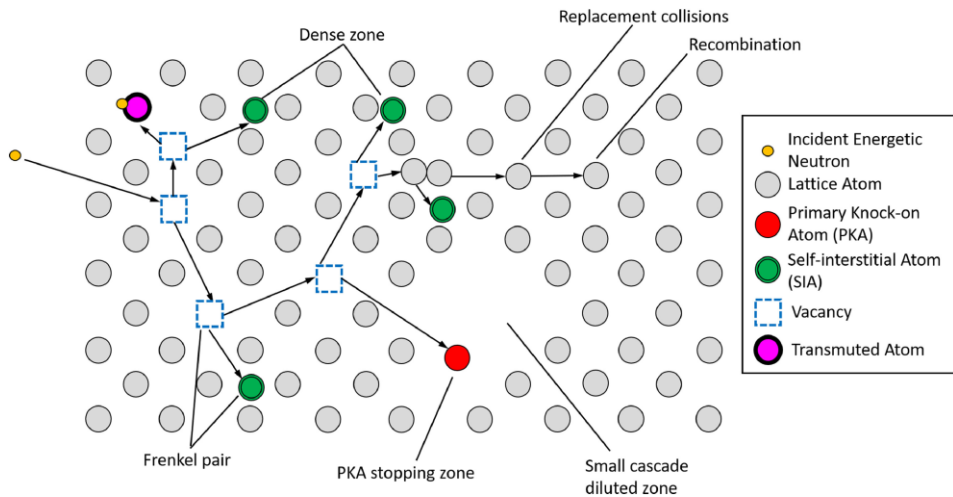


In both cases, the analysis and understanding of material behaviour and performance, under harsh operating conditions, present within a nuclear reactor is imperative. The most difficult damage pathway is that of the large induced radiation field within a reactor. Prolonged irradiation can lead to fundamental changes within materials structures causing unfavourable mechanical properties. All of this begins with damage to the crystal structure of the material.



Energy Dispersive Laue Diffraction of nuclear reactor materials by means of pnCCD

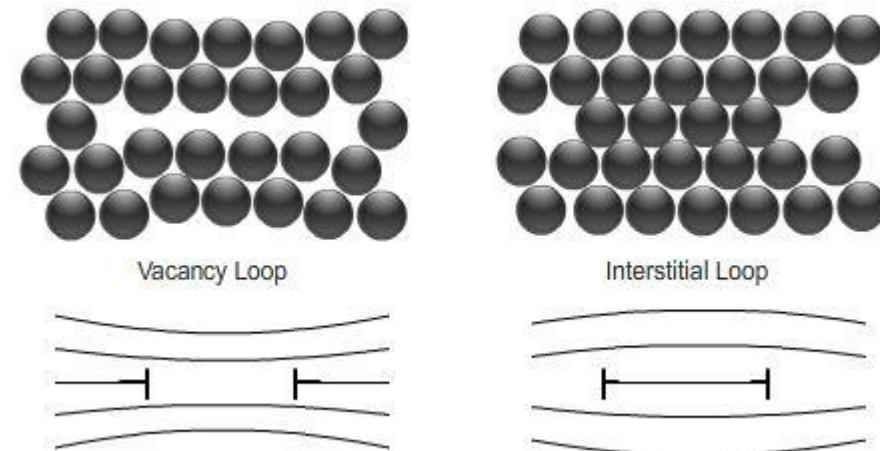
Figure 3: Demonstration of radiation damage pathway from an incident neutron²



The atoms within the crystal structure can be displaced from their original positions. The released atom, known as a primary knock-on atom (PKA), possesses a relatively high kinetic energy and collides with other lattice atoms causing further displacements, known as a damage cascade. Following multiple collisions, the displaced atoms are slowed with many of the atoms relaxing back to their original lattice positions however a portion remain out of position, bringing rise to interstitial atoms and vacancies.

However, the generated interstitial atoms and vacancies can freely migrate to group with other interstitials and vacancies to form dislocation loops and voids, respectively. The creation of such defects within the crystal lattice are what set forth the mechanism for what is known as radiation damage.

Figure 4: Demonstration of dislocation loops and voids following irradiation³



Energy Dispersive Laue Diffraction of nuclear reactor materials by means of pnCCD

The use of two-dimensional energy dispersive (2DED) detector, in our case a pnCCD, can help to provide both the energy and position data simultaneously. This permits Energy Dispersive Laue Diffraction (EDLD) to be employed in the investigation of the Laue spots and correlation their correlation to radiation induced microstructure damage. EDLD has been successfully implemented in quite a few experiments in structure and single crystal mechanics^{5,6,7}.

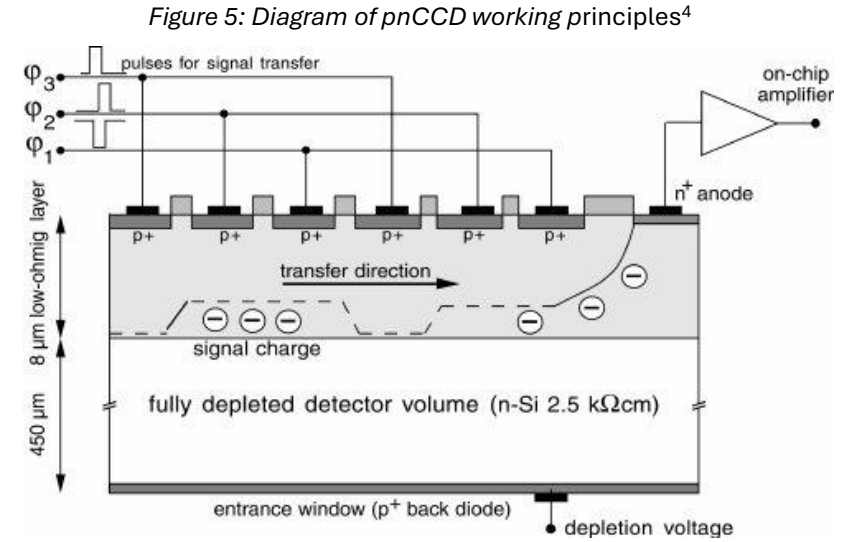
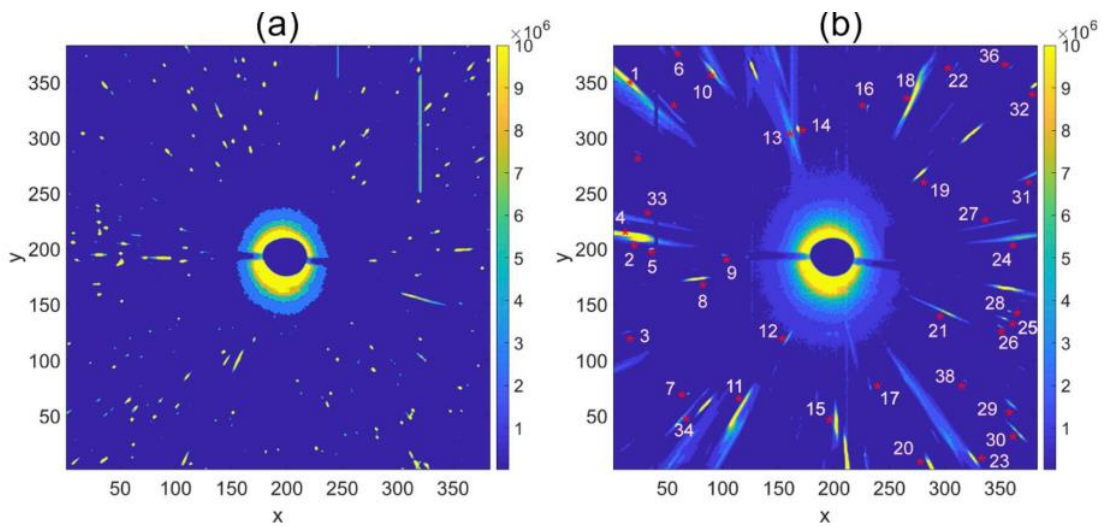


Figure 6: Laue pattern of Ni polycrystal (a) undeformed (b) plastically deformed⁵



Shokr et al.⁵ tested polycrystalline Ni following plastic deformation using EDLD. The figure to the left portrays the obtained Laue pattern of both the undeformed (a) and deformed (b) Ni sample following EDLD. The deformed pattern shows far heavier streaking in the spots meaning changes in the lattice structure have occurred.

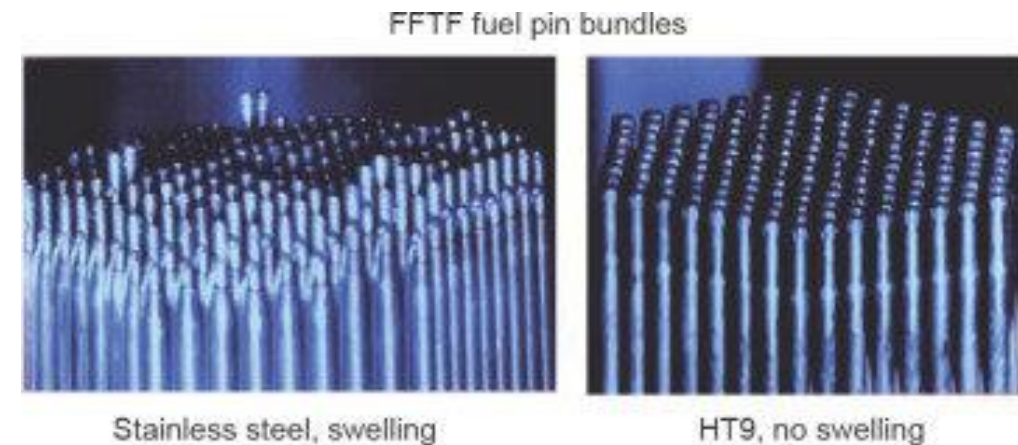


Energy Dispersive Laue Diffraction of nuclear reactor materials by means of pnCCD

The streaking in the Laue spots possess information on the distortion within the lattice structure of the crystal, allowing for greater understanding of the potential failure mechanisms this may cause. As previously discussed, the creation of defects in the lattice structure may lead to radiation damage, the aftermath of which is accompanied by several radiation induced failures:

- Swelling
- Void nucleation,
- Irradiation induced creep,
- Fracture toughness reduction
- Etc.

Figure 7: Swelling of stainless-steel fuel pins following irradiation routine⁹



Comprehension of the failure mechanisms of reactor materials can aid in safety analysis along with testing novel materials for advanced reactor concepts⁸.



Energy Dispersive Laue Diffraction of nuclear reactor materials by means of pnCCD

The objective of this work is to investigate the viability of utilizing EDLD analysis with a pnCCD detector as a novel method of investigating radiation-induced failure mechanisms within nuclear reactor materials. This will be done using a pnCCD Color X-Ray Camera® (CXC) from PNDetector (München, Germany). Substantiating feasibility of the technique would facilitate rapid microstructural analysis of irradiated materials allowing for further investigation of the pertinent radiation defect mechanisms under varying conditions.

Figure 9 : pnCCD Color X-Ray Camera® (CXC) from PNDetector¹⁰



References:

- [1] Nuclear power reactors in the world (44th ed.). (2024). © IAEA. September 4, 2024, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15748-RDS-2-44_web.pdf
- [2] Collette, R., & King, J. (2021). Molecular dynamics simulations of radiation cascade evolution near cellular dislocation structures in additively manufactured stainless steels. *Journal of Nuclear Materials*, 549, 152872. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2021.152872>
- [3] Formation of dislocation loops., interactive illustration. Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science. University of Cambridge. accessed 30 September 2024. https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/nuclear_materials/damage_mechanism2.php
- [4] Ihle, S., et al. (2008). Optical test results of fast pnCCDs. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference*, 3351–3356. <https://doi.org/10.1109/nssmic.2008.4775061>
- [5] Shokr, M., et al. (2019). In situ observations of single grain behavior during plastic deformation in polycrystalline Ni using energy dispersive Laue diffraction. *Materials Science and Engineering A*, 772, 138778. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138778>
- [6] Abboud, A., et al. (2021). VHCF damage in duplex stainless steel revealed by microbeam energy-dispersive X-ray Laue diffraction. *International Journal of Fatigue*, 151, 106358. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106358>
- [7] Abboud, et al. (2014). A new method for polychromatic X-ray μ Laue diffraction on a Cu pillar using an energy-dispersive pn-junction charge-coupled device. *Review of Scientific Instruments*, 85(11). <https://doi.org/10.1063/1.4900482>
- [8] Hosemann, P. (2018). Small-scale mechanical testing on nuclear materials: Bridging the experimental length-scale gap. *Scripta Materialia*, 143, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.04.026>
- [9] Gilleland, J., Petroski, R., & Weaver, K. (2016). The Traveling Wave Reactor: Design and development. *Engineering*, 2(1), 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2016.01.024>
- [10] PNDetector GmbH. 2016. THE pnCCD COLOR X-RAY CAMERA (brochure) https://pndetector.de/fileadmin/user_upload/documents/pdf/flyer/flyer_pnccd_cxc.pdf



Využití deformabilní registrace obrazu pro odhad doručené dávky v radioterapii

Bc. Michaela Jindráková
Ing. Pavel Dvořák PhD, FNO

Proč deformabilní registrace obrazu - DIR?

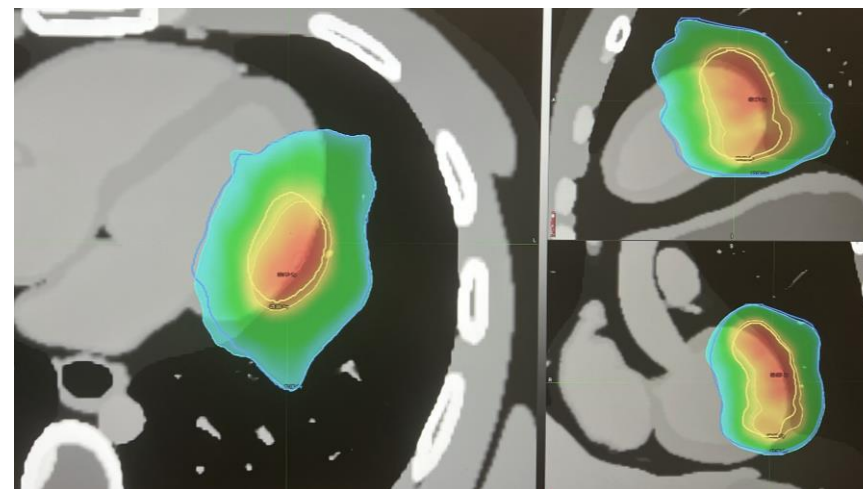
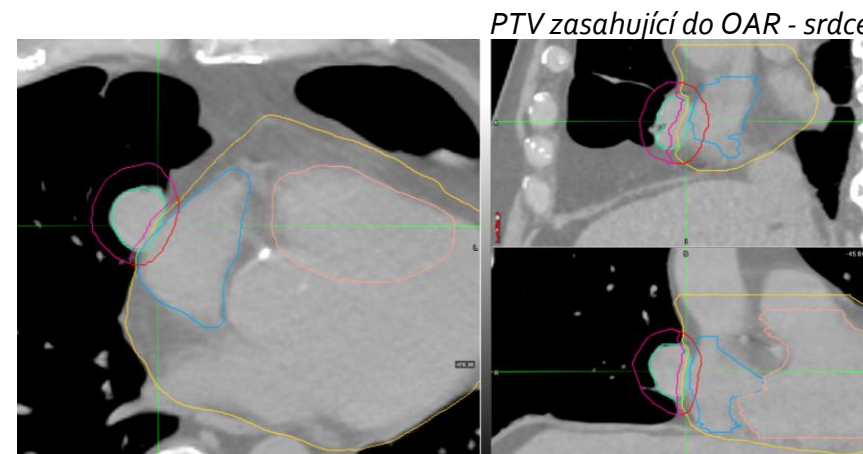
Reiradiace, replan
nebo pohyb PTV/OARs

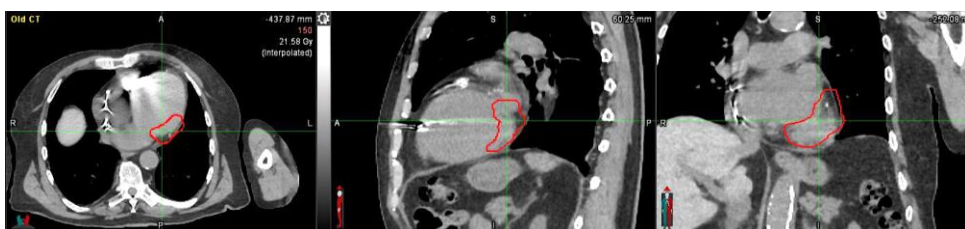
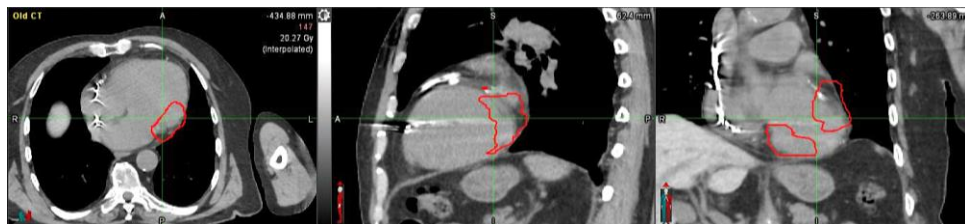
- Sumace dávkových distribucí z více různých ozařovacích plánů v konkrétní oblasti
- Anatomické a fyziologické změny v dané oblasti v čase



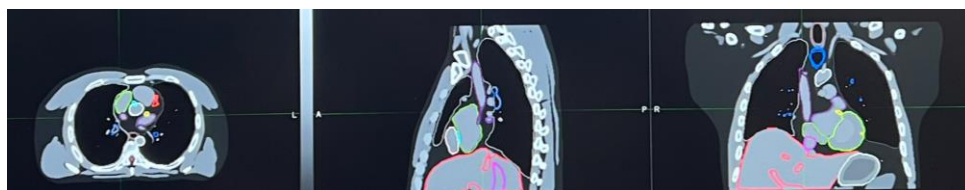
DIR

možnost odhadu akumulované dávky v závislosti na změně v obraze





Reálná patientská data s PTV



Testovací 4D XCAT fantom

STAR

STereotactic Arrhythmia Radioablation

Možná léčba pacientů s recidivující ventrikulární tachykardií po selhání katetrové ablace

Využívá radioterapeutickou modalitu CyberKnife ve FNO

1 frakce, $D \approx 25$ Gy

Tracking na hrot ICD elektrody

problematika deformace geometrie, registrace
(ICD = Implantable Cardioverter-Defibrillator)

Ukázka DIR

MIM 7.2.8

4D XCAT fantom

MultiPlan® TPS
CyberKnife

STAR – ozařovací plán

Phase n. 2 / 4DCT

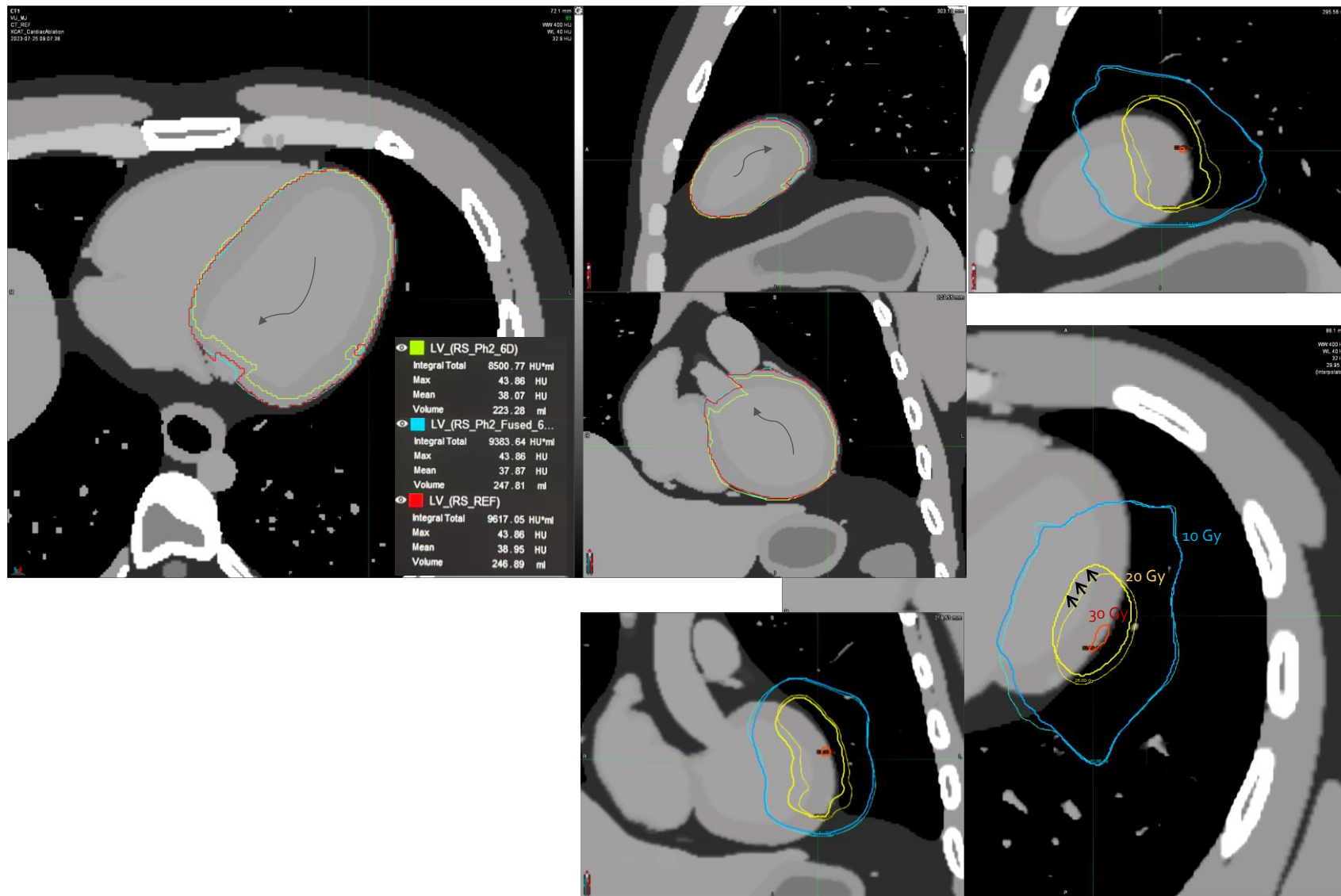
ImageBased DIR

DIR struktury -
LeftVentricle

směr deformace

DIR dávky

kontury z izodóz



- Vypracování přístupu k ověření správnosti DIR
- Zhodnocení validity DIR pomocí 4DCT XCAT fantomu v několika využívaných softwarech (MIM, Slicer3D, Velocity)
- Testování odhadu doručené dávky s využitím DIR na datových vzorcích (STereotactic Arrhythmia Radioablation - STAR)
- Zjištění možného vlivu cizího tělesa na kvalitu registrace obrazu – STAR (ICD)

- Navazující diplomová práce
 - Statistické zpracování dosavadních výsledků
 - Přínos při optimalizaci ozařovacích plánů v klinické praxi
 - ...

Cíle..