

# Metodika pro nezávislou prověrku radioterapie mozku

---

Konečný uživatel výsledků: **Státní úřad pro jadernou bezpečnost**  
**Senovážné náměstí 1585/9**  
**Praha 110 00**

**Typ metodiky:** Schválená metodika

**Název projektu:** Národní studie bezpečnosti radioterapie v oblasti hlavy v České republice

**Číslo projektu:** TITSSUJB910

**Řešitel projektu:** Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

**Doba řešení:** 1. 10. 2020 – 31. 3. 2023

**Důvěrnost a dostupnost:** pro zadavatele

**Účinnost metodiky od:** 3. 4. 2023

**Interval ověření schopnosti používat metodiku:** 2 roky

**Interval ověření platnosti metodiky:** 5 let

**Informace o autorském týmu:**

Ing. Irena Koniarová, Ph. D.

Ing. Vladimír Dufek, Ph. D.

Ing. Tomáš Kořínek

Ing. Ivana Horáková, CSc.

**Další informace o projektu:**

Cílem projektu je provést plošnou studii pro pracoviště vybavená ozařovači typu TomoTherapy, CyberKnife, lineární urychlovač s C-ramenem a protonový urychlovač, a to pro zhodnocení bezpečnosti radioterapie hlavy a krku a radioterapie mozku v České republice.

## Obsah

A	Cíl metodiky .....	4
B	Vlastní popis metodiky .....	4
1	Názvosloví a zkratky .....	4
2	Specifikace zkušební postupu .....	5
3	Podstata zkoušky .....	7
4	Validace a verifikace .....	8
5	Bezpečnost práce .....	8
6	Pracovníci, prostory a prostředí .....	8
6.1	Pracovníci .....	8
6.2	Prostory a prostředí .....	9
7	Zkušební zařízení .....	10
8	Příprava na nezávislou prověrku radioterapie mozku .....	11
8.1	Převzetí požadavku na provedení nezávislé prověrky radioterapie mozku .....	11
8.2	Příprava SÚRO na nezávislou prověrku radioterapie hlavy a krku .....	11
8.3	Příprava pracoviště na prověrku .....	12
9	Postup nezávislé prověrky radioterapie mozku .....	13
9.1	Příprava na měření na pracovišti .....	13
9.2	Postup nezávislé prověrky radioterapie mozku .....	13
10	Vyjadřování výsledků a tolerance .....	21
11	Zpracování výsledků a vyhotovení protokolu .....	22
12	Odhad nejistot .....	23
13	Mez stanovitelnosti .....	23
14	Řízení kvality .....	23
14.1	Vnitřní kontrola .....	23
14.2	Vnější kontrola .....	24
15	Protokol o zkoušce .....	24
16	Záznamy .....	24
17	Seznam příloh .....	27
C	Vyjádření k „novosti postupů“ .....	27
D	Popis uplatnění Certifikované metodiky .....	28
E	Seznam použité související literatury .....	28
F	Seznam publikací .....	29

## A Cíl metodiky

Cílem metodiky je popsat postup nezávislé prověrky radioterapie karcinomu mozku metodou IMRT, VMAT či IMPT na radioterapeutických pracovištích. Metodika obsahuje jednak postup pro pracoviště, kde jsou specifikovány instrukce, jak se má pracoviště na nezávislou prověrku připravit a co je nutné z jeho strany před provedením nezávislé prověrky udělat, jednak postup pro pracovníky SÚRO, jenž popisuje vlastní provedení nezávislé prověrky na radioterapeutickém pracovišti a následné zpracování a vyhodnocení.

Cílem nezávislé prověrky radioterapie mozku je ověřit správné dodání dávky do cílového objemu a nepřekročení deklarované dávky do kritického orgánu (mozkového kmene a chiasma opticu) při radioterapii karcinomu mozku pokročilými radioterapeutickými technikami, jakož i stanovovat, hodnotit a porovnávat další důležité parametry související s realizací radioterapie mozku. Část mozkového kmene je zároveň součástí cílového objemu.

## B Vlastní popis metodiky

### 1 Názvosloví a zkratky

V tomto dokumentu jsou použity následující termíny, definice a zkratky:

IMRT	Radioterapie s modulovanou intenzitou svazku (Intensity modulated radiation therapy)
IMPT	Radioterapie protonovými svazky technikou aktivního skenování
VMAT	Rotační radioterapie s modulovanou intenzitou svazku (Volumetric modulated arc therapy)
3D CRT	3D konformní radioterapie
MLC	Vícemelový kolimátor (Multileaf collimator)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
CT	Výpočetní tomografie (Computed tomography)
RED	Relativní elektronová hustota (Relative electron density)
PTV	Plánovací cílový objem (Planning treatment volume)
2D	Dvourozměrný
PTW	výrobce PTW - Freiburg (Dosimetry systems and ionization chambers for the measurement of ionizing radiation, primarily for the medical field)
DICOM	Zkratka pro Digital Imaging and Communications in Medicine. Standard pro zobrazování, distribuci, skladování a tisk medicínských dat pořízených snímacími metodami jako je např. CT
SSD	Vzdálenost měřená podél osy svazku záření od zdroje záření ke vstupnímu povrchu ozařovaného objektu (Source to surface distance)

SAD	Vzdálenost měřená podél osy svazku od zdroje záření k izocentru (Source to axis distance)
MU	Monitorová jednotka (Monitor unit)
DVH	Dávkově objemový histogram (Dose volume histogram)
ASCII	Zkratka pro American Standard Code for Information Interchange. Znaková sada.
HU	Hounsfieldova jednotka
DTA	Distance to agreement – vzdálenost bodů se stejnou hodnotou dávky
TPS	Terapeutický plánovací systém
D2%	Dávka near max
D98%	Dávka near min
D50%	Medián dávky
gEUD	Generalizovaná ekvivalentní uniformní dávka
LQ	lineárně kvadratický
NTCP	Normal Tissue Complication Probability – pravděpodobnost určité komplikace pro kritický orgán po aplikaci radioterapeutické léčby

## 2 Specifikace zkušebního postupu

Metodika popisuje způsob provedení nezávislé prověrky radioterapie karcinomu mozku s fantomem hlavy, a to pro cílový objem odpovídající glioblastomu. Radioterapie glioblastomu je metoda, pro kterou se často používá některá z pokročilých radioterapeutických metod, jako je IMRT či VMAT, příp. 3D CRT na lineárních urychlovačích vybavených vícemelovým kolimátorem (MLC), případně IMPT (radioterapie protonovými svazky metodou aktivního skenování).

Poznámka: Vzhledem k velikosti cílového objemu se prověrka radioterapie karcinomu mozku neprovádí na ozařovači CyberKnife. Provedla by se pouze v případě, že dané pracoviště zamýšlí ozařovat i velké objemy.

Nezávislou prověrku je možné provést i na pracovištích, které ozařují i jiné lokality v oblasti mozku, protože tvary cílových objemů jsou v této lokalitě velmi podobné a kritické orgány jsou stejné (zejména se za kritické orgány považuje mícha, mozkový kmen, chiasma opticum, optické nervy).

Nezávislá prověrka radioterapie mozku bude provedena na základě žádosti objednatele, kterým je SÚJB, jiný subjekt nebo radioterapeutické pracoviště.

V rámci metodiky jsou zabezpečeny následující činnosti spojené s provedením nezávislé prověrky radioterapie mozku:

- Převzetí požadavku na provedení nezávislé prověrky radioterapie mozku
- Příprava SÚRO na nezávislou prověrku radioterapie mozku
  - příprava přístrojů

- informování radiologického fyzika pracoviště, aby si z webu stáhnul *dokumente Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy* (Příloha č. 1 a č. 2) a *Postup pro pracoviště* (Příloha č. 3 a č. 4)
- Doprava fantomu hlavy na pracoviště
- Příprava pracoviště na nezávislou prověrku radioterapie mozku
  - nasnímání fantomu hlavy na CT
  - přenesení dat do terapeutického plánovacího systému
  - zakreslení kontur pro struktury ve fantomu hlavy (cílový objem - glioblastom, míchu, mozkový kmen, chiasma opticum, parotidy, další dle zvyklostí pracoviště).
  - stanovení objemů struktur a relativních elektronových hustot (RED) případně fyzikálních hustot
  - vytvoření plánu pro ověření kalibrace svazku a výpočtu plánovacího systému pro jednoduché čtvercové pole
  - vytvoření terapeutických plánů glioblastomu v souladu s místní praxí
  - odeslání požadovaných dat (DVH, DICOM soubory terapeutických plánů včetně dávkových distribucí) na SÚRO
  - provedení předléčebné verifikace terapeutických plánů tak, jako by se jednalo o patientský plán (např. měření dávky v bodě ve fantomu pracoviště), zaznamenání výsledku předléčebné verifikace do dotazníku
  - umístění fantomu hlavy do ozařovny minimálně jeden den před provedením nezávislé prověrky (aby se fantom mohl temperovat)
  - vyplnění *Dotazníku k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy*
  - odeslání požadovaných dat (DVH, DICOM soubory terapeutických plánů včetně dávkových distribucí) na SÚRO
- Kontrola vyplněného dotazníku před ozáření fantomu hlavy
- Doprava přístrojů na pracoviště
- Ověření kalibrace ozařovače ve vodním fantomu včetně křížové kalibrace komor Semiflex pomocí komory Farmer ve vodním fantomu
- Měření odezvy pro pole 10x10 cm<sup>2</sup> v hloubce 7,5 cm ve vodním fantomu
- Ozáření fantomu hlavy (za přítomnosti pracovníků SÚRO i pracoviště)
  - měření odezvy pro pole 10x10 cm<sup>2</sup> ve fantomu hlavy
  - ozáření fantomu hlavy spolu s příslušnými ionizačními komorami SÚRO (2x Semiflex) a s vloženým gafchromickým filmem podle terapeutického plánu glioblastomu v souladu s místní praxí
- Zpracování výsledků
  - zaznamenání hodnot odečtu ionizačních komor, tlaku, teploty a dalších údajů do *Záznamového a výpočetního formuláře pro nezávislou prověrku radioterapie mozku* (Příloha č. 7 a č. 8)
  - zaznamenání udaných objemů jednotlivých struktur a RED do *Záznamového a výpočetního formuláře pro nezávislou prověrku radioterapie mozku* (Příloha č. 7 a č. 8)
  - skenování gafchromických filmů na skeneru Epson 12000XL dle Metodiky skenování gafchromických filmů pomocí skeneru Epson 12000XL [15]

- stanovení dávkové distribuce změřené pomocí gafchromických filmů při ozáření fantomu hlavy terapeutickým plánem glioblastomu dle Metodiky kalibrace filmů v software FilmQA [16]
  - porovnání stanovené (změřené) dávkové distribuce s dávkovou distribucí vypočtenou plánovacím systémem pracoviště (dle Metodiky porovnání 2D dávkových distribucí stanovených pomocí gafchromických filmů a vypočtených plánovacím systémem [10])
  - zpracování výsledků a vyhotovení Protokolu z nezávislé prověrky radioterapie mozku (Příloha č. 5 a č. 6)
- Kontrola, podpis a odeslání *Protokolu z nezávislé prověrky radioterapie mozku* objednateli
  - Archivace záznamů o prověrce radioterapie mozku

### 3 Podstata zkoušky

Nezávislá prověrka radioterapie hlavy a krku spočívá v ověření správného dodání dávky do cílového objemu (PTV) a nepřekročení deklarované dávky do kritického orgánu (mozkového kmene a chiasma opticu) při radioterapii mozku pokročilými radioterapeutickými technikami (IMRT, VMAT, IMPT), jakož i ve stanovení dalších důležitých parametrů souvisejících s realizací radioterapie glioblastomu (objemy jednotlivých struktur a relativní elektronové hustoty stanovené plánovacím systémem, dávková distribuce, předpis dávky, normalizace, dávkově objemové histogramy terapeutického plánu atd.).

Hodnoty z plánovacího systému (uvedené v dotazníku) se porovnávají s hodnotami stanovenými měřením přístroji SÚRO (absorbovaná dávka v bodě), s hodnotami danými konstrukcí fantomu hlavy (objemy jednotlivých struktur) nebo s referenčními údaji (např. RED kosti či RED vzduchu ve fantomu hlavy). Je možné ověřovat i další parametry a skutečnosti, např. lze porovnat způsob plánování na pracovišti s mezinárodními doporučeními.

Cílem této nezávislé prověrky radioterapie mozku je ověřit správné dodání dávky do cílového objemu a nepřekročení deklarované dávky do kritického orgánu při radioterapii mozku pokročilými radioterapeutickými technikami, jakož i stanovovat, hodnotit a porovnávat další důležité parametry související s realizací radioterapie hlavy a krku. Stanovují se následující parametry:

#### Dozimetrické parametry:

- Absorbovaná dávka ve vodě v referenčním bodě (ověření kalibrace svazku urychlovače) ve vodním fantomu
- Absorbovaná dávka ve vodě pro jednoduchý plán ve fantomu hlavy
- Absorbovaná dávka v PTV (glioblastom, bod umístěn v mozkovém kmeni)
- Absorbovaná dávka v bodě v chiasma opticu
- 2D dávková distribuce (v transverzální rovině)

#### Geometrické a jiné parametry:

- Objemy struktur ve fantomu hlavy

- RED materiálů ve fantomu hlavy

#### Další parametry:

- Předpis dávky
- Normalizace dávky
- Dávkově objemové histogramy (DVH)
  - zhodnocení tolerančních kritérií pro kritické orgány a jejich porovnání s hodnotami doporučovanými QUANTEC (pro míchu, mozek, chiasma opticum, mozkový kmen)
  - pro PTV: gEUD, D2%, D98%, Index homogeneity (HI)
  - pro kritické orgány (mozkový kmen, chiasma opticum): gEUD, NTCP

## 4 Validace a verifikace

Metodika pro nezávislou prověrku radioterapie hlavy a krku je v souladu s doporučením IAEA Technical Reports Series No. 398 [1] a No. 483 [2], s Doporučením SÚJB: Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – lineární urychlovače používané v radioterapii [3] a s ESTRO Booklet No. 9: Guidelines for the verification of IMRT [6].

Verifikace správnosti výsledků je prováděna na základě vnitřních a vnějších kontrol shrnutých v kapitole 14 Řízení kvality.

## 5 Bezpečnost práce

Zásady bezpečné práce, ochrany zdraví při práci a ochrany životního prostředí jsou stanoveny v Provozním řádu odboru lékařských expozic [4].

## 6 Pracovníci, prostory a prostředí

### 6.1 Pracovníci

Provedení nezávislé prověrky radioterapie mozku zajišťují pracovníci Oddělení radiační ochrany v radioterapii SÚRO:

Činnost	Oprávnění k vykonávání činnosti
Převzetí požadavku na provedení nezávislé prověrky radioterapie mozku	Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc.
Příprava SÚRO na nezávislou prověrku radioterapie mozku (příprava přístrojů a fantomů, informování pracoviště o nutnosti stáhnutí dotazníku z webu)	Ing. David Kecek Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Irena Koniarová, Ph.D.
Doprava fantomů a přístrojů na pracoviště	Řidič SÚRO Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Tomáš Kořínek
Příprava pracoviště na nezávislou prověrku radioterapie mozku (CT fantomu, přenesení dat do plánovacího systému, vytvoření terapeutických plánů,	Klinický radiologický fyzik pracoviště



provedení předléčebné verifikace terapeutických plánů, vyplnění dotazníku)	
Ozáření vodního fantomu otevřeným polem, ozáření fantomu hlavy otevřeným polem a terapeutickým plánem (za přítomnosti pracovníků SÚRO i pracoviště)	Klinický radiologický fyzik pracoviště Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Tomáš Kořínek Ing. Ivana Horáková, CSc.
Zaznamenání hodnot odečtu ionizačních komor a dalších údajů do <i>Záznamového a výpočetního formuláře pro nezávislou prověrku s fantomem hlavy</i> (vedení záznamů o zkoušce)	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Tomáš Kořínek Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc.
Skenování gafchromických filmů na skeneru Epson 12000XL	Ing. David Kecek Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
Stanovení dávkové distribuce a porovnání stanovené distribuce s vypočtenou distribucí	Ing. David Kecek Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Tomáš Kořínek
Zpracování výsledků a vyhotovení <i>Protokolu z nezávislé prověrky radioterapie mozku</i>	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc.
Kontrola, podpis a odeslání <i>Protokolu z nezávislé prověrky radioterapie mozku</i> objednateli	Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc.
Archivace záznamů o prověrce radioterapie mozku	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Irena Koniarová, Ph.D. Jarmila Pilgerová
Odpovědnost za aktualizaci metodiky	Ing. Irena Koniarová, Ph.D.

Jednotlivé zkušební úkony vykonávají pracovníci uvedení na prvním místě. V případě nepřítomnosti je zastupují pracovníci uvedení na dalších místech.

## 6.2 Prostory a prostředí

Nezávislá prověrka se provádí na pracovištích, která používají moderní radioterapeutické metody (IMRT, VMAT, IMPT).

Budova Bartoškova 28, objekt F1, místnost č. 9: příprava přístrojů a fantomů

Budova Kloboučnická 24, místnost, K/217: Skenování gafchromických filmů, stanovení dávkové distribuce a porovnání stanovené distribuce s vypočtenou distribucí

Budova Kloboučnická 24, místnost K/216, K/217: Zpracování výsledků, vyhotovení protokolu

Budova Kloboučnická 24, místnost K/216, K/220: Kontrola protokolu, podpis a odeslání protokolu

Budova Kloboučnická 24, místnost K/215: Archivace záznamů o zkoušce

Pozn. Místnost pro činnosti prováděné na SÚRO je dána tím, který pracovník SÚRO je provádí. Viz Provozní řád Odboru lékařských expozic [4].

## 7 Zkušební zařízení

Metrologické ověřování a kalibrace měřidel jsou zajišťovány v požadovaných intervalech na pracovištích Českého metrologického institutu nebo akreditovanými kalibračními laboratořemi, které jsou uvedeny v seznamu hlavních dodavatelů Odboru lékařských expozic.

- vodní fantom pracoviště
- vodní fantom SÚRO WP-380, inv. č. 1117 s příslušenstvím (nelze-li použít vodní fantom pracoviště). K vodnímu fantomu SÚRO s příslušenstvím patří ještě ovládací krabička pro polohování komory ve fantomu, inv. č. 1119 a polohovatelné rameno k fantomu, inv. č. 2742
- elektrometr Unidos 10002 v.č. 20372
- elektrometr Unidos 10002 v.č. 20574
- ionizační komora TW 30013 v.č. 6238
- ionizační komora TW 31002 v.č. 0847 (Semiflex 1)
- ionizační komora TW 31010 v.č. 6651 (Semiflex 2)
- prodlužovací kabel kotoučový T26003-20, i.č. nemá
- prodlužovací kabel T26002.1.002-20, inv. č. 1373
- prodlužovací kabel T26002.1.002-20, inv. č. 4436 (náhradní)
- prodlužovací kabel volný tenký T26002.1.001-10 (W10w), i.č. 1375 (náhradní)
- fantom hlavy inv. č. 3688
- digitální teploměr Cooper Atkins, inv. č. 1819
- barometr Lufft v.č. 98619
- RW3 desky (PTW T29672), inv. č. 1464
- notebook pro prověrky v radioterapii
- gafchromické filmy EBT3
- Skener Epson 12000XL
- rukavice na gafchromické filmy
- software FilmQA Pro
- Microsoft Excel
- vodováha
- kontrolní zdroj 90Sr typ 48002 v.č. 0370
- insert do kontrolního zdroje pro komoru Semiflex, inv. č. 1991

- insert do kontrolního zdroje pro komoru PTW 30013
- teploměr do kontrolního zdroje
- osobní dozimetry
- dozimetr Stephen, inv. č. 1009
- vozík plošinový, inv. č. 4404
- svítidla modrá
- dokumentace ke komorám
- návody a manuály k výše uvedeným přístrojům a komorám
- metodika pro nezávislou prověrku radioterapie mozku

## 8 Příprava na nezávislou prověrku radioterapie mozku

### 8.1 Převzetí požadavku na provedení nezávislé prověrky radioterapie mozku

Nezávislá prověrka radioterapie mozku může být provedena na základě žádosti objednatele, kterým je SÚJB, jiný subjekt nebo radioterapeutické pracoviště. Po přijetí a schválení žádosti domluví pracovník, který převzal požadavek na provedení nezávislé prověrky, s radiologickým fyzikem pracoviště a s inspektorem SÚJB termín provedení nezávislé prověrky.

### 8.2 Příprava SÚRO na nezávislou prověrku radioterapie hlavy a krku

1. Radiologický fyzik pracoviště bude v dostatečném časovém předstihu (nejpozději týden před termínem prověrky) informován, aby si z webu SÚRO stáhnul dokument *Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy* (Příloha č. 1 a č. 2).
2. Před prověrkou bude provedena příprava přístrojů a fantomů. Přístroje a fantomy jsou umístěny v budově F v místnosti č. 9. Přístroje připravíme k odvozu na pracoviště, přičemž se postupuje dle seznamu přístrojů uvedeného v kapitole 7.
3. Na notebooku vytvoříme ve složce *C:\Users\Veřejné\Documenty\audity\_výsledky\SOP\_25\_audit RT mozku* složku s názvem pracoviště. Pokud již existuje, vytvoříme v ní nový adresář s datem, kdy se bude nezávislá prověrka provádět, a do této složky uložíme soubor pro nezávislou prověrku. Šablona pro soubor je uložena ve složce *C:\Users\Veřejné\Documenty\audity\_výsledky\SOP\_25\_audit RT hlavy a krku\\_záznamový a výpočetní formulář* pod názvem: *Záznamový a výpočetní formulář hlava LU*, *Záznamový a výpočetní formulář hlava tomo* a *Záznamový a výpočetní formulář hlava protony*. Soubor vybereme dle ověřované modality a do připraveného adresáře pracoviště soubor uložíme pod názvem *prověrka\_hlava\_modalita\_pracoviště\_datum* (modalita: LU, tomo nebo protony; datum ve formátu rrrr/mm/dd) příp. další specifikace. Do tohoto souboru se zaznamenávají odečty ionizačních komor a další údaje jako např. tlak a teplota, používá se elektronická verze a vyplňují se v nich pouze žlutá pole.

4. V případě, že se na pracoviště odvázejí fantomy a přístrojové vybavení k provedení nezávislé prověrky s předstihem, budou předány místnímu fyzikovi, který podepíše Dohodu o umístění a zabezpečení majetku SÚRO (předávací protokol).
5. Pracovníci SÚRO a přístroje pro měření (viz Kapitola 7 – Zkušební zařízení) budou na pracoviště odvezeny vozidlem SÚRO bezprostředně před provedením nezávislé prověrky.

### 8.3 Příprava pracoviště na prověrku

1. Před provedením nezávislé prověrky je radiologický fyzik pracoviště informován v dostatečném časovém předstihu (nejpozději týden před termínem prověrky), aby si z webových stránek <https://www.suro.cz/cz/lekarske/pro-odborniky/audity-ozarovacu-a-technik-v-radioterapii/prilohy-doporuceni-sujb-nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii-1> stáhnul *Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy* (viz Příloha č. 1 a č. 2) a *Postup pro pracoviště* (viz Příloha č. 3 a č. 4), dle kterého má probíhat příprava pracoviště na prověrku. Postup je vytvořen jednak pro pracoviště s fotonovými svazky, jednak pro pracoviště s protonovými svazky.
2. Radiologický fyzik pracoviště je informován také o nutnosti zaslat vyplněný dotazník na SÚRO nejpozději tři pracovní dny před zahájením nezávislé prověrky a o nutnosti přítomnosti fyzika u ověřovaného zařízení po celou dobu trvání nezávislé prověrky. V případě prověrky před uvedením ozařovače do klinického provozu se spolu s dotazníkem zasílá také protokol z přejímací zkoušky zdroje a protokol z počátečního ověření TPS. Pracoviště by mělo postupovat dle postupu uvedeného v kapitole 13 Doporučení SÚJB – Nezávislé prověrky na místě v radioterapii. Toto doporučení je umístěno na webu <https://www.suro.cz/cz/lekarske/publikace/nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii>.
3. S radiologickým fyzikem pracoviště je rovněž domluvena předběžná doba trvání nezávislé prověrky a možnost zapůjčení automatického vodního fantomu pracoviště pro měření dozimetrických parametrů při nezávislé prověrce.

Příprava pracoviště probíhá dle dokumentu *Postup pro pracoviště*, který je uveden v Příloze č. 3 a č. 4.

#### **Postup pro pracoviště s fotonovými svazky – glioblastom**

Postup je uveden v samostatném dokumentu.

#### **Postup pro pracoviště s protonovými svazky – glioblastom**

Postup je uveden v samostatném dokumentu.

## 9 Postup nezávislé prověrky radioterapie mozku

### 9.1 Příprava na měření na pracovišti

Po příjezdu na pracoviště zkontrolujeme, zda jsou fantomy hlavy a vodní fantom umístěny v ozařovně. Nejsou-li, co nejdříve je tam umístíme. Poté provedeme přípravu dozimetrického řetězce na měření. Pokud je možné vést prodlužovací kabely otvorem ve zdi mezi ovladovnou a ozařovnou, vedeme kabely tímto způsobem, jinak je vedeme po zemi labyrintem pod stínícími dveřmi. Je třeba se ujistit, že nemůže dojít k poškození kabelů zavřením stínících dveří do ozařovny. Použijeme prodlužovací kabel PTW kotoučový (kabel č. 1) a prodlužovací kabel PTW inv.č. 1373 (kabel č. 2). Do ovladovny umístíme oba přístroje Unidos, zapneme je a nastavíme na nich napětí 400 V. Provedeme nulování obou Unidosů. Na Unidosích nastavíme napětí na 0 V. K Unidosu v.č. 20372 (Unidos č. 1) připojíme kabel č. 1 a k Unidosu v.č. 20574 (Unidos č. 2) připojíme kabel č. 2. Pak v ozařovně ke kabelu č. 1 připojíme cylindrickou ionizační komoru TW 30013 v.č. 6238, se kterou se bude provádět ověření kalibrace svazku. Následně v ozařovně ke kabelu č. 2 připojíme komoru TW 31010 v.č. 6651 (Semiflex 2) se kterou se bude provádět ověření dávky v kritickém orgánu. Na obou Unidosích zvolíme režim pro měření cylindrickou komorou (tj. napětí 400 V). Řetězce necháme temperovat. Před započítáním nezávislé prověrky bude provedeno měření v kontrolním zdroji.

#### Měření v kontrolním zdroji

Pro zaznamenání výsledků použijeme soubor *C:\Users\Veřejné\Dokumenty\audity\_výsledky\\_kontrolní zdroj\Kontrola stálosti\_MAKRA\_15.5.2020.xlsm* v notebooku.

Dozimetrický řetězec ověřujeme nejdříve pro komoru TW 30013, pak pro obě komory Semiflex (pracovní napětí 400 V).

Do kontrolního zdroje zašroubujeme příslušný insert pro danou komoru, do kterého vložíme danou komoru. Provedeme nulování komory (připojené k danému Unidosu. K Unidosu č.1 připojíme komoru PTW 30013 nebo TW 31002 v. č. 0847 (Semiflex 1). K Unidosu č. 2 připojíme komoru TW 31010 v. č. 6651 (Semiflex 2). Poté změříme temný proud při integrálním režimu Unidosu při rozsahu „low“. Pokud je temný proud příliš vysoký (vyšší než 4.10-15 A), dozimetrický řetězec znovu znulujeme. Ionizační komory předzáříme dávkou minimálně 5 Gy.

Poté umístíme danou ionizační komoru do kontrolního zdroje a zkontrolujeme v souboru pro kontrolu stálosti, že je vybraná správná ionizační komora. Odečteme tlak a teplotu v kontrolním zdroji a zaznamenáme je do souboru. Na Unidosu nastavíme rozsah „low“ a provedeme minutové měření odezvy. Tu zaznamenáme do souboru. Měření minimálně ještě jednou zopakujeme. Stálost dozimetrického řetězce je postačující, pokud je stanovená odchylka proudu od referenční hodnoty menší než 0,5% pro komory typu Farmer a menší než 1% pro komory Semiflex.

### 9.2 Postup nezávislé prověrky radioterapie mozku

Poznámka: Obsluhu ozařovače v ozařovně a počítačů v ovladovně provádí místní radiologický fyzik a je za tyto činnosti zodpovědný. Osoby provádějící nezávislou prověrku mohou tyto činnosti provádět pouze, pokud je místní radiologický fyzik proškolen. I nadále je však za tyto činnosti zodpovědný místní radiologický fyzik.

1. Pro ověření kalibrace svazku se pro lineární urychlovače použije velký vodní fantom pracoviště. Pokud na pracovišti není velký vodním fantom a nebo pracoviště nemá držáky na komory Semiflex, použije se vodní fantom SÚRO. Vodní fantom SÚRO použijeme vždy pro tomoterapeutický ozařovač. V tom případě na ozařovací stůl připravíme malý vodní fantom, připevníme raménko s držákem na cylindrickou ionizační komoru a napustíme vodu. Vodováhou nastavíme fantom do vodorovné polohy.
2. Ionizační komoru PTW 30013 umístíme ve vodním fantomu do držáku komory. Komoru nastavíme do záměrného kříže tak, aby její referenční bod ležel na ose svazku záření. Nastavíme geometrický střed komory na hladinu, vynulujeme indikátor hloubky a umístíme komoru do hloubky, pro kterou provádí pracoviště kalibraci ozařovače. Nastavíme SSD, pro kterou provádí pracoviště kalibraci ozařovače. Na tomoterapii se použije geometrie SSD = 85 cm a hloubka komory 1,5 cm. Pro protonový ozařovač se použije hloubka 7 cm.
3. Měření saturačního a polaritního koeficientu pro komoru PTW 30013: Provede se sada ozáření fantomu při tomto nastavení: 50 MU, pole 10 x 10 cm<sup>2</sup>, úhel gantry 0°, energie je stejná jako pro terapeutický plán. Nejdříve se změří odezvy komory pro napětí 400 V, potom pro 100 V, -400 V a nakonec ještě jednou pro 400 V. Při měřeních pro všechna uvedená napětí musí dojít k ustálení odezev (odezvy by neměly růst ani klesat). Změřené odezvy zapíšeme do záznamového a výpočetního formuláře. Ve formuláři se vypočte saturační a polaritní koeficient. Pro protonový ozařovač a pro tomoterapii se saturační koeficient stanovuje výpočtem dle postupů uvedených v příslušných SOP [7, 8].
4. Na Unidosu č. 1 (v.č. 20372), k němuž je připojena komora PTW 30013, nastavíme rozsah "medium". Odečteme tlak a teplotu ve vodě a zapíšeme je do záznamového a výpočetního formuláře. Na ozařovači obsluha nastaví počet MU z dotazníku, který odpovídá dávce 2 Gy ve vodě za referenčních podmínek pro pole 10x10 cm<sup>2</sup> při úhlu gantry 0° a energii použitou pro plán glioblastomu. Tento počet MU odzáríme a naměřené hodnoty (alespoň dvě) zaznamenáme do protokolu.
5. Poznámka. Stanovení dávky (výpočet z naměřených hodnot) pro tomoterapii se provádí dle SOP 24 [7]. Stanovení dávky pro lineární urychlovače (C-arm) se provádí dle SOP 11 [5]. Stanovení dávky pro protonový ozařovač se provádí dle SOP 21 [8]. Ve zmíněných dokumentech je popsán podrobný postup stanovení dávky včetně stanovení všech potřebných korekčních faktorů.
6. Za účelem provedení křížové kalibrace komor Semiflex pomocí komory Farmer se provede měření odezev komor Semiflex v referenčních podmínkách. Z vodního fantomu vyndáme komoru PTW 30013. Na Unidosu č. 1 nastavíme napětí na 0 V a odpojíme komoru PTW 30013 od kabelu č. 1. Ke stejnému kabelu připojíme komoru TW 31002 v. č. 0847 (Semiflex 1). Napětí na Unidosu č. 1 nastavíme na 400 V. Rozsah zůstává na „medium“, provedeme nulování komory

Semiflex 1. Změříme její nulový proud. Pokud bude příliš velký, provedeme další předzářeni komory a další nulování.

- Fantom zůstává v nastavené poloze. Další postup je stejný jako v bodě 2, s výjimkou toho, že se provádí s komorou Semiflex 1: Do držáku komory umístíme komoru Semiflex 1. Komoru nastavíme do záměrného kříže tak, aby její referenční bod ležel na ose svazku záření. Nastavíme geometrický střed komory na hladinu, vynulujeme indikátor hloubky a umístíme komoru do hloubky, pro kterou provádí pracoviště kalibraci ozařovače. Nastavíme SSD, pro kterou provádí pracoviště kalibraci ozařovače. Na tomoterapii se použije geometrie SSD = 85 cm a hloubka komory 1,5 cm. Pro protonový ozařovač se použije hloubka 7 cm. Digitálním teploměrem změříme teplotu vody ve fantomu. Z barometru odečteme tlak. Obě hodnoty zapíšeme do záznamového a výpočetního formuláře.
- Na ozařovači obsluha nastaví počet MU z dotazníku, který odpovídá dávce 2 Gy ve vodě za referenčních podmínek pro pole 10x10 cm<sup>2</sup> při úhlu gantry 0° a energii použitou pro plán glioblastomu. Tento počet MU odzáříme a naměřené hodnoty (alespoň dvě) zaznamenáme do formuláře (viz bod 4).

V záznamovém a výpočetním formuláři se s využitím křížové kalibrace pomocí komory PTW 30013 vypočte dávkový kalibrační koeficient pro komoru Semiflex 1. Tento kalibrační koeficient se vypočte jako podíl absorbované dávky změřené komorou PTW 30013 ve vodním fantomu v referenční hloubce a odezvy komory Semiflex 1 v témže bodě korigované na teplotu a tlak. Obě komory jsou ozářeny stejným počtem MU.

- Body 6 až 8 provedeme analogicky pro komoru TW 31010 v.č. 6651 (Semiflex 2) připojené k Unidosu č. 2 (v.č. 20574).
- Tento bod se neprovádí pro tomoterapii a protonový ozařovač. SSD nastavíme na 92,5 cm a geometrický střed komory posuneme do hloubky 7,5 cm. Na ozařovači obsluha nastaví počet MU z dotazníku, který odpovídá dávce 2 Gy ve vodním fantomu za těchto podmínek pro pole 10x10 cm<sup>2</sup> při úhlu gantry 0° a energii použitou pro plán glioblastomu. Tento počet MU odzáříme a naměřené hodnoty (alespoň dvě) komorou Semiflex 1 zaznamenáme do protokolu.
- Tento bod se neprovádí pro tomoterapii a protonový ozařovač. Fantom hlavy umístíme do fixační pomůcky (korýtko) na ozařovací stůl (poloha na zádech), vyjmeme horní PMMA insert (směr od vrchlíku hlavy) a změříme v něm digitálním teploměrem teplotu, kterou zapíšeme do záznamového a výpočetního formuláře. Poté do něj vložíme ionizační komoru Semiflex 1. Nastavíme fantom tak, aby desky byly kolmo ke stolu a aby boční transverzální lasery procházely ve vzdálenosti 6 mm od rozhraní desek č. 3 a 4 (směrem ke gantry). SSD nastavíme na 92,5 cm a zkontrolujeme, že boční koronální lasery procházejí značkami nad ušima fantomu hlavy. Na ozařovači obsluha nastaví počet MU z dotazníku, který odpovídá dávce 2 Gy ve fantomu hlavy pro SSD = 92,5 cm. Tento počet MU odzáříme a naměřené hodnoty (alespoň dvě) zaznamenáme do protokolu. Komoru vyjmeme a vrátíme do otvoru PMMA insert.
- Měření dávky v bodě  $X_{PTV}$  a  $X_{ch}$  spolu s měřením dávkové distribuce pro plán glioblastomu:  
Z fantomu hlavy vyjmeme oba PMMA inserty z otvorů pro komory směrem od vrchlíku hlavy.

Do fantomu hlavy umístíme mezi desky č. 3 a 4 gafchromický film EBT3 o velikosti cca 10 x 12,5 cm<sup>2</sup>. Film je nutné podél delších hran nůžkami trochu odstříhnout (ve spodní části, tj. tam, kde není napsáno číslo), aby se film vešel mezi šrouby. Film se v rozích přilepí k desce fantomu v takové orientaci, aby se po poskládání fantomu a nastavení fantomu na lůžku urychlovače nacházelo číslo filmu v levém horním rohu filmu při pohledu čelem ke gantry. Film se přilepí tak, aby se horní rohy filmu nacházely přesně na okraji desky. Na desce je vyznačena horní a dolní značka identifikující „nulový bod“ (počátek souřadné soustavy ve vyexportované dávkové distribuci), tyto značky se překreslí na kratší hrany filmu. Na delší hrany filmu se vyznačí značky indikující středy plastových šroubů držících fantom pohromadě. Fantom hlavy poskládáme dohromady a umístíme do fixačních pomůcek na ozařovací stůl, tak aby vrchlík hlavy směřoval ke gantry. Konečné polohování fantomu pro ozáření terapeutickým plánem provede fyzik pracoviště dle toho, jakým způsobem byl připraven ozařovací plán. Zkontrolujeme vzdálenost SSD dle údaje v dotazníku. Do obou otvorů se postupně vloží sonda digitálního teploměru a po ustálení teploty se teplota odečte. Dále se z barometru odečte tlak. Obě hodnoty zapíšeme do záznamového a výpočetního formuláře. Do otvorů vložíme směrem od vrchlíku hlavy obě ionizační komory Semiflex, přičemž komora č. 1 bude dole (bude měřit dávku v cílovém objemu), a komora č. 2 nahoře (bude měřit dávku v kritickém orgánu). Fyzik pracoviště smí provést úpravu polohy fantomu na základě použití kilovoltážního zobrazovacího systému. Provede se ozáření připraveného terapeutického plánu. Odečty jsou průběžně zaznamenávány do záznamového a výpočetního formuláře pro měření oběma ionizačními komorami pro jednotlivé úhly gantry. Až po odzáření celého plánu je načítání odezev na obou Unidosech zastaveno. Z dotazníku se do formuláře opiší průměrné a maximální dávky v objemech  $X_{PTV}$  a  $X_{ch}$ , úhly gantry, počty MU a dílčí průměrné dávky pro jednotlivá pole v  $X_{PTV}$  a  $X_{ch}$ . Ve formuláři se vypočte dávka ve vodě v objemu  $X_{PTV}$  a v objemu  $X_{ch}$ . Odečty komor se opět průběžně zaznamenají do záznamového a výpočetního formuláře.

13. **Ozáření referenčního filmu:** Na desku stolu se umístí minimálně 5 RW3 desek o tloušťce 1 cm. Nastaví se taková výška stolu, aby vzdálenost povrchu horní desky od izocentra byla 100 cm. Zobrazí se světelné pole 10 x 10 cm<sup>2</sup> pro gantry 0° a na povrch horní desky se na světelné pole umístí neozářený referenční gafchromický film (5 x 4 cm<sup>2</sup>). Na film se umístí dalších 5 nebo 10 RW3 desek (každá o tloušťce 1 cm) odpovídajících referenční hloubce použitého terapeutického svazku. SSD by tedy mělo být 95 cm nebo 90 cm. Film se ozáří počtem monitorových jednotek odpovídajících dávce 2 Gy (počty MU se počítají ve vodě).

Pro tomoterapii se neozářený referenční film umístí do vhodného fantomu (např. tzv. Cheese fantom) a ozáří se vhodným plánem (homogenní dávkou). Pracoviště v plánovacím systému odečte dávku v místě filmu ve fantomu.

Pro protonový ozařovač se neozářený referenční film umístí do hloubky 39 mm v RW3 fantomu a ozáří se pristině svazkem o energii 170 MeV (pole 10 cm x 10 cm) z úhlu gantry 0° dávkou 2 Gy.

#### 14. **Kalibrace filmů:**



Pro fotonové svazky: Tato kalibrace se provádí pouze v případě potřeby (tj. pro novou šarži filmu). Na desku stolu se umístí minimálně 5 RW3 desek o tloušťce 1 cm. Nastaví se taková výška stolu, aby vzdálenost povrchu horní desky od izocentra byla 100 cm. Zobrazí se světelné pole kalibračního svazku (10 x 10 cm<sup>2</sup>, gantry 0°) a na povrch horní desky se na světelné pole umístí neozářený kalibrační gafchromický film (5 x 4 cm<sup>2</sup>). Na film se umístí dalších 5 nebo 10 RW3 desek (každá o tloušťce 1 cm) odpovídajících referenční hloubce kalibračního svazku o nominální energii 6 MV. SSD by tedy mělo být 95 cm nebo 90 cm. Film se ozáří počtem monitorových jednotek odpovídajících dávce 0,5 Gy. Analogicky se zbývající filmy ozáří počty monitorových jednotek odpovídajících dávkám 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 a 4 Gy. Poté se v RW3 deskách provede pro kalibrační svazek měření absorbované dávky v referenční hloubce komorou PTW 30013. Komora se do referenční hloubky umísťuje geometrickým středem.

Pro protonové svazky: Tato kalibrace se provádí pouze v případě potřeby (tj. pro novou šarži filmu). Kalibrační filmy budou umístěny v RW3 deskách v hloubce 39 mm a ozáří se pristine svazkem o energii 170 MeV (pole 10 cm x 10 cm) z úhlu gantry 0° dávkami 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 a 4 Gy.

#### 15. Vyhodnocení dávek:

V záznamovém a výpočetním formuláři se v rámci ověření kalibrace svazku porovná dávka stanovená pomocí komory PTW 30013 v referenčním bodě s předepsanou dávkou 2 Gy.

V záznamovém a výpočetním formuláři se pro plán pro ověření dávky za nereferenčních podmínek ve vodě (pro SSD = 92,5 cm) a ve fantomu hlavy spočtou stanovené dávky a porovnají se se 2 Gy.

V záznamovém a výpočetním formuláři se pro terapeutický plán glioblastomu porovnají celkové dávky stanovené pomocí ionizační komory Semiflex 1 s průměrnou dávkou vypočtenou v objemu  $X_{PTV}$  plánovacím systémem.

Ve formuláři se porovnají také dávky stanovené pomocí ionizační komory Semiflex 1 z jednotlivých polí/kyvů terapeutického plánu glioblastomu s průměrnými dávkami vypočtenými v objemu  $X_{PTV}$  pomocí plánovacího systému. Pokud se dávka v tomto objemu při nezávislé prověrce měří vícekrát, do protokolu se uvede průměrná hodnota.

Celková odchylka představuje součet dílčích odchylek daných odchylkou v kalibraci svazku ozařovače, odchylkou v korekci na materiál fantomu, přechodem z jednoduché na složitou geometrii. Tyto tři dílčí odchylky se v záznamovém a výpočetním formuláři spočítají ze zadaných a změřených dat.

Ve formuláři se pro terapeutický plán glioblastomu porovná celková dávka stanovená ionizační komorou Semiflex 2 s průměrnou a poté s maximální dávkou spočtenou v objemu  $X_{ch}$  plánovacím systémem. Pokud se dávka v tomto objemu při nezávislé prověrce měří vícekrát, do protokolu se uvede průměrná hodnota.

#### 16. Vyhodnocení objemů:

Do záznamového a výpočetního formuláře se zaznamenají objemy jednotlivých struktur z dotazníku a porovnájí se s hodnotami objemů udanými z ostatních pracovišť. Dokud nebude získaných hodnot alespoň 10, do protokolu se porovnání neuvádí.

#### 17. Vyhodnocení RED:

Do záznamového a výpočetního formuláře se z dotazníku zaznamenají RED nehomogenit ve fantomu hlavy odečtené z plánovacího systému. Každá stanovená RED se porovnává s průměrnou hodnotou RED z hodnot získaných při předchozích nezávislých prověrkách s vyloučeným zjevně chybných hodnot.

#### 18. Vyhodnocení dávkové distribuce:

Gafchromické filmy budou skenovány (digitalizovány) na skeneru Epson 12000XL na SÚRO pokud možno v den následující po dni ozáření. Pokud to např. vzhledem k měření o víkendu nebude možné, mohou se filmy skenovat s časovým odstupem několika málo dní. Filmy budou skenovány dle Metodiky skenování gafchromických filmů pomocí skeneru Epson 12000XL [15]. Dávkové distribuce se při ozáření fantomu hlavy terapeutickým plánem glioblastomu stanoví dle Metodiky kalibrace filmů v software FilmQA [16]. Změřená a vypočtená dávková distribuce bude porovnána pomocí gama analýzy (globální) v programu FilmQA. Vyhodnocovaným parametrem je gama skóre (tj. procento bodů, které vyhovělo požadavkům gama analýzy). Podrobný postup vyhodnocení dávkové distribuce je uveden v Metodice porovnání 2D dávkových distribucí stanovených pomocí gafchromických filmů a vypočtených plánovacím systémem [10].

2D gama analýza se provádí pro kritéria 4%/3 mm pro relativní dávky jednak pro sesazení distribucí dle značek na filmu, jednak dle ideálního sesazení. Vedle toho se provádí ještě 3D gama analýza, kdy se uvažují zároveň roviny vzdálené  $\pm 3$  mm od roviny dávkové distribuce v plánovacím systému, která byla určena jako rovina, ve které byl umístěn film, přičemž se vychází ze sesazení těchto distribucí dle značek na filmu.

Export referenčních spočtených rovin se provádí prostřednictvím software PlanQA, který umožňuje výběr vhodné roviny včetně jejího náklonu po načtení distribucí exportovaných z plánovacích systémů pracovišť.

Pro protonové svazky je při porovnání změřených a vypočtených dávkových distribucí možné zohlednit závislost odezvy filmů na lineárním přenosu energie (LET) v případě, že je LET známé. Korekce na LET je popsána v metodice [10]. Popsaný efekt se nazývá jako tzv. quenching efekt. Tento požadavek je uveden např. v doporučení AAPM TG 235 z roku 2020. V závislosti na LET mohou gafchromické filmy podhodnocovat dávku i o více než 15% pro klinické podmínky ozáření.

Korekce odezvy filmů na LET (LET korekce) se provádí dle článku Anderson et al. A linear relationship for the LET-dependence of Gafchromic EBT3 film in spot-scanning proton therapy, Phys. Med. Biol. 64 (2019) [17]. Pro výpočet podhodnocení dávky filmem se použije vztah:  $U = -0,0251 \text{ LETd} + 1,02$ , kde U je velikost podhodnocení v dávce a LETd je lineární přenos energie průměrovaný přes dávku (dose averaged LET). Distribuce LETd už umějí počítat přímo moderní plánovací systémy. Na pracovišti PTC Praha ale v plánovacím systému Raystation

nemají tuto funkci aktivní (je za příplatek). Proto se k výpočtu distribuce LETd využívá Monte Carlo simulací pomocí platformy GATE.

LET korekce se provádí v programu Matlab, kde se provede rotace 3D matice LETd pro jednotlivá pole plánu glioblastomu. Rotace se provede o příslušný úhel, např. 3° až 5°, dle geometrie ozáření. Poté se z 3D matice LETd vybere 2D matice LETd (rovina), jež odpovídá rovině, v níž byl ve fantomu umístěn film. Pak se dle pozice izocentra plánu provede registrace (sesazení) 2D distribuce LETd s 2D dávkovou distribucí pro dané pole spočtenou plánovacím systémem (v rovině filmu). Dávková distribuce se pro tento účel vyexportuje ze software PlanQA.

Jednotlivé body spočtené 2D dávkové distribuce se vynásobí příslušnou hodnotou podhodnocení U (viz rovnice výše). Dle této korekce tedy dojde ke snížení dávek ve spočtené dávkové distribuci. Při porovnání spočtené a změřené dávkové distribuce je tento postup ekvivalentní tomu, kdyby se tato stejná korekce použila ke zvýšení dávek v dávkové distribuci změřené filmem. Korigování spočtené dávkové distribuce (oproti korigování změřené dávkové distribuce) bylo použito z praktických důvodů. Korigovaná spočtená dávková distribuce pro plán glioblastomu se získala sečtením spočtených dávkových distribucí pro jednotlivá pole.

Je třeba mít na paměti, že uvedený vztah nemusí platit pro všechny podmínky ozáření, byl totiž odvozen pro dávky kolem 2 Gy, hodnoty LETd přibližně od 1 do 9 keV/μm, energie svazků přibližně od 70 do 160 MeV. Vztah také ještě nebyl ověřen pro více šarží EBT3 filmů.

#### 19. Porovnání DVH pro terapeutický plán glioblastomu:

DVH pro terapeutický plán mozku z jednotlivých pracovišť se graficky porovnají mezi sebou navzájem. Porovnají se DVH pro PTV, mozkový kmen, chiasma optiku, mozek a „Obrys těla minus PTV“ (Body-PTV). Dále se pro jednotlivá pracoviště porovnají parametry odvozené z DVH pro PTV: minimální dávka, maximální dávka, průměrná dávka, medián dávky, D98% (near min dose), D2% (near max dose), index homogenity HI. Všechny uvedené parametry odpovídají definicím dle ICRU 83 [13]. Index homogenity se stanovuje jako:

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}}$$

Pro chiasma opticum a mozkový kmen, pro které je znám objemový parametr  $n=1/a$ , se spočítá gEUD dle Niemierka [9] a NTCP dle LKB modelu [14].

$$gEUD = \left( \sum_i v_i \cdot d_i^a \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$NTCP(D, V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{D - \frac{TD50}{V^n}}{m \cdot \frac{TD50}{V^n}}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) dx$$

Vstupní parametry pro NTCP model (dle QUANTEC [12]):

Orgán	TD50	n	m
Chiasma opticum	65 Gy	0,25	0,14
Mozkový kmen	65 Gy	0,16	0,14

TD50 je dávka, při které lze s pravděpodobností 50% očekávat projev nežádoucího účinku, a m je parametr strmosti na křivce dávka – účinek.

Pro kritické orgány se porovnávají hodnoty dávek spočtených z DVH s hodnotami doporučovanými jako tolerance v QUANTEC [12]. Doporučované hodnoty jsou:

Mícha	Maximální dávka 50 Gy
Mozek	Maximální dávka 72 Gy
Chiasma opticum	Maximální dávka 55 Gy
Mozkový kmen	Celý mozkový kmen maximální dávka 54 Gy V59 Gy < 1 - 10 cc

## 20. Porovnání dalších parametrů

Pro terapeutický plán mozku se porovnají následující parametry z jednotlivých pracovišť:

- celková předepsaná dávka
- počet frakcí
- celkový počet MU na frakci
- toleranční dávky pro jednotlivé struktury
- způsob normalizace dávky
- izodóza, na niž je předepsaná dávka
- parametry stanovené z DVH
- tvar DVH křivek

## 21. Zaznamenání údajů do databáze výsledků

Údaje z dotazníku a ze záznamového a výpočetního formuláře se zaznamenají do databáze výsledků.

## 10 Vyjadřování výsledků a tolerance

### 1. Vyhodnocení dávek:

Odchylka stanovené dávky a dávky odečtené z plánovacího systému je vyjádřena vztahem:

$$\Delta [\%] = 100 * (D_{\text{stanovená}} - D_{\text{pracoviště}}) / D_{\text{pracovištěPTV}}$$

$D_{\text{stanovená}}$  ... dávka stanovená ionizační komorou při prověrce

$D_{\text{pracoviště}}$ ... dávka odečtená z plánovacího systému pracoviště (uvedená v *Dotazníku k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy*).

$D_{\text{pracovištěPTV}}$ ... dávka odečtená z plánovacího systému pracoviště pro PTV (uvedená v *Dotazníku k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy*).

Tolerance pro odchylku dávky v referenčním bodě při ověření kalibrace svazku je  $\pm 2\%$ .

Tolerance pro odchylku celkové průměrné dávky v cílovém objemu  $X_{\text{PTV}}$  při ozáření fantomu hlavy terapeutickým plánem mozku je  $\pm 3\%$ .

Tolerance pro odchylku průměrné dávky v cílovém objemu  $X_{\text{PTV}}$  z jednotlivých polí je  $\pm 5\%$ , překročení lze akceptovat u maximálně jednoho pole.

Tolerance pro odchylku celkové průměrné dávky v chiasma opticu  $X_{\text{ch}}$  při ozáření fantomu terapeutickým plánem mozku je  $\pm 5\%$ , avšak těchto 5% je normalizováno k dávce odečtené z plánovacího systému pracovištěm pro cílový objem.

Celková maximální dávka stanovená v objemu kritického orgánu  $X_{\text{ch}}$  nesmí převýšit celkovou maximální udanou dávku spočtenou plánovacím systémem.

Vedle celkové odchylky dávky v cílovém objemu  $X_{\text{PTV}}$  se stanoví ještě tři dílčí odchylky, ze kterých se celková odchylka dávky skládá. První odchylkou je odchylka v kalibraci svazku (viz výše). Druhou odchylkou je odchylka v přepočtu plánovacím systémem z vody na nereferenční prostředí pro jedno přímé pole. Třetí odchylkou je odchylka v důsledku přechodu od jednoduché (jednoho přímého pole) ke složitější geometrii (klinickému plánu) v témže nereferenčním prostředí (ve fantomu hlavy). Pro druhou a třetí odchylku tolerance stanovena není.

### 2. Vyhodnocení objemů:

Odchylka referenčního objemu struktur a objemu struktur odečteného z plánovacího systému je vyjádřena vztahem:

$$\Delta [\%] = 100 * (V_{\text{referenční}} - V_{\text{pracoviště}}) / V_{\text{pracoviště}}$$

$V_{\text{referenční}}$  ... referenční objem struktur daný konstrukcí fantomu a stanovený jako průměrná hodnota z objemů stanovených na ostatních pracovištích

$V_{\text{pracoviště}}$  ... objem struktur odečtený z plánovacího systému pracoviště (uvedený v *Dotazníku k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy*)

Tolerance je  $\pm 10\%$  pro všechny materiály kromě vody. Pro vodu je tolerance vyjádřena nikoliv relativní odchylkou, ale rozdílem hodnot, který nesmí být větší než 0,05.

### 3. Vyhodnocení RED:

Odchylka relativních elektronových hustot (RED) materiálů ve fantomu hlavy se porovnává s RED nehomogenit odečtených v plánovacím systému z ostatních pracovišť dle vztahu:

$$\Delta [\%] = 100 * (\text{RED}_{\text{referenční}} - \text{RED}_{\text{pracoviště}}) / \text{RED}_{\text{pracoviště}}$$

$\text{RED}_{\text{referenční}}$  ... referenční relativní elektronová hustota stanovená jako průměrná hodnota RED z stanovených na ostatních pracovištích. Ve zjevných případech (vzduch) se použije jako referenční hodnota známá RED materiálu.

$\text{RED}_{\text{pracoviště}}$  ... relativní elektronová hustota odečtená z plánovacího systému pracoviště (uvedená v *Dotazníku k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy*)

Tolerance je  $\pm 10\%$ .

### 4. Vyhodnocení dávkové distribuce:

Akceptační kritéria pro gama analýzu jsou 4% pro rozdíl změřených a vypočtených dávek a 3 mm pro parametr DTA (distance to agreement – vzdálenost bodů se stejnou hodnotou dávky). Minimální vyhodnocovaná dávka je 10% z maximální vypočtené dávky. Vyhodnocovanou veličinou je gama skóre, jež udává, kolik procent bodů vyhovuje akceptačním kritériím. Gama skóre by mělo být rovno nebo větší než 95%.

## 11 Zpracování výsledků a vyhotovení protokolu

Odchyly pro dávkové parametry se stanovují přímo na pracovišti. V případě, že je zjištěna odchylka, která nevyhovuje toleranci, hledá se příčina přímo na pracovišti. Pokud byla příčina odhalena, je přímo při prověrce napravena, pokud je to možné (např. nové odečtení dat z plánovacího systému, které bylo předtím provedeno špatně). K odhalení příčiny nesouladu je možné využít log files, jsou-li k dispozici.

Na pracovišti se také stanovují odchylky pro objemy struktur a RED.

Odchyly ostatních parametrů (dávkové distribuce, DVH atd.) se stanovují a vyhodnocují na SÚRO.

Výsledky nezávislé prověrky se zaznamenají do souboru *prověrka\_hlava\_pracoviště\_datum*, List *Protokol* tohoto formuláře představuje *Protokol z nezávislé prověrky radioterapie mozku*.

Dokument *Protokol z nezávislé prověrky radioterapie mozku* je poté odeslán objednateli.

Výsledky se také zapíší do databáze výsledků, která je vedena ve formátu Microsoft Excel a je uložena ve složce Sdílený disk P:\rentgen\\_SOP\_39\_Nezávislá prověrka radioterapie mozku\databáze výsledků.

## 12 Odhad nejistot

Pro vysokoenergetické fotonové svazky je pro komoru Farmer kombinovaná standardní nejistota stanovení absorbované dávky za referenčních podmínek v souladu s [1,2] odhadnuta na 1,5% (kombinovaná standardní nejistota kalibračního koeficientu v SSDL je 0,55%) pro  $k=1$ .

Pro statický tomoterapeutický svazek je kombinovaná standardní nejistota stanovení dávkového přířkonu ionizační komorou NE 2571 za referenčních podmínek odhadnuta na 1,6% (kombinovaná standardní nejistota kalibračního faktoru v SSDL je 0,73%) pro  $k=1$ . Pro rotační svazky je kombinovaná standardní nejistota stanovení absorbované dávky ionizační komorou NE2571 odhadnuta na 1,7% pro  $k=1$ .

Pro protonové svazky je kombinovaná standardní nejistota stanovení absorbované dávky za referenčních podmínek v souladu s [1] odhadnuta na 2,0% (kombinovaná standardní nejistota kalibračního faktoru v SSDL je 0,55%) pro  $k=1$ .

Nejistota stanovení dávky při ověřování plánu radioterapie mozku v cílovém objemu resp. v chiasma opticu komorou Semiflex je pak odhadnuta na 1,8% ( $k=1$ ) u fotonových svazků z konvenčního lineárního urychlovače, na 2,0% ( $k=1$ ) u tomoterapeutického svazku a na 2,2% ( $k=1$ ) u protonových svazků.

Nejistota stanovení absorbovaných dávek pomocí gafchromických filmů EBT3 a využití tzv. „one-scan“ protokolu je dle výrobce těchto filmů menší než 2% (pro  $k=1$ ). Toto platí pro fotonové svazky.

Pro protonové svazky není nejistota stanovení absorbovaných dávek pomocí gafchromických filmů s ohledem na vliv quenching efektu vyčíslena.

## 13 Mez stanovitelnosti

Pro zkoušky prováděné při prověrce radioterapie hlavy a krku nemá smysl uvažovat mez stanovitelnosti.

## 14 Řízení kvality

### 14.1 Vnitřní kontrola

#### Kontrola reprodukovatelnosti výsledků:

Při prověrce radioterapie mozku se používá ionizační komora typu Farmer a dvě ionizační komory Semiflex (PTW 31002).

Stálost komor Farmer a Semiflex se ověřuje měřeními v kontrolním zdroji dle kapitoly 9.1.

Jako kontrola reprodukovatelnosti výsledků může sloužit opakované měření ve fantomu pomocí komor a filmů na vybraném pracovišti.

### Opakování zkoušky:

Zkouška bude opakována v případě, že odchylka dávky v referenčním bodě při kontrole kalibrace svazku překročí toleranci.

Zkouška bude opakována také v případě, že odchylka dávky v cílovém objemu  $X_{PTV}$  překročí toleranci.

## 14.2 Vnější kontrola

### Účast v mezilaboratorním porovnávání:

Fantom hlavy se ozáří terapeutickým plánem konkrétního pacienta a provede se kontrola změřené dávky v cílovém objemu  $X_{PTV}$  oproti očekávané dávce vypočtené plánovacím systémem (kdy se plán pacienta aplikuje na fantom hlavy). Výsledky se porovnají se standardní kontrolou pracoviště pro daný terapeutický plán konkrétního pacienta (např. kontrola plánu měřením dávky v bodě s využitím ionizační komory a fantomu pracoviště).

### Metrologická kontrola měřícího zařízení:

Zajištěna v souladu s kapitolou 7.

## 15 Protokol o zkoušce

Šablona *Protokolu z nezávislé prověrky radioterapie mozku* je uvedena v Příloze č. 5 a č. 6.

## 16 Záznamy

O provedení a vyhodnocení nezávislé prověrky jsou vedeny záznamy v písemné formě nebo v elektronické formě v tomto rozsahu:

záznam	zodpovídá	uložení – složka	uložení – místnost
Metodika pro nezávislou prověrku radioterapie mozku – elektronická verze	Dufek, Koniarová, Horáková	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku\ <i>Metodika pro nezávislou prověrku radioterapie mozku.docx</i>	
Metodika pro nezávislou prověrku radioterapie mozku – papírový výtisk	Dufek, Koniarová, Horáková	Kit pro nezávislé prověrky	F/9
Postup pro pracoviště - elektronická verze umístěná na webu	Dufek, Koniarová	<a href="https://www.suro.cz/cz/lekarске/pro-odborniky/audit-y-ozarovacu-a-technik-v-radioterapii/prilohy-doporuceni-sujb-nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii-1">https://www.suro.cz/cz/lekarске/pro-odborniky/audit-y-ozarovacu-a-technik-v-radioterapii/prilohy-doporuceni-sujb-nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii-1</a>	



Dotazník k nezávislé prověrce s fantomem hlavy – šablona, elektronická verze	Dufek, Koniarová	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku\ <i>Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy.docx</i>	
Dotazník k nezávislé prověrce s fantomem hlavy – šablona, elektronická verze umístěná na webu	Dufek, Koniarová	<a href="https://www.suro.cz/cz/lekarske/pro-odborniky/audity-ozarovacu-a-technik-v-radioterapii/prilohy-doporuceni-sujb-nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii-1">https://www.suro.cz/cz/lekarske/pro-odborniky/audity-ozarovacu-a-technik-v-radioterapii/prilohy-doporuceni-sujb-nezavisle-proverky-na-miste-v-radioterapii-1</a>	
Dotazník k nezávislé prověrce s fantomem hlavy – vyplněný pracovištěm, papírový výtisk	Dufek, Koniarová	šanon AUDITY – složka pracoviště	F/2
Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku radioterapie mozku – šablona, včetně listu Protokol	Dufek, Koniarová	Notebook pro audity C:\Dokumenty\Audity - podklady\radioterapie hlavy a krku\  <i>Záznamový a výpočetní formulář hlava LU.xls</i>  <i>Záznamový a výpočetní formulář hlava tomo.xls</i>  <i>Záznamový a výpočetní formulář hlava protony.xls</i>	F/9
Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku radioterapie mozku – šablona, včetně listu protokol	Dufek, Koniarová	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku\  <i>Záznamový a výpočetní formulář mozek LU.xls</i>  <i>Záznamový a výpočetní formulář mozek tomo.xls</i>  <i>Záznamový a výpočetní formulář mozek protony.xls</i>	
Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku mozku – vyplněný,	Dufek, Koniarová	Notebook pro audity C:\Dokumenty\audity\audity hlavy\Pracoviště\Rok\ 	F/9

elektronická verze, včetně listu Protokol		<i>Prověřka_hlava_modalita_pracoviště_datum.xls</i>	
Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku radioterapie mozku - vyplněný, elektronická verze, včetně listu Protokol	Dufek, Koniarová	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku \ Výsledky\Pracoviště\Rok\ <i>Prověřka_mozek_modalita_pracoviště_datum.xls</i>	
Protokol o nezávislé prověrce radioterapie mozku - vyplněný, elektronická verze	Horáková, Koniarová, Dufek	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku \ Výsledky\Pracoviště\Rok\ <i>prověřka_hlava_modalita_pracoviště_datum.pdf</i>	
Protokol o nezávislé prověrce radioterapie mozku - vyplněný, papírový výtisk	Horáková, Koniarová, Dufek	šanon AUDITY – složka pracoviště	F/2
Metodika skenování gafchromických filmů pomocí skeneru Epson 12000XL	Dufek Koniarová,	Sdílený disk P:\rentgen\audity - podklady \společně\metodiky\ <i>Metodika skenování gafchromických filmů pomocí skeneru Epson 12000XL.docx</i>	
Metodika kalibrace filmů v software FilmQA	Dufek Koniarová,	Sdílený disk P:\rentgen\audity - podklady \společně\metodiky\ <i>Metodika kalibrace filmů v software FilmQA.docx</i>	
Metodika porovnání 2D dávkových distribucí stanovených pomocí gafchromických filmů a vypočtených plánovacím systémem	Dufek Koniarová,	Sdílený disk P:\rentgen\audity - podklady \společně\metodiky\ <i>Metodika porovnání 2D dávkových distribucí stanovených pomocí gafchromických filmů a vypočtených plánovacím systémem.docx</i>	
Ozářené filmy	Dufek	krabice pro filmy	F/9
Databáze výsledků, elektronicky	Koniarová, Dufek	Sdílený disk P:\rentgen\_SOP_39_nezávislá prověrka radioterapie mozku \Databáze	

		výsledků\Databáze výsledků nezávislé prověrky radioterapie hlavy a krku.xls	
Záznamy o vnitřních kontrolách	Dufek, Koniarová	Notebook pro audit C: \dokumenty\audit\ kontrolní zdroj\kontrola stálosti_MAKRA.xls	F/9
Dokumentace k přístrojům včetně kopií ověřovacích listů	Judas		F/9 a F/4

Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku radioterapie mozku obsahuje prvotní záznamy.

## 17 Seznam příloh

Příloha č. 1: Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy pro fotonovou terapii

Příloha č. 2: Dotazník k radioterapeutickým plánům s fantomem hlavy pro protonovou terapii

Příloha č. 3: Postup pro pracoviště s fotonovými svazky

Příloha č. 4: Postup pro pracoviště s protonovými svazky

Příloha č. 5: Protokol z nezávislé prověrky – fotonové svazky

Příloha č. 6: Protokol z nezávislé prověrky – protonové svazky

Příloha č. 7: Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku s fantomem hlavy – fotonové svazky

Příloha č. 8: Záznamový a výpočetní formulář pro nezávislou prověrku s fantomem hlavy – protonové svazky

## C Vyjádření k „novosti postupů“

Jedná se o originální postup. Při tvorbě metodiky se využily zkušenosti z provádění prověrky moderních radioterapeutických metod [SOP 20] a nezávislé prověrky radioterapie hlavy a krku [SOP 25]. Nově byl zaveden velký objem glioblastomu a nezávislá prověrka tak může být provedena na pracovištích, která neprovádějí radioterapii hlavy a krku, ale provádějí radioterapii mozku. Metodika pro protonový ozařovač předpokládá zavedení korekce odezvy filmů na LET. Nově byl zvolen přístup vyhodnocování gama analýzy nejen 2D, ale i 3D zahrnující okolí filmu.

## D Popis uplatnění schválené metodiky

Nezávislá prověrka radioterapie mozku bude prováděna na základě žádosti SÚJB či jiného subjektu nebo na základě žádosti radioterapeutického pracoviště. Metodika je určena pro potřeby SÚRO a SÚJB a bude uplatněna v rámci podpory státního dozoru a státní správy při prevenci i opatřeních v oblasti lékařského ozáření.

## E Seznam použité související literatury

- [1] [TRS 398] IAEA: ABSORBED DOSE DETERMINATION IN EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY: AN INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE FOR DOSIMETRY BASED ON STANDARDS OF ABSORBED DOSE TO WATER. IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES NO 398, 2000.
- [2] [TRS 483] IAEA-AAPM: DOSIMETRY OF SMALL STATIC FIELDS USED IN EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY, AN INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE FOR REFERENCE AND RELATIVE DOSE DETERMINATION (IAEA 2017)
- [3] DOPORUČENÍ SÚJB: ZAVEDENÍ SYSTÉMU JAKOSTI PŘI VYUŽÍVÁNÍ VÝZNAMNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V RADIOTERAPII – LINEÁRNÍ URYCHLOVAČE POUŽÍVANÉ V RADIOTERAPII, 2016.
- [4] PROVOZNÍ ŘÁD ODBORU LÉKAŘSKÝCH EXPOZIC, STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY, 2020.
- [5] [SOP 11] METODIKA NEZÁVISLÉ PROVĚRKY LINEÁRNÍCH URYCHLOVAČŮ V RADIOTERAPII. SÚRO, 2020.
- [6] ESTRO BOOKLET No. 9: GUIDELINES FOR THE VERIFICATION OF IMRT, 2008.
- [7] [SOP 24] METODIKA PRO NEZÁVISLOU PROVĚRKU OZAŘOVAČE TOMOTHERAPY. SÚRO, 2016.
- [8] [SOP 21] METODIKA PRO PRAVIDELNOU DOZIMETRICKOU KONTROLU OZAŘOVAČE IBA PROTEUS 235. SÚRO, 2013.
- [9] NIEMIERKO A. A UNIFIED MODEL OF TISSUE RESPONSE TO RADIATION. IN: PROCEEDINGS OF THE 41TH AAPM ANNUAL MEETING; 1999. NASHVILLE, TENNESSEE. MED PHYS 1999:1100.
- [10] METODIKA POROVNÁNÍ 2D DÁVKOVÝCH DISTRIBUCÍ STANOVENÝCH POMOCÍ GAFCHROMICKÝCH FILMŮ A VYPOČTENÝCH PLÁNOVACÍM SYSTÉMEM. SÚRO, 2020
- [11] [ICRU 44] ICRU REPORT 44. TISSUE SUBSTITUTES IN RADIATION DOSIMETRY AND MEASUREMENT, 1989.
- [12] [QUANTEC] QUANTITATIVE ANALYSES OF NORMAL TISSUE EFFECTS IN THE CLINIC (QUANTEC), INT. J. RADIATION ONCOLOGY BIOL. PHYS., VOL. 76, No. 3, 2010.
- [13] [ICRU 83] ICRU REPORT 83. PRESCRIBING, RECORDING, AND REPORTING PHOTON-BEAM INTENSITY-MODULATED RADIATION THERAPY (IMRT), 2010.
- [14] BURMAN C, KUTCHER GJ, EMAMI B, GOTEIN M. FITTING OF NORMAL TISSUE TOLERANCE DATA TO AN ANALYTIC FUNCTION. INT J RADIAT ONCOL BIOL PHYS 1991;21;1:123-35.
- [15] METODIKA SKENOVÁNÍ GAFCHROMICKÝCH FILMŮ POMOCÍ SKENERU EPSON 12000XL. SÚRO, 2020.

- [16] METODIKA KALIBRACE FILMŮ V SOFTWARE FILMQA. SÚRO, 2020.
- [17] ANDERSON ET AL. A LINEAR RELATIONSHIP FOR THE LET-DEPENDENT SCANNING PROTON THERAPY, PHYS. MED. BIOL. 64 (2019).



## F Seznam publikací

KONIAROVÁ I., HORÁKOVÁ I., DUFEK V.: THE PILOT STUDY OF ON-SITE END-TO-END IMRT AUDIT IN RADIOTHERAPY IN THE CZECH REPUBLIC WITH THE HEAD ANTHROPOMORPHIC PHANTOM. PHYSICA MEDICA, VOLUME 32, SUPPLEMENT 3, PP 305, 2016.

KONIAROVÁ I., HORÁKOVÁ I., DUFEK V.: THE PROBLEMS FOUND WITHIN THE ON-SITE DOSIMETRY AUDITS OF RADIOTHERAPY CENTRES IN THE CZECH REPUBLIC. RADIO THERAPY AND ONCOLOGY, PO-0940, VOLUME 119, SUPP 1, APRIL 2016. S456. ISSN 0167-8140.

DUFEK V., HORÁKOVÁ I., KONIAROVÁ I., WAGNER R., KOVÁŘ I., DAVIDKOVÁ M.: DOSIMETRY AUDIT OF IBA PROTEUS 235 PROTON PENCIL BEAM SCANNING SYSTEM IN PROTON THERAPY CENTER CZECH IN PRAGUE (PTC). POSTER, PTCOG 55, PRAHA, 2016.

[SOP 11] METODIKA PROVĚRKY PRO LINEÁRNÍ URYCHLOVAČE. SÚRO, 2010.

[SOP 24] METODIKA PRO NEZÁVISLOU PROVĚRKU OZAŘOVAČE TOMOTHERAPY. SÚRO, 2016.

[SOP 21] METODIKA PRO PRAVIDELNOU DOZIMETRICKOU KONTROLU OZAŘOVAČE IBA PROTEUS 235. SÚRO, 2013.

[SOP 20] METODIKA PRO PROVĚRKU MODERNÍCH RADIOTERAPEUTICKÝCH METOD (CERTIFIKOVANÁ METODIKA). PŘÍLOHA 5: METODIKA POROVNÁNÍ ZMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ DÁVKOVÉ DISTRIBUCE PŘI PROVĚRCE MODERNÍCH RADIOTERAPEUTICKÝCH METOD. SÚRO, 2013.

**T A**  
**Č R**

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)  
Výzkum užitečný pro společnost

**SÚJB**  
STÁTNÍ ÚŘAD  
PRO JADERNOU  
BEZPEČNOST