

Radiační ochrana
DOPORUČENÍ

**ZAVEDENÍ SYSTÉMU JAKOSTI PŘI VYUŽÍVÁNÍ
VÝZNAMNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ
V RADIOTERAPII**

KORESPONDENČNÍ TLD AUDIT V SYSTÉMU JAKOSTI V RADIOTERAPII

**SÚJB
2014**

RADIAČNÍ OCHRANA
DOPORUČENÍ

**ZAVEDENÍ SYSTÉMU JAKOSTI PŘI VYUŽÍVÁNÍ VÝZNAMNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ
V RADIOTERAPII
KORSPONDENČNÍ TLD AUDIT V SYSTÉMU JAKOSTI V RADIOTERAPII**

Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2014

Tisk: Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Účelová publikace bez jazykové úpravy

Obsah

PŘEDMLUVA	5
1. ÚVOD	7
2. TLD MĚŘENÍ V RÁMCI KORESPONDENČNÍHO AUDITU	8
2.1. Popis systému TLD	8
2.2. Kalibrace	8
2.3. Stanovení dávky	9
3. METODIKY TLD KORESPONDENČNÍHO AUDITU	10
3.1. Základní TLD audit	10
3.2. Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii	12
3.3. Rozšířený TLD audit pro lineární urychlovače s MLC	14
3.4. Pokročilý TLD audit pro 3D konformní radioterapii	15
3.5. TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii a IMRT	17
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ TLD AUDITU	19
4.1. Vyhodnocení výsledků základního TLD auditu	19
4.2. Vyhodnocení pokročilého TLD auditu pro konvenční radioterapii	19
4.3. Vyhodnocení pokročilejších TLD auditů pro radioterapii s lineárními urychlovači s MLC	20
5. ORGANIZACE A REALIZACE TLD AUDITU	22
6. PŘEHLED POJMŮ A POUŽITÝCH ZKRATEK	23
7. LITERATURA	24
8. PŘÍLOHY – PRAKTICKÉ NÁVODY PRO RADIOTERAPEUTICKÁ PRACOVÍŠTĚ . 25	
Základní TLD audit	26
Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii	36
Rozšířený TLD audit pro lineární urychlovače s vícelamelovými kolimátory (MLC)	50
Pokročilý TLD audit pro 3D konformní radioterapii	55
TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii a IMRT	62

Předmluva:

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) vydal další publikaci z řady „Doporučení“, která si kladou za cíl usnadnit držitelům povolení, resp. uživatelům zdrojů ionizujícího záření plnění povinností uložených zákonem č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen Atomový zákon), a jeho prováděcích předpisech, zejména vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů.

Korespondenční TLD audit v radioterapii představuje nezávislou kontrolu dávky aplikované radioterapeutickým pracovištěm a přispívá k zajištění kvality při externí radioterapii.

Základní TLD audit spočívá v kontrole dávky vypočtené plánovacím systémem pro referenční podmínky a probíhá dle vnitřní směrnice SÚJB „Provádění a hodnocení výsledků TLD auditů v radioterapii“ (VDS 048) pro všechny klinicky používané fotonové a elektronové svazky nejméně jednou za dva roky. Pokročilé verze TLD auditu slouží ke kontrole dávkové distribuce generované plánovacími systémy, dávky ve svazcích záření X modifikovaných vícelamelovým kolimátorem (technika IMRT), ke kontrole dávky aplikované do oblasti s nehomogenitami a kontrole dávkových profilů malých ozařovacích polí.

Toto Doporučení SÚJB „Korespondenční TLD audit v systému jakosti v radioterapii“, které vypracoval kolektiv autorů - Ing. Daniela Ekendahl, Mgr. Michaela Kapuciánová a Ing. Ivana Horáková, CSc. v rámci projektu technologické agentury ČR TB01SUJB071, nahrazuje Doporučení SÚJB „Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - korespondenční TLD audit“ z roku 2003 a revidované v roce 2005.

Protože v každé oblasti poznání se objevují nové informace, poznatky a přístupy, předpokládám, že Doporučení bude dále zdokonalováno a upřesňováno, a proto vítáme jakékoliv připomínky a komentáře od jeho uživatelů.



Ing. Karla Petrová

náměstkyně pro radiační ochranu

1. ÚVOD

Korespondenční TLD audit v radioterapii představuje nezávislou kontrolu dávky aplikované radioterapeutickým pracovištěm. Tato kontrola spočívá ve stanovení dávky pomocí termoluminiscenčních dozimetrů (TLD) ozářených radioterapeutickým pracovištěm předepsaným způsobem a porovnání této dávky s dávkou udanou radioterapeutickým pracovištěm. Korespondenční TLD audity se provádí pro svazky používané k externí radioterapii, konkrétně pro svazky záření X a elektronů z lineárních urychlovačů a svazky záření gama z radionuklidových ozařovačů (^{60}Co a ^{137}Cs). Kromě TLD mohou být v rámci auditu použity i filmy pro účely kontroly dalších vybraných dozimetrických parametrů.

Nezávislé korespondenční TLD audity jsou poskytovány Státním ústavem radiační ochrany, v.v.i. (SÚRO) již od roku 1997. Základní verze těchto auditů spočívající v kontrole dávky vypočtené plánovacím systémem pro referenční podmínky ozáření - kontrola kalibrace svazku - je prováděna pro potřeby Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Každý klinicky používaný svazek v externí radioterapii je touto formou TLD auditu kontrolován nejméně jednou za dva roky. Pokročilejší verze TLD auditu lze provádět při požadavku SÚJB nebo přímo na žádost radioterapeutických pracovišť. Využití těchto auditů je žádoucí zejména při zavádění nových radioterapeutických technik a zařízení do klinické praxe.

Tato publikace je přepracovaným a doplněným vydáním předchozího Doporučení pro korespondenční TLD audit v radioterapii z roku 2005. Potřeba revize tohoto dokumentu vyplynula především ze změn v klinické praxi v České republice, kde se stále více uplatňují moderní počítačově řízené lineární urychlovače s vícemelovým kolimátorem (MLC) v kombinaci se sofistikovanými výpočetními systémy pro plánování léčby. Tato zařízení umožňují složitější způsoby ozáření v rámci tzv. 3D konformní radioterapie včetně IMRT, IGRT a stereotaktické radioterapie. Tomuto trendu bylo nutné přizpůsobit i vývoj metodik TLD auditu. V rámci výzkumných projektů podporovaných Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) a Technologickou agenturou ČR byly vytvořeny dvě nové dílčí metodiky TLD auditu zaměřené právě na moderní lineární urychlovače. Toto revidované vydání Doporučení doplněné o nové metodiky by mělo sloužit především radioterapeutickým pracovištěm, která jejich využitím v rámci vlastních programů zabezpečení jakosti získávají možnost nezávislého ověření plánované dávky i pro podmínky ozáření relevantní moderním radioterapeutickým technikám.

2. TLD MĚŘENÍ V RÁMCI KORESPONDENČNÍHO AUDITU

2.1. Popis systému TLD

Systém termoluminiscenční dozimetrie používaný pro korespondenční audit zahrnuje čtečku TLD s příslušenstvím a dozimetru.

TL dozimetr má formu světlotěsné vodotěsné cylindrické kapsle z plastu (délka 20 mm, vnitřní průměr 2.8 mm, tloušťka stěny 1 mm), která je naplněna termoluminiscenčním materiálem **LiF:Mg,Ti** (typ MT-N, výrobce TLD Poland) **ve formě prášku** o velikosti zrn **75 až 200 μm** . Kapsle obsahuje přibližně 160 mg prášku, což po rozdělení do mističek poskytuje 9 identických jednotlivých vzorků.

Měření dozimetru probíhá jako měření TL signálu jednotlivých vzorků pomocí **čtečky TLD Harshaw 3500**. Základní funkcí čtečky je vyvolat a změřit TLD signál. Měřený vzorek je tedy řízeně vyhříván a uvolněné luminiscenční světlo je kvantitativně zachycováno fotonásobičem. Při měření jsou zaznamenávány termoluminiscenční křivky. Výstupní signál z jednotlivého měření je stanoven jako integrál příslušné TL křivky. Velikost tohoto signálu je úměrná dávce. Odezva dozimetru je stanovena jako aritmetický průměr odezev jednotlivých vzorků. Variační koeficient pro průměr naměřených odezev vztažený k jednomu dozimetru nepřesahuje hodnotu 0.65%.

Výhodou materiálu LiF:Mg,Ti je, že hodnota jeho efektivního atomového čísla ($Z_{\text{ef}} = 8.14$) jej přibližuje požadavku tkáňové ekvivalentnosti ($Z_{\text{ef,tkáň}} = 7.42$). Materiál však vykazuje některé specifické dozimetrické vlastnosti, které musí být zohledněny při vyhodnocení. TL signál tohoto materiálu je závislý na kvalitě záření, postupně klesá v čase (tzv. fading) a jeho hodnota přepočtená na jednotkovou dávku narůstá s hodnotou dávky v oblasti dávek typických pro radioterapii (tzv. supralinearita). Tyto jevy je nutné náležitě korigovat na základě podrobných experimentálních dat.

2.2. Kalibrace

TLD je relativní metoda a k převodu naměřeného TL signálu na dávku je třeba přesná kalibrace TLD systému. Pro odvození kalibračního faktoru K_{cal} je vyčleněna skupina **kalibračních TLD**, které jsou ozářeny zdrojem ^{60}Co na dávku $D_{\text{kal}} = 2 \text{ Gy}$ při nastavení **referenčních podmínek**, tj. ve vodním fantomu na centrální ose svazku v hloubce 5 cm, při běžně používané hodnotě SSD, resp. SAD, a velikosti pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$. K fixaci dozimetru se používá speciální stojánek pro fotonové svazky vyvinutý IAEA pro potřeby TLD auditu [1,2]. Ozáření provádí autorizované metrologické středisko v době termínu TLD auditu.

2.3. Stanovení dávky

Dávka absorbovaná ve vodě v místě dozimetru, D [Gy], se z naměřené odezvy dozimetru ozářeného při auditu, R [nC], vypočte podle vztahu:

$$D = R \cdot K_{kal} \cdot K_{en} \cdot K_{lin} \cdot K_{fad}$$

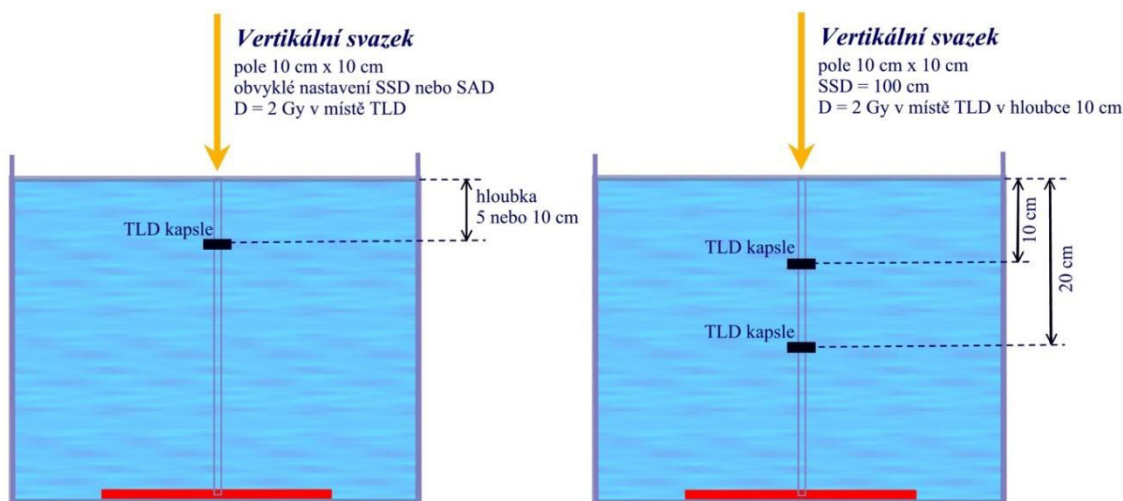
K_{kal} je kalibrační faktor TLD systému. K_{en} , K_{lin} a K_{fad} představují korekční koeficienty pro eliminaci energetické závislosti, supralinearity a fadingu TL materiálu LiF:Mg,Ti. Tyto koeficienty se stanovují zvláště pro každou používanou výrobní šarži materiálu.

3. METODIKY TLD KORESPONDENČNÍHO AUDITU

3.1. Základní TLD audit

Základní TLD audit spočívá v kontrole dávky vypočtené plánovacím systémem pro referenční podmínky. V podstatě se jedná o **kontrolu kalibrace svazku**. V případě zájmu může být zároveň provedena i **kontrola kvality svazku**. Kontrola kalibrace svazku se provádí pro všechny klinicky používané fotonové a elektronové svazky. Pro tento účel slouží standardní stojany IAEA, kterými jsou vybavena všechna radioterapeutická pracoviště. TL dozimetry jsou fixovány ve stojánku ve vodním fantomu v přesně definované poloze a poté jsou ozářeny za referenčních podmínek:

- a) pro **fotonové svazky** se jedná o ozáření dozimetru vertikálním svazkem v SAD nebo při standardně používané hodnotě SSD¹. Velikost ozařovacího pole je $10 \times 10 \text{ cm}^2$, hloubka uložení dozimetru ve vodě závisí na kvalitě záření: pro svazky ^{60}Co , ^{137}Cs a záření X s hodnotou $\text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$ se nastavuje hloubka 5 cm, pro svazky záření X s hodnotou $\text{TPR}_{20/10} > 0.70$ se používá hloubka 10 cm. Ozařovací čas, resp. počet MU se pomocí plánovacího systému stanovuje tak, aby hodnota dávky v místě TL dozimetru byla 2 Gy. Geometrie ozáření je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1: Kontrola vypočtené dávky

Obr. 2: Kontrola kvality svazku

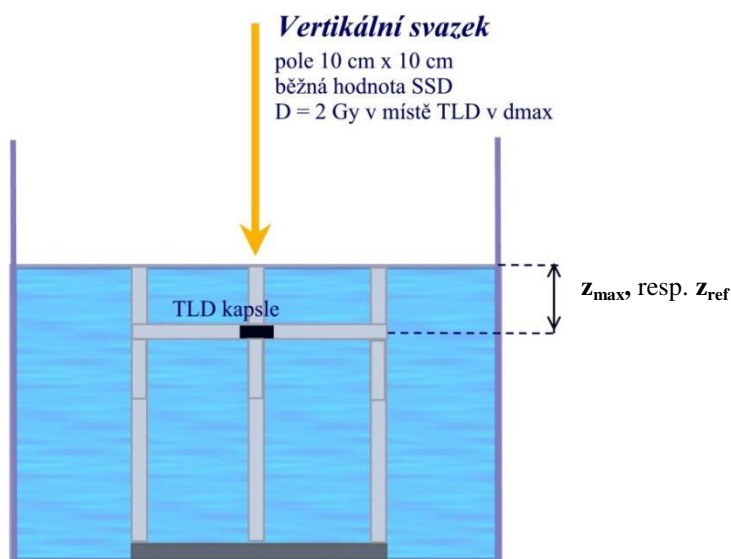
K ověření kvality vysokoenergetických svazků záření X, která je charakterizovaná pomocí veličiny $\text{TPR}_{20/10}$, lze vyjít ze vztahu uvedeného v [3]:

$$\text{TPR}_{20/10} = 1,2661 \cdot \text{PDD}_{20/10} - 0,0595,$$

¹ Pro základní TLD audit fotonových svazků pracoviště použije izocentrickou nebo neizocentrickou techniku, podle toho, která z nich je na pracovišti standardně používána. Velikost pole se vztahuje v případě izocentrické techniky k rovině izocentra (SAD), pro neizocentrické ozařování k rovině povrchu fantomu (standardně používané SSD).

kde hodnota $PDD_{20/10}$ je stanovena na základě měření dvou TL dozimetrů současně ozářených v hloubce 20 cm a 10 cm ve svazku o velikosti $10 \times 10 \text{ cm}^2$ v rovině povrchu fantomu při $SSD = 100 \text{ cm}$. Na obr. 2 je znázorněna příslušná geometrie ozáření TLD ve vodním fantomu. Hodnota $TPR_{20/10}$ určená na základě TL měření se srovnává s hodnotou stanovenou radioterapeutickým pracovištěm. Kontrola kvality svazku se provádí jako doplňující měření pouze v případě, kdy při předchozí kontrole daného svazku byla naměřena významná odchylka.

- b) pro **elektronové svazky** se jedná o ozáření vertikálním svazkem při nastavení běžné hodnoty SSD a velikosti ozařovacího pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Hloubka uložení dozimetru se volí jako hloubka z_{max} , kde dávka nabývá svého maxima nebo jako referenční hloubka z_{ref} pro měření ve fantomu stanovená dle [3]. Volba z_{max} , resp. z_{ref} by měla vycházet z toho, s kterou z těchto veličin pracuje používaný plánovací systém. Příslušnou hloubku lze snadno nastavit pomocí stojánku IAEA pro elektronové svazky (určitým omezením je, že tyto stojánky umožňují nastavení hloubky nejvýše 5 cm, což přibližně odpovídá z_{ref} pro energii elektronů 20 MeV). Počet monitorových jednotek vypočtených plánovacím systémem vychází z předpokladu dávky 2 Gy v místě TL dozimetru. Geometrie ozáření je znázorněna na obr. 3.

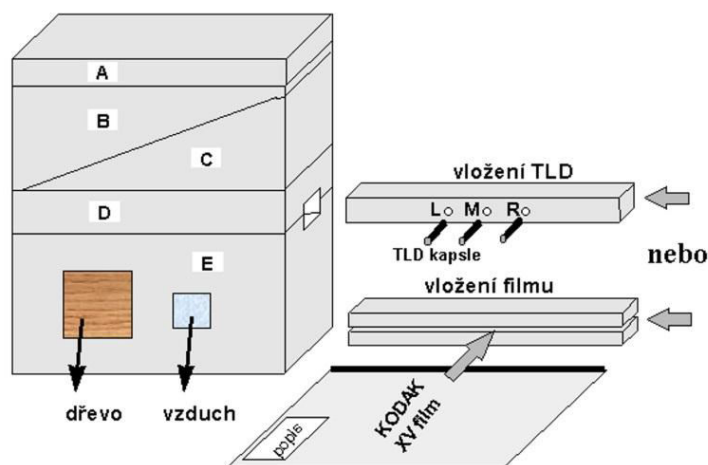


Obr. 3: Kontrola vypočtené dávky pro elektronové svazky

Další podrobnosti a praktický postup pro radioterapeutická pracoviště jsou uvedeny v **Příloze** na str. 26.

3.2. Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii

Ke kontrole dávkové distribuce generované plánovacími systémy lze použít speciální **víceúčelový fantom**, jehož předností je, že s jeho pomocí lze simulovat procedury, kterými prochází pacienti během konvenční externí radioterapie svazky záření X a gama. Jde zejména o posloupnost CT – plánovací systém – ozařovač. Víceúčelový fantom se skládá z celkem 5 do sebe vzájemně zapadajících částí a je konstruován tak, že dovnitř lze vložit TLD nebo film (obr. 4). Je vyroben z pevného vodě-ekvivalentního materiálu ($\rho = 1,03 \text{ g/cm}^3$) a obsahuje dva nehomogenní objemy – ze vzduchu a ze dřeva ($\rho = 0,34 \text{ g/cm}^3$), simulující plicní tkáň.



Obr. 4: Víceúčelový fantom

Měření s fantomem probíhá jako posloupnost několika kroků, které mají simulovat přípravu a realizaci léčby pacienta. Fantom je nejprve sestaven do požadovaného tvaru. Poté se provádí snímkování fantomu pomocí CT tak, aby získaný snímek vedl centrální transverzální rovinou v souladu se značením na fantomu. Získaný snímek je poté přenesen do počítače pro plánování léčby, kde je možné simulovat určité ozařovací geometrie. Požadavkem přitom je, aby TLD uložený na centrální ose svazku obdržel dávku rovnou hodnotě 2 Gy. Ozařování fantomu, uvnitř něhož jsou vloženy TLD nebo film, se provádí v souladu s vypočteným plánem. Pak lze porovnat dávku plánovanou pro místo uložení TLD s dávkou naměřenou pomocí TLD. Vyhodnocením filmu vloženého do fantomu lze navíc kontrolovat i charakteristiky dávkového profilu daného svazku.

Ozáření fantomu s TLD se provádí pro několik jednoduchých případů ozařovacích geometrií (viz tab. 1) s TL dozimetry uloženými v hloubce 5 cm nebo 10 cm podle kvality záření (viz část 3.1.) se středovým TL dozimetrem v izocentru, při otevřeném poli a kolmém (s výjimkou geometrie 5) dopadu záření na povrch fantomu.

Tab. 1: Přehled geometrií ozáření TLD pro kontrolu vypočtené dávkové distribuce s využitím víceúčelového fantomu

Geometrie	Popis	Velikost pole
1	Referenční podmínky	10 cm × 10 cm
2	Asymetrické pole (nastavení s využitím bloku nebo kolimátorem)	(5 cm, 2 cm) × 10 cm
3	Obdélníkové pole	9 cm × 15 cm
4	Různá klínová pole (klinicky používané klíny)	9 cm × 15 cm
5	Dopad záření na šikmý povrch (hloubka 8,3 cm na centrální ose svazku)	15 cm × 15 cm
6	Velké pole (hloubka 10 cm)	15 cm × 15 cm
7	Nehomogenity v ozařovaném objemu (hloubka 10 cm)	15 cm × 15 cm

TLD jsou přitom uloženy v přesně definovaných polohách uvnitř fantomu. V případě všech zkoumaných ozařovacích geometrií se TLD z praktických důvodů nenacházejí v místech prudkého spádu dávkového gradientu, takže přesnost stanovení dávky není významně ovlivněna velikostí TLD. Dávky naměřené pomocí TLD se pak porovnávají s dávkami plánovanými.

Pro případ referenčního ozáření jsou kromě TLD použity i filmy. Na základě naměřených dávkových profilů lze hodnotit následující parametry: velikost ozařovacího pole, homogenitu, symetrii a šířku polostínu radiačního pole. Toto měření je v rámci auditu vedlejší, nicméně může mít význam v situaci, kdy je třeba rychle odhalit příčinu významné odchylky, která může souviset s anomáliemi radiačního pole.

Jak je z metodiky patrné, nejedná se pouze o kontrolu přesnosti výpočtu dávky plánovacím systémem, ale jedná se o celkové ověření realizace plánované dávky, která je však ovlivněna řadou dalších faktorů (kalibrace monitoru dávky, správnost dozimetrických dat zadaných do plánovacího systému, správnost přenosu dat z CT do plánovacího systému, reprodukovatelnost polohy klínového filtru, geometrie ozáření, apod.). Metoda tedy poskytuje souhrnnou informaci, jak je zabezpečena úroveň radiační ochrany pacientů při radioterapii z hlediska přesnosti realizace plánované dávkové distribuce.

Další podrobnosti a praktický postup pro radioterapeutická pracoviště jsou uvedeny v **Příloze** na str. 36.

3.3. Rozšířený TLD audit pro lineární urychlovače s MLC

Zavedení této verze TLD auditu souvisí s rostoucím významem a využitím moderních lineárních urychlovačů vybavených vícelamelovým kolimátorem (MLC) v klinické praxi. Při auditu je pomocí TL dozimetrů kontrolována dávka ve svazcích záření X modifikovaných MLC. TL dozimetry jsou při ozáření fixovány ve vodním fantomu v přesně definované poloze pomocí standardního IAEA stojánku pro fotonové svazky. Provádí se jejich ozáření vertikálním svazkem v SAD nebo při standardně používané hodnotě SSD² a pro různé tvary a velikosti radiačního pole nastaveného pomocí MLC (viz tab. 2). Hloubka uložení dozimetru ve vodě závisí na kvalitě záření (viz část 3.1). Předepsané geometrie ozáření jsou simulovány plánovacím systémem, přičemž počet MU je volen tak, aby hodnota dávky v místě TL dozimetru byla 2 Gy. Ozáření TLD se pak provádí přesně v souladu s vypočteným plánem. Dávky naměřené pomocí TLD se porovnávají s dávkami plánovanými, tj. stanovenými radioterapeutickým pracovištěm.

Tab. 2: Přehled geometrií ozáření TLD pro kontrolu vypočtených dávek pro lineární urychlovače s vícelamelovým kolimátorem (MLC)

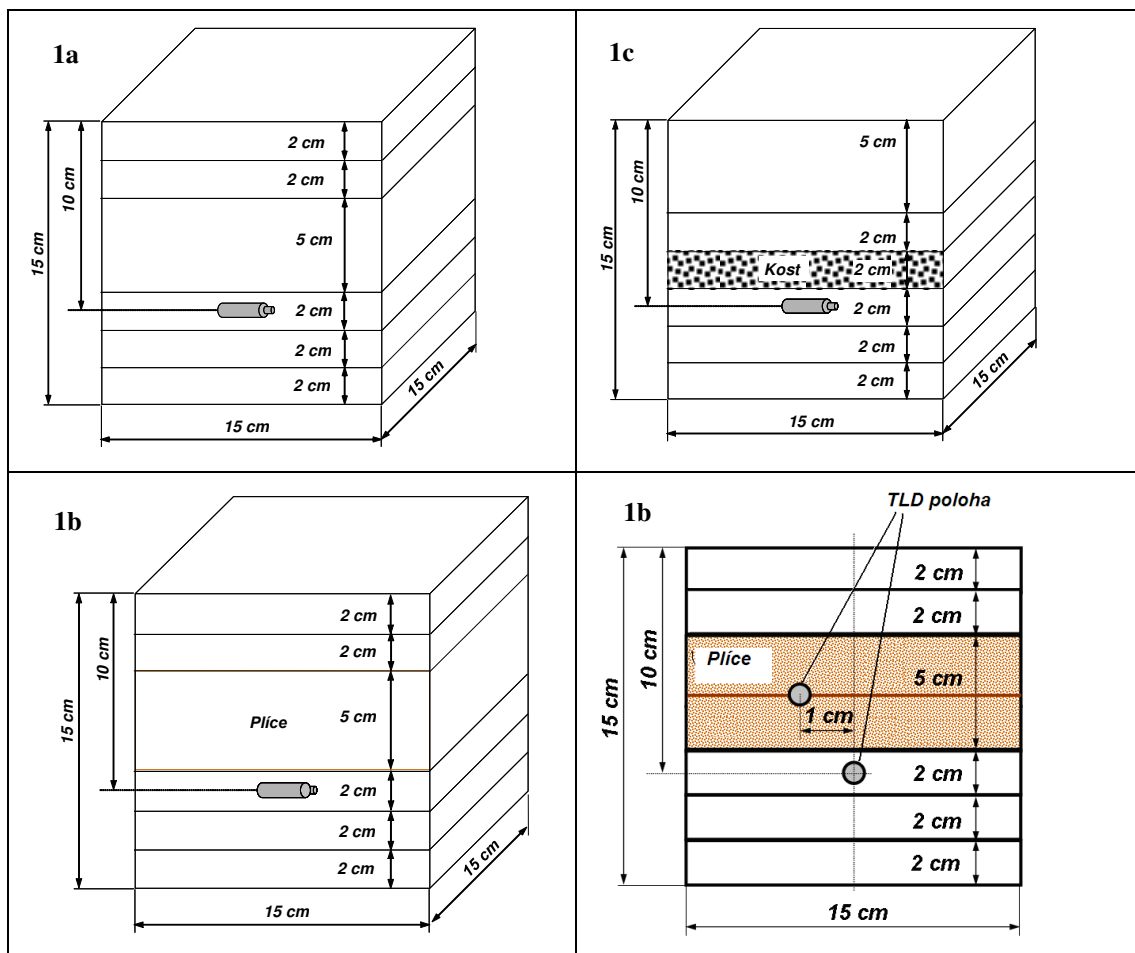
Geometrie	Popis	Velikost pole (maximální délka a šířka)
1	Referenční podmínky	10 cm × 10 cm
2	Malé kruhové pole s MLC	6 cm průměr
3	Obrácené "Y" pole s MLC	15 cm × 10 cm
4	Nepravidelné pole s MLC	10 cm × 8 cm

Další podrobnosti a praktický postup pro radioterapeutická pracoviště jsou uvedeny v **Příloze** na str. 50.

² Pro TLD MLC audit pracoviště použije izocentrickou nebo neizocentrickou techniku, podle toho, která z nich je na pracovišti standardně používaná. Velikosti polí se vztahují v případě izocentrické techniky k rovině izocentra (SAD), pro neizocentrické ozařování k rovině povrchu fantomu (standardně používané SSD).

3.4. Pokročilý TLD audit pro 3D konformní radioterapii

Tato pokročilejší verze TLD auditu umožňuje kontrolovat, jak přesně algoritmy používané v plánovacích systémech počítají dávku, nachází-li se v ozařovaném objemu nehomogenity (plíce, kosti). TLD audit se provádí pomocí speciálního fantomu s nehomogenitami (obr. 5). Fantom se skládá z několika do sebe zapadajících částí, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Hlavním materiálem je polystyren, který lze považovat za ekvivalent vody, dalšími materiály jsou polybutylén tereftalát (Hydex 4101), jež simuluje kostní tkáň a korek, což je materiál ekvivalentní plicní tkáni. Mezi součástmi fantomu jsou i zasunovací bloky umožňující vložení TLD nebo gafchromického filmu. Rozměry fantomu jsou 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pomocí fantomu s nehomogenitami lze simulovat část z procedur, kterými prochází pacienti během externí radioterapie svazky záření X. Zejména se jedná o situace, jež odpovídají terapeutickému ozařování hrudníku svazkem záření X o energii < 12 MV.



Obr. 5: Varianty sestavení fantomu s vyznačením polohy TLD

a – polystyren, b – polystyren s materiálem odpovídajícím plicní tkáni (vpravo je znázorněno umístění dvojice TLD), c – polystyren s materiálem odpovídajícím kosti

Audit probíhá jako posloupnost několika kroků. Fantom je nejprve sestaven do požadovaného tvaru. Jedná se o 3 různé sestavy dle obrázku 5. Pro každou předepsanou

sestavu se provádí snímkování fantomu pomocí CT. Získané snímky jsou poté přeneseny do počítače pro plánování léčby. Plánované geometrie ozáření spočívají v nastavení běžných hodnot SSD (SAD), ozařovacího pole o rozměrech 6 cm × 6 cm a kolmého dopadu záření na povrch fantomu. TLD jsou uloženy v hloubkách dle tabulky 3. Plánovaná dávka pro pozici TLD na centrální ose svazku v hloubce 10 cm je 2 Gy. Sestava fantomu pouze z polystyrenových bloků odpovídá podmínkám referenční ozařovací geometrie. V sestavách s kostní nebo plicní nehomogenitou se TLD nachází na centrální ose svazku pod nehomogenitou a vypočtená dávková distribuce je tedy přítomností nehomogenity ovlivněna. V případě geometrie s plicní nehomogenitou je navíc přídatný TLD vložen přímo i do korkového bloku do místa 1 cm od centrální osy svazku v hloubce 6.5 cm. Ozáření fantomu, uvnitř něhož jsou vloženy TLD, se provádí v souladu s vypočteným plánem. Dávka vypočtená plánovacím systémem je posléze porovnávána s dávkou naměřenou pomocí TLD.

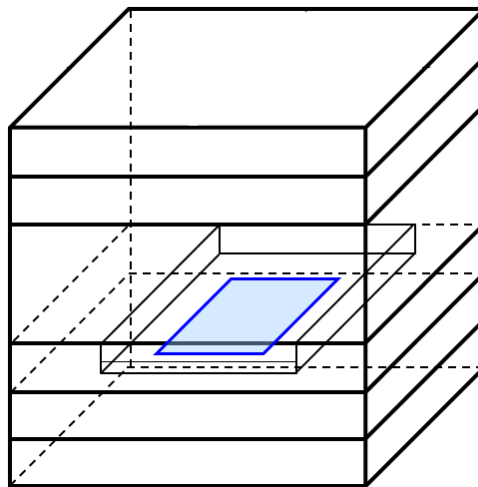
Tab. 3: Přehled geometrií ozáření TLD pro kontrolu vypočtené dávky s využitím fantomu s nehomogenitami

Sestava fantomu	Velikost pole	Umístění TLD		Hloubka
		polystyren	„plicní“ nehomogenita	
Pouze polystyren	6 cm × 6 cm	●		10 cm
S plicní nehomogenitou	6 cm × 6 cm	●	●	10 cm, 6.5 cm
S kostní nehomogenitou	6 cm × 6 cm	●		10 cm

Další podrobnosti a praktický postup pro radioterapeutická pracoviště jsou uvedeny v **Příloze** na str. 55.

3.5. TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii a IMRT

Při stereotaktické radioterapii a IMRT jsou často používána malá ozařovací pole vytvořená MLC. Pro tato malá pole je vhodné kromě dávky na centrální ose svazku kontrolovat i dávkový profil, aby byla zaručena bezpečná aplikace plánované dávky do ozařovaného objemu malých rozměrů. K provedení auditu slouží speciální **fantom**, sestavený z výhradně polystyrenových součástí fantomu s nehomogenitami používaného v metodice popsané v 3.4. V rámci fantomu se používají dva různé typy vnitřních polystyrenových bloků. Jeden z nich umožňuje vložení TLD. Druhý je tvořen kazetou, do níž se vkládá gafchromický film o rozměrech 10 cm × 6 cm (viz obr. 6). V kazetě jsou zabudovány kovové hroty, které slouží jako značky pro identifikaci polohy filmu vzhledem k ozařovači.



Obr. 6: Fantom s kazetou pro vložení gafchromického filmu

Audit probíhá jako posloupnost několika kroků. Fantom je nejprve sestaven do základního tvaru dle obr.5 – varianta a. V této sestavě se provádí jeho snímkování pomocí CT. Získané snímky jsou poté přeneseny do počítače pro plánování léčby. Plánování ozáření se provádí pro nastavení kolmému dopadu záření na povrch fantomu při běžných hodnotách SSD (SAD), ozařovacího pole o rozměrech 2 cm × 5 cm, přičemž poloha TLD je na centrální ose svazku v hloubce 10 cm. Plánovaná dávka pro TLD je 2 Gy. Film v kazetě je uložen v hloubce 10 cm ve fantomu. Filmy se ozařují při nastavení běžných SSD (SAD) a pole 2 cm × 5 cm a 2 cm × 2 cm. Plánovaná dávka v rovině filmu na centrální ose svazku je 8 Gy. Ozáření fantomu, uvnitř něhož jsou vloženy TLD, resp. gafchromické filmy, se provádí v souladu s vypočteným plánem. Přehled ozařovacích geometrií TLD a filmů je uveden v tab. 4. Dávka vypočtená plánovacím systémem je posléze porovnávána s dávkou naměřenou pomocí TLD. Pomocí gafchromických filmů jsou kontrolovány dávkové profily ve dvou na sebe kolmých rovinách („in-plane“ a „cross-plane“) normalizované k hodnotě na centrální ose svazku.

Tab. 4: Přehled geometrií ozáření TLD a filmů pro kontrolu vypočtené dávky a dávkových profilů

Sestava fantomu	Velikost pole	Hloubka	Plánovaná dávka
S TLD	2 cm × 5 cm	10 cm	2 Gy
S filmem	2 cm × 5 cm	10 cm	8 Gy
S filmem	2 cm × 2 cm	10 cm	8 Gy

Další podrobnosti a praktický postup pro radioterapeutická pracoviště jsou uvedeny v **Příloze** na str. 62.

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ TLD AUDITU

Základem vyhodnocení všech TLD auditů je porovnání dávky naměřené pomocí TLD s dávkou stanovenou (vypočtenou) radioterapeutickým pracovištěm. Pro všechna měření dávky se určuje relativní odchylka mezi dávkou D_{TLD} naměřenou TLD, a dávkou D_s stanovenou radioterapeutickým pracovištěm:

$$\Delta_D = \left(\frac{D_{TLD}}{D_s} - 1 \right) \cdot 100\%$$

4.1. Vyhodnocení výsledků základního TLD auditu

Vyhodnocení výsledků v případě měření dávky v rámci **základního TLD auditu** prováděného **pro potřeby státní inspekce** probíhá následujícím způsobem:

$ \Delta_D \leq 3\%$	výsledek vyhovuje tolerančnímu rozmezí
$3\% < \Delta_D \leq 6\%$	výsledek je nevyhovující <ul style="list-style-type: none">▪ opakování TLD auditu▪ v případě potvrzení odchylky nahlášení výsledku SÚJB
$6\% < \Delta_D \leq 10\%$	výsledek je nevyhovující <ul style="list-style-type: none">▪ opakování TLD auditu▪ nahlášení výsledku SÚJB
$10\% < \Delta_D $	výsledek je nevyhovující <ul style="list-style-type: none">▪ okamžité nahlášení výsledku SÚJB

V případě **kontroly kvality svazku** se porovnává pomocí TL dozimetrů naměřená hodnota $(TPR_{20/10})_{TLD}$, s hodnotou stanovenou pracovištěm $(TPR_{20/10})$. Vyhodnocení a analýza výsledků probíhá analogickým způsobem jako v případě měření dávky, tj. včetně tolerance $\pm 3\%$.

4.2. Vyhodnocení pokročilého TLD auditu pro konvenční radioterapii

Vyhodnocení výsledků v případě **pokročilého TLD auditu pro konformní radioterapii** je složitější.

a) V případě měření na centrální ose svazku v homogenním prostředí pro následující jednoduché geometrie ozáření:

- ozáření za referenčních podmínek
- obdélníkové pole
- dopad záření na šikmý povrch
- velké pole

je toleranční rozmezí stanoveno podmínkou $|\Delta_D| \leq 3\%$.

b) V případě měření na centrální ose svazku pro složitější ozařovací geometrie, tj.:

- asymetrické pole
- různá klínová pole
- nehomogenity v ozařovaném objemu

je toleranční rozmezí stanoveno podmínkou $|\Delta_D| \leq 5\%$.

c) V případě měření mimo centrální osu svazku pro všechny ozařovací geometrie, kde se měření mimo centrální osu svazku provádí, tj.:

- různá klínová pole
- dopad záření na šikmý povrch
- velké pole
- nehomogenity v ozařovaném objemu

je toleranční rozmezí stanoveno rovněž podmínkou $|\Delta_D| \leq 5\%$.

Pokud jsou při TLD měření zjištěny hodnoty přesahující uvedená toleranční rozmezí, je danému pracovišti doporučeno prověření možných příčin, které mohly vést k překročení limitů (např. chyby při nastavení, chyby při plánování, nesprávná dozimetrická data zadaná do plánovacího systému, apod.) a přijetí s tím souvisejících nápravných opatření. Vzhledem k rozmanitosti možných příčin a situací však musí být jednotlivé případy řešeny individuálně, a to i v případě, že by audit byl proveden pro potřeby státní inspekce. V závažných případech překročení tolerančních limitů, které nebudou dostatečně vysvětleny, může po dohodě s radioterapeutickým pracovištěm proběhnout nezávislé ověření formou on-site auditu.

4.3. Vyhodnocení pokročilejších TLD auditů pro radioterapii s lineárními urychlovači s MLC

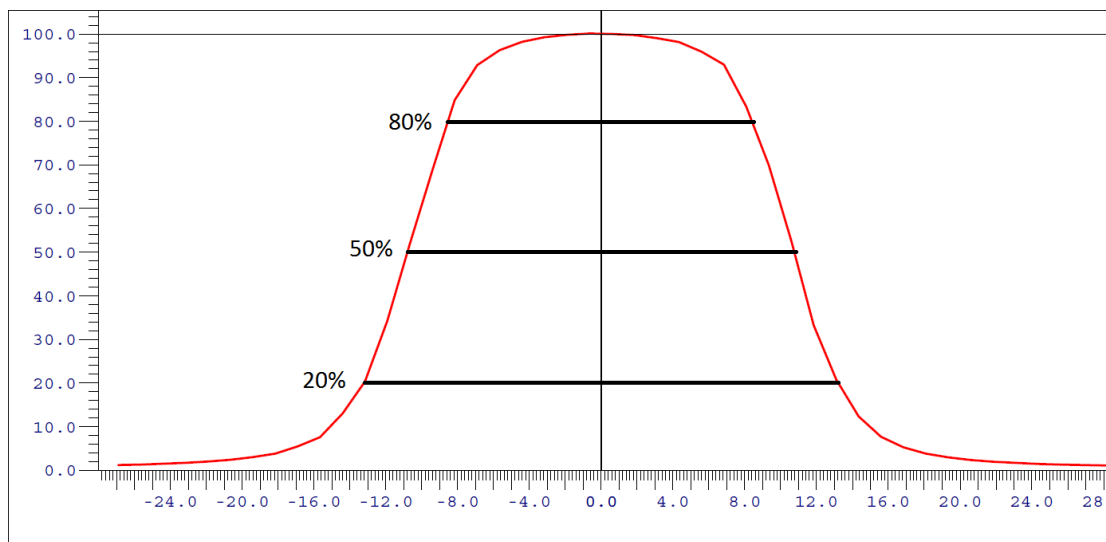
Toleranční rozmezí v případě měření dávky v rámci:

- **rozšířeného TLD auditu pro lineární urychlovače s MLC**
- **pokročilého TLD auditu pro 3D konformní radioterapii**
- **TLD a filmového auditu pro stereotaktickou radioterapii a IMRT**

je stanoveno podmínkou $|\Delta_D| \leq 3\%$ pro všechny ozařovací geometrie.

Je-li naměřena větší odchylka, tj. $3\% < |\Delta_D| \leq 6\%$, je pracovišti doporučeno prověření možných příčin, které mohly vést k překročení limitu, včetně přijetí z toho vyplývajících nápravných opatření. V závažných případech překročení tolerančního limitu, tj. $|\Delta_D| > 6\%$, které nebudou dostatečně vysvětleny, je kromě toho radioterapeutickému pracovišti nabídnuto nezávislé ověření formou on-site auditu.

Je-li součástí auditu vyhodnocení dávkových profilů pomocí filmů, pak se v naměřených dávkových profilech odčítají vzdálenosti bodů s hodnotami relativní dávky 50%, 80%, 20% (viz obr. 7) a porovnají se s hodnotami vypočtenými pomocí plánovacího systému. Toleranční meze jsou dány hodnotou **3 mm pro 50%** a **5 mm pro 80% a 20%**. V případě překročení uvedených hodnot je postup obdobný jako v případě odchylek dávky.



Obr. 7: Dávkový profil

Jsou-li tyto audity provedeny na žádost státní inspekce, je způsob vyhodnocení výsledků stejný jako v případě základního TLD auditu.

5. ORGANIZACE A REALIZACE TLD AUDITU

TLD audity jsou realizovány Státním ústavem radiační ochrany, v. v. i. (SÚRO) pro potřeby Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) nebo na žádost radioterapeutického pracoviště. Každý klinicky používaný svazek v externí radioterapii je touto formou základního TLD auditu kontrolován nejméně jednou za dva roky. Radioterapeutická pracoviště byla pro tento účel vybavena standardními stojánky pro fixaci TLD ve vodním fantomu.

TLD audit je organizován tak, že po dohodě je ze SÚRO na radioterapeutické pracoviště zaslána dozimetrická sestava s požadavkem provedení předepsaných procedur ve stanoveném termínu (viz **Příloha** tohoto Doporučení).

Dozimetrická sestava obsahuje:

- průvodní dopis s uvedením typu a modalit svazků, které mají být kontrolovány
- sadu TL dozimetrů dle počtu kontrolovaných svazků a modalit svazku
- transportní TL dozimetr pro měření dávky pozadí
- fantom - v případě pokročilejších verzí auditu – viz 3.2., 3.4. a 3.5.
- filmy - v případě auditů 3.2. a 3.5.
- protokol(y) o TLD auditu (viz **Příloha**)

Radioterapeutická pracoviště musí odeslat ozářené TLD, resp. filmy, spolu s vyplněným protokolem zpět do SÚRO do 1 týdne po provedení ozáření. SÚRO provádí měření a vyhodnocení obvykle 3 až 4 týdny po ozáření TLD, resp. 1 až 2 týdny po ozáření filmů. Výsledky jsou poté bezprostředně oznámeny na dané radioterapeutické pracoviště a případně i na SÚJB, pokud se jednalo o audit provedený na žádost státní inspekce.

6. PŘEHLED POJMŮ A POUŽITÝCH ZKRATEK

<i>Počet MU</i>	Počet monitorových jednotek.
<i>PDD_{20/10}</i>	Poměr hodnot procentuální hloubkové dávky v hloubkách 20 a 10 cm ve vodním fantomu ve svazku o velikosti 10 x 10 cm ² v rovině povrchu fantomu, přičemž SSD = 100 cm.
<i>R₅₀</i>	Hloubka ve vodě na ose svazku záření, v níž absorbovaná dávka klesne na polovinu své maximální hodnoty. Používá se jako ukazatel kvality elektronových svazků.
<i>SAD</i>	Vzdálenost osy rotace ramene od zdroje záření. <i>Source Axis Distance</i>
<i>SCD</i>	Vzdálenost osy ionizační komory od zdroje. <i>Source Chamber Distance</i>
<i>SSD</i>	Vzdálenost povrchu fantomu (pacienta) od zdroje záření. <i>Source Surface Distance</i>
<i>TPR_{20/10}</i>	Poměr hodnot dávky v hloubkách 20 g.cm ⁻² a 10 g.cm ⁻² pro svazek velikosti 10 × 10 cm ² a konstantní SCD = 100 cm. Používá se jako ukazatel kvality vysokoenergetických fotonových svazků.
<i>Z_{ref}</i>	Referenční hloubka (v g/cm ²) pro měření ve fantomu.
<i>Z_{max}</i>	Hloubka, ve které nabývá sledovaná veličina svého maxima.

7. LITERATURA

- [1] Izewska, J., Bera, P. and Vatnitsky, S. IAEA/WHO TLD postal dose audit service and high precision measurements for radiotherapy precision measurements for radiotherapy level dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.* 101, 387-392 (2002)
- [2] Izewska, J. et al. The influence of the IAEA standard holder on dose evaluated from TLD samples. *Phys. Med. Biol.* 41, 465-473 (1996)
- [3] Technical Report Series No. 398. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. IAEA, Vienna, v platném znění.

8. PŘÍLOHY – PRAKTICKÉ NÁVODY PRO RADIOTERAPEUTICKÁ PRACOVISTĚ

V této kapitole jsou postupně uvedeny praktické návody verze TLD auditů popsané v kapitole 3:

- Základní TLD audit
- Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii
- Rozšířený audit pro lineární urychlovače s MLC
- Pokročilý audit pro 3D konformní radioterapii
- TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii.

Praktické návody jsou doplněny vzorem protokolů, které po vyplnění zasílají radioterapeutická pracoviště spolu s ozářeným dozimetrem, resp. filmy, do SÚRO.

TLD AUDIT V RADIOTERAPII

pro svazky záření X, γ a elektronové svazky

Základní TLD audit

PODROBNÝ NÁVOD

Nejprve několik **důležitých upozornění**:

Než začnete

- Po obdržení zásilky s dozimetrickou sestavou uložte TL dozimetry, resp. filmy, na vhodné místo — musí být vyloučeno jejich nežádoucí ozáření (nehoda) a zahřátí nad úroveň pokojové teploty (neukládat např. na slunečné místo).
- Pečlivě prostudujte všechny materiály, které jste v zásilce obdrželi.

Během auditu

- Ozáření provádějte ve stanoveném termínu — viz protokol. Pokud není možné tento termín dodržet, informujte měřicí centrum (SÚRO — oddělení dozimetrie) a dohodněte si náhradní termín.
- S TL dozimetry manipulujte opatrně. Zabraňte vzájemné záměně kapslí a jejich poškození. Oddělte kapsle určené pro samotný audit od kapslí pro měření pozadí. Kapsle sloužící pro měření pozadí nesmí být ozářeny.

Nakonec

- Všechny dozimetry vložte do originálních obalů a zabraňte jejich záměně.
- Vyplňte všechny požadované údaje v protokolech.
- Znovu zkontrolujte.
- Odešlete do SÚRO.

1. CÍL TLD AUDITU

Cílem TLD auditu je ověření:

- **KONTROLA DÁVKY VYPOČTENÉ PLÁNOVACÍM SYSTÉMEM PRO SVAZKY ZÁŘENÍ ^{60}Co , ^{137}Cs , X A ELEKTRONŮ**

Je měřena absorbovaná dávka ve vodě za **referenčních podmínek** (viz část 2). Hodnota dávky stanovené TLD metodou je porovnávána s hodnotou dávky stanovenou (vypočtenou) radioterapeutickým pracovištěm.

- **KVALITA SVAZKŮ ZÁŘENÍ X**

Kvalita svazků záření X je ověřovaná pomocí veličiny $\text{TPR}_{20/10}$ stanovené na základě měření TLD ozářených současně v hloubce 20 cm a 10 cm ve vodním fantomu a s využitím vztahu mezi $\text{TPR}_{20/10}$ a $\text{PDD}_{20/10}$. Zjištěná hodnota $\text{TPR}_{20/10}$ se porovnává s hodnotou stanovenou personálem ověřovaného pracoviště. Kontrola kvality svazku se provádí jako doplňující měření pouze v případě, že při předchozí kontrole vypočtené dávky byla pro daný svazek naměřena významná odchylka $|\Delta_D| > 6\%$, která nebyla vysvětlena.

2. POSTUP PRO SVAZKY ZÁŘENÍ X a γ

TLD audit fotonových svazků sestává ze dvou částí:

2.1. Stanovení dávky D_{ref}

Pomocí plánovacího systému se stanoví ozařovací čas, resp. počet monitorových jednotek (MU) tak, aby při nastavení **referenčních podmínek** (vodní fantom, pole $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, používaná hodnota SSD, resp. SAD^3 , vertikální svazek, hloubka 5 cm pro ^{60}Co , ^{137}Cs a záření X o kvalitě $\text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$, hloubka 10 cm pro záření X s $\text{TPR}_{20/10} > 0.70$) hodnota dávky byla co nejbližší hodnotě **2 Gy**. Dávku D_{ref} zapište do protokolu. V případě záření X zapište i hodnotu $\text{TPR}_{20/10}$ vztahující se k danému svazku.

2.2. Ozáření TLD

Aby dávka naměřená pomocí TLD byla porovnatelná s dávkou stanovenou kontrolovaným pracovištěm, musí být TLD kapsle ozářeny při nastavení odpovídajícímu nastavení, pro které byla dávka vypočtena plánovacím systémem. Postup správného ozáření TLD je popsán v následujícím textu.

³ Použijte izocentrickou nebo neizocentrickou techniku, podle toho, která z nich je na vašem pracovišti používána standardně. Velikost pole se vztahuje v případě izocentrické techniky k rovině izocentra (SAD), pro neizocentrické ozařování k rovině povrchu fantomu (standardně používané SSD).

2.2.1. PŘÍPRAVA STOJANU, VODNÍHO FANTOMU A SVAZKU

Jednotlivé části stojanu pro umístění TLD do svazku jsou znázorněny na obrázku 1.i. Stojan je tvořen dlouhou tyčí s dvěma příčnými otvory, na konci tyče je disk se třemi otvory pro připevnění podstavních tyček. Kompletní stojan je zobrazen na obrázku 1.ii.

Upozornění: Se všemi částmi stojanu je nutné zacházet opatrně, aby nedošlo k jejich deformaci.

- Umístěte stojan do středu vodotěsné nádoby s minimálními rozměry 30 cm (délka a šířka) a 32 cm (výška). Stojan by měl stát na dně nádoby.
- Na ozařovači nastavte vertikální svazek a pole 10 cm × 10 cm při užívané hodnotě SSD, resp. SAD.
- Nádobu umístěte pod hlavici ozařovače a sjednoťte osu tyče stojanu s centrální osou svazku (viz příklad na obr. 1.iii).
- Pokud nemůžete provést ozáření ve vertikálním svazku, popište podrobně vámi použitou techniku ozáření.

2.2.2. OZÁŘENÍ PRO KONTROLU VYPOČTENÉ DÁVKY

Důležité: Pro každý svazek jsou určeny 3 kapsle TLD. Vyberte kapsle určené pro daný svazek. Kapsle vyčleněná pro měření pozadí nesmí být ozářena. Před ozářením a po něm musí být však všechny TLD kapsle skladovány společně. Zacházejte s kapslemi opatrně, aby nedošlo k jejich záměně nebo otevření a následné ztrátě TLD prášku.

- Nádobu doplňte vodou **přesně** na úroveň vrcholku stojanu. Ujistěte se, že tyč stojanu je také naplněna. Otvor v tyči je pak přesně v hloubce **5 cm**.
- Pro nastavení hloubky **10 cm** je nutné do tyče stojanu nasadit přídatný nástavec a doplnit vodu až k jeho vrcholu. Pak opatrně vytáhněte nástavec ze stojanu.
- Výšku stolu nastavte tak, že hodnota SSD (SAD) odpovídá vámi používané hodnotě.
- Do horního otvoru stojanu, tj. do hloubky 5 cm (10 cm), vložte jednu ze tří určených TLD kapslí. Nejprve vložte dno kapsle tak, jak je ukázáno na obr. 1.iv. Kapsle je pak umístěna v poloze pro ozáření (obr. 1.v.). **Znovu zkontrolujte, zda nastavení osy svazku vůči ose tyče stojanu, úrovně vodní hladiny, velikosti pole a SSD (SAD) jsou správná.**
- Nastavte vypočtený ozařovací čas, resp. počet monitorových jednotek tak, aby hodnota dávky absorbované ve vodě v místě TLD byla 2 Gy.
- Proveďte ozáření s tímto časem, resp. počtem monitorových jednotek.

- Vyměte ozářenou kapsli zatlačením na její dno (obr. 1.vi.).
- Poslední čtyři kroky opakujte pro zbývající dvě kapsle.
- Ozářené kapsle dobře osušte, vložte do původního obalu a obal uzavřete.

2.2.3. OZÁŘENÍ PRO KONTROLU KVALITY SVAZKU

Důležité: Pro každý svazek jsou určeny 2 páry TLD kapslí. Kapsle z jednoho a téhož páru musíte ozařovat současně.

- Nastavte pole 10 cm × 10 cm při SSD = 100 cm.

Do tyče stojanu zasuňte přídatný nástavec a hladinu vody doplňte **přesně** k jeho vrcholu (viz obr. 2). Ujistěte se, že tyč stojanu je také naplněna vodou. Horní otvor stojanu je pak v hloubce 10 cm a dolní otvor je v hloubce 20 cm. Po této operaci **opatrně** vyjměte nástavec.

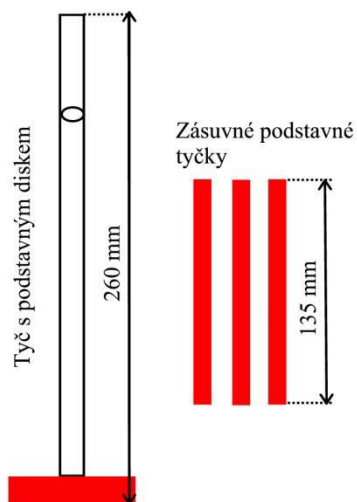
- Vyberte první ze dvou dvojic vyčleněných TLD kapslí. První kapsli vložte do dolního otvoru stojanu (20 cm), druhou do horního otvoru stojanu (10 cm). Způsob vložení kapslí do stojanu ilustruje obr. 1.iv. **Znovu zkontrolujte, že nastavení osy svazku vůči ose tyče stojanu, úroveň vodní hladiny, velikosti pole a SSD jsou správná.**
- Nastavte vypočtený počet monitorových jednotek tak, aby za daných podmínek dávka ve vodě v místě středu kapsle v hloubce 10 cm byla přibližně 2 Gy.
- Proveďte ozáření určeným počtem monitorových jednotek.
- Ozářené kapsle vyjměte ze stojanu (viz obr. 1.vi.) a po osušení je vložte do původního obalu.
- Opakujte postup s druhou dvojicí kapslí.

2.2.4. ZÁVĚR

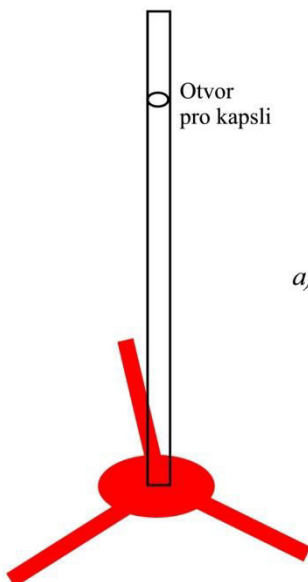
Důležité: Pro správné vyhodnocení porovnání je nutné, abyste do protokolu uvedli všechny požadované údaje.

Obrázek 1: IAEA stojan pro TLD audit fotonových svazků

Obr. i:
Části stojanu

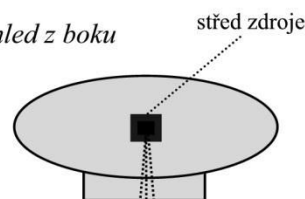


Obr. ii:
Sestavený stojan



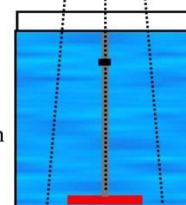
Obr. iii:
Příklad nastavení stojanu vzhledem k svazku

a) pohled z boku střed zdroje

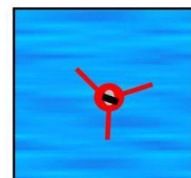


Vertikální směr svazku

nádoba naplněná vodou s vloženým stojanem

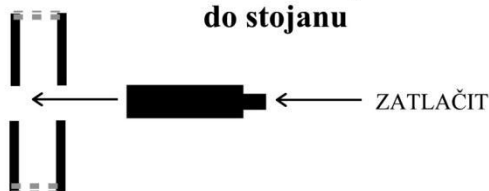


b) pohled ze shora

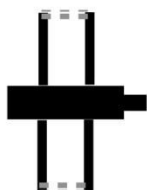


(minimální rozměr nádoby musí být 30 cm)

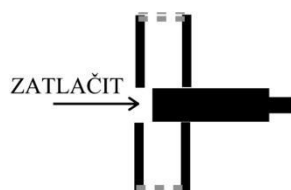
Obr. iv:
Vložení kapsle do stojanu



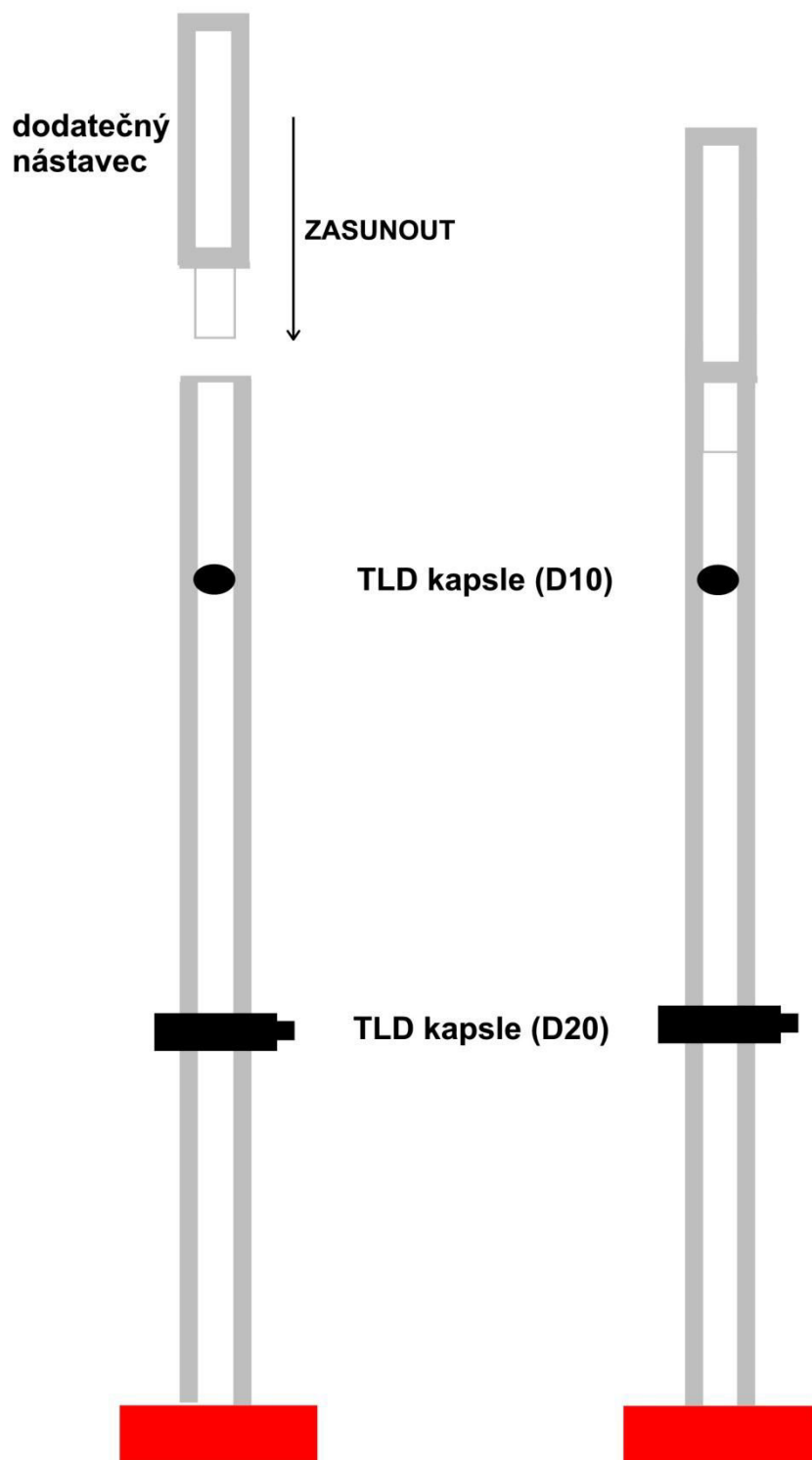
Obr. v:
Poloha kapsle pro ozařování



Obr. vi:
Vyjmutí kapsle ze stojanu po ozáření



Obrázek 2: Úprava stojanu pro kontrolu kvality svazku



3. POSTUP PRO ELEKTRONOVÉ SVAZKY

TLD audit elektronových svazků sestává ze dvou částí:

3.1. Stanovení dávky D_{ref}

Pomocí plánovacího systému se stanoví počet monitorových jednotek (MU) tak, aby při nastavení **referenčních podmínek** (vodní fantom, vertikální svazek, hloubka z_{max} , resp. z_{ref} - podle toho, s kterou z těchto veličin pracuje plánovací systém, používaná hodnota SSD, pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ na povrchu) hodnota dávky byla co nejbližší hodnotě **2 Gy**. Dávku D_{ref} zapíšete do protokolu.

3.2. Ozáření TLD

Aby dávka naměřená pomocí TLD byla porovnatelná s dávkou stanovenou (vypočtenou) kontrolovaným pracovištěm, musí být TLD kapsle ozářeny při nastavení odpovídajícímu nastavení, pro které byla dávka vypočtena plánovacím systémem. Postup správného ozáření TLD je popsán v následujícím textu.

3.2.1. PŘÍPRAVA STOJANU, VODNÍHO FANTOMU A SVAZKU

Pro přesné umístění TLD kapsle do svazku slouží stojan znázorněný na obr.3. Stojan tvoří tři tyče fixované v podstavě, plato pro umístění TLD kapsle, tyčky pro fixaci plata, dlouhá tyčka pro vložení a vyjmutí kapsle, sestava nástavců o výšce 20, 10, 5, 2 a 1 mm.

Upozornění: Se všemi částmi stojanu je nutné zacházet opatrně, aby nedošlo k jejich deformaci.

- Do otvorů v tyčích stojanu zasuňte malé tyčky.
- Na tyče nasadte potřebnou sestavu nástavců tak, aby po nasazení plata byla vzdálenost středu kapsle od vrcholu stojanu rovna z_{max} , resp. z_{ref} (viz obr. 3). Pomocí nástavců lze nastavit různé hloubky s krokem 1 mm.
- Připravený stojan umístěte do středu vodotěsné nádoby s minimálními rozměry 20 cm (délka, šířka a výška). Stojan by měl stát na dně nádoby.
- Nádobu umístěte pod hlavici ozařovače a sjednoťte osu tyče stojanu s centrální osou svazku (viz příklad na obr. 1.iii).
- Nádobu doplňte vodou přesně na úroveň vrcholu stojanu.
- Na ozařovači nastavte vertikální svazek a pole $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ při užívané hodnotě SSD, resp. SAD.

3.2.2. OZÁŘENÍ PRO KONTROLU VYPOČTENÉ DÁVKY

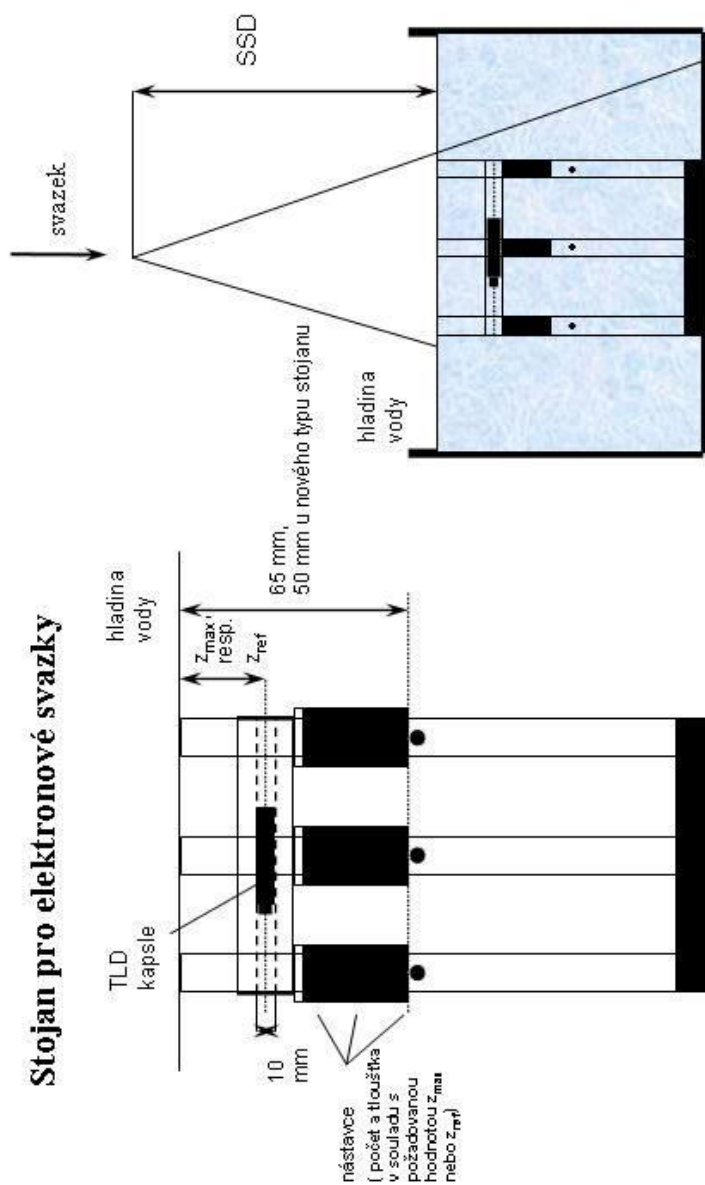
Důležité: Pro každou energii svazku jsou určeny 3 kapsle TLD. Vyberte kapsle určené pro daný svazek a energii. Kapsle vyčleněná pro měření pozadí nesmí být ozářena. Před ozářením a po něm musí být však všechny TLD kapsle skladovány společně. Zacházejte s kapslemi opatrně, aby nedošlo k jejich záměně nebo otevření a následné ztrátě TLD prášku.

- Nádobu doplňte vodou **přesně** na úroveň vrcholku stojanu. Otvor pro kapsli je pak přesně v hloubce z_{\max} , resp. z_{ref} . Pro lepší stabilitu stojanu je vhodné jeho podstavu zatížit.
- Výšku stolu nastavte tak, že hodnota SSD (SAD) odpovídá vámi používané hodnotě.
- Vyndejte stojan z fantomu. Do otvoru v platu vsuňte kapsli a pomocí dlouhé tyčky ji posuňte do středu plata. Celý stojan vložte zpět do fantomu. **Znovu zkontrolujte, zda nastavení osy svazku vůči ose tyče stojanu, úrovně vodní hladiny, velikostí pole a SSD jsou správná.**
- Nastavte počet monitorovacích jednotek tak, aby hodnota dávky absorbované ve vodě v místě TLD byla 2 Gy.
- Proved'te ozáření s počtem monitorových jednotek
- Vyjměte ozářenou kapsli zatlačením na její dno (obr. 1.vi.).
- Poslední čtyři kroky opakujte pro zbývající dvě kapsle.
- Ozářené kapsle dobře osušte, vložte do původního obalu a obal uzavřete.

3.2.3. ZÁVĚR

Důležité: Pro správné vyhodnocení porovnání je nutné, abyste do protokolu uvedli všechny požadované údaje.

Obr 3 : Audit elektronových svazků





Kód pracoviště

Údaje o ozařovači

(zkontrolujte a doplňte správné nebo chybějící údaje)

Typ	
Nainstalován v roce	
Datum poslední výměny zdroje	
Používané svazky a energie	

Způsob stanovení absorbované dávky v referenčním bodě

(zaškrtněte Vámi používaný protokol a doplňte datum)

Fotonové svazky	Elektronové svazky
TRS 398 <input type="checkbox"/>	TRS 398 <input type="checkbox"/>
TRS 277 <input type="checkbox"/>	TRS 277 <input type="checkbox"/>
SROBF <input type="checkbox"/>	SROBF <input type="checkbox"/>
Protokol používán od	Protokol používán od

Požadovaný termín ozáření TLD

Údaje o ozáření TLD

(zapište všechny údaje pro uvedené svazky)

Datum ozáření TLD	Svazek	Nominální energie	SAD nebo SSD [cm] ¹⁾	Velikost pole [cm×cm]	Hloubka [cm] Z _{ref} nebo Z _{max} ²⁾	TPR _{20,10} nebo R ₅₀ ³⁾	D [Gy]

Poznámky

- 1) zaškrtněte příslušný údaj
- 2) pro svazky elektronů zaškrtněte příslušný údaj
- 3) pro svazky záření X uveďte hodnotu indexu kvality TPR_{20,10} definovaného jako poměr dávek ve vodním fantomu měřených při konstantní vzdálenosti zdroj-detektor ve hloubce 20 a 10 cm, pro svazky elektronů uveďte hodnotu hloubky, R₅₀ [cm], na centrální ose svazku, kde absorbovaná dávka dosahuje 50% maximální dávky

Ozáření TLD provedl/a	Podpis

TLD AUDIT V RADIOTERAPII

pro svazky záření X a γ

Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii

PODROBNÝ NÁVOD

Nejprve několik **důležitých upozornění:**

Než začnete

- Po obdržení zásilky s dozimetrickou sestavou uložte TL dozimetry, resp. filmy, na vhodné místo — musí být vyloučeno jejich nežádoucí ozáření (nehoda) a zahřátí nad úroveň pokojové teploty (neukládat např. na slunečné místo).
- Pečlivě prostudujte všechny materiály, které jste v zásilce obdrželi.

Během auditu

- Ozáření provádějte ve stanoveném termínu — viz protokol. Pokud není možné tento termín dodržet, informujte měřicí centrum (SÚRO — oddělení dozimetrie) a dohodněte si náhradní termín.
- S TL dozimetry manipulujte opatrně. Zabraňte vzájemné záměně kapslí a jejich poškození. Oddělte kapsle určené pro samotný audit od kapslí pro měření pozadí. Kapsle sloužící pro měření pozadí nesmí být ozářeny.

Nakonec

- Všechny dozimetry vložte do originálních obalů a zabraňte jejich záměně.
- Vyplňte všechny požadované údaje v protokolech.
- Znovu zkontrolujte.
- Odešlete do SÚRO.

I. ÚVOD

Účelem auditu prováděného pomocí termoluminiscenční a filmové dozimetrie je ověření přesnosti realizace dávkové distribuce generované plánovacím systémem. Jedná se o komplexní proces, kdy není sledována pouze přesnost výpočtu dávky plánovacím systémem, ale jde o celkové ověření realizace plánované dávky, které je ovlivněno řadou dalších faktorů (kalibrace monitoru dávky, správnost dozimetrických dat zadaných do plánovacího systému, správnost přenosu dat z CT do plánovacího systému, reprodukovatelnost polohy klínového filtru, apod.). V tomto smyslu tedy metoda poskytuje souhrnnou informaci, jak je zabezpečena úroveň radiační ochrany pacientů při radioterapii z hlediska přesnosti realizace plánované dávkové distribuce.

Tento audit zahrnuje:

1. MĚŘENÍ ZA REFERENČNÍCH PODMÍNEK

Jedná se o měření dávky a dávkového rozložení za referenčních podmínek shrnutých v následující tabulce:

Tabulka 1: referenční podmínky

Svazek	^{60}Co nebo $X_s \text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$	$X_s \text{TPR}_{20/10} > 0.70$
Hloubka	5 cm	10 cm
Velikost pole	10 cm × 10 cm	10 cm × 10 cm
SAD	konstantní	konstantní

Předepsaná velikost pole se vztahuje k rovině izocentra.

2. MĚŘENÍ ZA ÚČELEM KONTROLY OUTPUT FAKTORŮ

Měření dávky pro dvě různá obdélníková pole v referenční hloubce ve fantomu a v referenční vzdálenosti od zdroje. Jedno z těchto polí může být asymetrické pole nastavené buď stíněním symetrického pole nebo využitím asymetrického kolimátoru (podle možností ozařovače a podle toho, co je nejčastěji používáno v klinické praxi).

Tabulka 2 : Obdélníková pole

Svazek	^{60}Co nebo $X_s \text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$	$X_s \text{TPR}_{20/10} > 0.70$
Hloubka	5 cm	10 cm
Velikost obdélníkového pole	9 cm × 15 cm	9 cm × 15 cm
Velikost asymetrického obdélníkového pole	7 cm × 10 cm	7 cm × 10 cm
SAD	konstantní	konstantní

Předepsaná velikost pole se vztahuje k rovině izocentra

3. MĚŘENÍ PRO HODNOCENÍ SYMETRIE, HOMOGENITY A ŠÍŘKY POLOSTÍNU SVAZKU

Měření distribuce dávky podél os x a y pro různá pole a geometrie (dle požadavku). Dozimetrické filmy jsou použity k měření dávkových profilů pro kontrolu velikosti pole, symetrie, homogenity a šířky polostínu.

4. MĚŘENÍ PRO KLÍNOVÁ POLE

Jde o měření dávky a dávkové distribuce pro pole s kompenzačními klínovými filtry. Toto měření se provádí pro předepsanou geometrii (viz text dále) a všechny klinicky používané klíny.

Tabulka 3 : Klínová pole

Svazek	^{60}Co nebo X s $\text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$	X s $\text{TPR}_{20/10} > 0.70$
Hloubka	5 cm	10 cm
Velikost pole	9 cm × 15 cm	9 cm × 15 cm
Klín	všechny	všechny
SAD	konstantní	konstantní

5. MĚŘENÍ PRO KONTROLU KOREKČÍ NA ZAKŘIVENÍ POVRCHU A NEHOMOGENITY UVNITŘ OZAŘOVANÉHO OBJEMU

Měření dávky a jejího rozložení pro geometrii fantomu s nehomogenitami a se zešikmeným povrchem na straně přivrácené ke zdroji záření.

Tabulka 4: Zkosený povrch

Svazek	^{60}Co nebo X s $\text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$	X s $\text{TPR}_{20/10} > 0.70$
Hloubka	8.3 cm (na ose svazku)	8.3 cm (na ose svazku)
Velikost pole	15 cm × 15 cm	15 cm × 15 cm
SAD	konstantní	konstantní

Tabulka 5: Nehomogenity

Svazek	^{60}Co nebo X s $\text{TPR}_{20/10} \leq 0.70$	X s $\text{TPR}_{20/10} > 0.70$
Hloubka	10 cm	10 cm
Velikost pole	15 cm × 15 cm	15 cm × 15 cm
Nehomogenity	Vzduch, plíce	Vzduch, plíce
SAD	konstantní	konstantní

II. OBECNÝ POSTUP

Měření s víceúčelovým fantomem probíhá v posloupnosti pěti kroků:

1. Sestavení fantomu

Schéma víceúčelového fantomu je znázorněno na obr. A. Postup jak složit fantom pro danou ozařovací geometrii je zobrazen na obr. B, D, E, F a G. V každém případě použijte blok E jako podstavu fantomu (kromě geometrie 7 – viz. text dále) z důvodu zahrnutí plného zpětného rozptylu.

2. Výpočet dávek a dávkového rozložení pomocí PS

Pomocí CT vytvořte transversální řez probíhající centrální rovinou procházející fantomu (viz modré čáry na fantomu). Orientace fantomu vzhledem k CT musí odpovídat orientaci fantomu vzhledem k ozařovači (viz. obr. C). CT snímek přeneste do plánovacího systému a simulujte požadovanou ozařovací geometrii (viz. text dále – obr. 1-7). Pro výpočet zvolte uspořádání SAD tak, že předepsaná velikost pole se vztahuje k rovině polohy dozimetru (centrální kapsle TLD je v izocentru).

Plánovaná dávka v místě dozimetru na centrální ose svazku musí být rovna 2 Gy (nebo co možná nejbližší hodnotě 2 Gy). Vypočtete příslušný ozařovací čas, resp. počet MU. Vypočtete rozložení dávky v rovině filmů podél os x a y.

V případě, že nemáte plánovací výpočetní systém nebo CT, použijte metodu obvykle používanou pro plánování léčby pacientů.

3. Nastavení ozařovače a fantomu

Ozařovač nastavte do polohy vertikálního svazku vzhledem k ozařovacímu stolu. Složte fantom do tvaru odpovídajícího příslušné geometrii a umístěte na stůl pod ozařovač (viz. obr. B,C). Jednotlivé ozařovací geometrie s odpovídajícím nastavením fantomu jsou znázorněny na obr. 1-7. Tyto geometrie je nutno dodržet. Střed fantomu nastavte tak, aby jím procházela centrální osa svazku. Zkontrolujte, zda modré čáry na jednotlivých částech fantomu na sebe navazují, a zda se překrývají s používanými zaměřovači v ozařovně. Zaměření proveďte v souladu s vypočteným ozařovacím plánem. Pokud je pro danou geometrii třeba, nastavte kolimátor do požadované polohy.

4. Ozařování TL dozimetrů

Vložte správný počet kapslí TLD a ucpávek (podle geometrie viz obr. 1-7) do připravených otvorů (obr. B). Viz také tabulka 6.

Při nastavení dané geometrie a času ozařte TL dozimetry.

Vyjměte kapsle s dozimetry. Pokud je to nutné, zatlačte přitom na spodní část kapslí.

Ujistěte se, že jste před ozařováním správně uložili TL dozimetry do fantomu. Po skončení ozařování uložte ozářené dozimetry tak, aby nedošlo k jejich dalšímu ozáření.

Uložte kapsle do příslušných obalů.

Do protokolů uveďte všechny požadované údaje.

Spolu s ozářenými dozimetry zašlete i vypočtené izodózní plány s vyznačenou polohou dozimetrů.

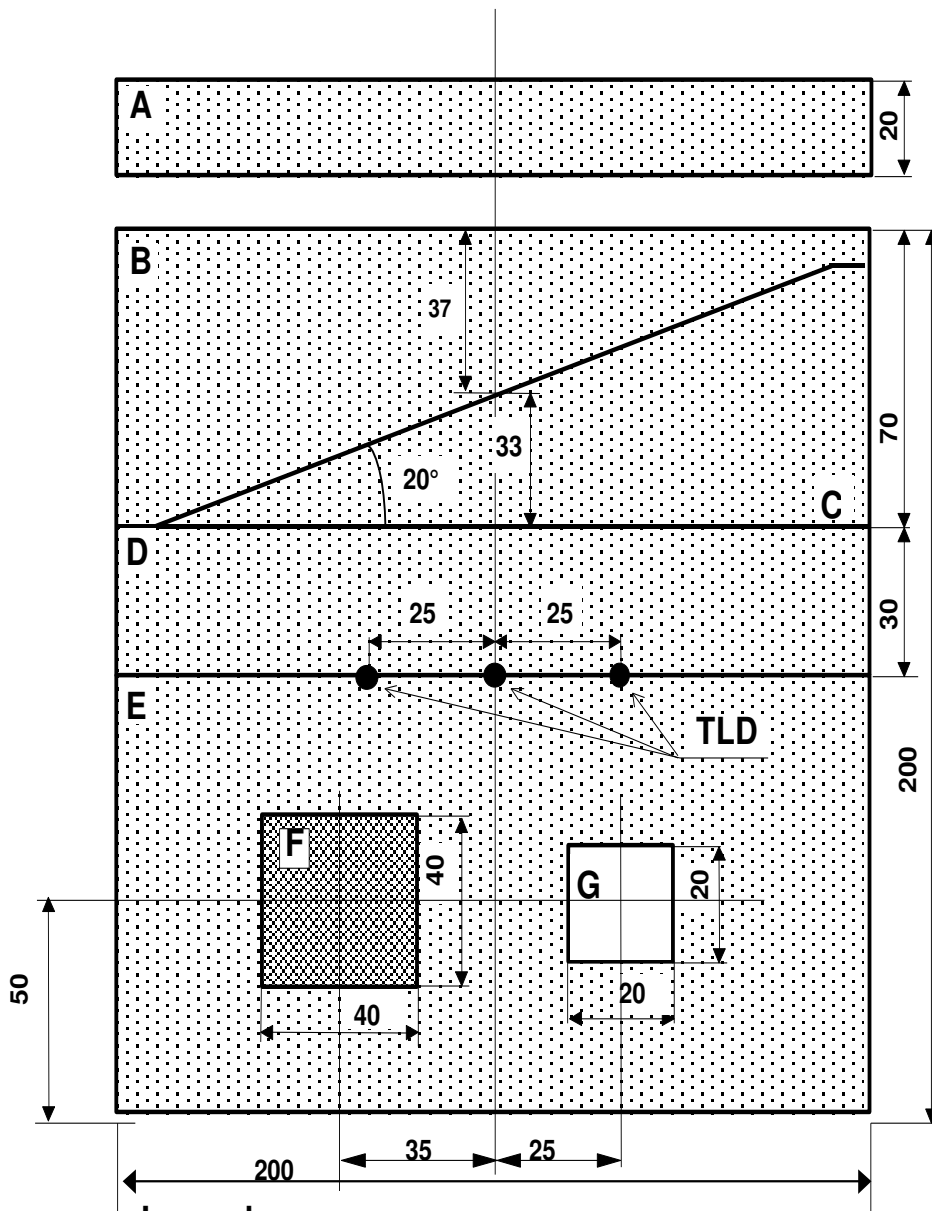
5. Ozáření filmu

Doba ozařování filmu (resp. počet MU) by měla být cca 1/6 ($D_{\text{film}} \sim 0.3 \text{ Gy}$) doby ozařování TL dozimetrů.

- a) Po ozáření TL dozimetrů připravte fantom pro ozařování filmů (obr. B).
- b) Umístěte film (včetně jeho papírové obálky) podle obr. B,C mezi výměnné centrální bloky pro dané nastavení fantomu. Zkontrolujte polohu nálepky a modrého okraje filmu. Zkontrolujte, že film je vložen v souladu s popisky na výměnných centrálních částech fantomu. Zkontrolujte, že v poloze nad filmem je výměnný centrální blok přiléhající k filmu stranou se čtyřmi značkami (tyto značky budou na filmu promítnuty po jeho vyvolání).
- c) Ozařte film.
- d) Vyjměte film z fantomu.
- e) Na nálepce označte hloubku uložení, datum, dávku, dobu ozáření

OZÁŘENÝ FILM NEVYVOLÁVEJTE!

Obr. A. Schéma víceúčelového fantomu

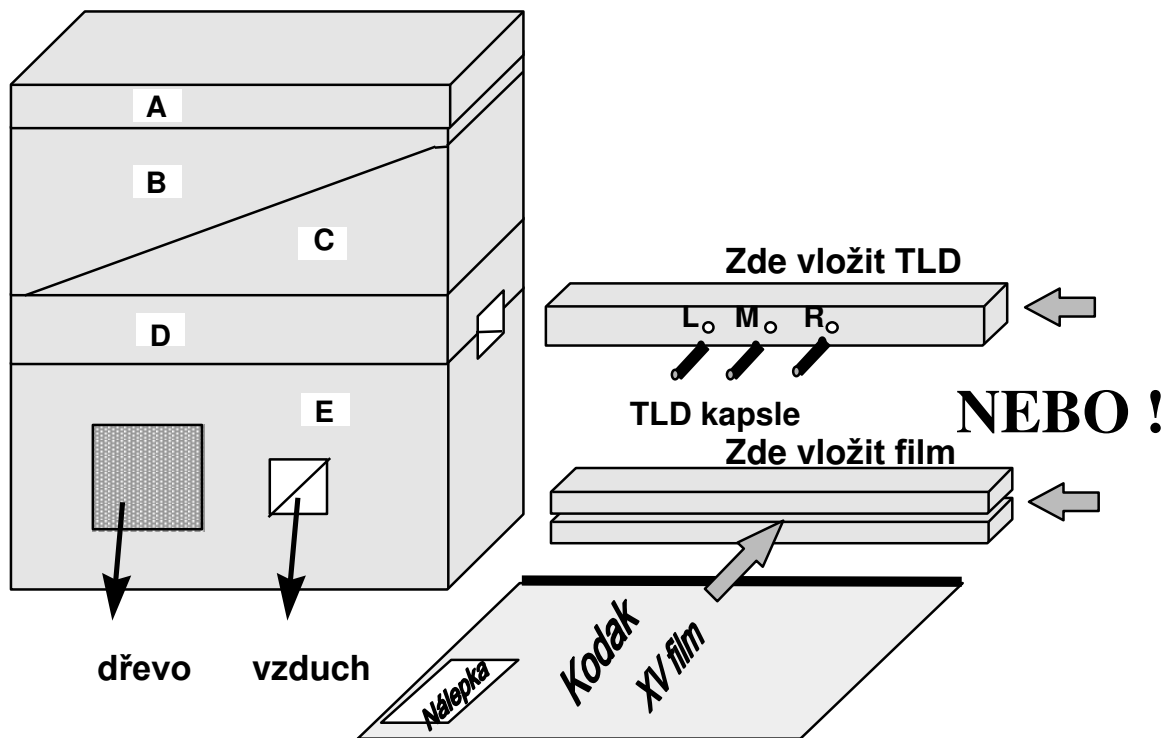


Legenda

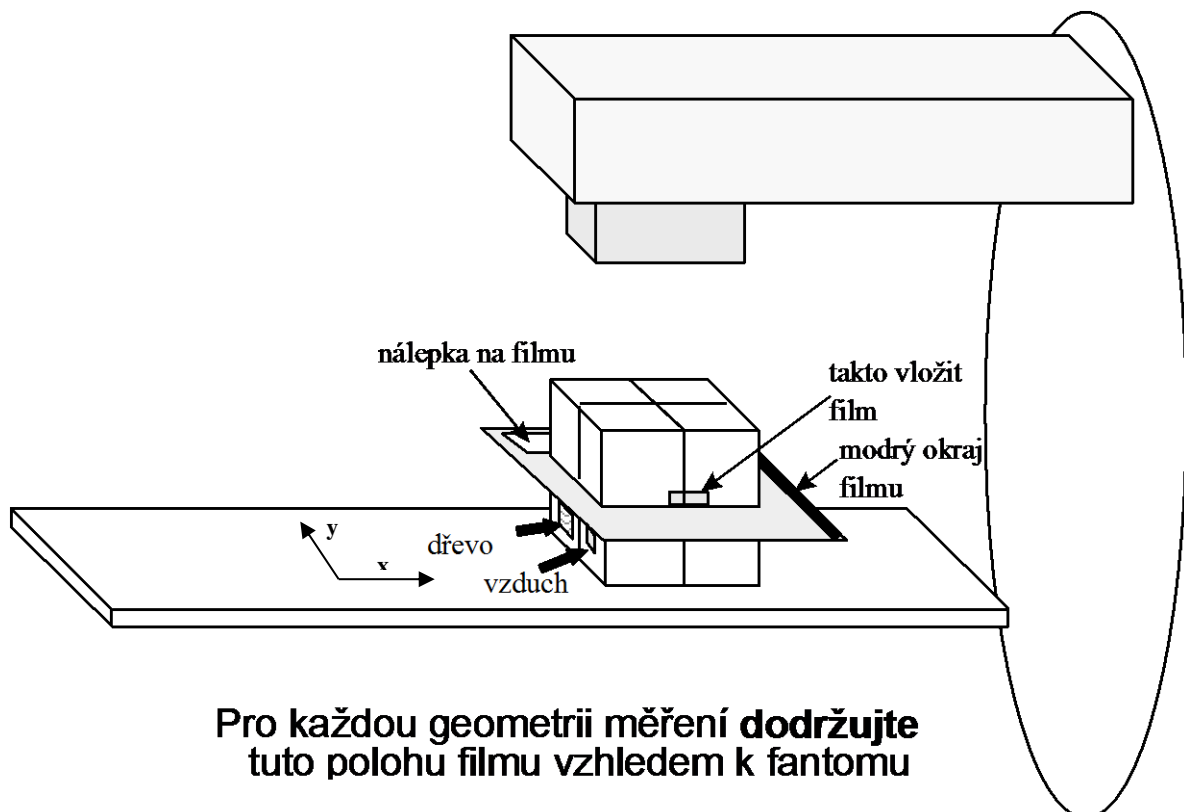
- A - polystyrenový blok 200 x 200 x 20 mm
- B - polystyrenový blok doplňkový k bloku C
- C - polystyrenový blok pro měření se zkosným povrchem fantomu
- D - polystyrenový blok 200 x 200 x 30 mm
- E - polystyrenový blok 200 x 200 x 100 mm s otvory F a G
- F - dřevěný kvádr 40 x 40 x 200 mm
- G - vzduchová nehomogenita 20 x 20 x 200 mm

Hustota dřeva = 0.34 g/cm³
 Hustota vzduchu = 0.0012 g/cm³
 Hustota materiálu fantomu = 1 g/cm³

Obr. B. Sestavení víceúčelového fantomu

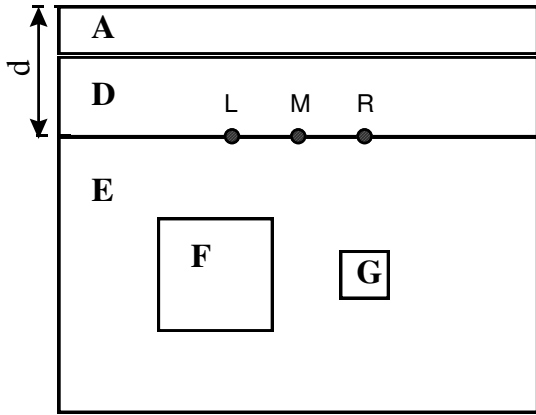


Obr. C. Orientace filmu při ozařování

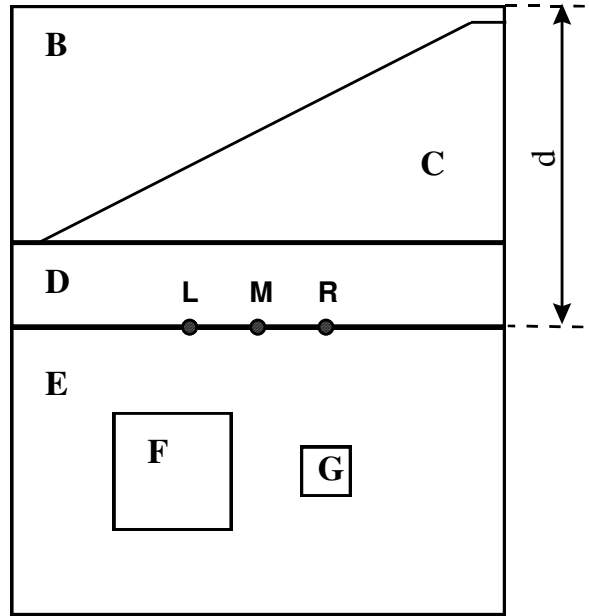


Konstrukce fantomu pro jednotlivé geometrie měření

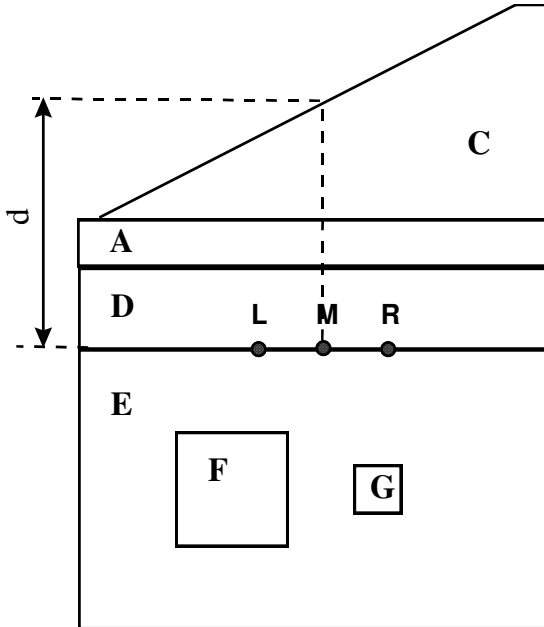
Obr. D
d = 5 cm



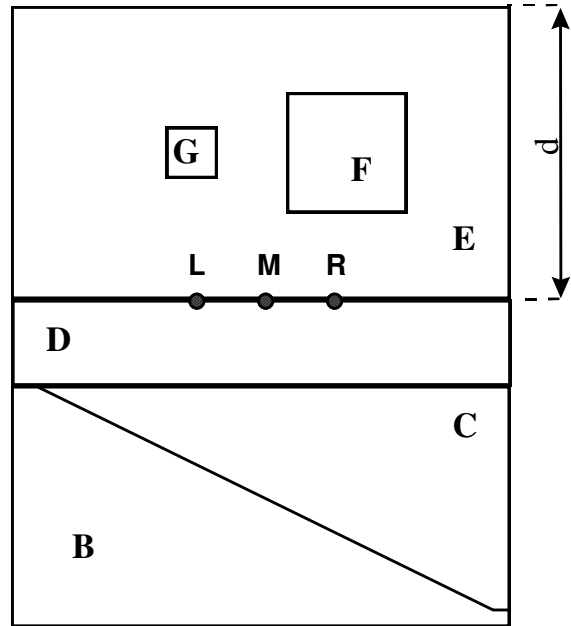
Obr. E
d = 10 cm



Obr. F
d = 8.3 cm



Obr. G
d = 10 cm



TABULKA 6

Následující tabulka ukazuje pozice kapslí pro různé geometrie měření

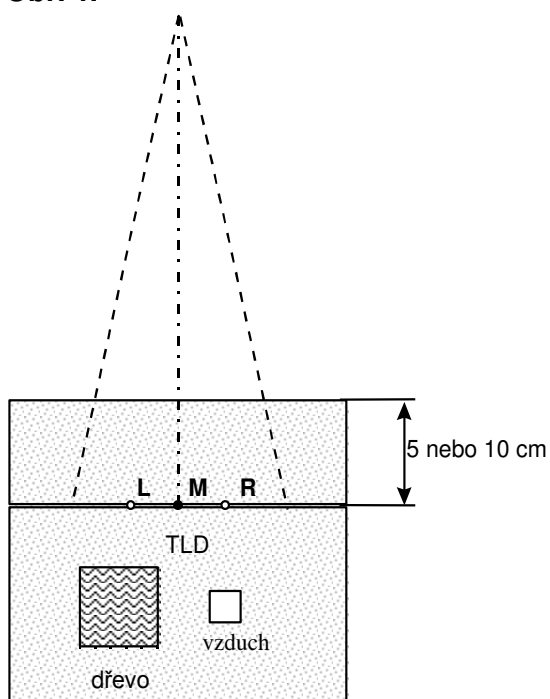
Geometrie měření	Hloubka uložení ve fantomu (cm)	Poloha TLD kapslí			Konstrukce fantomu podle obr.	Počet ozáření
		L (Levá)	M (Střední)	R (Pravá)		
1	5 nebo 10	○	●	○	D nebo E	3
2a nebo 2b	5 nebo 10	○	●	○	D nebo E	3
3	5 nebo 10	○	●	○	D nebo E	3
4	5 nebo 10	●	●	●	D nebo E	3
5	8.3	●	●	●	F	3
6	10	●	●	●	E	3
7	10	●	●	●	G	3

○ - ucpávky

● - kapsle s TLD

GEOMETRIE 1 - Referenční: 10 cm x 10 cm – otevřené pole – dozimetry v hloubce 5 cm nebo 10 cm ve fantomu – SSD nebo SAD běžně používané

Obr. 1.



Velikost pole: 10 cm x 10 cm - otevřené pole

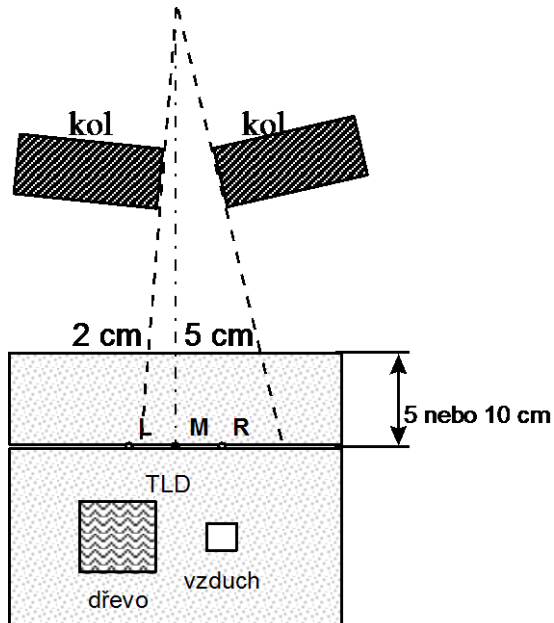
Konstrukce fantomu: viz. obr. D (hloubka=5 cm) nebo obr. E (hloubka=10 cm)

TLD (1 kapsle a 2 ucpávky) v referenční hloubce – celkem 3 ozáření (každou ze 3 kapslí zvlášť)

Film v referenční hloubce

GEOMETRIE 2 - Asymetrické pole – nastavení pomocí asymetrického kolimátoru (obr. 2a) nebo pomocí stínícího bloku (obr. 2b) – vyberte variantu podle možností pracoviště

Obr. 2a.



Velikost pole: 7 cm x 10 cm - asymetrické pole

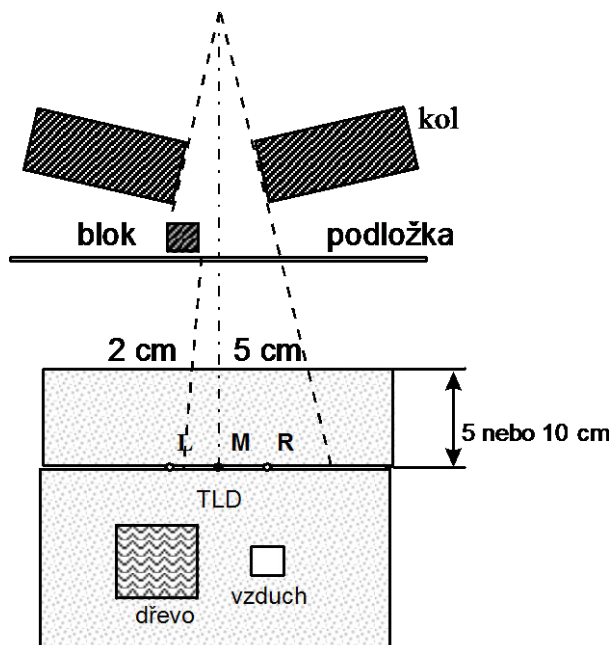
Konstrukce fantomu: viz. obr. D (hloubka=5 cm) nebo obr. E (hloubka=10 cm)

TLD (1 kapsle a 2 ucpávky) v referenční hloubce

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra.

Obr. 2b.



Velikost pole: 7 cm x 10 cm - asymetrické pole

Konstrukce fantomu: viz. obr. D (hloubka = 5 cm) nebo obr. E (hloubka = 10 cm)

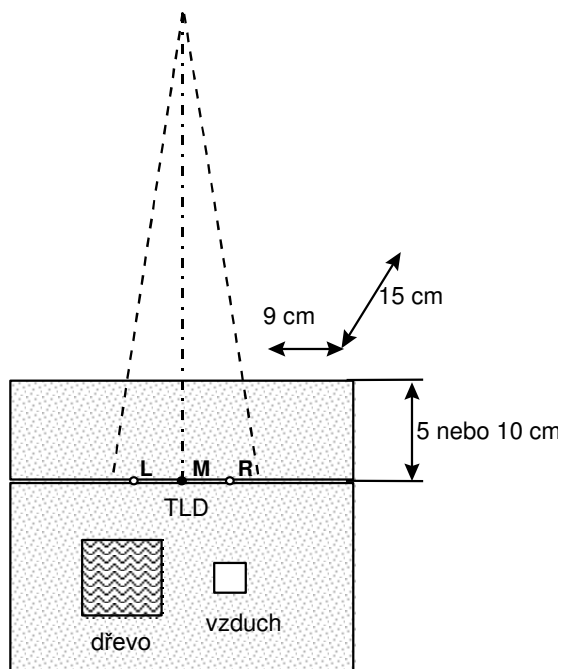
TLD (1 kapsle a 2 ucpávky) v referenční hloubce

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra.

GEOMETRIE 3 - Obdélníkové pole 9 cm x 15 cm

Obr. 3.



Velikost pole: 9 cm x 15 cm - otevřené pole

Konstrukce fantomu:

viz. obr. D (hloubka = 5cm)

nebo obr. E (hloubka=10cm)

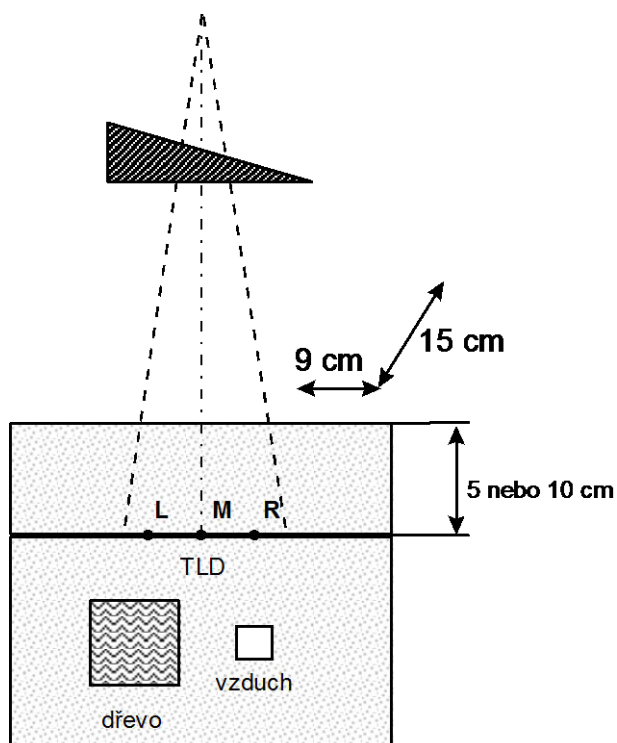
TLD (1 kapsle a 2 ucpávky) v referenční hloubce

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra

GEOMETRIE 4 - Klínové pole 9K cm x 15 cm – pro všechny klinicky používané klíny

Obr. 4.



Velikost pole: 9K cm x 15 cm - klínové pole

Konstrukce fantomu:

viz. obr. D (hloubka = 5cm)

nebo obr. E (hloubka = 10cm)

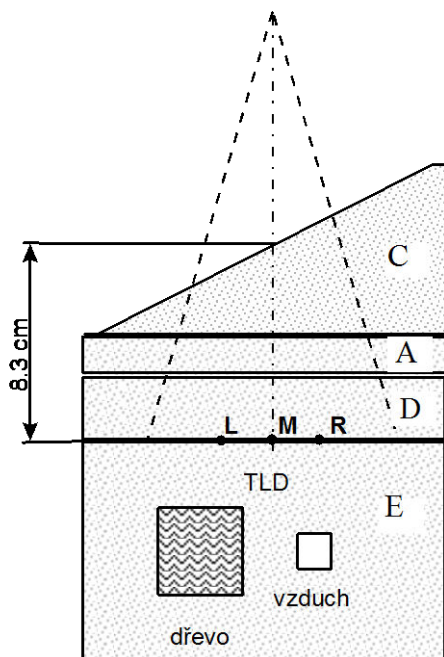
TLD (3 kapsle) v referenční hloubce – ozářit najednou

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra.

GEOMETRIE 5 - Fantom se zkoseným povrchem

Obr. 5.



Velikost pole: 15 cm x 15 cm - otevřené pole, fantom se zkoseným povrchem

Konstrukce fantomu: viz. obr. F

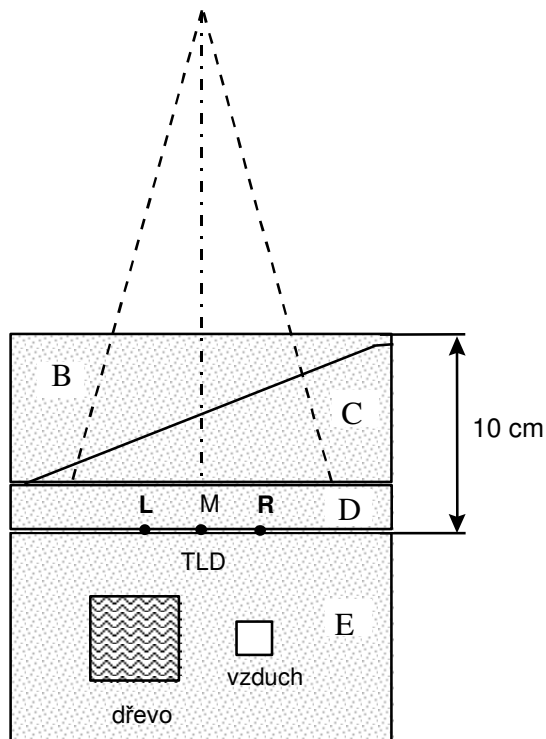
TLD (3 kapsle), prostřední dozimetr v hloubce 8.3 cm ve fantomu – ozářit najednou

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra.

GEOMETRIE 6 - Otevřené pole

Obr. 6.



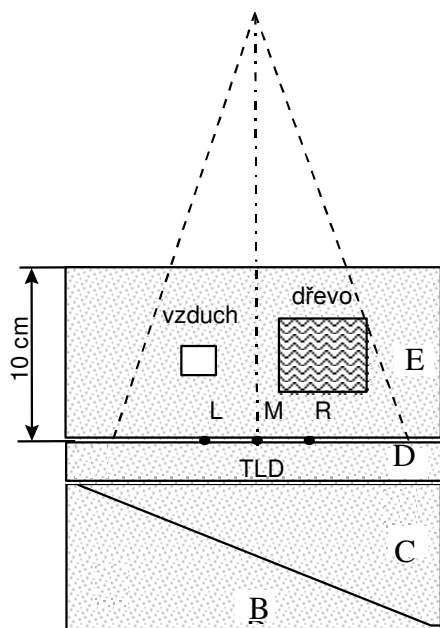
Velikost pole: 15 cm x 15 cm - otevřené pole

Konstrukce fantomu: viz. obr. E

TLD (3 kapsle) v hloubce 10 cm

GEOMETRIE 7 - Nehomogenity

Obr. 7.



Velikost pole: 15 cm x 15 cm - otevřené pole

Konstrukce fantomu: viz. obr. G

TLD (3 kapsle) v hloubce 10 cm

Poznámka:

Pro případ volby SAD se rozměry uvedené na obrázku na povrchu týkají roviny izocentra.

Pokročilý TLD audit pro konvenční radioterapii



Požadovaný termín ozáření TLD

Pracoviště

«Pracoviště»

Údaje o ozařovači ¹⁾

Typ	
Nainstalován v roce	
Energie [MV]	
TPR _{20,10} ²⁾	
Plánovací systém	
Způsob stanovení absorbované dávky v referenčním bodě (zaškrtněte používaný protokol a doplňte datum)	TRS 398 <input type="checkbox"/> TRS 277 <input type="checkbox"/> SROBF <input type="checkbox"/> Protokol používán od

Parametry ozáření TLD ¹⁾

Pole	Geometrie ozáření	Hloubka ve vodě [cm]	SAD nebo SSD [cm] ³⁾	Velikost pole (max. délka a šířka) [cm×cm]	Klín	D [Gy] ⁴⁾		
						L	M	R
1	Referenční podmínky							
2	Asymetrické pole							
3	Obdélníkové pole							
4	Klínové pole (specifikujte typ klínu)							
5	Fantom se zkoseným povrchem							
6	Otevřené pole							
7	Nehomogenity							

Poznámky

¹⁾ do tabulky doplňte požadované údaje

²⁾ uveďte hodnotu indexu kvality TPR_{20,10} definovaného jako poměr dávek ve vodním fantomu měřených při konstantní vzdálenosti zdroj-detektor v hloubce 20 a 10 cm

³⁾ zaškrtněte příslušný údaj a uveďte hodnotu

⁴⁾ vypočtenou dávku vyplňte s nejvyšším počtem desetinných míst, která Váš plánovací systém uvádí

Ozáření TLD provedl/a	Datum ozáření	Podpis
------------------------------	----------------------	---------------

TLD AUDIT V RADIOTERAPII

pro vysokoenergetické svazky záření X

*Rozšířený TLD audit pro lineární urychlovače
s vícelamelovými kolimátory (MLC)*

PODROBNÝ NÁVOD

Nejprve několik **důležitých upozornění:**

Než začnete

- Po obdržení zásilky s dozimetrickou sestavou uložte TL dozimetry, resp. filmy, na vhodné místo — musí být vyloučeno jejich nežádoucí ozáření (nehoda) a zahřátí nad úroveň pokojové teploty (neukládat např. na slunečné místo).
- Pečlivě prostudujte všechny materiály, které jste v zásilce obdrželi.

Během auditu

- Ozáření provádějte ve stanoveném termínu — viz protokol. Pokud není možné tento termín dodržet, informujte měřicí centrum (SÚRO — oddělení dozimetrie) a dohodněte si náhradní termín.
- S TL dozimetry manipulujte opatrně. Zabraňte vzájemné záměně kapslí a jejich poškození. Oddělte kapsle určené pro samotný audit od kapslí pro měření pozadí. Kapsle sloužící pro měření pozadí nesmí být ozářeny.

Nakonec

- Všechny dozimetry vložte do originálních obalů a zabraňte jejich záměně.
- Vyplňte všechny požadované údaje v protokolech.
- Znovu zkontrolujte.
- Odešlete do SÚRO.

1. CÍL

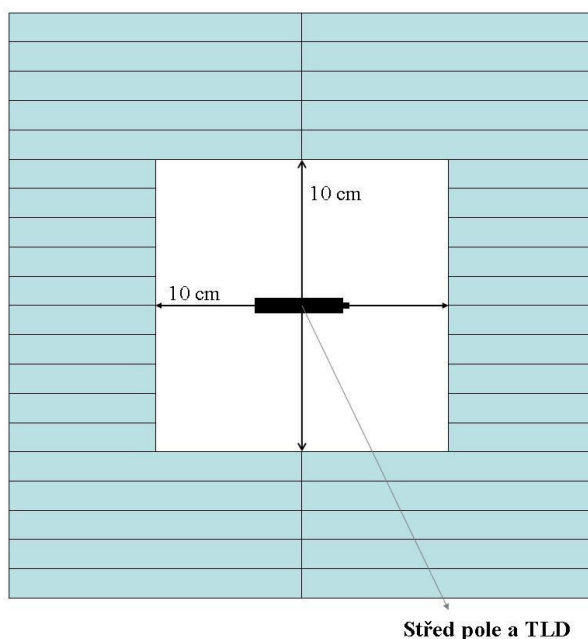
Cílem této verze TLD auditu je kontrola vybraných dozimetrických parametrů lineárních urychlovačů vybavených počítačově ovládanými vícelamelovými kolimátory (MLC). Při auditu je kontrolována absorbovaná dávka ve vodě (dále jen dávka) pro 4 různá ozařovací pole (viz následující tabulka), jejichž obrysy a rozměry jsou určeny pomocí MLC. Kontrola spočívá v porovnání dávky vypočtené plánovacím systémem a dávky naměřené pomocí TLD.

Geometrie	Popis	Velikost pole (maximální délka a šířka)
1	Referenční podmínky	10 cm × 10 cm
2	Malé kruhové pole s MLC	6 cm průměr
3	Obrácené "Y" pole s MLC	15 cm × 10 cm
4	Nepravidelné pole s MLC	10 cm × 8 cm

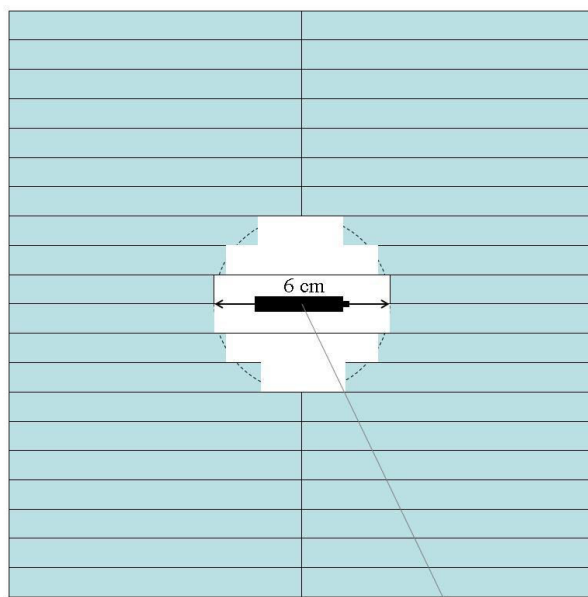
2. POSTUP

Pomocí plánovacího systému simulujte následující tvary MLC (viz obrázky a popis níže) pro situaci ozáření TLD vertikálním svazkem ve vodním fantomu při nastavení obvykle používaných hodnot SSD, resp. SAD, v hloubce 5 cm ($TPR_{20/10} \leq 0.70$) nebo 10 cm ($TPR_{20/10} > 0.70$). Počet MU volte tak, aby hodnota dávky v místě středu TL dozimetru odpovídala co nejlépe hodnotě **2 Gy**. Stanovenou hodnotu dávky zapište do protokolu.

Geometrie 1 – referenční podmínky

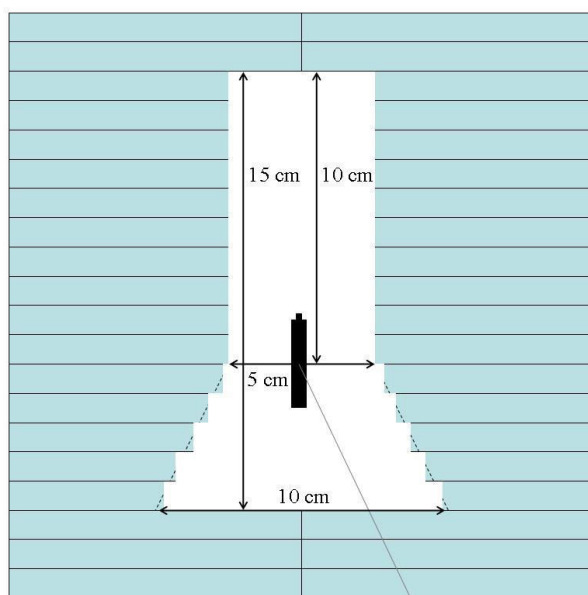


Geometrie 2 – malé kruhové pole s MLC



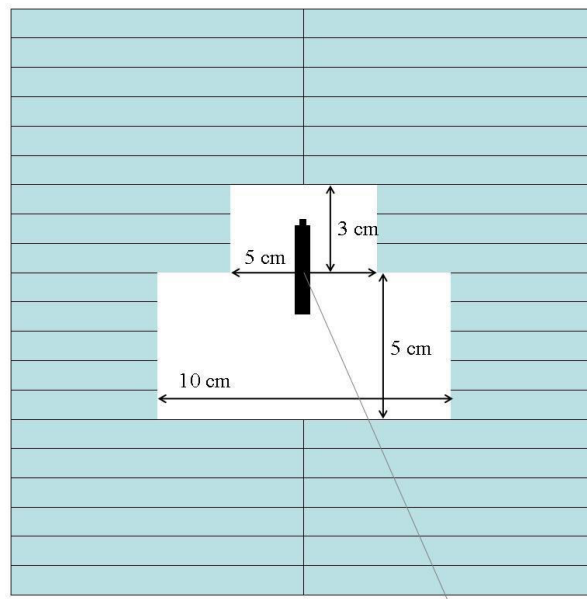
Střed pole a TLD

Geometrie 3 - obrácené "Y" pole s MLC



Střed pole a TLD

Geometrie 4 - nepravidelné pole s MLC



Střed pole a TLD

Pro každou geometrii ozáření jsou určeny 3 TLD kapsle (3 identická ozáření). Aby dávka naměřená pomocí TLD byla porovnatelná s dávkou stanovenou pracovištěm, musí být TLD kapsle ozářeny při nastavení odpovídajícímu nastavení, pro které byla dávka vypočtena plánovacím systémem. K fixaci TLD kapsle ve vodním fantomu použijte standardní IAEA stojan pro fotonové svazky. Osa stojanu se musí krýt s centrální osou svazku. Zkontrolujte správné nastavení vodní hladiny vzhledem k vrcholu stojanu. Ozáření TLD proveďte přesně v souladu s vypočteným plánem. Do protokolu uveďte všechny vyžadované údaje a spolu s ozářenými dozimetry odešlete k vyhodnocení.

Rozšířený TLD audit pro lineární urychlovače s MLC



Požadovaný termín ozáření TLD

Pracoviště

Údaje o ozařovači ¹⁾

Typ	
Nainstalován v roce	
Energie [MV]	
TPR _{20,10} ²⁾	
Plánovací systém	
Způsob stanovení absorbované dávky v referenčním bodě (zaškrtněte používaný protokol a doplňte datum)	TRS 398 <input type="checkbox"/> TRS 277 <input type="checkbox"/> SROBF <input type="checkbox"/> Protokol používán od

Parametry ozáření TLD ¹⁾

Pole	Geometrie ozáření ³⁾	Hloubka ve vodě [cm]	SAD nebo SSD [cm] ⁴⁾	Velikost pole (max. délka a šířka) [cm×cm]	D [Gy] ⁵⁾
1	Referenční podmínky				
2	Malé kruhové pole s MLC				
3	Obrácené „Y“ pole s MLC				
4	Nepravidelné pole s MLC				

Poznámky

¹⁾ do tabulky doplňte požadované údaje

²⁾ uveďte hodnotu indexu kvality TPR_{20,10} definovaného jako poměr dávek ve vodním fantomu měřených při konstantní vzdálenosti zdroj-detektor v hloubce 20 a 10 cm

³⁾ pro geometrie 2 až 4 připojte náčrty MLC polí z plánovacího systému

⁴⁾ zaškrtněte příslušný údaj a uveďte hodnotu

⁵⁾ vypočtenou dávku vyplňte s nejvyšším počtem desetinných míst, která váš plánovací systém uvádí

Ozáření TLD provedl/a	Datum ozáření	Podpis
------------------------------	----------------------	---------------

TLD AUDIT V RADIOTERAPII

pro vysokoenergetické svazky záření X

Pokročilý TLD audit pro 3D konformní radioterapii

PODROBNÝ NÁVOD

Nejprve několik **důležitých upozornění**:

Než začnete

- Zkontrolujte obsah zásilky – má obsahovat: **krabici s částmi fantomu k sestavení** (viz obr. níže), celkem **11 ks TL dozimetrů** (z toho 1 ks barevně označený pro měření pozadřové dávky, 8 ks pro ozáření, 2 ks náhradní)
- TL dozimetry uložte na vhodné místo — musí být vyloučeno jejich nežádoucí ozáření (nehoda) a zahřátí nad úroveň pokojové teploty (neukládat např. na slunečné místo).
- Pečlivě prostudujte všechny materiály, které jste v zásilce obdrželi.



Součásti fantomu

Během auditu

- Ozáření provádějte ve stanoveném termínu (viz protokol) v jeden den. Pokud není možné tento termín dodržet, informujte s minimálně týdenním předstihem měřící centrum (SÚRO — oddělení dozimetrie) a dohodněte si náhradní termín.
- S TL dozimetry manipulujte opatrně. Zabraňte vzájemné záměně kapslí a jejich poškození. Oddělte kapsle určené pro samotný audit od kapslí pro měření pozadí. Kapsle sloužící pro měření pozadí (s barevnou nálepkou) nesmí být ozářena. Jedna náhradní kapsle je určena pro zaplnění vzduchové dutiny ve fantomu při provádění CT zobrazení fantomu pro výpočet plánu. Druhá náhradní kapsle může být použita, dojde-li k chybě.

Nakonec

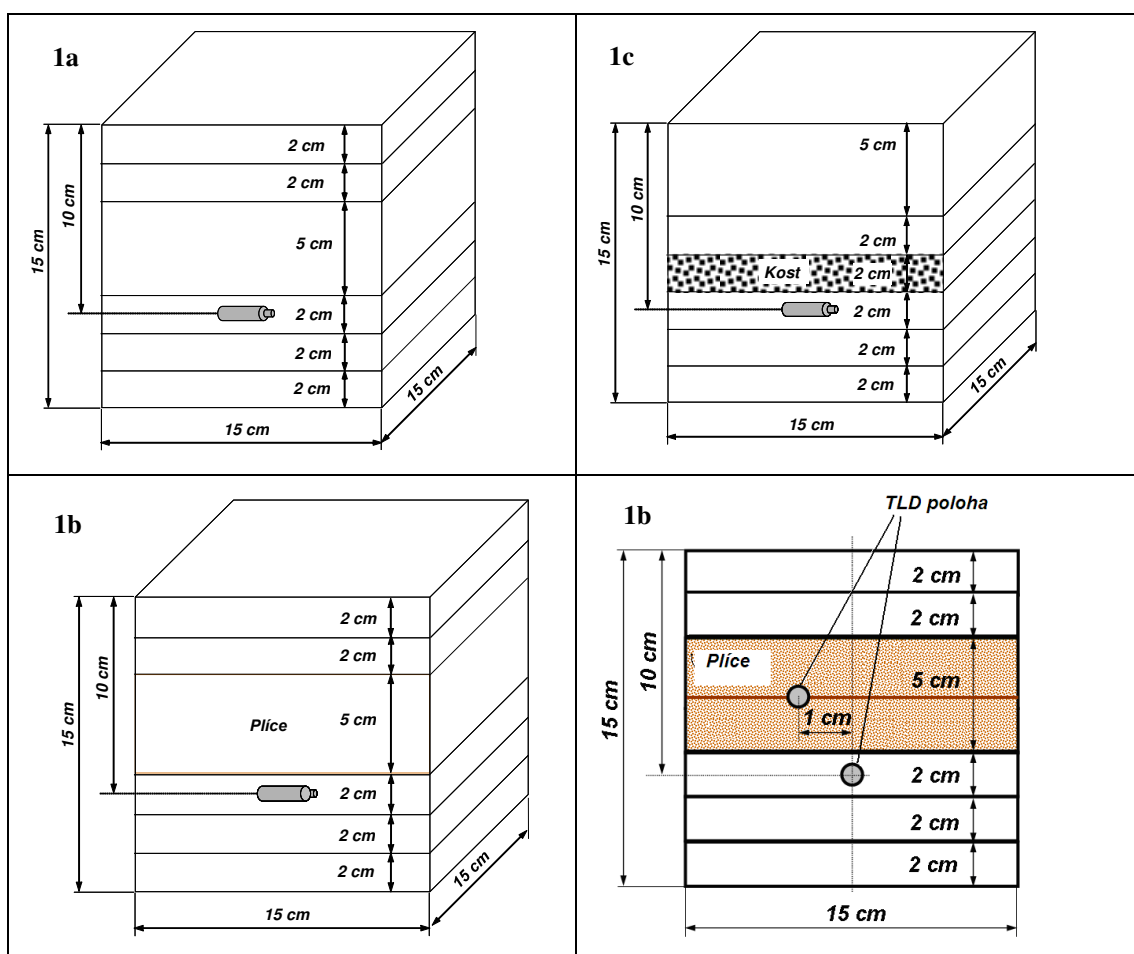
- Všechny dozimetry vložte do určených obalů a zabraňte jejich záměně.
- Vyplňte všechny požadované údaje v protokolech.
- Přiložte vytištěné ozařovací plány.
- Znovu zkontrolujte.
- Fantom včetně všech jeho součástí, TLD, vytištěné plány a vyplněné protokoly vložte do krabice. Součásti fantomu vložte tak, aby byly co nejlépe zabezpečeny proti poškození. Co nejlépe zajistěte i vnější obal balíku.
- Odešlete do SÚRO formou obchodního balíku.

1. CÍL

Cílem této verze TLD auditu je kontrola dávek vypočtených plánovacím systémem a aplikovaných lineárním urychlovačem v situacích, kdy je výsledná dávková distribuce ovlivněna přítomností nehomogenit v ozařovaném objemu. Jedná se zejména o klinické situace, kdy se v ozařovaném objemu vyskytují plíce nebo kosti. Nezávislá kontrola dávky v těchto případech je důležitým krokem v procesu zabezpečení jakosti radioterapie.

Tento audit se provádí pomocí speciálního fantomu sestavitelného z několika do sebe zapadajících částí. Možnosti sestavení fantomu jsou uvedeny na obrázku 1. Jednotlivé části jsou vyrobeny buď z polystyrenu, který lze považovat za voděkvivalentní, anebo z materiálů ekvivalentních plicní nebo kostní tkáni. Součástí fantomu jsou i zasunovací bloky s otvorem pro TLD. Pro jednotlivé možnosti sestavení fantomu je pomocí plánovacího systému simulováno ozáření svazkem záření X (< 12 MV) odpovídající běžným podmínkám léčebného ozařování hrudníku. Dávka o velikosti 2 Gy je plánována pro TLD na centrální ose svazku. Dávka vypočtená plánovacím systémem se posléze porovnává s dávkou naměřenou pomocí TLD. V případě fantomu s plicní nehomogenitou se měření provádí i v poloze mimo centrální osu svazku. Části fantomu pro ozáření filmů se v rámci této verze auditu nepoužívají.

Obr. 1: Varianty sestavení fantomu s vyznačením polohy TLD

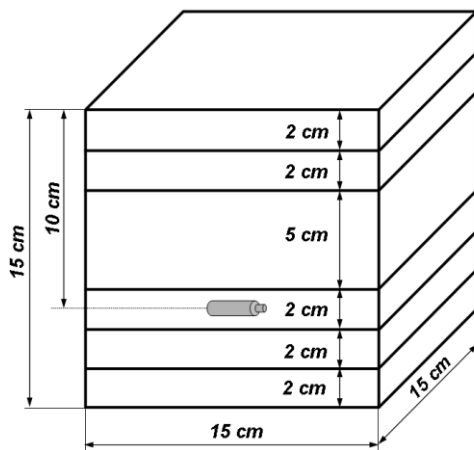


1a – polystyren, 1b – polystyren s materiálem odpovídajícím plicní tkáni (vpravo je znázorněno umístění dvojice TLD), 1c – polystyren s materiálem odpovídajícím kosti

2. POSTUP

Fantom sestavený dle výše uvedených variant naskenujte pomocí CT. Na místo TLD je třeba vložit jednu z náhradních kapslí, aby byla odstraněna vzduchová dutina. Snímky převedte do plánovacího systému. Vypočtete dávkovou distribuci pro níže uvedené geometrie a nastavení. Použijte běžné SSD nebo SAD. Velikost pole je ve všech případech 6 cm × 6 cm. V případě techniky SAD se velikost pole vztahuje k rovině izocentra, v případě SSD k rovině povrchu fantomu. Plánovaná dávka pro TLD na centrální ose svazku v hloubce 10 cm by měla být 2 Gy. Do výpočtu musí být zahrnuta korekce na příslušnou nehomogenitu. Stanovené dávky запиšte do protokolu. Vypočtené plány uložte a vytiskněte. Podle vypočtených plánů proveďte ozáření TLD pro níže uvedená uspořádání fantomu.

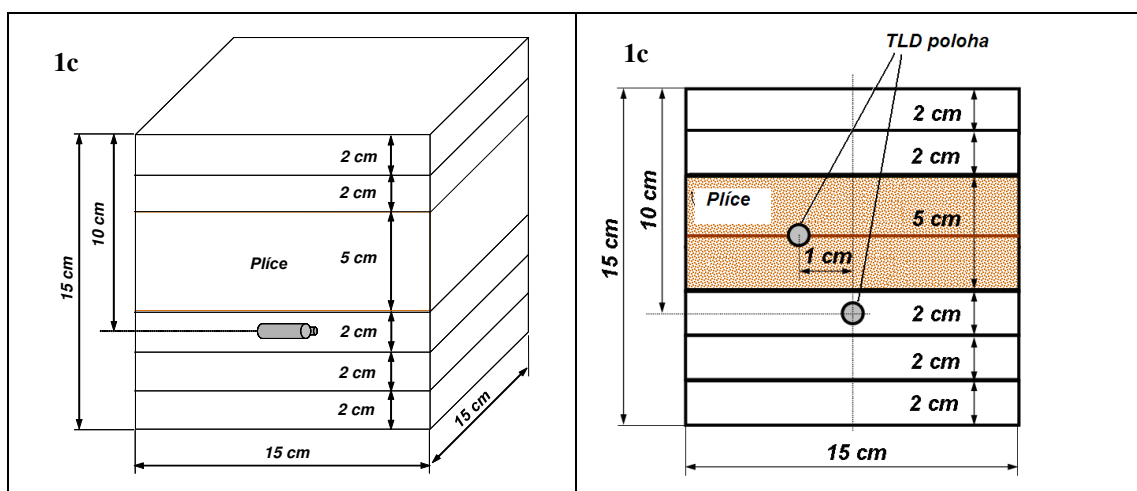
2a. TLD v homogenním fantomu



- Běžné SSD nebo SAD
- Pole 6 cm × 6 cm
- $D_{10\text{cm}} = 2 \text{ Gy}$

Ozáření pro sestavu 2a se provádí pro 2 ks TLD. Ozářené kapsle jsou určeny do sáčků označených P#1 a P#2.

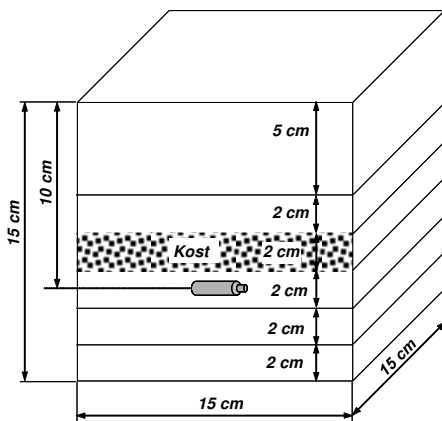
2b. Fantom s plicní nehomogenitou



- Běžné SSD nebo SAD
- Pole 6 cm × 6 cm
- $D_{10\text{cm}} = 2 \text{ Gy}$

Ozáření pro sestavu **2b** se provádí pro dvě dvojice TLD. TLD ozářené na centrální ose svazku ve hloubce 10 cm náleží do sáčků označených jako **LP#1** a **LP#2**. TLD ozářené v plicní nehomogenitě mimo centrální osu svazku náleží do sáčků **LL#1** a **LL#2**.

2c. Fantom s kostní nehomogenitou



- Běžné SSD nebo SAD
- Pole 6 cm × 6 cm
- $D_{10\text{cm}} = 2 \text{ Gy}$

Ozáření pro sestavu **2c** se provádí pro 2 ks TLD. Pro ozářené kapsle jsou určeny sáčky označené **BP#1** a **BP #2**.

Ozáření TLD

Je doporučeno dodržovat tento obecný postup:

1. Sestavte fantom tak, jak je uvedeno na obrázku (viz 2a, 2b a 2c)
2. Vložte TLD kapsli do desky fantomu s otvorem na tuto kapsli.
3. Před ozářením zkontrolujte, zda souhlasí poloha, velikost pole a vzdálenost.
4. Ozařte fantom příslušným počtem monitorových jednotek pro dávku 2 Gy, které byly stanoveny v předešlé části plánovacím systémem.
5. Odstraňte TLD z fantomu a vložte do určeného sáčku.
6. Zopakujte krok 1 až 5 pro další TLD kapsle.

Pokročilý TLD audit pro 3D radioterapii



Požadovaný termín ozáření TLD

Kód pracoviště

«Kód»

Údaje o ozařovači

(zkontrolujte a doplňte správné nebo chybějící údaje)

Typ (výrobce, model)		Rok výroby:
Nainstalován v roce		
Použitá energie svazku pro audit [MV]		
TPR _{20/10} ¹⁾		
Způsob stanovení absorbované dávky v referenčním bodě (zaškrtněte příslušný protokol)	TRS 398 <input type="checkbox"/> TRS 277 <input type="checkbox"/> SROBF <input type="checkbox"/>	

Údaje o plánovacím systému

(doplňte všechny požadované údaje)

Plánovací systém (typ, SW verze)	
Algoritmus pro korekci nehomogenity	

Referenční údaje

Absorbovaná dávka ve vodě [Gy/MU] ¹⁾	Velikost pole [cm×cm]	Hloubka [cm]	SAD nebo SSD [cm] ²⁾

Údaje o ozáření TLD

(doplňte všechny požadované údaje)

Datum ozáření TLD	Identifikace TLD	SAD nebo SSD [cm] ²⁾	Velikost pole [cm × cm]	Hloubka [cm]	D [Gy] ³⁾
	P#1		6 x 6	10	
	P#2		6 x 6	10	
	LP#1		6 x 6	10	
	LP#2		6 x 6	10	
	LL#1		6 x 6	6,5	
	LL#2		6 x 6	6,5	
	BP#1		6 x 6	10	
	BP#2		6 x 6	10	

Plánování ⁴⁾ a ozáření TLD provedl/a/i Titul, Jméno, Příjmení (vyplňte hůlkovým písmem)	Podpis
Protokol vyplnil/a/i Titul, Jméno, Příjmení (vyplňte hůlkovým písmem)	Podpis

Vysvětlivky

- 1) referenční absorbovaná dávka ve vodě na monitorovou jednotku (MU), která je užívána pro plánování léčby pacientů v denní praxi
- 2) zaškrtněte příslušný údaj a uveďte hodnotu
- 3) vypočtenou dávku vyplňte s nejvyšším počtem desetinných míst, která Váš plánovací systém uvádí
- 4) vytištěné plány zašlete společně s fantomem a dozimetry

TLD A FILMOVÝ AUDIT V RADIOTERAPII

pro vysokoenergetické svazky záření X

TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii a IMRT

PODROBNÝ NÁVOD

Nejprve několik **důležitých upozornění:**

Než začnete

- Zkontrolujte obsah zásilky – má obsahovat: **krabici s částmi fantomu k sestavení** (viz obr. níže), celkem **5 ks TL dozimetrů** (z toho 1 ks barevně označený pro měření pozadové dávky, 2 ks pro ozáření, 2 ks náhradní), **2 polystyrenové kazety s vloženými gafchromickými filmy** (tyto kazety jsou součástí fantomu), **obálku s gafchromickým filmem** pro měření pozadové dávky a **obálku se 2 náhradními gafchromickými filmy**.
- TL dozimetry a kazety s filmy uložte na vhodné místo — musí být vyloučeno jejich nežádoucí ozáření (nehoda) a zahřátí nad úroveň pokojové teploty (neukládat např. na slunečné místo). Filmy nevyjímejte z kazet.
- Pečlivě prostudujte všechny materiály, které jste v zásilce obdrželi.



Součásti fantomu

Během auditu

- Ozáření provádějte ve stanoveném termínu (viz protokol) v jeden den. Pokud není možné tento termín dodržet, informujte s minimálně týdenním předstihem měřící centrum (SÚRO) a dohodněte si náhradní termín.
- S TL dozimetry manipulujte opatrně. Zabraňte vzájemné záměně kapslí a jejich poškození. Oddělte kapsle určené pro samotný audit od kapsle pro měření pozadí. Kapsle sloužící pro měření pozadí (s barevnou nálepkou) nesmí být ozářena. Jedna náhradní kapsle je určena pro zaplnění vzduchové dutiny ve fantomu při provádění CT zobrazení fantomu pro výpočet plánu. Druhá náhradní kapsle může být použita, dojde-li k chybě.
- Dvě dodávané kazety obsahují gafchromické filmy určené pro ozáření. Kazety neotvírejte, aby bylo zachováno správné umístění filmů a nedošlo k nadměrné expozici UV světlem.

Nakonec

- Všechny dozimetry vložte do určených obalů a zabraňte jejich záměně.
- Vyplňte všechny požadované údaje v protokolech.
- Přiložte vytištěné ozařovací plány. Elektronicky zašlete soubor s daty dávkových distribucí.
- Znovu zkontrolujte.
- Fantom včetně všech jeho součástí, TLD, kazety s filmy, vyplněné protokoly vložte do krabice. Součásti fantomu vložte tak, aby byly co nejlépe zabezpečeny proti poškození. Co nejlépe zajistěte i vnější obal balíku.
- Odešlete do SÚRO formou obchodního balíku.

1. CÍL

Cílem TLD a 2D filmového auditu je zkontrolovat dávku a výpočet dávkových profilů provedených plánovacím systémem pro malá pole vytvořená pomocí MLC používaná pro ozáření pacientů. V dnešní době, kdy jsou používány stále sofistikovanější metody pro modelování a výpočet dávky, nepostačuje pouze znalost dávky v určitém bodě. Pro malá pole vytvořená pomocí MLC je třeba znát také dávkový profil. To je zvláště důležité pro stereotaktickou radioterapii a IMRT. Nezávislé ověření založené na porovnání dávkových profilů vypočtených plánovacím systémem a dávkových profilů změřených gafchromickými filmy je důležitým krokem k zajištění kvality v radioterapii.

S využitím polystyrenového fantomu speciálně vytvořeného pro tento audit bude pomocí TLD ověřena hodnota absorbované dávky ve vodě v hloubce 10 cm pro pole $2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$. Pomocí gafchromických filmů budou zkontrolovány dávkové profily ve dvou na sebe kolmých rovinách (“in-plane” a “cross-plane”) normalizované k hodnotě na centrální ose pro pole $2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ a $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$.

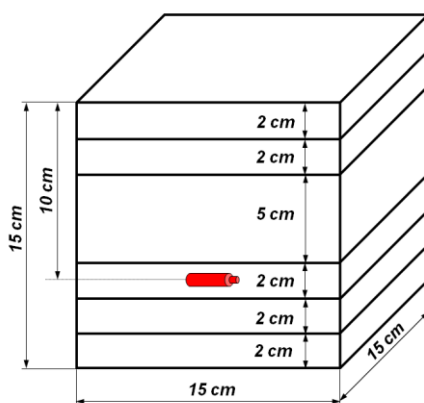
Pomocí plánovacího systému používaného v klinické praxi je nutné vypočítat množství monitorových jednotek pro ozáření TLD a filmů v hloubce 10 cm odpovídajících požadované dávce. Dávka stanovená pomocí TLD a dávkové profily z ozářených gafchromických filmů budou porovnány s výpočtem z plánovacího systému pro danou pozici TLD a filmů.

2. POSTUP

2.a Příprava ozařovací geometrie pro provedení CT zobrazení fantomu a výpočet dávky plánovacím systémem

Pro provedení auditu je nutné použít fantom zapůjčený od SÚRO. V rámci této verze auditu se používají pouze polystyrenové části fantomu. Velikost fantomu je 15 cm × 15 cm × 15 cm. Fantom lze sestavit s dvěma typy 2 cm bloků, z nichž jeden umožňuje ozáření TLD na centrální ose, druhý je určen pro ozáření filmu. Pod rovinou, v níž je umístěn dozimetrický materiál, následuje dalších 5 cm materiálu fantomu pro vytvoření odpovídajících rozptylových podmínek. Části fantomu do sebe vzájemně zapadají. Sestavený fantom je možné zajistit šrouby.

1. Fantom v základní sestavě je zobrazen na obr. č. 1. Na místo TLD je třeba vložit jednu z náhradních kapslí, aby byla odstraněna vzduchová dutina. V této sestavě fantom naskenujte pomocí CT.
2. CT řezy fantomu exportujte do plánovacího systému.
3. Vytvořte plán ozáření pro pole 2 cm × 5 cm, tak aby pro **TLD kapsli v hloubce 10 cm** byla aplikována dávka **2 Gy**. Vytvořte druhý a třetí plán pro MLC pole 2 cm × 5 cm a 2 cm × 2 cm vedoucí k aplikaci dávky **8 Gy v rovině filmu na centrální ose v hloubce 10 cm**. Plán ozáření může být vytvořen buď použitím SSD techniky nebo SAD techniky, je-li zaručeno shodné nastavení reálné geometrie s plánem. V případě techniky SAD se velikost pole vztahuje k rovině izocentra, v případě SSD k rovině povrchu fantomu. Pro ozáření by měl být použit svazek, který je nejčastěji používán pro ozařování hrudníku (energie menší než 12 MV). Stanovené dávky zapište do protokolu. Vypočtené plány uložte a vytiskněte.
4. Stanovte počet monitorových jednotek pro aplikaci dávky ve vodě 2 Gy pro TLD a 8 Gy pro film. Pro výpočet použijte postup standardně používaný v denní praxi při ozařování pacientů.



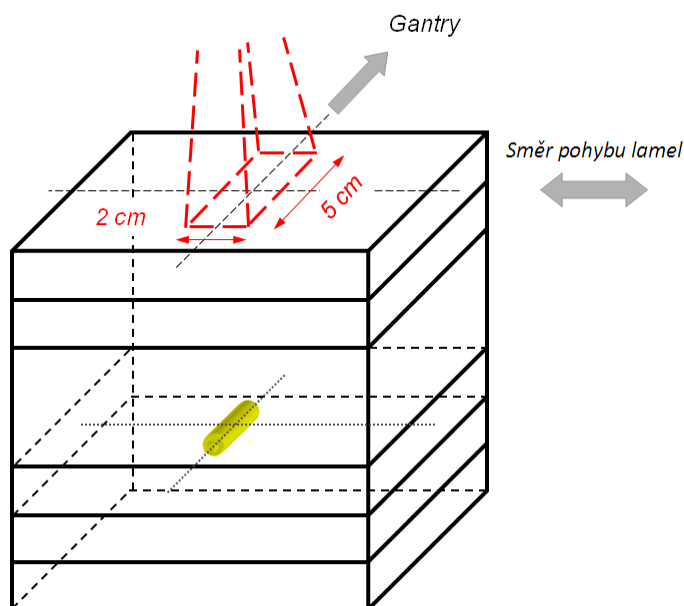
Obr. č. 1. Geometrie fantomu pro CT zobrazení při plánování ozáření pro 2D audit pro malá pole vytvořená pomocí MLC

2.b Ozáření TLD kapsle

Aplikujte dávku 2 Gy pro TLD kapsli umístěné v hloubce 10 cm v homogenním polystyrenovém fantomu (obr. č. 2) pomocí MLC pole o velikosti 2 cm × 5 cm ve vzdálenosti naplánované plánovacím systémem, podélná osa TLD musí být rovnoběžná s podélnou osou MLC pole.

7. Sestavte fantom tak, jak je uvedeno na obr. č. 2.
8. Vložte TLD kapsli do desky fantomu s otvorem na tuto kapsli.
9. Před ozáření zkontrolujte, zda souhlasí poloha, velikost pole a vzdálenost.
10. Ozařte fantom příslušným počtem monitorových jednotek pro dávku 2 Gy, které byly stanoveny v předešlé části plánovacím systémem.
11. Odstraňte TLD z fantomu a vložte do určeného sáčku.
12. Zopakujte krok 1 až 5 pro druhou TLD kapsli.

Ozáření TLD kapslí



Obr. č. 2. Geometrie pro ozáření TLD kapsle ve fantomu (zde případ SSD)

2.c Ozáření gafchromických filmů

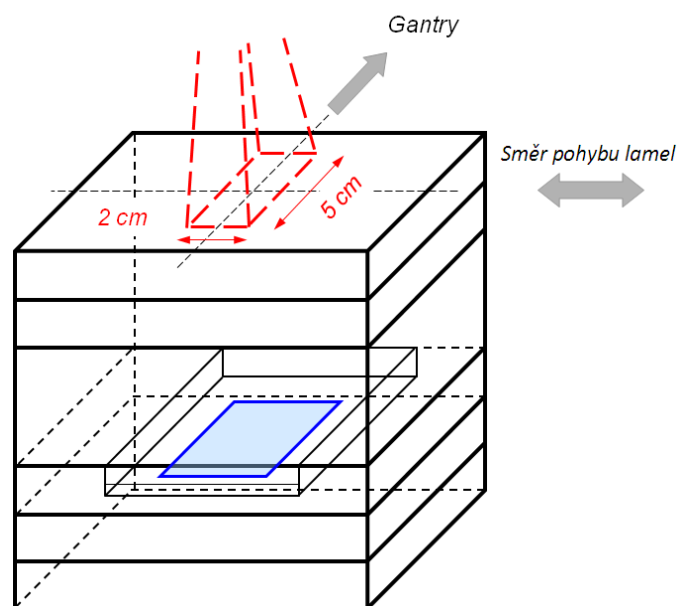
Aplikujte dávku 8 Gy na **první film** v hloubce 10 cm v homogenním fantomu (**obr. č. 3**) pomocí MLC pole **2 cm × 5 cm** ve stejné vzdálenosti od zdroje jako bylo stanovena v plánovacím systému.

Aplikujte dávku 8 Gy na **druhý film** v hloubce 10 cm v homogenním fantomu (**obr. č. 4**) pomocí MLC pole **2 cm × 2 cm** ve stejné vzdálenosti od zdroje jako bylo stanovena v plánovacím systému.

Podélná osa kazety s filmem musí být rovnoběžná s podélnou osou MLC pole.

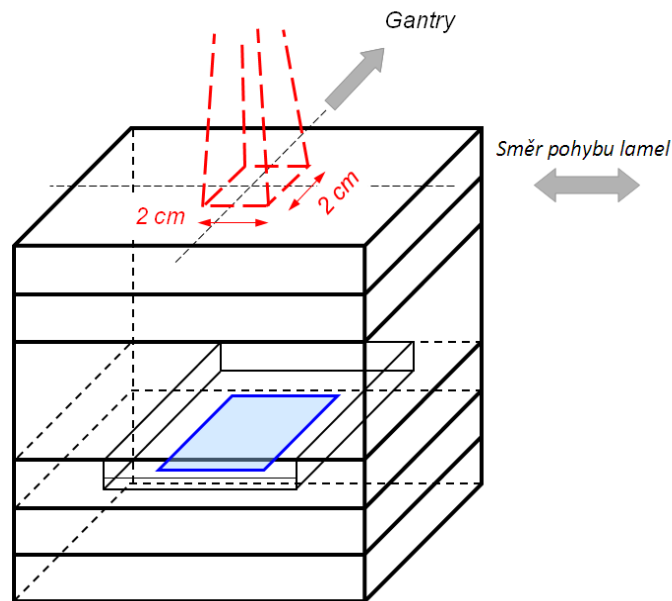
1. Sestavte fantom a proveďte nastavení vzhledem k urychlovači tak, jak je uvedeno na obr. č. 3. Deska o tloušťce 2 cm obsahující otvor pro vsunutí TLD kapsle musí být nahrazena deskou vhodnou pro umístění filmu.
2. Vložte kazetu s filmem pro pole $2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ do desky. Podélná osa kazety s filmem musí být umístěna paralelně s podélnou osou MLC pole.
3. Před ozářením zkontrolujte, zda souhlasí poloha, velikost pole a vzdálenost.
4. Ozařte fantom příslušným počtem monitorových jednotek, jak bylo stanoveno v předešlé části.
5. Odstraňte kazetu s filmem z fantomu.
6. Vložte kazetu s filmem pro pole $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ do desky při stejné orientaci vzhledem k urychlovači a clonám (obr. č. 4).
7. Zopakujte kroky 3 až 5 pro druhou kazetu s filmem pro MLC pole $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$.

Ozáření gafchromického filmu č. 1 (MLC pole $2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$)



Obr. č. 3. Geometrie pro ozáření filmu ve fantomu MLC polem $2\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ (zde případ SSD)

Ozáření gafchromického filmu č. 2 (MLC pole 2 cm × 2 cm)



Obr. č. 4. Geometrie pro ozáření filmu ve fantomu MLC polem 2 cm × 2 cm (zde případ SSD)

2.d Výpočet dávkových distribucí pomocí plánovacího systému

Pomocí plánovacího systému vytvořte výstup ve formě dávkové distribuce (např. ve formátu DICOM) pro MLC pole **2 cm × 5 cm** a **2 cm × 2 cm** v hloubce 10 cm pro stejné podmínky, za jakých byl ozářen film. Dávkové distribuce by měly mít rozlišení do 1 mm a měly by obsahovat data pro oblast nejméně 2 cm za clonami v každém směru. Data ze souboru budou využita pro porovnání vypočtených a naměřených dávkových profilů.

Protokol o ozáření TLD a filmů

TLD a filmový audit pro stereotaktickou radioterapii a IMRT



Požadovaný termín ozáření TLD

Kód pracoviště

«Kód»

Údaje o ozařovači

(zkontrolujte a doplňte správné nebo chybějící údaje)

Typ (výrobce, model)		Rok výroby:
Nainstalován v roce		
Použitá energie svazku pro audit [MV]		
TPR _{20/10} ¹⁾		
Způsob stanovení absorbované dávky v referenčním bodě (zaškrtněte příslušný protokol)	TRS 398 <input type="checkbox"/> TRS 277 <input type="checkbox"/> SROBF <input type="checkbox"/>	

Údaje o plánovacím systému

(doplňte všechny požadované údaje)

Plánovací systém (typ, SW verze)			
Referenční údaje			
Absorbovaná dávka ve vodě [Gy/MU] ¹⁾	Velikost pole [cm×cm]	Hloubka [cm]	SAD nebo SSD [cm] ²⁾

Údaje o ozáření TLD

(doplňte všechny požadované údaje)

Datum ozáření TLD	Identifikace TLD	SAD nebo SSD [cm] ²⁾	Velikost pole [cm × cm]	Hloubka [cm]	D [Gy] ³⁾
	TLD1		2 × 5	10	
	TLD2		2 × 5	10	

Údaje o ozáření filmů

(doplňte všechny požadované údaje)

Datum ozáření TLD	Identifikace filmu	SAD nebo SSD [cm] ²⁾	Velikost pole [cm × cm]	Hloubka [cm]	D [Gy] ³⁾
	Film1		2 × 5	10	
	Film2		2 × 2	10	

Plánování⁴⁾ a ozáření TLD provedl/a Titul, Jméno, Příjmení (vyplňte hůlkovým písmem)	Podpis
Protokol vyplnil/a Titul, Jméno, Příjmení (vyplňte hůlkovým písmem)	Podpis
Soubor s daty dávkových distribucí⁵⁾ vytvořil/a Titul, Jméno, Příjmení (vyplňte hůlkovým písmem)	Podpis

Vysvětlivky a požadavky

- 1) referenční absorbovaná dávka ve vodě na monitorovou jednotku (MU), která je užívána pro plánování léčby pacientů v denní praxi
- 2) zaškrtněte příslušný údaj a uveďte hodnotu
- 3) vypočtenou dávku vyplňte s nejvyšším počtem desetinných míst, která Váš plánovací systém uvádí
- 4) vytištěné plány zašlete spolu s fantomem a ozářeními dozimetry
- 5) soubor dat zašlete i v elektronické formě

AUTOŘI

Tuto publikaci vypracovaly

Ing. Daniela Ekendahl
Mgr. Michaela Kapuciánová
Ing. Ivana Horáková, CSc.

Vznik publikace byl podpořen Technologickou agenturou ČR v rámci projektu TB01SUJB071 a Mezinárodní agenturou pro atomovou energii v rámci projektu CRP E2.40.16.