

# Studentská konference radiologické fyziky a dozimetrie 2024

Sborník abstraktů

6. - 8. 10. 2024

Vrbice, Česká republika

ČVUT v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,  
Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření

Nemocnice Na Homolce, Oddělení lékařské fyziky



## **Studentská konference radiologické fyziky a dozimetrie 2024**

Editor: Kateřina Pilařová, Tereza Hanušová

Zpracovala: Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze  
Břehová 7, 115 19 Praha 1

Vydáno: Praha, říjen 2024

# Sponzoři

Tato konference byla podpořena grantem ČVUT v Praze:

Studentská konference radiologické fyziky a dozimetrie 2024

SVK 43/24/F4

Děkujeme za podporu všem sponzorům:

Amedis, s. r. o.

Canberra-Packard, s. r. o.

Elekta Services, s. r. o.

Siemens Healthcare, s. r. o.

Stargen EU, s. r. o.

UJP Praha, a. s.

ÚJV Řež, a. s.

VF Černá Hora, a. s.



## myQA<sup>®</sup> iON

Calculate – 3D Measure – Analyze

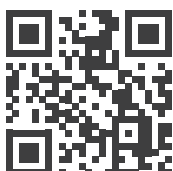


Get more  
information  
here

## MODUS QA

an IBA Dosimetry Company

Modus QA specializes in motion quality assurance devices that enhance the management of patient and tumor motion in clinical practice. These systems allow you to verify treatment planning procedures and provide the best care for your patients.



Get more  
information  
here

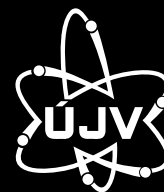



All you need is ...  
**AMEDIS**

- ✓ prodej
- ✓ instalace
- ✓ zaškolení
- ✓ záruční i pozáruční servis

**AMEDIS, spol. s r.o.**  
Bobkova 786/4 • 198 00 Praha 9  
tel: +420 281 918 191  
e-mail: sales@amedis.cz  
[www.amedis.cz](http://www.amedis.cz)

# Radiofarmaka z ÚJV Řež po celé ČR



 PET centra provozovaná  
ÚJV ŘEŽ, a. s.  
• Praha • Brno • Řež

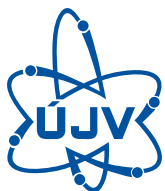
 Pracoviště PET/CT  
(PET/MR)

Pro více informací  
naskenujte QR kód:



Skupina ÚJV, člen Skupiny ČEZ





# ÚJV Řež, a. s. divize RADIOFARMAKA

NAŠI ODBĚRATELÉ

20<sup>+</sup>

PRACOVÍŠŤ  
NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

ROČNÍ PRODUKCE  
NAŠICH RADIOFARMAK

1000<sup>+</sup>

ŠARŽÍ

PRODUKCE  
RADIOFARMAK

45<sup>+</sup>

ROKŮ

PROVOZUJEME

3

PET CENTRA

PRAHA  
BRNO  
ŘEŽ

Divize Radiofarmaka přispívá k hladkému fungování a rozvoji nukleární medicíny v ČR. Zajišťuje spolehlivé, včasné a kvalitní dodávky radiofarmak pro pozitronovou emisní tomografii. Zároveň se věnuje výzkumu, vývoji a rozšiřování škály radiofarmak standardně dostupných českým zdravotnickým zařízením.

### Unikátní pozice na trhu

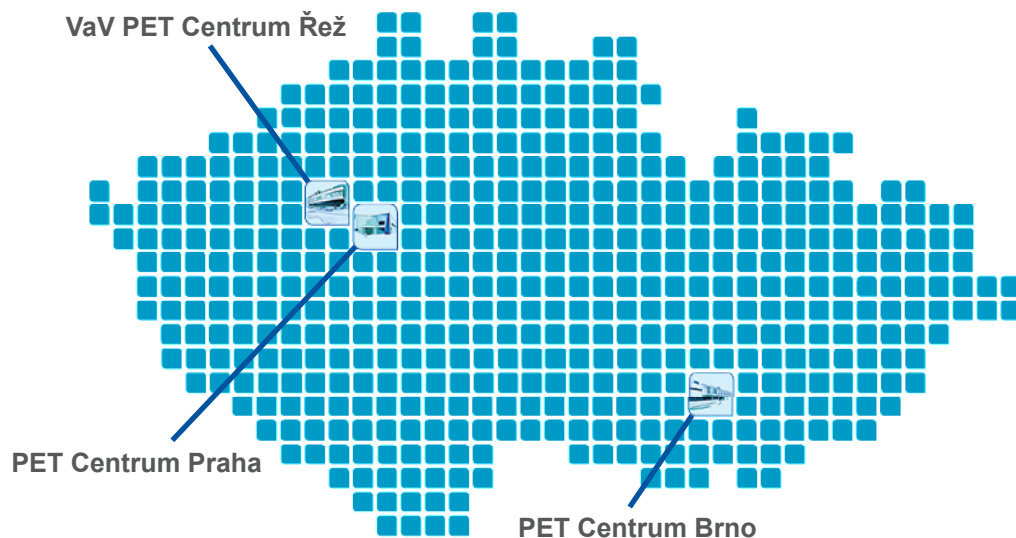
Jsme stabilním dodavatelem radiofarmak pro celou řadu pracovišť nukleární medicíny v ČR i v zahraničí:

- Jako jediní v ČR disponujeme třemi cyklotrony k výrobě pozitronových zářičů.
- Prostřednictvím tří PET center pokrýváme většinu trhu s PET radiofarmaky v ČR.
- Vlastníme jedinečné technické a technologické know-how (čisté prostory, polohorké komory, syntézni moduly, laboratoře kontroly kvality atd.)
- Máme vlastní zázemí pro výzkum a vývoj radiofarmak v PET Centru Řež.
- Na základě bohatých zkušeností s řešením výzkumně-vývojových úkolů nabízíme spolupráci v oblasti výzkumu a vývoje.
- Máme povolení jak k výrobě léčivých přípravků a hodnocených léčivých přípravků, tak i k distribuci radiofarmak.

### Jsme součástí ÚJV Řež, a. s.

ÚJV Řež, a. s., je renomovanou vědecko-výzkumnou a inženýrskou společností. Historie společnosti sahá do roku 1955. Kromě energetiky je další klíčovou oblastí našich aktivit také nukleární medicína.

Společnost se prostřednictvím divize Radiofarmaka přes 45 let věnuje výrobě, kontrole, výzkumu a vývoji radiofarmak.

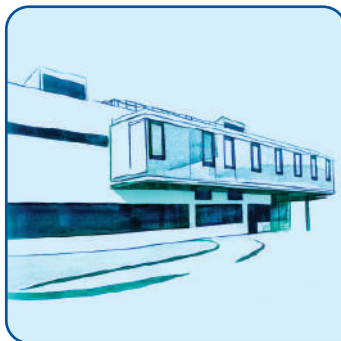




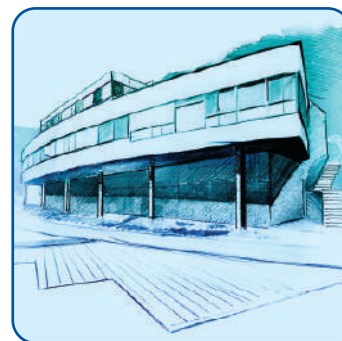
# ÚJV Řež, a. s. divize RADIOFARMAKA



PET Centrum Praha



PET Centrum Brno



VaV PET Centrum Řež

**ÚJV Řež, a. s., divize Radiofarmaka**, provozuje tři nejmodernější PET centra v ČR. Jedno v Nemocnici Na Homolce (PET Centrum Praha), druhé v Masarykově onkologickém ústavu v Brně (PET Centrum Brno) a třetí v Řeži u Prahy (VaV PET Centrum Řež), které kromě rutinní výroby slouží i pro výzkum a vývoj.

### Všechna PET centra ÚJV Řež spojují tyto faktory:

- vzájemná zastupitelnost našich tří pracovišť
- spolehlivost dodávek
- flexibilita při realizaci objednávek i dodávek
- osobní přístup k zákazníkům
- bezproblémová spolupráce na profesionální úrovni

### Kompletní zajištění výstavby PET center

Dlouhodobé a v dané oblasti jedinečné zkušenosti umožňují při výstavbě PET center zajišťovat zejména:

- poradenství při zavádění farmaceutických výrobních zařízení
- tvorbu kompletní projektové dokumentace (stavební i technologické)
- výběr vhodných dodavatelů
- přejímací testy, uvedení do provozu
- získání potřebných oprávnění a certifikátů pro provoz
- komplexní systém školení pro obsluhu zařízení PET

### ÚJV Řež, a. s.

Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec  
tel.: +420 266 172 178, e-mail: radiopharm@ujv.cz

[www.ujv.cz](http://www.ujv.cz)



# Modelový popis protónových zväzkov cyklotronu U-120M

Adamčík D.<sup>1</sup>, Kunderát P.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.*

Práca sa venuje problematike tvorby Monte Carlo modelu v transportnom kóde PHITS na popis protónových zväzkov cyklotronu U-120M. Hlavným cieľom tejto práce bolo vypracovať zjednodušený model protónových zväzkov cyklotronu U-120M pre vybraný urýchľovací režim a experimentálny setup. Podieľal som sa na experimente výskumného tímu doc. Ing. Carlosa Granjy Ph.D. a Ing. Dušana Poklopa na cyklotrone U-120M, v ktorom bol použitý detektor MiniPIX TPX3, ktorý zaznamenával častice primárneho zväzku cyklotronu rozptýlené na tantalovej fólii (konečný cieľ experimentu je vyvinúť nový spôsob nepriamej online dozimetrie). Podľa tohto experimentu bol vypracovaný Monte Carlo model s pomocou transportného kódu PHITS. Následné výsledky z experimentálneho merania a z modelu boli porovnané, bola zhodnotená vhodnosť používania tohto modelu.

Kľúčové slová: Monte Carlo model, protónový zväzok, PHITS



# Stínění zdrojů ionizujícího záření v radioterapii: Cyberknife

Bártek V., Dvořák P.

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

Předmětem e-posteru je stínění ozařoven v radioterapii se zaměřením na robotický systém Cyberknife. Základem je zhodnocení rozdílů v konstrukci ozařoven mezi konvenčními lineárními urychlovači a Cyberknife na základě doporučení mezinárodních organizací a doporučení výrobce, a především vliv různých faktorů na návrh výsledného stínění. Dále je provedeno srovnání očekávaných hodnot příkonu operační veličiny za použití empirických výpočtů a hodnot naměřených během radiačního průzkumu. Zároveň je uvedena ukázka rozdílných referenčních hodnot z naměřených hodnot okamžitého příkonu operační veličiny za použití parametrů jako směrový faktor či faktor přítomnosti tak, aby bylo možné referenční hodnoty srovnat s nastavenou dávkovou optimalizační mezí a určit tak adekvátnost stínění.

# Srovnání detektorů pro měření faktorů velikosti pole v malých polích

Blahníková N.<sup>1</sup>, Hanušová T.<sup>1,2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Fakultní Thomayerova nemocnice*

V posledních letech se rozvinulo používání nových technik v radioterapii využívajících malá pole, jejichž dozimetrií se zabývá doporučení IAEA TRS 483. Ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze byla na lineárním urychlovači od firmy Varian měřena beam data v čtvercových i obdélníkových malých polích pro zavedení stereotaxe. K měření byly použity ionizační komory PinPoint 3D PTW T31022 a IBA Razor Nano Chamber, dále pak scintilační detektor Exradin W1. Ionizační komora IBA Razor Nano Chamber, která je doporučovaná pro měření v malých polích, má nejmenší citlivý objem na trhu. Aby se komora dala používat pro výpočet dávky v malých polích, je třeba stanovit faktory velikosti pole a z nich následně porovnáním s referenčním detektorem Exradin W1 určit korekční faktory pro měření faktorů velikosti pole. Pro čtvercová pole byly proměřeny saturační a polaritní koeficienty komory IBA Razor Nano Chamber i komory PinPoint 3D PTW T31022. Pro obě komory byla také zkoumána závislost faktoru velikosti pole na směru (inline a crossline) nastavení komory a collimator-exchange efekt.

# Radiobiologická účinnost ozařování v režimu FLASH

Brázda P.<sup>1</sup>, Bláha P.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 ELI Beamlines ERIC*

Radioterapie je jedním z hlavních způsobů léčby rakoviny. Proto by jakékoliv zlepšení její účinnosti mělo vliv na velkou část populace. Současné experimentální výsledky ukazují, že ozáření ultra vysokými dávkovými příkony (UHDR) vede k šetření zdravých tkání za zachování stejných protinádorových účinků. Tato takzvaná FLASH radioterapie by tak mohla mít potenciál významně zvýšit kvalitu života mnoha onkologických pacientů nejen snížením závažnosti nežádoucích efektů radioterapie, ale i například snížením počtu frakcí potřebných pro úspěšnou léčbu. V rámci práce byly shrnuty současné poznatky ohledně radiobiologické účinnosti ozařování v režimu FLASH na normální a nádorové tkáně. Následně byl proveden první experiment za účelem ověření možnosti zkoumání této nové modality v Proton Therapy Center Czech s.r.o. (PTC). Experiment byl ve formě klonogenního testu za užití lidské nádorové buněčné kultury A549. Při experimentu bylo odhaleno několik problémů a následně bylo navrženo, jak těmto problémům v budoucích experimentech předejít.

# Radiační zátěž na oddělení nukleární medicíny: Moc nebo málo?

Burešová S., Prchalová D.

*Samostatné oddělení lékařské fyziky – úsek nukleární medicíny,  
Klinika nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a Fakultní nemocnice v Motole*

Na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol byla provedena retrospektivní analýza radiační zátěže personálu za účelem zhodnocení aktuální situace a posouzení vlivu zavedení terapie radiofarmaky značenými  $^{177}\text{Lu}$ . K hodnocení byla využita data osobní dozimetrie zajišťované firmou VF, a. s., zahrnující osobní OSL dozimetry pro stanovení efektivní dávky a TLD prstýnkové dozimetry pro stanovení dávkového ekvivalentu na končetiny, s měsíčním vyhodnocováním.

Vyhodnocení dat bylo provedeno za období 2018 až 2023, zahrnující tři roky před a tři roky po zavedení terapie  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE. Pro každou profesní skupinu byl stanoven roční průměr efektivní dávky a dávkového ekvivalentu na základě údajů od všech pracovníků. Hodnoty efektivní dávky nad 0,5 mSv ročně byly zaznamenány u personálu aplikujícího diagnostická radiofarmaka (0,9 mSv), jodové kapsle (2,1 mSv) a  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE a  $^{131}\text{I}$ -mIBG (0,6 mSv).

U personálu aplikujícího jodové kapsle nebyla během tohoto období pozorována žádná změna. U personálu aplikujícího diagnostická radiofarmaka byl pozorován nárůst efektivní dávky a dávkového ekvivalentu, pravděpodobně v důsledku obměny personálu.

U radiofarmaceutů, kteří se podílejí na aplikaci  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE a od roku 2020 také na aplikaci  $^{131}\text{I}$ -mIBG, byl zaznamenán pokles dávkového ekvivalentu, ale zároveň nárůst efektivní dávky. Pro ověření statistické významnosti tohoto nárůstu byl proveden Studentův T-test. Na hladině významnosti 5 % byla zamítnuta nulová hypotéza, že efektivní dávka před a po zavedení léčby  $^{177}\text{Lu}$  je shodná, ve prospěch alternativní hypotézy, že se dávky liší.

Radiační zátěž personálu na klinice je nízká ve srovnání se zákonem stanoveným limitem efektivní dávky pro radiační pracovníky (20 mSv). I přesto jsou snahy o optimalizaci a sledování vývoje na pracovišti vhodné a žádoucí. V současné době je pozornost zaměřena na nárůst efektivní dávky u radiofarmaceutů. Budoucím cílem je zavedení doplňkové osobní dozimetrie specificky zaměřené na terapii  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE a  $^{131}\text{I}$ -mIBG, zejména s ohledem na plánované zavedení léčby  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA.

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

David Č.<sup>1</sup>, Súkupová L.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Institut klinické a experimentální medicíny*

Tato práce se zabývá využitím photon-counting CT pro hodnocení kalcifikací se zaměřením na to, jak různé akviziční a rekonstrukční parametry ovlivňují kvalitu obrazu. Konvenční CT systémy s detektory integrujícími energii mají často problémy s rozlišením materiálů s podobným zeslabením, jako jsou kalcifikace a jodové kontrastní látky, zejména při kardiovaskulárním zobrazování. Photon-counting CT tato omezení překonává využitím photon-counting detektorů, které díky spektrální informaci umožňuje lépe rozlišit materiály. Experimentální část zahrnovala skenování fantomů se simulovanými kalcifikacemi pomocí různých akvizičních protokolů. Různé akviziční protokoly a rekonstrukční kernely byly posouzeny na základě jejich přínosu pro hodnocení kalcifikací.

# Současné trendy v 3D dozimetrii

Despotović M., Pilařová K.

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

V posledních 30 letech došlo v oblasti radioterapie k velkému rozvoji. S moderními technologiemi vyvstala potřeba efektivnějšího, rychlejšího a přesnějšího měření a ověřování dávkových distribucí v radioterapii. Od objevu radiochromního Frickeho gelového dozimetru vedl náhlý rozvoj gelové dozimetrie směrem k výrobě a testování mnoha polymerních gelů s různými modifikacemi a vyhodnocovací technikami (od MRI, CT až po CBCT techniky). Kromě gelové dozimetrie se vyvíjí mnoho dalších 3D dozimetrických technik, jednou z nich je i Čerenkovova dozimetrie realizovaná pomocí polarizovaných snímků. Tento příspěvek představí nejnovější výzkumy související s vývojem vícefázových a bifunkčních polymerových gelových dozimetrů a také současný vývoj Čerenkovovy dozimetrie a využití 3D tisku pro výrobu antropomorfního dozimetru.

**Klíčová slova:** Multifázový a bifunkční gelový dozimetr, Čerenkovova dozimetrie, 3D tisk

# Vliv přítomnosti kovových implantátů na proces radioterapie

Dlouhý J., Dvořák P.

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

Práce se zabývá vlivem přítomnosti cizích těles, jako jsou kovové implantáty, na plánování radioterapie. Přítomnost kovů vnáší do plánování komplikace v důsledku zhoršení kvality (artefakty nebo falešné hodnoty Hounsfieldových jednotek (HU)) snímků výpočetní tomografie (CT), což může vést k nepřesnostem při konturování, výpočtu dávky nebo optimalizaci plánu. Práce zkoumá různé strategie, jak tyto efekty zmírnit, včetně použití algoritmů pro redukci kovových artefaktů (MAR), upravování hustot a geometrických omezení při plánování. Součástí výzkumu je také hodnocení parametrů akvizice CT, rekonstrukčních technik a jejich vlivu na hodnoty HU. Dále analýza porovnává různé algoritmy pro výpočet dávky s cílem posoudit jejich správnost v přítomnosti kovů, a to prostřednictvím experimentálních měření a Monte Carlo simulací. Výsledky naznačují, že i přes aplikaci pokročilých technik zůstávají některé aspekty nevyřešené a je tedy nutné v daných případech v klinickém prostředí dbát zvýšené opatrnosti.

# Stanovení lineárního přenosu energie v protonových svazcích pomocí gafchromických filmů EBT3

Dufek V.<sup>1</sup>, Badraoui Čuprová K.<sup>2</sup>, Slezáková M.<sup>1</sup>, Kotík L.<sup>1</sup>

*1 Státní ústav radiční ochrany, v. v. i.*

*2 Proton Therapy Center Czech, s. r. o.*

Ve studiích zabývajících se protonovou radioterapií se v poslední době věnuje hodně pozornosti lineárnímu přenosu energie (LET) a možnostech jeho využití pro optimalizaci ozařovacích plánů. Protonové svazky se vyznačují zvýšeným LET (a tedy zvýšenou radiobiologickou účinností) na jejich konci. Pomocí LET je možné ozařovací plány optimalizovat např. vhodným uspořádáním ozařovacích úhlů tak, aby se v kritických orgánech nenacházely oblasti s vysokým LET. Oblasti s vysokým LET je namísto toho vhodné mít v cílovém objemu. LET již sice umějí počítat některé plánovací systémy, ale správnost těchto výpočtů je třeba ověřit, nejlépe různými detektory.

Cílem práce bylo zhodnotit, zda lze samovyvolávací gafchromické filmy EBT3 (Ashland, Inc.) využít pro stanovení lineárního přenosu energie v klinických protonových svazcích.

EBT3 filmy díky tzv. quenching efektu mohou v protonových svazcích podhodnocovat naměřenou dávkovou distribuci. Naším cílem bylo experimentálně stanovit vztah mezi tímto podhodnocením dávky a lineárním přenosem energie (dávkově průměrovaným)  $LET_d$  a využít tento vztah právě ke stanovení  $LET_d$ . Za tímto účelem byly v PTC Praha filmy EBT3 ozářeny ve vodě-ekvivalentním RW3 fantomu (v různých hloubkách, především v oblasti Braggova píku) monoenergetickým 130 MeV protonovým svazkem. Filmy byly umístěny kolmo k protonovému svazku 10 cm x 10 cm. Pomocí již dříve provedené dávkové kalibrace filmů (ve fotonovém svazku lineárního urychlovače, kde nedochází k podhodnocení dávky filmy) se odezva filmů převedla na naměřené absorbované dávky. Tyto naměřené dávky ( $D_{film}$ ) se poté porovnály s absorbovanými dávkami spočtenými pomocí Monte Carlo simulace v prostředí GATE v8 ( $D_{MC}$ ) a stanovilo se tak podhodnocení dávky  $U$  ( $U = D_{film}/D_{MC}$ ). Pomocí Monte Carlo simulace se ještě stanovily hodnoty  $LET_d$  v odpovídajících pozicích filmů. Výsledky ukazují, že závislost podhodnocení dávky  $U$  na  $LET_d$  lze aproximovat lineární funkcí  $U = 1,010 - 0,025 \mu\text{m}/\text{keV} * LET_d$ . Experimentálně zjištěné podhodnocení dávky filmy tak lze využít ke stanovení  $LET_d$ .

V přednášce budou dále uvedeny výsledky porovnávacího měření uskutečněného skupinou EURADOS v Danish Centre for Particle Therapy (DCPT) v Aarhusu, kde byly filmy spolu s dalšími detektory použity ke stanovení  $LET_d$  ve čtyřech různých pozicích v protonovém svazku (oblast plata, střed SOBP,  $d_{95}$  a  $d_{75}$ ).



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

Gvozdic A., Novotný P., Trojek T.

*Department of Dosimetry and Application of Ionizing Radiation, Czech Technical University in Prague*

As the world strives to reduce its greenhouse gas emissions nuclear power is having a resurgence: 59 nuclear reactors are under construction alongside an additional 47 planned reactors, as of December 31<sup>st</sup> 2023. Nonetheless the maintenance of the current global reactor fleet along with further development of advanced reactor concepts must be managed. In all cases the analysis of material behaviour under irradiation in addition to developing new materials is imminent for a prosperous nuclear future.

Materials used in nuclear reactors undergo significant effects from the induced radiation field. Under such conditions atoms within the crystal structure can be displaced from their original positions. The released atom possesses a relatively high kinetic energy and collides with other lattice atoms causing further displacements. 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, with these defects setting forth the mechanism for what is known as radiation damage. The aftermath of such an event is accompanied by several radiation induced failures: swelling, void nucleation, irradiation induced creep, fracture toughness reduction to name a few. Comprehending the failure mechanisms of reactor materials can aid in safety analysis in addition to testing novel materials for advanced reactor concepts. Thus, it is imperative the microstructure and their resultant radiation induced defects be researched.

Diffraction analysis as a means of delineating the microstructure of a material along with its accompanying defects has been proven as an effective method over the last century. X-ray diffraction and imaging can provide unique opportunities in analysis of polycrystalline microstructure of materials. However, the use of two-dimensional energy insensitive detectors, found in conventional x-ray diffraction machines, are not able to yield the individual Bragg peak energies which are crucial for the synchronous ascertainment of the crystallographic structure, grain orientation and strain components. Consequently, the use of a two-dimensional energy dispersive (2DED) detector, in our case a pnCCD, can resolve this issue through providing both the energy and position data simultaneously. As a result, Energy Dispersive Laue Diffraction (EDLD) can be implemented into the sample analysis methodology to aid in calculation of the crystallographic unit cell within an externally defined coordinate system leading to a fully indexed Laue pattern of the sample material.

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. 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.

# Verifikace stereotaktických plánů pomocí systémů OCTAVIUS 1500 a OCTAVIUS 1000 SRS

Hanušová T.<sup>1,2</sup>, David M.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Fakultní Thomayerova nemocnice*

Při zavádění stereotaktické radioterapie na Onkologické klinice 1. LF UK a Thomayerovy nemocnice jsme pro ověření beam modelu použili několik alternativních dozimetrických systémů. Příspěvek se zabývá konkrétně výsledky předléčebné verifikace klinických plánů pomocí systému OCTAVIUS 4D od firmy PTW Freiburg. Jedná se o válcový rotační fantom, který se synchronizuje s pohyby gantry za pomoci inklinometru. Do fantomu lze vložit různé typy 2D detektorů (polí ionizačních komor), které jsou díky rotaci fantomu během měření vždy v poloze kolmé ke svazku. Měření je zpracováno v softwaru VeriSoft, kam jsou vložena beam data potřebná pro výpočet dávkové distribuce v celém 3D prostoru, konkrétně sada hloubkových dávkových křivek pro různé velikosti polí a pro SSD odpovídající konkrétní geometrii fantomu a energii.

Na našem pracovišti je pro běžné plány používáno pole detektorů OCTAVIUS 1500, kde jsou jednotlivé ionizační komory vzdáleny 7,1 cm od sebe na ploše 27 x 27 cm<sup>2</sup>. Pro stereotaktické plány je určeno pole OCTAVIUS 1000 SRS, kde jsou komory vzdálené 2,5 mm od sebe (v centrální oblasti; 5 mm na periférii) a pokrývají plochu 12 x 12 cm<sup>2</sup>. Počáteční měření s tímto detektorem a konfigurací fantomu v SSD 92 cm nedávala uspokojivé výsledky. Gama skóre bylo nižší než při měření s detektorem OCTAVIUS 1500 a konfigurací fantomu v SSD 85 cm a nepřijatelně nízké pro klinické účely.

Příspěvek popisuje sadu kroků týkajících se kalibrace detektoru a nastavení jednotlivých parametrů systému, které vedly ke zlepšení shody mezi měřenou a předpovězenou dávkovou distribucí a k uspokojivým hodnotám gama skóre pro detektor OCTAVIUS 1000 SRS. Oproti doporučení výrobce byla pozměněna elektronová hustota fantomu a kalibrace je nově prováděna pomocí rotačního pole o velikosti podobné měřeným klinickým polím.

# Difuzně vážené MRI obrazy jako prediktor radiačně indukované toxicity u pacientů s nádory hlavy a krku léčených radioterapií

Holubcová B.<sup>1</sup>, Grepl J.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Klinika onkologie a radioterapie, Fakultní nemocnice Hradec Králové*

Radioterapie je klíčovou součástí léčby nádorů hlavy a krku, avšak často vede k rozvoji radiačně indukované toxicity, včetně xerostomie. Tato práce se zaměřuje na sestavení metodiky pro náběr a hodnocení difuzně vážených (DWI) MRI obrazů slinných žláz jako možného prediktoru radiačně indukované xerostomie u pacientů s nádory hlavy a krku. Cílem je posoudit, zda změny zdánlivě difuzního koeficientu (ADC) během léčby a po ní korelují se stupněm xerostomie.

V rámci této studie již bylo započato skenování prvních pacientů ve čtyřech časových bodech: před začátkem radioterapie (RT), během třetího týdne RT, bezprostředně po ukončení RT a v post-RT fázi (3–6 měsíců od ukončení). V jednotlivých fázích bylo provedeno DWI zobrazování slinných žláz ve stimulovaném i nestimulovaném stavu, přičemž byly získány ADC mapy, které byly následně fúzovány s T2 váženými (T2W) obrazy pro detailní analýzu. Současně byla hodnocena xerostomie na základě dotazníku pro zjištění subjektivního vnímání obtíží pacienty a lékařského hodnocení.

Cílem této metodiky je poskytnout základ pro budoucí výzkum, který by mohl vést k využití DWI MRI jako neinvazivního nástroje pro predikci rizika radiačně indukované toxicity a tím přispět k personalizaci radioterapie.

# Multi-scale approach for the estimation of the DNA damage along the carbon-ion beam path

Huang Ch.<sup>1,2</sup>, Tsai H.<sup>2</sup>

*1 Department of Dosimetry and Application of Ionizing Radiation, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic*

*2 Institute of Nuclear Engineering and Science, National Tsing Hua University, Taiwan*

This study aims to estimate the initial DNA damage induced by 290 MeV/u carbon-ion beams using a multi-scale approach, and to compare the results with the  $\gamma$ -H2AX assay data from Buglewicz et al. At the macroscopic level, the interaction between carbon ions and matter was simulated to determine the beam's characteristics along its path using TOPAS. At the cellular level, the number of double-strand breaks (DSBs) was estimated by combining the DSB yield from the PARTRAC analytical formula with the specific energy distribution from TOPAS-nbio simulations, and the estimations were compared to experimentally observed foci counts.

The estimations align well with experimental data in the plateau region. However, near the Bragg peak, the estimations predicted higher DSB values than observed experimentally, likely due to increased linear energy transfer (LET) resulting in a higher density of DSBs, with some foci containing multiple DSBs. Conversely, in the tail region, experimental data show more DSBs than estimations, possibly because most cells receive low specific energy, leading to zero DSBs, while a few cells with higher specific energy exhibit significant damage. As experimental data account only for cells with foci, they may appear higher compared to estimations that average over whole cell population.

This study introduces a comprehensive multi-scale approach for predicting DNA damage along the entire path of carbon ions, addressing a key gap in current research. Previous studies have often lacked a full-range estimation of DNA damage across the beam path or a detailed comparison with experimental data. Future work should explore the effects of DSB density and the stochastic nature of damage formation to further refine these predictions.

Keywords: DNA damage simulation, Multi-scale approach, Microdosimetry, Carbon ion beam

## Možnosti 2D dozimetrie na CyberKnife

Jakubcová I., Veselský T.

*Ústav radiační terapie, Ústřední vojenská nemocnice*

CyberKnife je radioterapeutický ozařovač pohybující se na robotickém rameni, který je primárně navržen pro stereotaktickou radioterapii intrakraniálních i extrakraniálních lézí. Jedná se o specifickou technologii, která ve srovnání se standardními lineárními urychlovači vyžaduje odlišný přístup jak při plánování léčby, tak při provádění kontrol kvality (QA) přístroje.

Zařízení nedisponuje systémem portálové dozimetrie, proto se v Ústavu radiační terapie ÚVN rutinně využívají gafchromické filmy a 2D detektorové pole. Konkrétně se jedná o speciálně střížené filmy Gafchromic typu EBT3 (Ashland) a 2D detektorové pole SRS MapCHECK (SunNuclear). V rámci krátkodobé zápůjčky, kterou nám laskavě zajistila firma Amedis ve spolupráci s výrobcem, jsme řadu testů provedli i se zařízením myQA SRS od IBA Dosimetry. Každý z těchto detekčních systémů má své přednosti i omezení, která jsou daná nejen vlastnostmi samotných detekčních systémů, ale další výzvy se objevují právě ve spojení se CyberKnife.

V příspěvku stručně představíme spektrum QA testů na CyberKnife, jejichž součástí je 2D dozimetrie. Dále uvedeme, jaká technická řešení jsou k dispozici a jakým konkrétním způsobem k nastíněným výzvám přistupují výrobci zařízení, se kterými máme na pracovišti praktickou zkušenost.

# Využití deformabilní registrace obrazu pro odhad doručené dávky v radioterapii

Jindráková M.<sup>1,2,3</sup>, Dvořák P.<sup>1</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Ústřední vojenská nemocnice Praha*

*3 Všeobecná fakultní nemocnice v Praze*

Tato práce se zabývá využitím deformabilní registrace obrazu (DIR) pro odhad doručené dávky v radioterapii, s důrazem na její klinické aplikace. Hlavní pozornost je věnována reiradiacím a komplexním ozařovacím plánům, které je nutné upravit kvůli anatomickým změnám v ozařované oblasti. Práce zkoumá různé přístupy k rekonstrukci doručené dávky ve dvou hlavních radioterapeutických modalitách: lineární urychlovač s C-ramenem a CBCT technologií a systém CyberKnife.

Klíčovou součástí studie je ověření přesnosti DIR a analýza možného vlivu cizích těles na kvalitu obrazové registrace. V praktické části je DIR nejprve testována na matematickém modelu hrudního fantomu (4D XCAT) s připraveným ozařovacím plánem a prováděna pomocí softwarů MIM a Slicer3D. Následně je DIR zkoumána na reálných patientských datech ze stereotaktické radioterapie srdce (STereotactic Arrhythmia Radioablation – STAR). Závěrem práce je vyhodnocení validity odhadu doručené dávky při použití DIR v různých softwarech a jejich přínos při optimalizaci ozařovacích plánů v klinické praxi. Navazující práce se zaměří na zdokonalení metodiky a statistické zpracování těchto dat.

# Nová analýza čáslavského nálezu – možných ostatků Jana Žižky z Trocnova

John D.<sup>1,2,3</sup>, Velímský F.<sup>4</sup>, Dvořáková M.<sup>5</sup>, Světlík I.<sup>2</sup>, Pachnerová Brabcová K.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.*

*3 Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.*

*4 Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i.*

*5 Městské muzeum a knihovna Čáslav*

Na podzim roku 2024 si připomínáme 600. výročí úmrtí Jana Žižky z Trocnova. Zároveň brzy uplyne 114 let od doby, kdy byly v čáslavském kostele sv. Petra a Pavla za podezřelých okolností nalezeny zadržené ostatky, o kterých se řadu desetiletí vedla bouřlivá debata, nakolik je možné o části z nich uvažovat jako o autentických ostatcích slavného tábořského hejtmana. Problému se věnovalo několik generací předních českých historiků a antropologů, kteří proti sobě hájili často radikální stanoviska na obou stranách. V současnosti probíhá nový výzkum, zahrnující úplně poprvé i radiouhlíkové datování a analýzu stabilních izotopů uhlíku a dusíku. Podle radiouhlíkového datování kalva, žebro a zbytek čelisti pocházejí z jedinců žijících na přelomu 14. a 15. století, stehenní kost je výrazně starší a pochází z období 11. až 12. století. Dřevo z nálezu spadá do období plata radiouhlíkové kalibrační křivky a nelze jej datovat přesněji než do širokého intervalu 17. až 20. století. Předběžné výsledky analýzy stabilních izotopů ze vzorku čáslavské kalvy ukazují vyšší podíl těžšího izotopu dusíku ve srovnání s referenčními, českými středověkými populacemi, což naznačuje nadprůměrně vysoký podíl živočišných bílkovin ve stravě. Takové výsledky mohou odpovídat jedinci s přístupem ke kvalitní stravě, jako byli například příslušníci šlechty. Byl použit Bayesiánský model k simulaci nejpravděpodobnějšího zastoupení potravních rezervoárů středočeské fauny a flory ze středověku, jaké mohlo vést k výslednému izotopickému složení kalvy. Výsledek neukazuje na významný podíl potravin z vodních zdrojů dostatečný k ovlivnění radiouhlíkového stáří. Infračervená spektroskopie identifikovala, jaké druhy látek byly použity k ošetření kalvy a stehenní kosti. Stáří konzervantů odpovídá období plata kalibrační křivky (17. až 20. století), nemohlo tedy vést k postarání exponátů, ale mohlo by je omladit.

# Radonový tanec v jeskyních aneb predikce zemětřesení skrz anomální signály

Kořístka O.

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

Tektonická aktivita v zemské kůře vyvolává napětí a změnu tlaku v horninovém prostředí. Dochází ke zlomovým poruchám v těle horninových masivů a otevírají se nové transportní kanály, kterými mohou proudit podzemní plyny, mezi nimi i radon. Koncentrace plynů v jeskyních a jejich změny v souvislosti se seismickou aktivitou lze kontinuálně monitorovat. Z dat lze vyčíst retrospektivní korelaci mezi anomálním vzrůstem či poklesem koncentrace plynů a následným zemětřesením. Otázka zní: lze korelovat koncentraci radonu a seismickou aktivitu projektivně? Může nám radon vyvěstit zemětřesení?



# Možnosti porovnania modalít ožarovania vonkajšími fotónovými zväzkami

Laššová E.<sup>1,2</sup>, Dvořák P.<sup>1</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Fakultná nemocnica Trenčín*

V súčasnosti existuje veľký výber ožarovacích prístrojov pre rádioterapiu (RT) vonkajšími zväzkami. Pri každej obnove existujúceho prístroja alebo pri obstarávaní nového prístroja je potrebné pre potreby obstarávania nové zariadenie špecifikovať. Ponuka a možnosti použitia technológií pre terapeutické zväzky, ale aj technológie pre IGRT ako zásadný kvalitatívny prvok modernej rádioterapie je široká a otázka preferencie optimálnej technológie pre konkrétny prípad nie je jednoduchá. Cieľom tejto práce je pokúsiť sa porovnať aktuálne dostupné technológie primárne vzhľadom ku kvalite rádioterapie pre klinické kategórie cieľových objemov, a tiež vzhľadom k prevádzkovo-ekonomickým podmienkam lokálneho pracoviska. V ideálnom prípade vznikne všeobecný návod ako pri riešení takéhoto problému postupovať, potenciálne použiteľný i pre plánovanie optimálnej kompozície technológie na úrovni regiónu či štátu. Príklady otázok k posúdeniu: Ktoré kategórie pacientov preukázateľne profitujú z adaptívnej RT, MR-IGRT, FFF, stereotaxie, SGRT, beam gating, target tracking, 4D rádioterapie, elektrónov, vysokých MV, atd.? Rozdiely v celkovom čase doručenia dávky, konformite vysokých dávok, objemu nízkych izodóz? Kritéria pre optimálne riešenia prerušenia kurzu RT?

# Simultaneous Integrated Boost to PET positive regional pelvic lymph nodes with the use of IMPT in locally advanced prostate cancer

Navrátil M., Majerčák M., Kubeš J., Vondráček V.

*Proton Therapy Center Czech, s. r. o.*

**Purpose:** Escalating the dose to PET positive regional lymph nodes in treatment of locally advanced prostate cancer increases probability of local tumour control. Aim of this study is to prove that intensity modulated proton therapy (IMPT) enables simultaneous integrated boost to PET positive regional lymph nodes in locally advanced prostate cancer without significant increase of dose delivered to surrounding healthy tissues compared to treatment without this boost.

**Material and methods:** 11 patients with advanced prostate carcinoma with at least 3 PET positive lymph nodes were treated with IMPT using simultaneous integrated boost (SIB) in our centre between years 2015 – 2020. Prescribed dose to prostate and PET positive lymph nodes was 63 GyE in 21 fractions and 48.3 GyE in 21 fractions for remaining lymph nodes, which is 3GyE and 2.3 GyE per fraction. All those plans were recalculated without boost to positive nodes using same constraints for organs at risk (rectum, bowel bag and bladder). Dosimetric differences between these plans were analysed. Attention was mainly focused on the volume of tissue irradiated with lower than prescribed dose.

**Results:** Average volume of positive lymph node was 27.9 cm<sup>3</sup>. Only negligible differences in doses outside the target volumes were found between plans with and without boost on PET positive lymph nodes. Average differences are summarized below:

$\Delta V_{48,3\text{GyE}} = 1.6\%$ ,  $\Delta V_{30\text{GyE}} = 1.4\%$ ,  $\Delta V_{20\text{GyE}} = 0.6\%$ ,  $\Delta V_{10\text{GyE}} = 0.4\%$ ,  $\Delta V_{5\text{GyE}} = 0.3\%$ .

**Conclusion:** The primary goals of our dosimetric study were met. We examined the use of SIB with IMPT technique and from our results, we could conclude that it can be used for patients with locally advanced prostate cancer and PET positive regional lymph nodes because of it's potential to increase the probability of local tumour control without significantly increasing the dose to surrounding healthy tissues.

# Příprava a stabilitní studie radiofarmak [<sup>161</sup>Tb]Tb-PSMA-I&T a [<sup>225</sup>Ac]Ac-PSMA-I&T

Pažitková P., Vlk M., Janská T., Štíbr M., Kozempel J.

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

Molekula PSMA-I&T se po označení terapeutickými radionuklidy <sup>161</sup>Tb a <sup>225</sup>Ac může potenciálně využít pro léčbu karcinomu prostaty. Radionuklid <sup>161</sup>Tb je porovnatelný s <sup>177</sup>Lu z hlediska poločasu rozpadu, chemických a koordinačních vlastností, no v případě <sup>161</sup>Tb můžeme očekávat zvýšenou terapeutickou účinnost způsobenou větším zastoupením konverzních a Augerových elektronů na 1 rozpad. <sup>225</sup>Ac může poskytnout alternativní formu terapie, kdy konvenční terapie vyústily v rezistenci buněk, dále v případech, kdy má pacient zničenou kostní dřeň, u rezistentní formy karcinomu nebo v případě neuspokojujících výsledků terapie pomocí β<sup>-</sup> zářičů. Značená molekula vzniká po inkorporaci příslušného radionuklidu do struktury PSMA-I&T. Po přípravě značených sloučenin byla ověřena jejich radiochemická čistota metodami HPLC a TLC. Radiochemická čistota [<sup>161</sup>Tb]Tb-PSMA-I&T byla stanovena pomocí metod HPLC a TLC jako 99 % a sloučenina se ukázala být stabilní s radiochemickou čistotou přesahující 98 % po 24 hodinách ve všech prostředích bez přidání stabilizátoru. Pro stabilitní studie obou sloučenin byly zvoleny prostředí PBS, plazmy, séra a 5 % albuminu. Radiochemická čistota [<sup>225</sup>Ac]Ac-PSMA-I&T byla stanovena pomocí metody TLC jako 96 %. Tato sloučenina vykazovala nižší stabilitu ve všech prostředích. Průměrně klesla radiochemická čistota [<sup>225</sup>Ac]Ac-PSMA-I&T po 24 hodinách na 50 %, z čehož vyplývá, že sloučenina je bez přidání stabilizátoru relativně nestabilní.

Tato práce byla podpořena granty Technologické agentury ČR grant č. TO01000074, Českého vysokého učení technického grant č. SGS22/188/OHK4/3T/14 a Agentury pro zdravotnický výzkum České republiky grant č. NU23-08-00214.

# Optimalizace dozimetrického postupu pro radionuklidové terapie I-131 snímané ME kolimátory

Ptáček D.<sup>1,2</sup>, Kráčmerová T.<sup>3</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Klinika radiologie a nukleární medicíny 3. LF UK a FN Královské Vinohrady*

*3 Samostatné oddělení lékařské fyziky – úsek nukleární medicíny,*

*Klinika nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a Fakultní nemocnice v Motole*

Vyšetření na gamakameře nebo SPECT (ang. Single Photon Emission Computed Tomography) kameře mohou probíhat s různými kolimátory určenými pro různé radionuklidy. Tato komponenta snímací aparatury, usazena mezi detekční krystal a pacienta, slouží k odstínění fotonů, které by falešně přispívaly k obrazu.

Nejpoužívanějšími kolimátory jsou kolimátory paralelního typu, které se dále dělí podle toho, pro kterou energii fotonového záření jsou vhodné (Low Energy – LE, Medium Energy – ME, High Energy – HE).

Standardně se pro radionuklidovou terapii štítné žlázy pomocí I-131, který z 82 % emituje fotony o energii 364,5 keV, využívají kolimátory HEGP (ang. High Energy, General Purpose). Nicméně, pro nemocnice, které nedisponují lůžkovým oddělením a provádějí tuto terapii pouze ambulantně, nemusí být ekonomicky výhodné HEGP kolimátory pořizovat, protože četnost těchto vyšetření není vysoká. Proto jsou k dozimetrii využívány kolimátory s co nejbližšími parametry – v případě Fakultní nemocnice Královské Vinohrady jsou to kolimátory MEGP (ang. Medium Energy, General Purpose).

Jelikož použití MEGP kolimátorů je doporučováno pro energie v rozpětí 250–350 keV, lze očekávat, že penetrace fotonů emitovaných I-131 skrz septa kolimátoru bude vyšší, než je žádoucí (vzniká tzv. hvězdicový artefakt).

V rámci prvotní optimalizace byla provedena důkladná kalibrace systémů GE Discovery NM/CT 870 DR a GE Optima NM/CT 640, a to jak v planárním, tak v tomografickém režimu. Dále byla změřena mrtvá doba obou systémů v kombinaci s MEGP kolimátory. K oběma měřením byl využit standardní fantom krku a injekční stříkačka s rozpuštěným I-131 v objemu 20 ml.

Ačkoli při dozimetrii s HEGP kolimátory se mrtvá doba systému projevuje až nad aktivitou 1 GBq I-131, u kolimátorů MEGP je tento jev viditelný již při 100 MBq I-131. U maximální aktivity 550 MBq, kterou je dle SÚJB možné ambulantně pacientovi podat, dosahuje korekční faktor mrtvé doby hodnoty 1,8. Tzn. že přes 40 % impulsů je při této aktivitě nezaznamenáno, jelikož je snímací systém zahlcen.

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

Ruschaková J.<sup>1</sup>, Hanušová T.<sup>1,2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Fakultní Thomayerova nemocnice*

Metoda Visual Grading Analysis (VGA) se používá v rentgenové diagnostice zejména k hodnocení a porovnávání kvality obrazu. Od metody VGA byla odvozena metoda nazvaná Clinical Grading Analysis (CGA) pro využití v radioterapii k hodnocení radioterapeutických plánů. Hlavním cílem metody CGA je identifikovat klinicky relevantní rozdíly mezi různými radioterapeutickými plány, které nemusí být viditelné při hodnocení pouze kvantitativních ukazatelů.

Cílem práce je aplikace metody CGA pro 20 pacientů, pro které byl vytvořen radioterapeutický plán a následně i replán. Replán byl upraven tak, aby měl shodný počet frakcí a byla předepsána stejná dávka jako pro plán původní. Oba plány pro každého pacienta budou prezentovány radiačním onkologům, kteří je budou hodnotit. Výsledky CGA budou statisticky vyhodnoceny pomocí neparametrických statistických testů, jelikož bude k hodnocení radiačními onkology použita ordinální škála. Pro hodnocení CGA je dále možné použít dedikované softwary jako je Visual Grading Regression a Visual Grading Characteristics Analyser. Posledním krokem práce bude srovnání kvantitativních ukazatelů kvality radioterapeutických plánů s výsledky CGA.

# Vývoj a zprovoznění scintilačního detektoru pro laserem generovaná pulsní pole záření

Špíšek P.<sup>1</sup>, Lefebvre B.<sup>2</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 ELI Beamlines Facility*

Diplomová práce se zabývá přípravou, testováním a kalibrací odezvy nového typu vyčítání plastových scintilačních detektorů. Vyčítání pomocí Si fotodiody je optimalizací stávajícího detektoru pro měření v ELI Beamlines. Součástí práce je měření útlumu scintilačních materiálů a absorbátorů pomocí rentgenového záření, kalibrace senzorů a vyčítací elektroniky pro detektor záření, vývoj softwaru pro analýzu a sběr dat a Monte Carlo simulace.

# Research in Medical Physics: Vision and strategy

Trnková P.

*Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic*

In the coming years, interdisciplinary medical physics research at the Department of Dosimetry and Application of Ionizing Radiation (Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague) in collaboration with health care providers will be developed. Radiation oncology worldwide suffers from (1) the high costs of the most cutting-edge technologies, (2) shortage of personnel due increasing cancer incidence, increasing life expectancy and decreasing working population, and (3) limited evidence-based personalization of the treatment. Therefore, the overall aim of the research group will be to contribute to democratisation of radiation oncology and development of evidence-based treatment tailored to each individual patient. The research topics will investigate new approaches that may reduce costs, make cutting-edge individualized treatments more regionally available and streamline and automatize processes.

In this presentation, several planned research topics will be introduced and a discussion on how to create a multidisciplinary and multi-institutional collaborative group will be initiated.

# Dosimetry in MR-guided linear accelerators in radiotherapy for quality assurance: a state-of-the-art review

Vargas Castillo A. N., Hanušová T., Linhart V.

*Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic*

The release of Magnetic Resonance – guided Linear Accelerator (MR-Linac) in 2017 brought many great improvements to radiotherapy such as improved beam positioning in relation to target organs, as well as enabling adaptive radiation therapy (oART). The introduction of the MRI scanner in a radiotherapy machine has led to new challenges regarding to dose deposition, dosimetry measurements and quality assurance of the linear accelerator. The magnetic field does not affect the photons in the treatment beam, however the secondary electrons present, will be deflected by the Lorentz force which leads to influencing detector response. In addition, the standard devices may contain ferro-magnetic components deeming them unsafe for MR use. Therefore, the detectors used need to be MR-compatible and magnetic field effects need to be considered.

Currently, quality assurance at MR-Linacs is carried out using MR-compatible diode detectors, ionization chamber arrays and Radiochromic films. Commercial solutions from PTW and Sun Nuclear have been developed specifically for this need. Even with all of the ionization chamber array's benefits which include short set-up time, facilitation of online feedback and sufficient dose distribution information, it is insufficient to overcome the limited spatial resolution due to the spacing of the chamber array. Furthermore, within air-filled ion chamber arrays, the air cavity will lead to dose perturbation due to deflection of secondary electrons and the electron return effects. On the contrary, film measurements have the advantage of measuring full two-dimensional dose distributions with a high spatial resolution but are time consuming and the results are less accurate than ionization chamber measurements.

Organic plastic scintillator detectors are widely used for radiotherapy purposes due to being a near water equivalent, along with being able to be manufactured in different shapes as well as relatively small dimensions. One of the issues that faces the use of these kinds of detectors is the Cerenkov effect caused by electrons moving faster than the speed of light in the scintillator and in the light fiber that guides the scintillation light towards a photodiode or photomultiplier. As a result of its beneficial traits under magnetic fields, Plastic Scintillator Detectors (PSD) have been studied for use in MR-Linac in fiber configurations, nevertheless only a few studies using two-dimensional plastic scintillation detectors (2D PSD) for machine quality assurance in MR-Linac have been published. Thus, more experiments are needed to investigate the feasibility of the 2D PSD for the clinical use in MR-Linac.

The improvement of quality assurance in MR-Linac is an essential step for decreasing the calibration time of the equipment along with improving patient treatment, in a time of ever-increasing number of cancer patients. An ideal detector would allow for the measurement of a large number of tests, all while possessing real-time response, tissue equivalence, a great resolution, MR-compatible and feasible for use in small and large field tests. In this work, we review the current literature to lay the foundation of 2D quality assurance detectors used in MR-Linac. A comparison of the advantages and disadvantages of the commercial and non-commercial solutions will be provided, which will allow for a greater understanding of the gap present in order to propose a suitable solution for future quality assurance in MR-Linac.



## 12 let protonové radioterapie v ČR

Vondráček V.

*Proton Therapy Center Czech, s. r. o.*

V roce 2009 byla zahájena výstavba pražského protonového centra, na konci roku 2012 bylo realizováno první klinické ozáření. K polovině roku 2024 podstoupilo léčbu zářením více než 13 tisíc pacientů. Nejčastěji (v soulase s incidencí v populaci) jsou ozařováni pacienti s karcinomem prostaty a pacientky s karcinomem prsu. V diagnostickém mixu jsou pak zastoupeny i další lokality, které jsou léčeny pomocí radioterapie. Zvláště důležité je zvyšující se zastoupení mladých pacientů, u kterých je předpokládán benefit protonové radioterapie nejvýznamnější.

Kromě léčby pacientů se v PTC věnujeme i vývoji a výzkumu v oblasti radioterapie, ať už se jedná o vyhodnocování léčebných výsledků a na jejich základě modifikaci terapeutických postupů, testování pixelových detektorů záření nebo inovativních postupů verifikace ozařovacích plánů.

Jedním z hlavních směrů výzkumu je vliv ozářených objemů zdravé tkáně na imunitní systém, zejména lymfocytů. Předběžné výsledky ukazují, že existuje spojení mezi objemem tkáně, ozářených i malými dávkami a patologickými stavy lymfatického systému. Pro některé diagnózy pak byla prokázána souvislost mezi léčebnými výsledky a stavem lymfocytární populace v těle.

# Pevné terče – zdroj radionuklidů pro produkci radiofarmak

Zápotocký V., Komžák O., Svoboda P., Orlík M., Adam J.

*ÚJV Řež, a. s.*

Nesnáze při výběru pevnolátkových terčů pro medicínální cyklotrony ÚJV, a.s. Vysvětlení jejich principů, rozdílů konstrukčních řešení, možností a omezení jejich instalace na jednotlivých pracovištích. Potenciálně produkovatelné radioizotopy a problémy s jejich logistikou.

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

Žůrková I.<sup>1</sup>, Hanušová T.<sup>1,2</sup>, Linhart V.<sup>1</sup>

*1 Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze*

*2 Fakultní Thomayerova nemocnice*

Tato práce se zabývá stanovením korekčních faktorů na zpětný rozptyl pro nový scintilační detektor vyvinutý na KDAIZ FJFI ČVUT. Výhodou tohoto detektoru je dobré prostorové rozlišení, odezva v reálném čase a velká detekční plocha, ale jeho odezva není opravena na zpětný rozptyl. Práce se věnuje komerčně dostupným 2D detektorům v radioterapii, plastovým scintilačním detektorům a obsahuje řešení týkající se detektorů tvořených plastovou scintilační fólií k měření externích fotonových svazků v radioterapii. V praktické části práce jsou popsána měření s ionizačními komorami, plastovým detektorem Exradin W1 a novým detektorem. Metoda stanovení korekčních faktorů na zpětný rozptyl se zakládá na měření s detektorem Exradin W1.