Státní úřad pro jadernou bezpečnost

radiační ochrana

DOPORUČENÍ

ZAVEDENÍ SYSTÉMU JAKOSTI PŘI VYUŽÍVÁNÍ VÝZNAMNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V RADIOTERAPII

LINEÁRNÍ URYCHLOVAČE POUŽÍVANÉ V RADIOTERAPII

Radiační ochrana Prosinec 2015

Doporučení

Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii

Lineární urychlovače používané v radioterapii

SÚJB

Obsah

Obsah ... 3

Předmluva ... 6

1. Úvod ... 7

2. Uvádění lineárních urychlovačů a jejich příslušenství do klinického provozu ... 9

3. Zkratky a terminologie ... 10

4. Přehled kontrolovaných parametrů pro lineární urychlovače ... 12

5. Popis kontrolovaných parametrů pro lineární urychlovače ... 22

5.1. Bezpečnostní, indikační a výstražné systémy ... 22

5.1.1. Přesnost úhlových a délkových stupnic ... 22

5.1.2. Rozsah pohybů a koncové polohy ... 23

5.1.3. Signalizace stavu přístroje ... 24

5.1.4. Vstup do ozařovny ... 24

5.1.5. Antikolizní systémy ... 24

5.1.6. Pohyby urychlovače vyžadující dva spínače ... 25

5.1.7. Stav ozařovacích pomůcek ... 25

5.1.8. Volba druhu a geometrie záření – blokování záření při nesouladu mezi nastavením v ovladovně a v ozařovně ... 25

5.1.9. Systém sledování pacienta (zvuk, obraz) ... 27

5.1.10. Nouzové vypínače ... 27

5.1.11. Kontrola ovládání stolu v případě nouze ... 27

5.1.12. Kontrola systému monitorování dávky ... 27

5.1.13. Kontrola řídícího časovače ... 27

5.2. Mechanické parametry ... 28

5.2.1. Nastavení ozařovacích pomůcek – kolmost, poloha ... 28

5.2.2. Souhlas geometrické osy a osy rotace kolimátoru ... 28

5.2.3. Souhlas osy rotace kolimátoru a světelné osy ... 28

5.2.4. Přesnost optického dálkoměru ... 29

5.2.5. Poloha izocentra při rotaci ramene ... 29

5.2.6. Ověření shody polohy izocentra lineárního urychlovače a kV zobrazovacího systému ... 29

5.2.7. Světelné zaměřovače (lasery) ... 30

5.2.8. Shoda velikosti světelného pole s indikovaným údajem ... 30

5.2.9. Rovnoběžnost, kolmost a přesnost polohování kolimačního systému ... 32

5.3. Charakteristiky radiačního pole ... 33
5.3.1. Souhlas světelné osy a osy svazku záření ... 33
5.3.2. Souhlas světelného a radiačního pole ... 34
5.3.3. Shoda velikosti radiačního pole s indikovaným údajem ... 34
5.3.4. Homogenita radiačního pole ... 35
5.3.5. Symetrie radiačního pole ... 39
5.3.6. Radiační polostín ... 40
5.3.7. Záření pronikající kolimačním systémem ... 41
5.3.8. Unikající záření vně maximálního radiačního pole ... 41
5.3.9. Ukončení pohybové terapie ... 42
5.4. Dozimetrické charakteristiky svazků záření ... 42
5.4.1. Absorbovaná dávka v referenčním bodě/Stálost výstupu urychlovače ... 42
5.4.2. Procentuální hloubkové dávkové křivky a energetické parametry svazku záření . 43
5.4.3. Stabilita energie svazku záření ... 44
5.4.4. Faktory velikosti pole ... 44
5.4.5. Klínové faktory a úhly klínu ... 45
5.4.6. Kontrola polohy klínu ... 45
5.4.7. Faktory podložky ... 45
5.4.8. Faktory zeslabení stínícím blokem ... 46
5.4.9. Stabilita svazku při rotaci ramene ... 46
5.4.10. Kontaminace elektronových svazků brzdným zářením ... 46
5.4.11. Reprodukovatelnost polohy clon a MLC ... 46
5.4.12. Přesnost lokalizace při stereotaktické radioterapii/radiochirurgii ... 47
5.4.13. Dozimetrická stabilita dodání IMRT a IMAT pole ... 47
5.4.14. Stabilita dozimetrické separace lamel MLC ... 48
5.5. Systém monitorování dávky ... 48
5.5.1. Stabilita systému monitorování dávky ... 48
5.5.2. Blokovací funkce sekundárního systému monitorování dávky ... 49
5.5.3. Reprodukovatelnost systému monitorování dávky ... 49
5.5.4. Linearita systému monitorování dávky ... 49
5.5.5. Závislost systému monitorování dávky na rotaci ramene ... 49
5.6. Ozařovací stůl ... 50
5.6.1. Svislý pohyb ozařovacího stolu ... 50
5.6.2. Izocentrická rotace ozařovacího stolu ... 50

5.6.3. Longitudinální a laterální pohyb ozařovacího stolu ... 51
5.6.4. Stálost nastavené výšky stolu ... 51
5.6.5. Vodorovnost ozařovacího stolu v longitudinálním a laterálním směru ... 51
5.7. Kontrola kvality obrazu zobrazovacích systémů a přesnost jejich použití ... 52
5.7.1. Kontrola kontrastu snímku zobrazovacího systému ... 52
5.7.2. Kontrola funkcí software zobrazovacího systému ... 52
5.7.3. Prostorové rozlišení ... 52
5.7.4. Poměr signálu k šumu (Signal-to-noise ratio) ... 53
5.7.5. Převod hustoty materiálu na Hounsfieldovy jednotky pro CBCT ... 53
5.7.6. Ověření homogenity obrazu pro CBCT ... 53
5.7.7. Minimální čas potřebný k získání snímku ... 54
5.7.8. Ověření polohy cílového objemu ... 54
5.7.9. Automatický posuv stolu pro ortogonální 2D snímky a CBCT ... 54
5.7.10. Celková kontrola správné funkčnosti 4DCT ... 55
5.7.11. Kontrola řízení spouštění zobrazovacího systému příslušenstvím monitorujícím dýchací cyklus ... 55
5.8. Dozimetrické charakteristiky svazků zobrazovacích systémů ... 55
5.8.1. Napětí rentgenky ... 55
5.8.2. Ověření první polotloušťky ... 56
5.8.3. Index přenosové kermy ... 56
5.8.4. Linearita a reprodukovatelnost přenosové kermy ... 56
5.8.5. Vstupní povrchová kerma ... 57
5.8.6. Kermový index pro CBCT ... 57
Příloha 1: Ověřované parametry pro svazky bez homogenizačního filtru (FFF) ... 60
1. Normalizace ... 60
1.1. Metoda inflexního bodu (využití první derivace) ... 60
1.2. Metoda stanovení renormalizované hodnoty (využití třetí derivace) ... 61
2. Parametry profilu FFF svazku ... 64
2.1. Nehomogenita ... 64
2.2. Symetrie ... 64
2.3. Sklon profilu ... 64
2.4. Poloha dávkového maxima v profilu ... 65
Literatura ... 66

Předmluva

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) vydal další publikaci z řady „Doporučení", která si kladou za cíl usnadnit držitelům povolení, plnění povinností uložených zákonem č. 18/1997Sb., 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.

Toto Doporučení je koncipováno jako samostatný souhrnný dokument obsahující i komponenty a příslušenství lineárních urychlovačů používaných pro zevní radioterapii používané v České republice. Doporučení obsahuje doporučenou základní sadu testů a tolerancí pro systém přejímacích zkoušek (dále jen PZ), zkoušek dlouhodobé stability (dále jen ZDS) a zkoušek provozní stálosti (dále jen ZPS) pro lineární urychlovače vybavené homogenizačním filtrem i bez homogenizačního filtru, používané pro IMRT a IMAT, vybavené megavoltážními a kilovoltážními zobrazovacími systémy, tak i pro lineární urychlovače používané pro stereotaktickou radioterapii nebo radiochirurgii.

Toto Doporučení vychází z dokumentů Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - Urychlovače elektronů, Lineární urychlovače pro 3D konformní radioterapii a IMRT a jeho doplnění z roku 2010, Doporučení SÚJB pro kilovoltážní zobrazovací systémy, dále z Katalogu metodik pro zkoušky v radioterapii a norem ČSN EN 60976 a IEC/TR 60977.

Doporučení vypracoval Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., tj. kolektiv autorů Ing. Vladimír Dufek, Ph.D, Ing. Ivana Horáková, CSc. a Ing. Irena Koniarová, Ph.D., jako zakázku SÚJB. Při jeho zpracování byly zohledněny zkušenosti odborníků z klinické praxe a připomínky Pracovní skupiny SÚRO pro radioterapii.

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
ředitelka Sekce radiační ochrany

1. Úvod

Jak již bylo uvedeno, toto Doporučení vychází z dokumentů Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – Urychlovače elektronů [1], Lineární urychlovače pro 3D konformní radioterapii a IMRT a jeho doplnění z roku 2010 [2], Doporučení SÚJB pro kilovoltážní zobrazovací systémy [4], dále z Katalogu metodik pro zkoušky v radioterapii [3] a norem ČSN EN 60976 [5] a IEC/TR 60977 [6].

Doporučení je určeno jak držitelům povolení k hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření, resp. k provádění a řízení přejímacích zkoušek (PZ) a zkoušek dlouhodobé stability (ZDS) na lineárních urychlovačích určených k radioterapii, tak i držitelům povolení k používání lineárních urychlovačů, kteří provádění pravidelné zkoušky provozní stálosti (ZPS).

V případě, že PZ a nebo ZDS na lineárních urychlovačích provádí jiný držitel povolení než je držitel povolení k jejich používání, je doporučováno, aby se výše uvedených zkoušek účastnil zástupce uživatele daného lineárního urychlovače, např. radiologický fyzik.

Zkoušky, u kterých je uvedena jako frekvence ZDS, se mají provádět při ZDS s roční frekvencí. Při zásahu do konstrukce ozařovače však musí být při ZDS ověřeny všechny parametry, kterých se mohla konstrukční změna dotknout, tzn. i ty, které jsou v tomto dokumenty doporučeny pouze v rámci PZ. Parametry, jejichž kontrola je navržena pro ZPS jednou ročně, by se měly kontrolovat jednou při ZPS a jednou při ZDS (toto neplatí pro plánovací systémy). Doporučuje se provádět roční ZPS zhruba v polovině období mezi dvěma ZDS, aby se minimalizoval interval, po kterém je parametr ověřován.

Je v kompetenci radiologického fyzika upravit frekvence či tolerance ZPS, pokud je to zdůvodněno. ZPS mají primárně za cíl potvrzovat stav lineárního urychlovače, nikoliv pouze hledat chyby. Proto není přípustné vypouštět zkoušky parametrů, které dlouhodobě vycházejí dobře, avšak mají klinický význam a měly by se dle bezpečnostní normy pravidelně ověřovat (např. zkoušky doporučené normou s půlroční frekvencí nelze nahradit ověřením při ZDS).

Pokud nelze na urychlovači některou geometrii uvedenou u daného parametru v tomto doporučení nastavit, potom se parametr ověří pro nejbližší možnou geometrii. Parametry, které se na lineárním urychlovači nevyužívají, nemusí být ověřovány. Avšak před jejich používáním je nutné provést jejich kontrolu, a to v plném rozsahu, ve kterém se klinicky budou používat a až na základě kladného výsledku jejich ověření je možné jejich používání v klinické praxi.

Rozsah kontrolovaných parametrů uvedený v tomto Doporučení postihuje současný stav úrovně vybavení a znalosti problematiky v ČR a bude průběžně doplňován a revidován. Měl by sloužit jednak pro radiologické fyziky jako vodítko pro vypracování metodik příslušných testů, jednak pro posuzovatele těchto metodik, aby bylo možné posoudit úplnost seznamu zkoušek s ohledem na vybavení a používané techniky. Toto Doporučení dále může sloužit pro obecnou diskusi o obsahu a pojetí zkoušek. Základní údaje o zkouškách jsou přehledně uvedeny v tabulce v kapitole 4.

V kapitole 5 je uveden popis jednotlivých kontrolovaných parametrů. U každého kontrolovaného parametru je uveden cíl kontroly, popis kontrolovaného parametru, způsob kontroly, tolerance a frekvence. V případech, kdy by některý z těchto odstavců vedl pouze k opakování již uvedených informací, byl tento odstavec vynechán. U každého kontrolovaného parametru je uveden příklad metodiky odkazem na literaturu. Způsob kontroly u jednotlivých kontrolovaných parametrů nepopisuje konkrétní metodiku, protože konkrétní provedení zkoušek je závislé na místní praxi, optimalizovaném provádění zkoušek a typu urychlovače. U některých parametrů bylo nutné pro popis parametru využít konkrétní metodiku jejich stanovení, aby bylo

možné uvést toleranci. Pokud se použije jiná metodika, může mít jinou toleranci, ale měl by být zaručen stejný výsledek/stav. U parametrů, jejichž ověření je požadováno bezpečnostními normami [5,6], je tato skutečnost uvedena odkazem na příslušnou kapitolu normy v odstavci Příklad metodiky. V textu je na některých místech kurzívou uveden názor Pracovní skupiny SÚRO pro radioterapii (PS RT), pokud se liší od požadavku bezpečnostní normy. Lze jej chápat jako požadavek na minimální rozsah provedení zkoušky, zatímco požadavek bezpečnostní normy lze chápat jako doporučený rozsah provedení zkoušky.

Pracoviště musí mít vypracované metodiky ZPS lineárního urychlovače včetně všech komponent a příslušenství, např. MLC, EPID, kV zobrazovacího systému, příslušenství pro radioterapii řízenou dechem, a včetně plánovacího systému, záznamového a verifikačního systému a simulátoru. Po údržbě nebo opravě daného zařízení, je nutné provést testy těch parametrů, které mohly být zásahem ovlivněny. Vedle zkoušek urychlovače a příslušenství se ve specifikovaných případech provádějí i end-to-end testy daných metod a kontroly pacientských plánů. Popis těchto kontrol není předmětem tohoto Doporučení. Předmětem tohoto Doporučení nejsou ani požadavky na používání měřidel podle Atomového zákona (zákon č. 18/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů) a Zákona o metrologii (zákon č. 505/1990 Sb., ve znění pozdějších předpisů).

V případě, že pracoviště chce měnit rozsah, frekvenci nebo pracovní postup ve stávajících (již posouzených) metodikách, musí novou verzi metodik předložit na SÚJB k novému posouzení.

Pro měření charakteristik radiačního pole (homogenity a symetrie) a stability energie svazku lze použít elektronická zařízení (např. pole detektorů) za předpokladu, že je zajištěna návaznost a ověřována stabilita odezvy těchto zařízení. Ověření absorbované dávky pro fotonové a elektronové svazky při měsíčních kontrolách se provádí ionizační komorou ve vodním fantomu nebo jinou nezávislou dozimetrickou metodou, odlišnou od té, která se používá pro denní kontroly. Takový nezávislý systém ověřuje stabilitu absorbované dávky. Musí být dávkově zkalibrovaný minimálně jednou ročně a musí být známa jeho dlouhodobá stabilita (relativní odchylky do 2% od měření ionizační komorou). V případě zjištěné relativní odchylky překračující toleranci je nutné provést měření ionizační komorou ve vodním fantomu. Rovněž přenastavení systému monitorování dávky lineárního urychlovače je nutné provést na základě měření ionizační komorou ve vodním fantomu. Ověření homogenity a symetrie radiačního pole, energetických parametrů svazku záření a stanovení absorbované dávky dle TRS 398 [8] je nutné provádět vhodným detektorem ve vodním fantomu v rámci zkoušek provozní stálosti minimálně jednou ročně.

2. Uvádění lineárních urychlovačů a jejich příslušenství do klinického provozu

Posloupnost kroků:

1) <u>převzetí přístroje[1] od dodavatele</u> klinickým radiologickým fyzikem z daného pracoviště *(§131 písm. d) vyhl. 55/2011 Sb.)* za přítomnosti osoby pověřené prováděním přejímací zkoušky (PZ) tohoto přístroje *(§70 Vyhl. 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů[2])*

2) <u>1. část přejímací zkoušky</u>
provádí osoba mající příslušné povolení, řídí a vykonává osoba se zvláštní odbornou způsobilostí *(dle Atomového zákona a jeho prováděcích předpisů)* za přítomnosti klinického radiologického fyzika z daného pracoviště *(§131 písm. d) vyhl. 55/2011 Sb.)*

   - ověření splnění požadavků příslušných norem osobou pověřenou prováděním PZ (pokud nebylo provedeno při převzetí) *(§70 odst. (1) písm. e) bod 1,2 Vyhl. 307/02 Sb.)*
   - zkouška přístroje minimálně v rozsahu následných ZDS

3) <u>Fyzikální provoz</u>
   - měření dat nutných pro konfiguraci plánovacího systému
   - vložení dat do plánovacího systému
   - kontrola shody dat vypočtených plánovacím systémem a dat změřených

4) <u>2. část přejímací zkoušky</u>
provádí osoba mající příslušné povolení, řídí a vykonává osoba se zvláštní odbornou způsobilostí *(dle Atomového zákona a jeho prováděcích předpisů)* za přítomnosti klinického radiologického fyzika z daného pracoviště *(§131 písm. d) vyhl. 55/2011 Sb.)*

   - kontrola stability přístroje v nezbytném rozsahu
   - kontrola plánovacího systému (dávky a dávkových distribucí) *(§70 odst. (1) písm. e) bod 3. Vyhl. 307/02 Sb.)*
   - kontrola záznamového a verifikačního systému
   - návrh na rozsah ZDS a ZPS *(§70 odst. (2) Vyhl. 307/02 Sb.)*
   - stanovení referenčních dat pro ZDS a ZPS
   - souhrnný přehled výsledků jednotlivých testů přejímací zkoušky *(příl. č. 6 vyhl. 307/02 Sb.)*

Poznámky:

a) V rámci 1. části přejímací zkoušky se ověřují parametry dle norem bezpečnostní řady ČSN EN 60601-1, ČSN EN 60601-1-1, ČSN EN 60601-2-x, dále ČSN EN 60976, IEC/TR 60977, příp. dalších.

b) Osoba žádající o povolení pro přejímací zkoušku musí předložit kompletní protokol k celé přejímací zkoušce (včetně testů požadovaných normami). Metodiky k testům popsaným v normách ČSN EN 60601-2-1 a ČSN EN 60601-1-4 předkládat nemusí.

---

[1] přístrojem se zde rozumí lineární urychlovač včetně všech komponent a příslušenství nebo příslušenství lineárního urychlovače samostatně v případě, že se uvádí do provozu dodatečně (na urychlovači, který je již používán v klinickém provozu)

[2] „Vyhl. 307/02 Sb. ve znění pozdějších předpisů“ dále jen „Vyhl. 307/02 Sb.“

c) Zkoušky dlouhodobé stability by měl v optimálním případě provádět klinický radiologický fyzik daného pracoviště. Nezávislé ověření se zajistí prostřednictvím nezávislé prověrky (auditu).

3. Zkratky a terminologie

Následující zkratky jsou použity v tabulce v kapitole 4 a v kapitolách pro jednotlivé ověřované parametry v kapitole 5. Tabulka slouží pro přehlednost, ale detailní specifikace kontrolovaného parametru je uvedena v dílčích kapitolách nacházejících se za tabulkou.

PZ	Přejímací zkouška
ZDS	Zkouška dlouhodobé stability
ZPS	Zkoušky provozní stálosti
D	Kontrola se provádí denně
T	Kontrola se provádí jednou za týden
M	Kontrola se provádí jednou za měsíc
R	Kontrola se provádí jednou za rok
P	Kontrola se provádí průběžně při běžném provozu, parametr mohou tímto způsobem ověřovat například radiologičtí asistenti
F	Toleranci nelze udat kvantitativně (kontrola funkčnosti, vyhovuje x nevyhovuje, provedeno)
FF	Zkouška se provede pro všechny fotonové svazky s homogenizačním filtrem
FFF	Zkouška se provede pro všechny fotonové svazky bez homogenizačního filtru
SRT	Zkouška se provede pouze pro fotonové svazky používané pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii
E	Zkouška se provede pro elektronové svazky
MV	Zkouška se provede pro libovolný fotonový svazek (FF nebo FFF)
MLC	Zkouška se provede s polem tvarovaným vícelamelovým kolimátorem (MLC)
IMRT	Zkouška se provede pro pole s modulovanou intenzitou svazku při stacionární poloze ramene (IMRT – radioterapie s modulovanou intenzitou fotonového svazku)
IMAT	Zkouška se provede pro pole s modulovanou intenzitou svazku při současné rotaci ramene (IMAT – rotační radioterapie s modulovanou intenzitou fotonového svazku)
rameno	Zkouška se týká ramene (gantry) urychlovače
EPID	Zkouška se týká detektoru či ramene megavoltážního zobrazovacího systému
kVD	Zkouška se týká detektoru kilovoltážního zobrazovacího systému, pokud je připevněn k rameni (gantry) lineárního urychlovače
kVS	Zkouška se týká zdroje kilovoltážního zobrazovacího systému, pokud je připevněn k rameni (gantry) lineárního urychlovače
kV	Zkouška se týká kilovoltážního svazku zobrazovacího systému
2D	Zkouška se provede kilovoltážním zobrazovacím systémem pro 2D ortogonální snímky
CBCT	Zkouška se provede kilovoltážním zobrazovacím systémem pro 3D zobrazení prostřednictvím cone-beam CT
stůl	Zkouška se týká ozařovacího stolu

Hlavními polohami urychlovače se rozumí polohy, kdy rotace ramene urychlovače je 0°, 90°, 270° a 180° při současném úhlu rotace kolimátoru 0°. Nastavení urychlovače, kdy úhel rotace ramene je 0° a úhel rotace kolimátoru je 0° se nazývá základní poloha urychlovače. Zkoušky se provádějí zpravidla pro základní polohu urychlovače. Pokud se má parametr ověřovat v hlavních polohách urychlovače s danou frekvencí, je toto v tabulce znázorněno podtržením dané frekvence. Např. PZ, ZDS, ZPS – M znamená, že parametr se ověřuje při PZ a ZDS v hlavních polohách urychlovače, ale při ZPS s měsíční frekvencí se ověřuje v základní poloze urychlovače. V některých případech se zkouška nemusí provádět striktně ve všech hlavních polohách,

ale např. pouze v jedné z nich, ale odlišné od základní (tj. 90° či 270°). I tento případ je v tabulce vyznačen podtržením dané frekvence.

Pokud je v tabulce prázdné pole, znamená to, že se zkouška neprovádí. Pokud je v tabulce ve sloupci Literatura uveden odkaz na normu, odpovídá frekvence a tolerance pro danou zkoušku požadavkům normy, pokud není uvedeno jinak.

Terminologie a zkratky

Standardní ozařovací vzdálenost	Vzdálenost měřená podél osy svazku záření od zdroje záření k izocentru nebo, pro zařízení bez izocentra, ke vstupnímu povrchu (Normal treatment distance, NTD)
SAD	Vzdálenost měřená podél osy svazku záření od zdroje záření k izocentru (Source to axis distance)
SSD	Vzdálenost měřená podél osy svazku záření od zdroje záření ke vstupnímu povrchu ozařovaného objektu (Source to surface distance)
Referenční hloubka	Referenční hloubka pro daný typ záření dle TRS 398 [8]
Hlavní osy pole	Longitudinální a laterální osa pole procházející středem protilehlých stran pole
Osa svazku záření	U symetrického svazku záření osa symetrie svazku záření
Svazek záření	Prostor vymezený prostorovým úhlem a obsahující tok ionizujícího záření vycházejícího ze zdroje záření, považovaného za bodový zdroj
Geometrické pole	Geometrická projekce distálního konce kolimátoru do roviny kolmé k ose svazku záření, jak je viděna ze středu předního povrchu zdroje záření. Geometrické pole může být definováno v libovolné vzdálenosti od zdroje záření.
EPID	Zařízení, které je tvořeno dvojdimenzionálním detektorem a příslušnou elektronikou, umístěné kolmo k ose svazku záření, které umožňuje s použitím léčebných MV svazků zobrazit anatomické struktury pacienta prostřednictvím digitálního rentgenogramu na obrazovce.
kV zobrazovací systém	Zařízení, které je tvořeno dvojdimenzionálním detektorem, kV zdrojem záření a příslušnou elektronikou, které umožňuje s použitím kV svazků zobrazit anatomické struktury pacienta prostřednictvím digitálního rentgenogramu na obrazovce
Collimator exchange effect	Efekt spočívající v různých hodnotách faktorů velikosti pole pro pole *a x b* ve srovnání s polem *b x a*. Efekt je patrný pro dlouhá obdélníková pole a je způsoben různou mírou rozptylu na kolimačních clonách.
Homogenizovaná oblast	Oblast radiačního pole definovaná v Doporučení SÚJB [1]
PS RT	Pracovní skupina SÚRO pro radioterapii
1D	Jednodimenzionální, jednorozměrný

4. Přehled kontrolovaných parametrů pro lineární urychlovače

Pokud je v literatuře odkaz na normu, znamená to, že norma ČSN EN 60976 požaduje ověření tohoto parametru.
Tabulka zahrnuje všechny zkoušky z této normy vyjma kapitol 8.2.2., 8.2.3., 10.4., 11.3., 13.2., 15. a 17.1.3.5.4.
Detailní citace literatury s vysvětlením zkratek je uvedena v kapitole Literatura
* Není popsáno v kapitole 5
** Číslo u doporučení resp. Katalogu metodik označuje číslo kapitoly, která se dané problematice věnuje
*** Číslo u normy značí kapitolu v normě ČSN EN 60976, která se dané problematice věnuje

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Zkoušky dle normy CSN EN 60601-2-1 v rámci PZ		FF, FFF, E, rameno, EPID, kV, stůl	PZ		F	*	
Zkoušky dle normy ČSN EN 60601-1-4 v rámci PZ		FF, FFF, E, rameno, EPID, kV, stůl	PZ		F	*	
Bezpečnostní, indikační a výstražné systémy (Kapitola 5.1.)	Přesnost úhlových a délkových stupnic	Úhlové - kolimátor, rameno, stůl	PZ, ZDS, ZPS	M	0,5°	5.1.1. a)	Doporučení LU 1.2.2.**
		Délkové - kolimátor, rameno, stůl, kVD, kVS, EPID	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.1.1. b)	Doporučení LU 1.3.2.
		kVD s digitální stupnicí	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.1.1. c)	Doporučení kV IV.5.1.2.
		kVD bez digitální stupnice	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.1.1. d)	Doporučení kV IV.5.1.3.
		kVS s digitální stupnicí	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm, 1 mm, F	5.1.1. e)	Doporučení kV IV.5.2.2.
		EPID v základní poloze	PZ, ZDS, ZPS	T	3 mm	5.1.1. f)	Katalog metodik A.IX.1.1., Norma 17.1.2.
		EPID při rotaci ramene	PZ, ZDS, ZPS	M	8 mm	5.1.1. g)	Katalog metodik A.IX.1.3., Norma 17.1.2.
		Rameno	PZ, ZDS		0,5°	5.1.1. h)	Katalog metodik A.II.4., Norma 14.***
		Kolimátor	PZ, ZDS		0,5°	5.1.1. i)	Katalog metodik A.II.3., Norma 14.
		Stůl	PZ, ZDS		1 mm/0,5°	5.1.1. j)	Katalog metodik A.II.5., Norma 14.3.4.

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Bezpečnostní, indikační a výstražné systémy (Kapitola 5.1.)	Rozsah pohybů a koncové polohy	kVD	PZ, ZDS, ZPS	R	V návodu	5.1.2. a)	Doporučení kV, IV.5.1.1.
		kVS	PZ, ZDS, ZPS	R	V návodu	5.1.2. b)	Doporučení kV, IV.5.2.1.
		EPID	PZ, ZDS, ZPS	R	2 mm	5.1.2. c)	Katalog metodik, A.IX.1.2.
		Stůl	PZ, ZDS, ZPS	R	V návodu	5.1.2. d)	Doporučení LU, 2.2.4.
	Signalizace stavu přístroje		PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.3.	Doporučení LU 2.1
	Vstup do ozařovny		PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.4.	Doporučení LU 2.2.1
	Antikolizní systémy	Rameno	PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.5. a)	Doporučení LU 2.2.3
		kVD	PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.5. b)	Doporučení kV IV.2.3.
		kVS	PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.5. c)	Doporučení kV IV.2.3.
		EPID	PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.5. d)	Katalog metodik A.IX.1.4 - 1.6.
	Pohyby urychlovače vyžadující dva spínače	Rameno	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. a)	Katalog metodik A.X.5.3.
		kVD	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. b)	Doporučení kV IV.3.1.
		kVS	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. c)	Doporučení kV IV.3.1.
		EPID	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. d)	Katalog metodik A.IX.1.6
		Stůl	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. e)	
		Kolimátor	PZ, ZDS, ZPS	P	F	5.1.6. f)	
	Stav ozařovacích pomůcek		PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.7.	Doporučení LU 2.2.6., Doporučení kV IV.4.1.

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Bezpečnostní, indikační a výstražné systémy (Kapitola 5.1.)	Volba druhu a geometrie záření - blokování záření při nesouladu mezi nastavením v ovladovně a v ozařovně	Volba nesouhlasí	PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.8. a)	Doporučení LU 2.3.1., Katalog metodik A.X.8.6.
		Záměna příslušenství	PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.8. b)	Doporučení LU 2.3.1., Katalog metodik A.X.8.8.
		Druh a energie indikovány předem	PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.8. c)	Doporučení LU 2.3.1.
		Neshoda rtg v nastavení	PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.8. d)	Doporučení kV IV.4.2.
		MLC nepřipraven	PZ		F	5.1.8. e)	Katalog metodik A.VII.3.1.
		Nedostatečné krytí MLC	PZ		F	5.1.8. f)	Katalog metodik A.VII.3.2.
		Kódování příslušenství	PZ		F	5.1.8. g)	Katalog metodik A.VII.3.5.
		IMAT nelze bez volby	PZ, ZDS, ZPS	M	F	5.1.8. h)	Katalog metodik A.X.8.6., B.I.1
		Souhlas LU a stolu mezi panely LU a kV	PZ, ZDS, ZPS	D	1 mm/0,5°	5.1.8. i)	Doporučení kV IV.1.2.
	Systém sledování pacienta (zvuk, obraz)		PZ, ZDS, ZPS	D	F	5.1.9.	Doporučení LU 2.4.
	Nouzové vypínače	MV, IMAT, kV	PZ, ZDS, ZPS	T	F	5.1.10.	Doporučení LU 2.2.2.
	Kontrola ovládání stolu v případě nouze	Stůl	PZ, ZDS, ZPS	R	F	5.1.11.	Doporučení LU 2.2.5.
	Kontrola systému monitorování dávky		PZ, ZDS		F	5.1.12.	Doporučení LU 2.3.3.
	Kontrola řídícího časovače		PZ		F	5.1.13.	Doporučení LU 2.3.4.
Mechanické parametry (Kapitola 5.2.)	Nastavení ozařovacích pomůcek	Kolmost, poloha	PZ		1°/2mm	5.2.1.	Doporučení LU 2.2.6.
	Souhlas geometrické osy a osy rotace kolimátoru		PZ, ZDS, ZPS	R	2 mm	5.2.2.	Doporučení LU 3.1.
	Souhlas osy rotace kolimátoru a světelné osy		PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.2.3.	Doporučení LU 3.1.

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Mechanické parametry (Kapitola 5.2.)	Přesnost optického dálkoměru		PZ, ZDS, ZPS	T, M	2 mm	5.2.4.	Norma 13.1., Doporučení LU 3.4.
	Poloha izocentra při rotaci ramene	Mechanické izocentrum	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.2.5. a)	Norma 12.2., Katalog metodik A.II.1.2.
		Radiační izocentrum (FF, SRT)	PZ, ZDS, ZPS	R/D	2 mm/0,5 mm	5.2.5. b)	Norma 12.1., 10.1.5.
	Ověření shody polohy izocentra LU a kV zobrazovacího systému	kV	PZ, ZDS, ZPS	T	1,5 mm, 2 mm	5.2.6.	Doporučení kV IV.5.3.1.
	Světelné zaměřovače (lasery)	Koincidence bočních laserů v izocentru	PZ, ZDS, ZPS	T	1 mm	5.2.7. a)	Katalog metodik B.III.3.
		Souhlas světelné osy s rovinou laseru v sagitální rovině	PZ, ZDS, ZPS	M	1 mm	5.2.7. b)	Katalog metodik B.III.3.
		Seřízení světelných zaměřovačů do izocentra	PZ, ZDS, ZPS	M	1 mm	5.2.7. c)	Katalog metodik B.III.3.
		Ortogonalita světelných rovin	PZ, ZDS, ZPS	M	0,5°	5.2.7. d)	Katalog metodik B.III.3.
	Shoda velikosti světelného pole s indikovaným údajem	Fotonové svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.2.8. a)	Norma 10.1.1.3.
		Elektronové svazky	PZ, ZDS, ZPS	R	2 mm/3 mm	5.2.8. b)	Norma 10.2.2.
	Rovnoběžnost, kolmost a přesnost polohování kolimačního systému	Rovnoběžnost	PZ, ZDS, ZPS	R	0,5°	5.2.9. a)	Norma 10.3
		Kolmost	PZ, ZDS, ZPS	R	0,5 °	5.2.9. b)	Norma 10.3
		Symetrie	PZ, ZDS, ZPS	R	1 mm	5.2.9. c)	Doporučení LU 3.5.
		Přesnost polohování MLC	PZ, ZDS, ZPS	T	1 mm	5.2.9. d)	Norma 10.3.
		Rychlost	PZ, ZDS, ZPS	R	F	5.2.9. e)	Norma 10.3

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Charakteristiky radiačního pole (Kapitola 5.3.)	Souhlas světelné osy a osy svazku záření	Fotonové svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.3.1. a)	Norma 10.1.2.2., 11.2.2.
		Elektronové svazky	PZ, ZDS, ZPS	R	4 mm	5.3.1. b)	Doporučení LU 6.1.1., Norma 11.2.2.
	Souhlas světelného a radiačního pole	Fotonové svazky - sekundární clony	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.3.2. a)	Norma 10.1.2.2.
		Fotonové svazky - MLC	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.3.2. b)	Norma 10.1.2.2.
	Shoda velikosti radiačního pole s indikovaným údajem	Fotonové svazky - sekundární clony	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.3.3. a)	Norma 10.1.1.3.
		Fotonové svazky - MLC	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/3 mm	5.3.3. b)	Norma 10.1.1.3.
		Elektronové svazky	PZ, ZDS		2 mm/3 mm	5.3.3. c)	Norma 10.2.1.3.
	Homogenita radiačního pole	Podíl max/min dávky FF svazky nemodulované	PZ, ZDS, ZPS	R	1,06/1,10	5.3.4. a)	Norma 9.1.1.
		Podíl max/min dávky FF svazky IMRT	PZ, ZDS, ZPS	R	1,10; 2%	5.3.4. b)	Doporučení IMRT, Příloha 1.,1.3., 3.8.
		Podíl max/Dmax dávky FF svazky	PZ, ZDS		1,07/1,09	5.3.4. c)	Norma 9.1.4.
		90% izodoza elektronové svazky - hl. osy	PZ, ZDS, ZPS	R	15 mm	5.3.4. d)	Norma 9.2.1., norma 8.2.4.
		80% izodoza elektronové svazky - hl. osy	PZ		10 mm	5.3.4. e)	Norma 9.2.1., norma 8.2.4.
		90% izodoza elektronové svazky - úhlopříčky	PZ, ZDS, ZPS	R	20 mm	5.3.4. f)	Norma 9.2.1., norma 8.2.4.
		Podíl max/min dávky elektronové svazky	PZ		Hodnota z PZ	5.3.4. g)	Norma 9.2.1.
		Podíl povrchové/maximální dávky elektrony	PZ		1,09	5.3.4. h)	Norma 9.2.4.
		Zkrácená zkouška - FF svazky	PZ, ZDS, ZPS	T	Dle pracoviště	5.3.4. i)	Norma 9.1.2.
		Zkrácená zkouška - elektronové svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	Dle pracoviště	5.3.4. j)	Norma 9.2.2.
	Symetrie radiačního pole	Symetrie FF a FFF - vodní fantom	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.3.5. a)	Norma 9.1.3.

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Charakteristiky radiačního pole (Kapitola 5.3.)	Symetrie radiačního pole	Nehomogenita, sklon profilu, poloha píku	PZ, ZDS, ZPS	R	1%/2,5%/0,5 mm	5.3.5. b)	Příloha tohoto Doporučení
		Zkrácená zkouška - FF a FFF svazky	PZ, ZDS, ZPS	T	3%	5.3.5. c)	Norma 9.1.3.
		Symetrie elektronových svazků - vodní fantom	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.3.5. d)	Norma 9.2.3.
		Zkrácená zkouška - elektronové svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	3%	5.3.5. e)	Norma 9.2.3.
	Radiační polostín	Fotonové svazky – FF, FFF a SRT	PZ, ZDS, ZPS	R	2 mm/< 8 mm	5.3.6. a)	Norma 9.3.
		Elektronové svazky	PZ	-	< 8 mm	5.3.6. b)	Norma 9.3.
	Záření pronikající kolimačním systémem	Fotonové svazky	PZ, ZDS		2%	5.3.7. a)	Doporučení LU 4.5.1.
		Transmise MLC	PZ, ZDS, ZPS	R	0,10%	5.3.7. b)	Doporučení IMRT, oprava 2010
		Elektronové svazky	PZ		10%	5.3.7. c)	Doporučení LU 6.5.1.
	Unikající záření vně maximálního radiačního pole	Fotonové svazky	PZ		0,1%/0,2%	5.3.8. a)	Doporučení LU 4.5.2.
		Elektronové svazky	PZ		1%/1,5%	5.3.8. b)	Doporučení LU 6.5.2.
	Ukončení pohybové terapie	FF či FFF, E - MU	PZ, ZDS, ZPS	M	5%	5.3.9. a)	Norma 7.8., Doporučení LU 8.5.
		FF či FFF, E - délka kyvu	PZ, ZDS, ZPS	M	3°	5.3.9. b)	Norma 7.8., Doporučení LU 8.5.
Dozimetrické charakteristiky svazků záření (Kapitola 5.4.)	Absorbovaná dávka v referenčním bodě/Stálost výstupu urychlovače	Fotonové (FF a FFF) svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	2%	5.4.1. a)	TRS 398
		Elektronové svazky	PZ, ZDS, ZPS	M	3%	5.4.1. b)	TRS 398
	Procentuální hloubkové dávkové křivky a energetické parametry svazku záření	PDD pro FF, FFF, SRT, E	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.4.2. a)	Norma 8.1., 8.2.,TRS 398
		Povrchová dávka pro FF, FFF, SRT, E	PZ		-	5.4.2. b)	Norma 8.1., 8.2.
		R80%d pro FF, FFF, SRT, E	PZ		3 mm/2 mm	5.4.2. c)	Norma 8.1., 8.2.
		Dmax pro FF, FFF, SRT	PZ, ZDS, ZPS	R	1 mm	5.4.2. d)	Norma 8.1., 8.2., TRS 398

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Dozimetrické charakteristiky svazků záření (Kapitola 5.4.)	Procentuální hloubkové dávkové křivky a energetické parametry svazku záření	TPR20,10 pro FF, FFF, SRT	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.4.2. e)	TRS 398
		Praktický dosah pro E	PZ		1,6	5.4.2. f)	Norma 8.2.
		R50d pro E	PZ, ZDS, ZPS	R	2 mm	5.4.2. g)	TRS 398
		Dref pro E	PZ, ZDS, ZPS	R	1 mm	5.4.2. h)	Norma 8.2., TRS 398
	Stabilita energie svazku záření	Fotonové svazky (FF i FFF)	ZPS	M	3%	5.4.3. a)	Norma 8.1.
		Elektronové svazky	ZPS	T	3%	5.4.3. b)	Norma 8.2.
	Faktory velikosti pole	FF, FFF, SRT, E	PZ, ZDS, ZPS	R	2%	5.4.4.	Norma 7.6., Doporučení LU 7.3.
	Klínové faktory a úhly klínu	FF	PZ, ZDS, ZPS	R	2%	5.4.5. a)	Doporučení LU 5.4.1., Norma 9.1.5.
		FF	PZ	R	2°	5.4.5. b)	Norma 9.1.5.
	Kontrola polohy klínu	FF	PZ, ZDS, ZPS	R	1%	5.4.6.	Doporučení LU 5.4.2.
	Faktory podložky	FF	PZ, ZDS, ZPS	R	2%	5.4.7.	Doporučení LU 5.5.
	Faktory zeslabení stínícím blokem	FF	PZ, ZDS, ZPS	R	2%	5.4.8.	Doporučení LU 5.6.
	Stabilita svazku při rotaci ramene	FF, FFF, E	PZ		F	5.4.9.	Katalog metodik A.IV.9
	Kontaminace elektronových svazků brzdným zářením	E	PZ		3%/5%	5.4.10.	Katalog metodik A.IV.3
	Reprodukovatelnost polohy clon a MLC	FF pro sekundární clony	PZ, ZDS		2 mm	5.4.11. a)	Norma 10.1.3.
		FF pro MLC	PZ, ZDS		2 mm	5.4.11. b)	Norma 10.1.3.
		FF pro IMRT a IMAT	PZ, ZDS		2 mm	5.4.11. c)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.1.
		SRT	PZ, ZDS		2 mm	5.4.11. d)	Norma 10.1.3.
	Přesnost lokalizace při SRT	SRT	PZ		0,5 mm	5.4.12. a)	Norma 10.1.4.
	Dozimetrická stabilita dodání IMRT a IMAT pole	IMRT pole základní poloha (FF i FFF)	ZPS	D	3%	5.4.13. a)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.2.
		IMRT pole hlavní polohy (FF i FFF)	PZ, ZDS, ZPS	M	3%	5.4.13. b)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.3.
		IMRT pole hlavní polohy a kolimátor (FF i FFF)	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.4.13. c)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.3.

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Dozimetrické charakteristiky svazků záření (Kapitola 5.4.)	Dozimetrická stabilita dodání IMRT a IMAT pole	IMAT pole (FF i FFF)	PZ, ZDS, ZPS	D	3%	5.4.13. d)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.3.
		IMAT pole a kolimátor (FF i FFF)	PZ, ZDS, ZPS	M	3%	5.4.13. e)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.3.
		Přerušení svazku IMRT a IMAT (FF i FFF)	PZ, ZDS, ZPS	R	2%	5.4.13. f)	Doporučení IMRT, Příloha 1., 3.4.
	Stabilita dozimetrické separace lamel MLC	FF, FFF	PZ, ZDS, ZPS	R	0,1 mm	5.4.14.	Doporučení IMRT, oprava 2010
Systém monitorování dávky (Kapitola 5.5.)	Stabilita systému monitorování dávky	E, FF, FFF, dynamické klíny	ZPS	D	2%	5.5.1. a)	Norma 7.7.1., Doporučení LU 8.1.
		E, FF, FFF, dynamické klíny	ZPS	M	2%	5.5.1. b)	Norma 7.7.2.
		E, FF, FFF, dynamické klíny	ZPS	T	2%	5.5.1. c)	Norma 7.7.3.
	Blokovací funkce sekundárního systému monitorování dávky	FF	PZ, ZDS		10%/0,25 Gy	5.5.2.	Katalog metodik B.I.5.
	Reprodukovatelnost systému monitorování dávky	FF, FFF, E	PZ, ZDS, ZPS	R	0,5%	5.5.3.	Norma 7.2., 9.1.6.
	Linearita systému monitorování dávky	FF, FFF, E	PZ, ZDS, ZPS	R	1%	5.5.4.	Norma 7.3., 9.1.6.
	Závislost systému monitorování dávky na rotaci ramene	FF, FFF, E - stacionární rameno	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.5.5. a)	Norma 7.4., 9.1.6.
		FF, FFF, E - rotace ramene	PZ, ZDS, ZPS	R	3%	5.5.5. b)	Norma 7.5., 9.1.6.
Ozařovací stůl (Kapitola 5.6.)	Svislý pohyb ozařovacího stolu	Stůl	PZ, ZDS, ZPS	M, R	2 mm	5.6.1.	Norma 16.2.
	Izocentrická rotace ozařovacího stolu	Stůl	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm	5.6.2. a)	Norma 16.3.
		Stůl	PZ		0,5°	5.6.2. b)	Norma 16.4.
	Longitudinální a laterální pohyb ozařovacího stolu	Stůl - longitudinální pohyb	PZ, ZDS, ZPS	R	5 mm	5.6.3. a)	Norma 16.5.1.
		Stůl - laterální pohyb	PZ, ZDS		5 mm	5.6.3. b)	Norma 16.5.2.
	Stálost nastavené výšky stolu	Stůl	PZ, ZDS		2 mm	5.6.4.	Doporučení LU 9.4.
	Vodorovnost ozařovacího stolu v longitudinálním a laterálním směru	Stůl - longitudinální směr	PZ, ZDS, ZPS	M	0,5°	5.6.5. a)	
		Stůl - laterální směr	PZ, ZDS, ZPS	M	0,3°	5.6.5. b)	

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Kontrola kvality obrazu zobrazovacích systémů a přesnosti jejich použití (Kapitola 5.7.)	Kontrola kontrastu snímku zobrazovacího systému	EPID	PZ, ZDS, ZPS	T, M	0,4%	5.7.1. a)	Katalog metodik B.XII.2.
		2D	PZ, ZDS, ZPS	M	12 disků	5.7.1. b)	Doporučení kV IV.6.1.1.
		CBCT	PZ, ZDS, ZPS	R	15 mm disk	5.7.1. c)	Doporučení kV IV.6.2.2.
	Kontrola funkcí software zobrazovacího systému	EPID	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/1°	5.7.2. a)	
		2D	PZ, ZDS, ZPS	M	2 mm/1°	5.7.2. b)	Doporučení kV IV.6.1.3.
		CBCT	PZ, ZDS, ZPS	M	1 mm	5.7.2. c)	Doporučení kV IV.6.2.5.
	Prostorové rozlišení	EPID	PZ, ZDS, ZPS	R	1 mm	5.7.3. a)	Doporučení IMRT 4.2., norma 17.1.3.7.
		2D	PZ, ZDS, ZPS	M	1,3 lp/mm	5.7.3. b)	Doporučení kV IV.6.1.2.
		CBCT	PZ, ZDS, ZPS	R	0,6-0,7 lp/mm	5.7.3. c)	Doporučení kV IV.6.2.3.
	Poměr signálu k šumu (Signal-to-noise ratio)	EPID, kV	PZ, ZDS		≥ 50	5.7.4.	Norma 17.1.3.5.3.
	Převod hustoty materiálu na Hounsfieldovy jednotky pro CBCT	CBCT	PZ, ZDS, ZPS	R	40 HU	5.7.5.	Doporučení kV IV.6.2.1.
	Ověření homogenity obrazu pro CBCT	CBCT	PZ, ZDS, ZPS	R	40 HU	5.7.6.	Doporučení kV IV.6.2.4.
	Minimální čas potřebný k získání snímku	EPID, kV - minimální čas	PZ		0,5 s	5.7.7. a)	Norma 17.1.3.5.2.
		EPID, kV - minimální počet snímků za s	PZ		≥ 2	5.7.7. b)	Norma 17.1.3.5.2.
	Ověření polohy cílového objemu	2D	PZ, ZDS, ZPS	M	1 mm	5.7.8. a)	Doporučení kV IV.5.3.2.
		CBCT	PZ, ZDS, ZPS	M	1 mm/2 mm	5.7.8. b)	Doporučení kV IV.5.3.3.
	Automatický posuv stolu pro ortogonální 2D snímky a CBCT	2D	PZ, ZDS, ZPS	M	1,5 mm	5.7.9.	Doporučení kV IV.5.3.4.
		CBCT	PZ, ZDS, ZPS	M	1,5 mm	5.7.9.	Doporučení kV IV.5.3.4.
	Celková kontrola správné funkčnosti 4DCT	Respiratory gating	PZ, ZDS, ZPS	R	F	5.7.10.	

Kontrolovaný parametr		Bližší specifikace	Frekvence		Tolerance	Kapitola	Literatura
Kontrola kvality obrazu zobrazovacích systémů a přesnosti jejich použití	Kontrola řízení spouštění zobrazovacího systému příslušenstvím monitorujícím dýchací cyklus	kV, Respiratory gating	PZ, ZDS, ZPS	R	1 mm	5.7.11.	
Dozimetrické charakteristiky svazků zobrazovacích systémů (Kapitola 5.8.)	Napětí rentgenky	kV - napětí	PZ, ZDS		10%	5.8.1. a)	Doporučení kV IV.7.1.
		kV - variační koeficient	PZ, ZDS		5%	5.8.1. b)	Doporučení kV IV.7.1.
	Ověření první polotloušťky	kV	PZ		Dle výrobce	5.8.2.	Doporučení kV IV.7.3.
	Index přenosové kermy	kV	PZ, ZDS		Dle výrobce	5.8.3.	Doporučení kV IV.7.4.
	Linearita a reprodukovatelnost přenosové kermy	kV - linearita	PZ, ZDS		20%	5.8.4. a)	Doporučení kV IV.7.5.
		kV - reprodukovatelnost	PZ, ZDS		5%	5.8.4. b)	Doporučení kV IV.7.5.
	Vstupní povrchová kerma	kV	PZ, ZDS		Dle výrobce	5.8.5.	Doporučení kV IV.7.6.
	Kermový index pro CBCT	kV	PZ, ZDS		20%	5.8.6.	Doporučení kV IV.7.8.

5. Popis kontrolovaných parametrů pro lineární urychlovače

V této kapitole jsou odchylky vyjádřeny následujícím způsobem:

a) relativní odchylka:

$$\frac{stanovený\ parametr - referenční\ hodnota}{referenční\ hodnota} \times 100\%$$

b) odchylka dvou hodnot, rozdíl: odečtení referenčního hodnoty od hodnoty stanovené.

5.1. Bezpečnostní, indikační a výstražné systémy

5.1.1. Přesnost úhlových a délkových stupnic

Cíl kontroly: Ověřit přesnost elektronických a mechanických úhlových stupnic všech komponent lineárního urychlovače, které umožňují rotační pohyb a jsou vybaveny úhlovou stupnicí. Ověřit přesnost elektronických stupnic všech komponent lineárního urychlovače, které umožňují posuvný pohyb a jsou vybaveny délkovou stupnicí.

Popis kontrolovaného parametru: Absolutní hodnota rozdílu mezi údajem kontrolované stupnice a údajem nezávislého měřidla za stejných podmínek alespoň pro 2 hodnoty přibližně rovnoměrně rozložené v rozsahu stupnice. Zkouška se provádí

a) pro kolimátor, rameno a izocentrickou rotaci stolu v případě úhlových elektronických a mechanických stupnic
b) stůl, kVD, kVS a EPID v případě délkových elektronických stupnic.

Pokud jsou na urychlovači polohovatelná zařízení, která umožňují automatické nastavení do pracovní polohy, je třeba ověřit tuto přesnost. Zkouška se provede pro:

c) kVD vybavený digitální stupnicí a umožňující kontinuální nastavení kVD do pracovní polohy
d) kVD bez digitální stupnice s nastavením pracovní polohy kVD do výrobcem stanovených poloh
e) kVS vybavený digitální stupnicí a umožňující kontinuální nastavení kVS do pracovní polohy, zároveň se ověřuje i pevnost uložení kVS v pracovní poloze
f) rameno EPID v základní poloze (při úhlu rotace ramene 0°)
g) rameno EPID, kdy se stanovuje poloměr kružnice, kterou opíše střed detektoru EPID po rotaci ramene
h) rameno urychlovače, kdy se porovná skutečná hodnota s indikovanou hodnotou pro elektronické stupnice
i) kolimátor, kdy se ověřuje, že skutečná úhlová poloha kolimátoru souhlasí s hodnotou na elektronické stupnici
j) vertikální, laterální a longitudinální elektronické souřadnice stolu a elektronické indikace úhlu izocentrické rotace stolu

Při přejímací zkoušce se systémy nastaví tak, aby indikovaná hodnota odpovídala skutečným hodnotám. Při následných zkouškách se stanovují odchylky od této referenční hodnoty.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Maximální rozdíl mezi údajem změřeným a indikovaným může být 0,5°.
b) Maximální rozdíl mezi údajem změřeným a indikovaným může být 2 mm.
c) kVD umožňující kontinuální nastavení – Odchylka změřených hodnot od nastavených hodnot smí být maximálně 2 mm. Odchylka hodnot uvedených na digitální stupnici jako aktuální stav od nastavených hodnot smí být maximálně 2 mm.
d) kVD bez digitální stupnice s nastavením pracovní polohy kVD do výrobcem stanovených poloh – Odchylka změřených hodnot od hodnot udaných výrobcem příp. od referenčních hodnot z PZ smí být maximálně 2 mm

e) kVS umožňující kontinuální nastavení - Odchylka změřených hodnot od nastavených hodnot smí být maximálně 2 mm. Odchylka hodnot uvedených na digitální stupnici jako aktuální stav od nastavených hodnot smí být maximálně 1 mm. V zaaretované pracovní poloze musí rameno držet pevně (hodnotí se funkčnost).
f) EPID při úhlu rotace ramene 0° - skutečná poloha ramene EPID vzhledem k izocentru musí souhlasit s polohou udanou na displeji ručního ovladače s přesností do 3 mm
g) pro vertikální a longitudinální souřadnici ramene EPID se skutečné vzdálenosti středu povrchu detektoru EPID od izocentra nesmí lišit o více než 8 mm při úhlu ramene 0° a při úhlu ramene 180°
h) pro rameno urychlovače se odchylka indikované polohy od skutečného úhlu rotace ramene smí odlišovat maximálně o 0,5°
i) pro kolimátor se odchylka indikované polohy od skutečného úhlu rotace kolimátoru smí odlišovat maximálně o 0,5°
j) pro elektronické stupnice stolu se nesmí skutečná poloha stolu pro posuvné pohyby lišit o více než 1 mm a pro izocentrickou rotaci stolu o 0,5°

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – M pro elektronické stupnice, PZ pro mechanické stupnice
b) PZ, ZDS, ZPS – M
c) PZ, ZDS, ZPS - M při pozici osy svazku záření mířící směrem ke stropu, PZ, ZDS pro rameno urychlovače v poloze 0°
d) PZ, ZDS, ZPS - M
e) PZ, ZDS, ZPS - M
f) PZ, ZDS, ZPS - T
g) PZ, ZDS, ZPS - M
h) PZ, ZDS
i) PZ, ZDS
j) PZ, ZDS

Příklad metodiky:

a) Doporučení LU, Kap. 1.2.2. [1]
b) Doporučení LU, Kap. 1.3.2. [1]
c) Doporučení kV systémy, Kap. IV.5.1.2. [3]
d) Doporučení kV systémy, Kap. IV.5.1.3. [3]
e) Doporučení kV systémy, Kap. IV.5.2.2. [3]
f) Katalog metodik, Kap. A.IX.1.1. [4], ČSN EN 60976, Kap. 17.1.2.
g) Katalog metodik, Kap. A.IX.1.3. [4], ČSN EN 60976, Kap. 17.1.2.
h) Katalog metodik, Kap. A.II.4. [4], ČSN EN 60976, Kap. 14
i) Katalog metodik, Kap. A.II.3. [4], ČSN EN 60976, Kap. 14
j) Katalog metodik, Kap. A.II.5. [4], ČSN EN 60976, Kap. 14.3.4.

5.1.2. Rozsah pohybů a koncové polohy

Cíl kontroly: Ověřit rozsah pohybů daných zařízení a tím funkčnosti koncových spínačů.

Popis kontrolovaného parametru: Rozsah pohybů detektoru kilovoltážního (kVD) a megavoltážního (EPID) zobrazovacího systému, zdroje kilovoltážního zobrazovacího systému (kVS) a stolu. Ověřuje se, že rozsah pohybu daného zařízení se neliší od údajů výrobce příp. od referenčních hodnot získaných při PZ. Provádí se pro:

a) kVD vybavený digitální stupnicí a umožňující kontinuální nastavení pracovní polohy kVD
b) kVS vybavený digitální stupnicí a umožňující kontinuální nastavení vzdálenosti kVS od izocentra
c) rameno EPID
d) stůl

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) b) d) Limitní hodnoty v koncových polohách musí souhlasit s hodnotami uvedenými v návodu k použití. Pokud nejsou tyto hodnoty v návodu k použití specifikovány, stanovuje se při přejímací zkoušce referenční hodnota a při následných zkouškách se posuzuje shoda s touto referenční hodnotou.
c) Rozsah pohybu EPID ve vzdálenosti 30 cm se nesmí lišit o více než 2 mm od údajů výrobce.

Frekvence: a) b) c) d) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) doporučení kV systémy, Kap. IV.5.1.1 [3]
b) doporučení kV systémy, Kap. IV.5.2.1 [3]
c) katalog metodik, Kap. A.IX.1.2. [4]
d) doporučení LU, Kap. 2.2.4. [1]

5.1.3. Signalizace stavu přístroje

Cíl kontroly: Ověřit provozní parametry lineárního urychlovače a signalizaci stavu lineárního urychlovače pro všechny komponenty (včetně zobrazovacích systémů).

Popis kontrolovaného parametru: Tlak plynu, teplota a tlak vody, množství vody v lineárním urychlovači, signalizace stavu urychlovače a zobrazovacích systémů dle provozní dokumentace, a to jak v ovladovně, tak v ozařovně.

Způsob kontroly: Vizuálně

Tolerance: Provozní parametry lineárního urychlovače musejí být v souladu s provozní dokumentací, signalizace stavu urychlovače a všech jeho komponent (příslušenství pro zobrazování) musí být funkční dle provozní dokumentace.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - D

Příklad metodiky: doporučení LU, Kap. 2.1. [1]

5.1.4. Vstup do ozařovny

Cíl kontroly: Ověřit, že otevřením dveří do ozařovny při spuštěném svazku záření (MV či kV) dojde k přerušení ozařování a je aktivován příslušný interlock; a že při otevřených dveřích do ozařovny nelze spustit záření (MV ani kV).

Popis kontrolovaného parametru: Blokování svazku záření (megavoltážního či kilovoltážního) při otevřených dveřích do ozařovny.

Způsob kontroly: Simulací chybového stavu

Tolerance: Záření nesmí být možné spustit při otevřených dveřích do ozařovny a otevřením dveří do ozařovny se záření kV i MV svazkem přeruší.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - D

Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.2.1 [1]

5.1.5. Antikolizní systémy

Cíl kontroly: Ověřit funkčnost antikolizních systémů všech zařízení na lineárním urychlovači, které jsou jím vybaveny.

Popis kontrolovaného parametru: Zastavení pohybů urychlovače při aktivaci antikolizního systému. Odblokování ochrany proti kolizi je možné provést pouze přímým úkonem obsluhy v ozařovně. Zkouška se provádí pro:

a) rameno urychlovače včetně případného příslušenství v hlavici urychlovače
b) rameno kVD
c) rameno kVS
d) rameno EPID

Při aktivaci libovolného antikolizního systému musí dojít k přerušení pohybů všech komponent lineárního urychlovače a musí se ozvat akustický signál.

Způsob kontroly: Simulací kolize

Tolerance: Všechny antikolizní systémy musí být funkční, při kolizi musí být vydán akustický signál a musí být možné je po aktivaci odblokovat.
Frekvence: a) b) c) d) PZ, ZDS, ZPS - D
Příklad metodiky:

a) Doporučení LU, Kap. 2.2.3. [1]
b)c) Doporučení pro kV systémy, Kap. IV.2.3. [3]
d) Katalog metodik A.IX.1.4, A.IX.1.5, A.IX.1.6 [4]

5.1.6. Pohyby urychlovače vyžadující dva spínače

Cíl kontroly: Ověřit, že pohyby urychlovače, které mohou způsobit kolizi, jsou možné pouze při současném působení obsluhy na dva spínače.
Popis kontrolovaného parametru: Pohyby, které vyžadují současné působení na dva spínače, nesmějí být provedeny při působení pouze na jeden spínač. Při uvolnění druhého spínače musí dojít k zastavení příslušných pohybů. Při přerušení pohybu a nedosažní požadované polohy se ověří, že nelze spustit záření (kV či MV) a na monitoru řídící jednotky se objeví příslušné chybové hlášení.
Přerušení pohybů urychlovače při působení pouze na jeden spínač. Provádí se pro ovládání pohybů jak z ozařovny, tak z ovladovny. Provádí se pro:

a) rameno urychlovače
b) kVD
c) kVS
d) EPID
e) stůl
f) kolimátor

Způsob kontroly: Simulací chybového stavu
Tolerance: Žádný pohyb urychlovače vyžadující působení na dva spínače nesmí být proveden při působení pouze na jeden spínač.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - ověřit provozem
Příklad metodiky:

a) Katalog metodik, Kap. A.X.5.3 [4]
b)c) Doporučení kV systémy, Kap. IV.3.1. [3]

5.1.7. Stav ozařovacích pomůcek

Cíl kontroly: Zkontrolovat veškeré příslušenství, které se používá při ozařování pacientů.
Popis kontrolovaného parametru: Uložení, čistota, neporušenost a funkčnost pomůcek používaných při ozařování pacientů, např. klínových filtrů, elektronových aplikátorů, držáků bloků, fixačních zařízení, kolimačních kazet (jsou-li součástí vybavení kV zobrazovacího systému).
Způsob kontroly: Vizuálně
Tolerance: Všechny pomůcky musí být na místě a funkční.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – M.
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.2.6 [1], Doporučení kV, Kap. IV.4.1. [3]

5.1.8. Volba druhu a geometrie záření – blokování záření při nesouladu mezi nastavením v ovladovně a v ozařovně

Cíl kontroly: U ozařovačů, kde je možné ozařovat fotonovými i elektronovými svazky, se ověřuje správnost volby druhu a energie záření. Ověřuje se, že zařízení nutné pro realizaci léčby je připravené (elektronový aplikátor, MLC, zobrazování) a aktivuje se blokování záření při nepřípustných geometriích.
Popis kontrolovaného parametru: Ověřuje se, zda:

a) není možno spustit záření, pokud nesouhlasí volba odpovídajících parametrů v ozařovně a na ovládacím panelu ozařovače (včetně vložení klínových filtrů v různých orientacích do hlavice urychlovače) pro léčebné fotonové či elektronové svazky. U klínových filtrů se kontroluje, že nelze spustit ozařování při jiné orientaci klínu a při jiném úhlu klínu navoleném na ovládacím panelu urychlovači než v jakých je klínový filtr zasunut do hlavice urychlovače.
b) je blokováno spuštění záření při záměně příslušenství pro svazek fotonového záření při elektronovém záření a naopak
c) je druh a energie záření indikována na odpovídajících panelech předem, nikoliv až po spuštění záření a záření nelze spustit, aniž by byla provedena volba druhu a energie záření na ovládacím panelu. Navolená energie musí zůstat zobrazena po celou dobu záření.
d) dojde k blokování rtg svazku záření při neshodě mezi požadavky akvizice a skutečným nastavením kV zobrazovacího systému a lineárního urychlovače (není vložena předepsaná kolimační kazeta nebo clony kolimačního systému kVS nejsou nastaveny na požadovanou velikost, není vložena předepsaná filtrační kazeta, kVD či kVS není v předepsané pracovní poloze, rameno urychlovače není v předepsané poloze)
e) není možné spustit pole s MLC, pokud není MLC ve stavu připravenosti
f) dojde k blokování spuštění záření, jestliže poloha clon má za následek nedostatečné krytí za, anebo v sousedství lamel MLC
g) jsou funkční spínače, které zaručují, že je instalováno příslušenství a že je zajištěno (kódování příslušenství). Dané příslušenství navolené na ovládacím panelu urychlovače musí být správně rozpoznáno, provádí se pro všechny klínové filtry, elektronové aplikátory, podložky bloků a ostatní používané příslušenství.
h) není možné provést rotační terapii (či IMAT) pokud není provedena odpovídající volba na ovládacím panelu ozařovače, na ovládacím panelu musí být signalizován směr pohybu a jeho rychlost v případě rotační terapie.
i) u ozařovačů, které jsou vybaveny oddělenými řídícími konzolemi pro ovládání urychlovače a kV systémů, souhlasí indikace polohy ramene lineárního urychlovače a ozařovacího stolu na řídících konzolách urychlovače a kV zobrazovacího systému pro tři různé polohy ramene urychlovače a stolu

V případě, že došlo k blokování záření, musí se na monitoru ovládacího panelu urychlovače objevit příslušné hlášení. Zkoušky se provádějí pro fotonové, a má-li to smysl, i pro elektronové, svazky.

Způsob kontroly: Snahou spustit jiný druh záření či pole, než pro jaké jsou nastaveny parametry v ozařovně a aktivace blokování záření pro nepřípustné geometrie, a vizuální kontrolou.

Tolerance:

a) – h) F

i) Pro posuvné stupnice se musí indikace poloh shodovat do 1 mm, pro rotační stupnice do 0,5°.

Frekvence:

a) b) c) d) PZ, ZDS, ZPS – M

e) f) g) PZ

h) PZ, ZDS, ZPS – M

i) PZ, ZDS, ZPS - D

Příklad metodiky:

a) Doporučení LU, Kap. 2.3.1., Katalog metodik, Kap. A.X.8.6. [1]
b) Doporučení LU, Kap. 2.3.1., Katalog metodik, Kap. A.X.8.8. [1]
c) Doporučení LU, Kap. 2.3.1. [1]
d) Doporučení kV, Kap. IV.4.2. [3]
e) Katalog metodik, Kap. A.VII.3.1. [4]
f) Katalog metodik, Kap. A.VII.3.2 [4]
g) Doporučení LU, Kap. 2.2.6 [1]; Katalog metodik, Kap. A.VII.3.5. [4]

h) Katalog metodik, Kap. A.X.8.6., B.I.1 [4]
i) Doporučení kV, Kap. IV.1.2. [3]

5.1.9. Systém sledování pacienta (zvuk, obraz)

Cíl kontroly: Ověřit, zda je možno pacienta během ozařování nepřetržitě sledovat jak vizuálně, tak akusticky.
Popis kontrolovaného parametru: Sledování pacienta pomocí televizního okruhu musí být možné při libovolné poloze urychlovače. U akustického řetězce musí být umožněna oboustranná komunikace mezi ozařovnou a ovladovnou.
Způsob kontroly: Vizuálně a akusticky
Tolerance: Systém sledování pacienta musí být funkční.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – D
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.4. [1]

5.1.10. Nouzové vypínače

Cíl kontroly: Ověřit, že při stisknutí nouzových tlačítek (beam off, emergency) dojde k přerušení záření.
Popis kontrolovaného parametru: Stlačením příslušného tlačítka musí dojít k přerušení záření. Zkouška se provádí pro MV svazky, režim IMAT, kV svazky. Provádí se pro nouzové vypínače (tzv. emergency tlačítka) a pro tlačítko (tzv. beam off) umístěné na ovládacím panelu urychlovače.
Způsob kontroly: Aktivací jednotlivých systémů kontrolovat přerušení záření.
Tolerance: Nouzové vypínače (tzv. emergency tlačítka) musí po jejich aktivaci přerušit ozařování. Pokud by aktivace všech emergency tlačítek představovala velký zásah do provozu ozařovače, je třeba aktivovat alespoň jedno z nich a poté u ostatních ověřit, že je možné je zamáčknout a uvolnit. Aktivace tlačítka (beam off) umístěného na ovládacím panelu urychlovače musí přerušit záření.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – T pro beam off tlačítko, PZ, ZDS pro emergency tlačítka
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.2.2. [1]

5.1.11. Kontrola ovládání stolu v případě nouze

Cíl kontroly: Ověřit možnost posunutí stolu do jeho nejnižší polohy (alespoň mechanicky) v případě nouze.
Způsob kontroly: Provedením
Tolerance: Stůl musí být možné v případě výpadku elektrické energie posunout do jeho nejnižší polohy tak, aby bylo možné snadno uvolnit pacienta.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.2.5. [1]

5.1.12. Kontrola systému monitorování dávky

Cíl kontroly: Ověřit, zda displeje s počtem odzářených MU spolu s displejem s předvoleným počtem MU uchovají zobrazované údaje po přerušení ozařování, po ukončení ozařování a v případě výpadku hlavního napájení.
Způsob kontroly: Vizuální kontrolou a provedením
Tolerance: Všechny údaje musí být zobrazeny po přerušení ozařování, po ukončení ozařování a v případě výpadku hlavního napájení po dobu nejméně 20 min.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.3.3. [1]

5.1.13. Kontrola řídícího časovače

Cíl kontroly: Ověřit správnou funkci řídícího časovače.

Popis kontrolovaného parametru: Ověří se, že časovač se zapne v okamžiku zahájení ozařování a vypne se při ukončení ozařování, uchová údaj o odzářeném čase po přerušení nebo ukončení ozařování, vypne ozařování po uplynutí předvoleného času a v případě poruchy systému monitorování dávky nastavená hodnota času na řídícím časovači nepřekročí 120% hodnoty času, který je nutný k odzáření zvoleného počtu monitorových jednotek.
Způsob kontroly: Provedením
Tolerance: Časovač musí být funkční dle požadavků.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.3.4. [1]

5.2. Mechanické parametry

5.2.1. Nastavení ozařovacích pomůcek – kolmost, poloha

Cíl kontroly: Ověřit kolmost ozařovacích pomůcek a reprodukovatelnost jejich polohy.
Popis kontrolovaného parametru: Úhel podkladové roviny pomůcek a osy svazku záření musí být stabilní při libovolné poloze ramene a ozařovací hlavice. Reprodukovatelnost ozařovacích pomůcek představuje kontrolu, zda držáky ozařovacích pomůcek (klínové filtry, bloky apod.) umožňují reprodukovatelné umístění těchto pomůcek. Reprodukovatelnost ozařovacích pomůcek se ověřuje v místě pacienta, nikoliv v místě uložení pomůcky v ozařovací hlavici. Kolmost se ověřuje ve všech hlavních polohách urychlovače.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Úhel podkladové roviny ozařovacích pomůcek musí být vůči ose svazku záření 90° s maximální povolenou odchylkou 1°. Maximální povolená variabilita polohy ozařovacích pomůcek v místě pacienta je 2 mm.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 2.2.6. [1]

5.2.2. Souhlas geometrické osy a osy rotace kolimátoru

Cíl kontroly: Ověřit shodu geometrické osy a osy rotace kolimátoru.
Popis kontrolovaného parametru: Geometrickou osou kolimátoru rozumíme osu objemu vymezeného vnitřními hranami lamel kolimátoru při symetrickém nastavení kolimátoru. Stanovuje se průměr kružnice vymezené průměty geometrické osy do roviny k ní kolmé ve vzdálenosti SAD = 100 cm při rotaci kolimátoru.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Průměr kružnice vymezené rotací kolimátoru může být maximálně 2 mm.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R pro základní polohu urychlovače, PZ, ZDS pro hlavní polohy urychlovače
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 3.1. [1]

5.2.3. Souhlas osy rotace kolimátoru a světelné osy

Cíl kontroly: Ověřit shodu osy rotace kolimátoru a světelné osy.
Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se průměr kružnice vymezené průměty světelné osy do roviny kolmé k ose rotace kolimátoru ve vzdálenosti SAD = 100 cm při rotaci kolimátoru.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Průměr kružnice vymezené rotací kolimátoru může být maximálně 2 mm.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - M pro základní polohu urychlovače, PZ a ZDS pro hlavní polohy urychlovače
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 3.1. [1]

5.2.4. Přesnost optického dálkoměru

Cíl kontroly: Ověřit přesnost indikace vzdálenosti SSD optickým dálkoměrem.

Popis kontrolovaného parametru: Ověření probíhá prostřednictvím měření od určené součásti (mechanický dálkoměr apod.), která bezprostředně souvisí s polohou zdroje. Popis takové součásti musí být obsahem průvodní dokumentace k urychlovači i s uvedením její vzdálenosti od zdroje záření. Měří se v rozsahu ±25 cm od standardní ozařovací vzdálenosti pro všechny hlavní polohy urychlovače.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: 2 mm

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - T pro základní polohu urychlovače; PZ, ZDS, ZPS - M pro hlavní polohy urychlovače

Dle PS RT: PZ, ZDS, ZPS – M, průběžně střídat hlavní polohy ozařovače vyjma 180°

Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 13.1. [5], Doporučení LU, Kap. 3.4. [1]

5.2.5. Poloha izocentra při rotaci ramene

Cíl kontroly: Ověřit polohu izocentra lineárního urychlovače.

Popis kontrolovaného parametru: Poloha izocentra lineárního urychlovače. Ověřuje se:

a) mechanické izocentrum – Stanovuje se průměr koule opsané bodům v prostoru získaných pro různé úhly ramene s využitím ověřených indikátorů izocentra (jako je světelná osa, mechanický pointr, optický dálkoměr apod.). Střed této koule definuje v prostoru polohu mechanického izocentra.
b) radiační izocentrum – ověřuje se, že osa svazku fotonového záření při rotaci ramene prochází mechanickým izocentrem. Ověřuje se pro všechny možné kombinace hlavních poloh urychlovače a úhlů rotace kolimátoru 0°, 90°, 180°, 270°. Pokud se lineární urychlovač používá i pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii, provede se ověření radiačního izocentra pro nejmenší a největší pole (např. Winston-Lutzův test).

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Průměr koule opsané bodům v prostoru pro různé úhly ramene s využitím ověřených indikátorů izocentra musí být menší než 2 mm při PZ a 3 mm při ZDS a ZPS.
b) Průmět osy svazku záření na rovinu kolmou k ose svazku záření pro různé úhly ramene smí být od mechanického izocentra vzdálený maximálně 2 mm. Pro SRT je tato vzdálenost 0,5 mm. Průměr kružnice opsané mnohoúhelníku, který vznikne na filmu po vyznačení os svazků záření úzkých polí nazářených z různých úhlu ramene smí být maximálně 2 mm.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – M
b) PZ, ZDS, ZPS – R, pro SRT D před každou aplikací

Příklad metodiky:

a) Katalog metodik, Kap. A.II.1.2. [4]; ČSN EN 60976, Kap. 12.2 [5]
b) ČSN EN 60976, Kap. 12.1., 10.1.5. [5]

5.2.6. Ověření shody polohy izocentra lineárního urychlovače a kV zobrazovacího systému

Cíl kontroly: Ověřit shodu polohy izocentra lineárního urychlovače a kV zobrazovacího systému použitím ortogonálních 2D snímků.

Popis kontrolovaného parametru: Maximální vzdálenost projekce radiokontrastní značky umístěné v izocentru ověřeném dle kap. 5.2.5 „Poloha izocentra při rotaci ramene“ od středového kříže rastrové desky a středu digitální mřížky.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Vzdálenost ve vodorovném a svislém směru musí být menší než 1,5 mm, celková vzdálenost musí být menší než 2 mm.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - T

Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.5.3.1 [3]

5.2.7. Světelné zaměřovače (lasery)

Cíl kontroly: Ověřit správnou funkci světelných zaměřovačů (laserů) v ozařovně.
Popis kontrolovaného parametru: Pro světelné zaměřovače (lasery) se ověřuje:

a) koincidence bočních laserů v místě izocentra a ve vzdálenosti 20 cm od izocentra v horizontální rovině
b) souhlas světelné osy s rovinou laseru v sagitální rovině
c) seřízení světelných zaměřovačů do izocentra
d) ortogonalita světelných rovin

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:

a) Vzdálenost bočních laserů (měřeno od jejich středů) v místě izocentra a ve vzdálenosti 20 cm od izocentra smí být maximálně 1 mm
b) Sagitální laser se smí od světelné osy odchylovat maximálně o 1 mm
c) Lasery se smí od izocentra odchylovat maximálně o 1 mm. Zkouška se provádí až po ověření polohy izocentra.
d) Světelné roviny se nesmí od přesně vodorovné či kolmé roviny odlišovat o více než 0,5°.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – T
b) PZ, ZDS, ZPS – M
c) PZ, ZDS, ZPS – M
d) PZ, ZDS, ZPS – M

Příklad metodiky: Katalog metodik, Kap. B.III.3. [4]

5.2.8. Shoda velikosti světelného pole s indikovaným údajem

Cíl kontroly: Ověřit velikost světelného pole s indikovaným údajem pro fotonové a elektronové svazky.
Popis kontrolovaného parametru:

a) Pro fotonové svazky se ověřuje maximální vzdálenost mezi velikostí světelného pole měřeného podél hlavních os pole vůči indikované hodnotě velikosti pole pro SAD = 100 cm. Zkouška se provádí minimálně pro geometrie uvedené v tabulce, PS RT provádět i pro 3 další asymetrická pole. Pro pole tvarované MLC se zkouška provádí pro pole 10 x 10 cm² umístěné asymetricky a symetricky (viz obr. 1) a pro maximální velikost pole tvarovaného MLC. Pokud se lineární urychlovač používá i pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii, shoda s velikostí světelného pole s indikovanou hodnotou se ověřuje pro každou takto používanou energii pro maximální velikost pole a pole o průměru 1 cm (či čtvercové pole 1x1 cm²) za podmínek uvedených dále.

   Zkouška se provádí pro geometrie uvedené v tabulce 1 (nominální energie je uvedena z toho důvodu, že tabulka uvádí geometrie i pro ověření některých radiačních parametrů, které jsou popsány v následujících kapitolách). Při přejímací zkoušce se provádí i v úhlech ramene 180° pro jednu energii a pole 10x10 cm² a v úhlu ramene 0° při rotaci kolimátoru 45° pro pole 10x10 cm² a maximální velikost pole.

Měsíc	Úhel ramene	Úhel kolimátoru	Radiační pole (cm²)	Vzdálenost od zdroje	Nominální energie

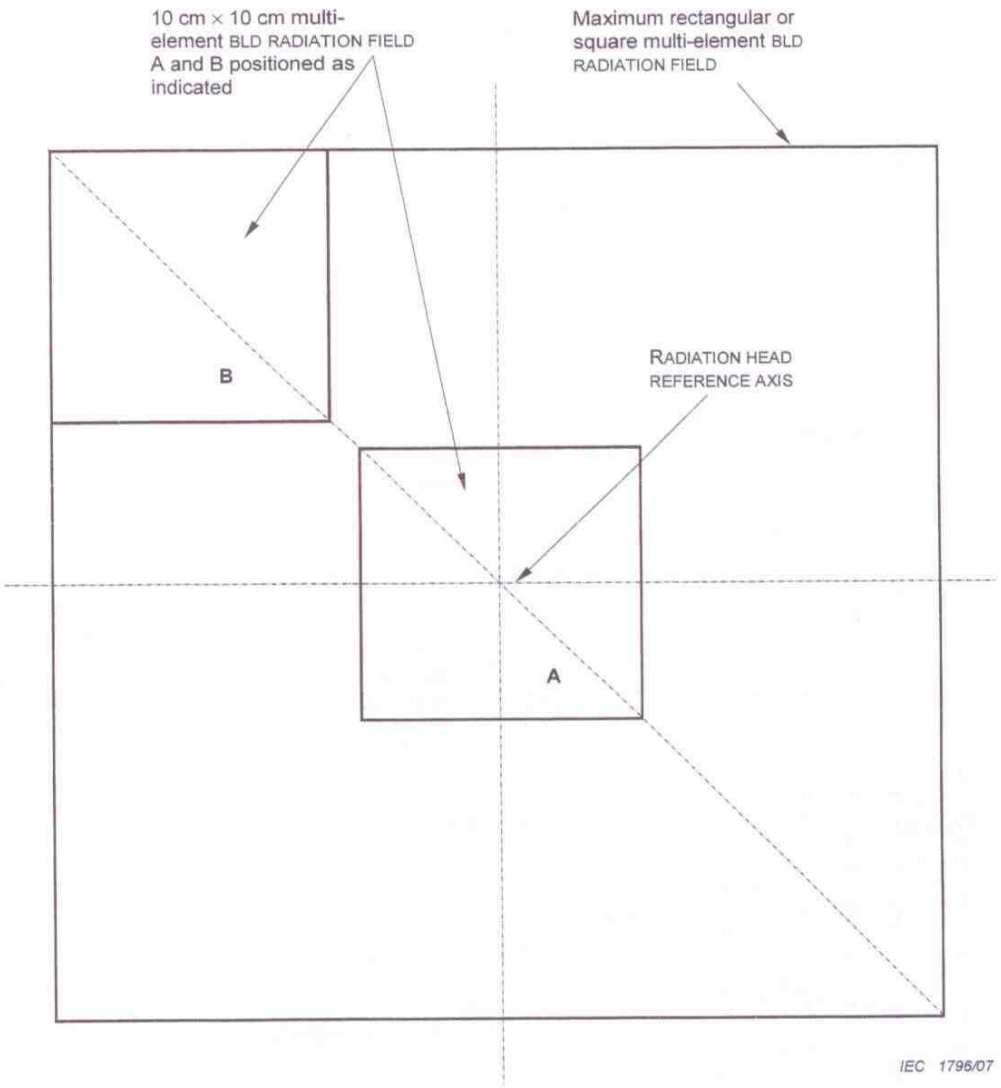
1	0° nebo 90°	0°	5x5	100 cm	Jedna
2	0° nebo 90°	0°	10x10	100 cm	Jedna
3	0° nebo 90°	0°	20x20	100 cm	Jedna
4	0° nebo 90°	0°	30x30	100 cm	Jedna
5	90°nebo 270°	90°	10x10	100 cm	Maximální
6	90°nebo 270°	90°	30x30	100 cm	Maximální
7	90° nebo 0°	0°	Maximální	150 cm	Jedna

Tabulka 1. Geometrie používané pro ověření vybraných parametrů fotonových svazků

Dle PS RT:
Pro fotonové svazky se ověřuje maximální vzdálenost mezi velikostí světelného pole měřeného podél hlavních os pole vůči indikované hodnotě velikosti pole pro SAD = 100 cm. Při PZ, ZDS a ZPS s měsíční frekvencí se toto ověřuje pro úhel kolimátoru 0° pro velikosti polí 5x5 cm², 10x10 cm², 30x30 cm² a asymetrické pole tvarované MLC při rotaci ramene 0°. Při přejímací zkoušce se toto ověření provede i pro úhel rotace ramene 90°nebo 270°.
Pokud se ozařovač používá při SSD >120 cm, potom musí být velikosti polí adekvátně ověřeny i pro tuto SSD.

b) Pro elektronové svazky se ve standardní ozařovací vzdálenosti provede stanovení velikosti světelného pole podél hlavních os světelného pole pro úhel rotace ramene a kolimátoru 0°. Při ZPS se měření provádí pro minimální, maximální, případně úzké a dlouhé pole (pokud se používá). Při PZ a ZDS se měření provede pro všechny dostupné elektronové aplikátory.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: a) b) Maximální rozdíl mezi numerickou indikací velikosti pole a rozměry světelného pole ve standardní ozařovací vzdálenosti může být maximálně 2 mm pro pole menší a rovno 20x20 cm², a 3 mm pro pole větší než 20x20 cm².
Frekvence:
a) PZ, ZDS, ZPS – M tak, aby došlo průběžně k prostřídání geometrií uvedených v tabulce (nebo minimálně pro geometrie doporučované PS RT).
b) PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky:
a) ČSN EN 60976, Kap. 10.1.1.3 [5]
b) ČSN EN 60976, Kap. 10.2.2. [5]



Obr. 1. Čtvercová pole tvarovaná MLC (A – symetrické 10x10cm^2, B – asymetrické 10x10 cm^2) použitá pro ověření vybraných parametrů (dle ČSN EN 60976)

5.2.9. Rovnoběžnost, kolmost a přesnost polohování kolimačního systému

Cíl kontroly: Ověřit geometrii kolimátoru a rychlost pohybu sekundárních clon či lamel MLC.

Popis kontrolovaného parametru:

a) maximální úhlová odchylka od rovnoběžné polohy (v °) vůči protilehlé straně pro čtvercová pole tvarovaná konvenčními clonami kolimátoru
b) maximální úhlová odchylka od pravého úhlu od sousedních kolmých clon (v °).
c) symetrie clon kolimátoru (konvenčních i MLC) dána vzdáleností mezi světelnou osou a středy stran světelného pole
d) přesnost polohování konců lamel MLC ve standardní ozařovací vzdálenosti v mm – provádí se pro statickou polohu ramene urychlovače pro sliding window i step and shoot, i pro kyv (IMAT)
e) maximální a minimální rychlost pohybu v cm/s ve standardní ozařovací vzdálenosti pro jakýkoliv pohyblivý kolimační systém, provádí se pro statickou polohu ramene urychlovače i pro kyv (IMAT). Ověřuje se, že pokud by se pro splnění předepsaného

plánu musely lamely pohybovat rychlostí vyšší, než je povolená maximální rychlost uvedená v návodu k použití, je záření blokováno.

Dle PS RT: Bod e) se nemusí provádět.

Měření se provádí přímo pro kolimační systém nebo prostřednictvím světelného pole. Popsané kontrolované parametry a) b) se ověřují při úhlu rotace ramene 90° pro orientace kolimátoru 0°, 90°, 180° a 270° pro velikost pole 10x10 cm^2 a pro maximální velikost pole. Parametry c) d) se při ZPS ověřují v základní poloze urychlovače, při PZ a ZDS i v jiné hlavní poloze urychlovače.

Dle PS RT: Při PZ a ZDS se parametry a) – d) ověřují v jedné hlavní boční poloze urychlovače (tj. úhel ramene 90° nebo 270°) s kolimátorem ve dvou polohách tak, aby se MLC pohyboval po či proti směru gravitačního pole a pro kolimátor otočený o 90° od této polohy. Při ZPS se parametr ověřuje v základní poloze urychlovače pro úhel kolimátoru 0° tak, aby byly ověřeny všechny lamely MLC.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:
- a) b) maximální úhlová odchylka může být 0,5°
- c) vzdálenost mezi největší a nejmenší hodnotou se smí odlišovat maximálně o 1 mm
- d) přesnost polohování lamel musí být do 1 mm
- e) záření musí být blokováno, pokud by se lamely musely pohybovat vyšší rychlostí, než je maximální povolená rychlost uvedená v Návodu k použití

Frekvence:
- a) b) c) PZ, ZDS, ZPS – R
- d) PZ, ZDS, ZPS – T
- e) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:
- a) b) ČSN EN 60976, Kap. 10.3. [5]
- c) Doporučení LU, Kap. 3.5. [1]
- d) ČSN EN 60976, Kap. 10.3. [5], frekvence a tolerance pro e) dle Doporučení IMRT [2]
- e) ČSN EN 60976, Kap. 10.3.

5.3. Charakteristiky radiačního pole

5.3.1. Souhlas světelné osy a osy svazku záření

Cíl kontroly: Ověřit shodu světelné osy a osy svazku záření pro fotonové a elektronové svazky.
Popis kontrolovaného parametru: Vzdálenost mezi průměty světelné osy a osy svazku záření do roviny kolmé k ose svazku záření ve standardní ozařovací vzdálenosti pro fotonové a elektronové svazky. Souhlas světelné osy a osy svazku záření se ověřuje pro:
- a) V referenční hloubce pro geometrie fotonových svazků definované v kapitole 5.2.8. a) včetně MLC polí. Pokud se ozařovač používá při SSD >120 cm, potom musí být velikosti polí adekvátně ověřeny i pro tuto SSD.
- b) V referenční hloubce pro geometrie elektronových svazků definované v kapitole 5.2.8. b), při PZ se provede pro tři různé elektronové energie

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:
- a) průmět světelné osy a osy svazku záření se od sebe nesmí odlišovat v rozmezí SAD = 100 cm ± 25 cm o více než 2 mm. Provádí-li se zkouška i pro prodloužené SSD, pak je tolerance pro SAD = 150 cm 4 mm.
- b) průmět světelné osy a osy svazku záření se od sebe nesmí odlišovat ve standardní ozařovací vzdálenosti o více než 4 mm

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – M (dle tabulky 1 nebo minimálně pro geometrie doporučované PS RT v kap. 5.2.8).
b) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 10.1.2.2., Kap. 11.2.2. [5]
b) Doporučení LU, Kap. 6.1.1. [1]; Katalog metodik, Kap. B.VII.1. [4]; ČSN EN 60976, Kap. 11.2.2. [5]

5.3.2. Souhlas světelného a radiačního pole

Cíl kontroly: Ověřit shodu světelného a radiačního pole pro fotonové svazky.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se maximální vzdálenost měřená podél hlavních os mezi okrajem světelného pole a odpovídajícím bodem 50% absorbované dávky podél hlavních os pole v referenční hloubce. Zkoušky se provádí pro fotonové svazky pro:

a) geometrická nastavení popsaná v tabulce v kapitole 5.2.8 a) nebo minimálně pro geometrie doporučované PS RT v kap. 5.2.8
b) pole tvarovaná MLC v geometriích definovaných na obr. 1. a pro takové pole, aby byly ověřeny všechny lamely MLC

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Maximální vzdálenost podél hlavních os mezi hranicí světelného a radiačního pole při SSD = 100 cm může být maximálně 2 mm pro pole do 20x20 cm^2 a 3 mm pro pole větší než 20x20 cm^2. Pokud se zkouška provádí při SAD = 150 cm je to potom 4 mm pro pole do 20x20 cm^2 a 6 mm pro pole 20x20 cm^2.
b) Pro MLC pole je maximální povolená vzdálenost podél hlavních os mezi hranicí světelného a radiačního pole pro pole 10x10 cm^2 2 mm a pro maximální čtvercové či obdélníkové pole 3 mm při SAD = 100 cm a pro pole tvarované MLC. Pokud se zkouška provádí při SAD = 150 cm, potom je tolerance 6 mm.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – M (dle tabulky 1 nebo minimálně pro geometrie doporučované PS RT v kap. 5.2.8)

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976 10.1.2.2. [5]
b) ČSN EN 60976 10.1.2.2. [5]

5.3.3. Shoda velikosti radiačního pole s indikovaným údajem

Cíl kontroly: Ověřit shodu indikovaného údaje a velikosti radiačního pole pro fotonové (FF i FFF) a elektronové svazky.

Popis kontrolovaného parametru dle normy: Pro fotonové svazky s homogenizačním filtrem a elektronové svazky kontrola rozměru daného 50% izodózou radiačního pole a jeho shoda s indikovaným údajem. Aby bylo možné použít uvedenou definici radiačního pole i pro FFF svazky, je třeba naměřené profily znormalizovat způsobem popsaným v Příloze 1.

Shoda velikosti radiačního pole s indikovaným údajem pro fotonové svazky se ověřuje

a) pro pole uvedená v tabulce 1 kapitoly 5.2.8. tvarovaná konvenčními clonami, pokud se samostatně používají, nebo pro kombinaci clon a MLC, pokud se používají vždy v této kombinaci
b) pro tři pole tvarovaná MLC dle obr. 1 a popisu v kapitole 5.2.8. a)

Měření se provádí ve fantomu v referenční hloubce při umístění detektoru do SAD = 100 cm a vzdálenost mezi 50% izodózou se stanovuje v hlavních osách radiačního pole. Zkouška se provádí pro úhel ramene a kolimátoru 0° pro všechny energie pro jednu hodnotu dávkového příkonu. Pro MLC se referenční hodnotou rozumí velikost pole spočtená plánovacím systémem.

Dle PS RT:

Pro fotonové svazky se ověřuje rozměr daný 50% izodózou radiačního pole a jeho shoda s indikovaným údajem. Ověření se provádí pro pole v SAD = 100 cm. Při ZPS s měsíční frekvencí se provede ověření pro úhel kolimátoru 0° pro velikosti polí 5x5 cm², 10x10 cm², 30x30 cm² a asymetrické pole tvarované MLC při rotaci ramene 0°. Při přejímací zkoušce a zkoušce dlouhodobé stability se toto ověření provede i pro úhel rotace ramene 90°nebo 270° pro velikost pole 10x10 cm² a asymetrické pole tvarované MLC. Pokud se ozařovač používá při SSD > 120 cm, potom musí být velikosti polí adekvátně ověřeny i pro tuto SSD.

Shoda velikosti radiačního pole s indikovaným údajem pro elektronové svazky se ověřuje

c) pro geometrie uvedené v kapitole 5.2.9 b). Hranice radiačního pole je definovaná jako vzdálenost bodů na hlavních osách, kde dosahuje absorbovaná dávka 50% z absorbované dávky na ose svazku záření v hloubce maxima dávky. Zkouška se provádí pro všechny elektronové aplikátory a pro všechny energie při PZ a ZDS.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:

a) Pro pole menší než 20x20 cm² se indikace velikosti radiačního pole nesmí lišit při porovnání s naměřenou hodnotou pro fotonové svazky o více než 2 mm, pro pole větší než 20x20 cm² o více než 3 mm
b) Pro pole 10x10 cm² tvarované MLC se indikace velikosti radiačního pole nesmí lišit při porovnání s naměřenou hodnotu o více než 2 mm, pro maximální velikost pole tvarovaného MLC o více než 3 mm
c) Pro elektronové svazky pro pole rovno nebo menší než 20x20 cm² se indikace velikosti radiačního pole nesmí lišit při porovnání s naměřenou hodnotou o více než 2 mm, pro pole větší než 20x20 cm² o více než 3 mm

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – M tak, aby každý měsíc bylo ověřeno jedno z nastavení dle tab. 1 kapitoly 5.2.8. nebo dle PS RT viz kap. 5.2.8
b) PZ, ZDS, ZPS – M
c) PZ, ZDS

Příklad metodiky:

a) b) ČSN EN 60976 10.1.1.3. [5]
c) ČSN EN 60976 10.2.1.3 [5], doporučená tolerance je z Katalogu metodik, Kap. B.VII.2. [4]

5.3.4. Homogenita radiačního pole

Cíl kontroly: Ověřit homogenitu radiačního pole pro fotonové svazky s homogenizačním filtrem (nemodulované, IMRT i IMAT) a elektronové svazky.
Popis kontrolovaného parametru:
S půlroční frekvencí (při ZDS či ZPS, viz frekvence) se stanovují profily a procentuální hloubkové dávkové křivky, ze kterých se stanovují parametry a), c) – g).

Pro fotonové svazky se ověřuje:

a) poměr maximální a minimální absorbované dávky z profilů změřených ve vodním fantomu v referenční hloubce ve standardní ozařovací vzdálenosti v cm na hlavních osách a úhlopříčkách daného pole v homogenizované oblasti. Stanovuje se pro pole velikosti 10x10 cm², 30x30 cm² a maximální velikost pole pro jeden dávkový příkon pro všechny fotonové energie. Zkouška se provádí pro základní polohu urychlovače.
b) homogenita dle bodu a) se stanovuje i pro homogenní pole, které vznikne složením dílčích subpolí tvarovaných MLC metodou step and shoot příp. sliding window, stanovuje se pro úhel ramene 0° a kolimátor 0° a pro homogenní IMAT pole pro všechny fotonové energie. Homogenita podle bodu a) se dále stanovuje pro přerušované pole, kdy nedochází k přenastavování tvaru MLC. Pro urychlovače umožňující ozařovat v režimu step-and-shoot se ověření provádí i pro nejmenší možný počet MU. Měření se

provádí vhodným detektorem umístěným do referenční hloubky ve standardní ozařovací vzdálenosti.

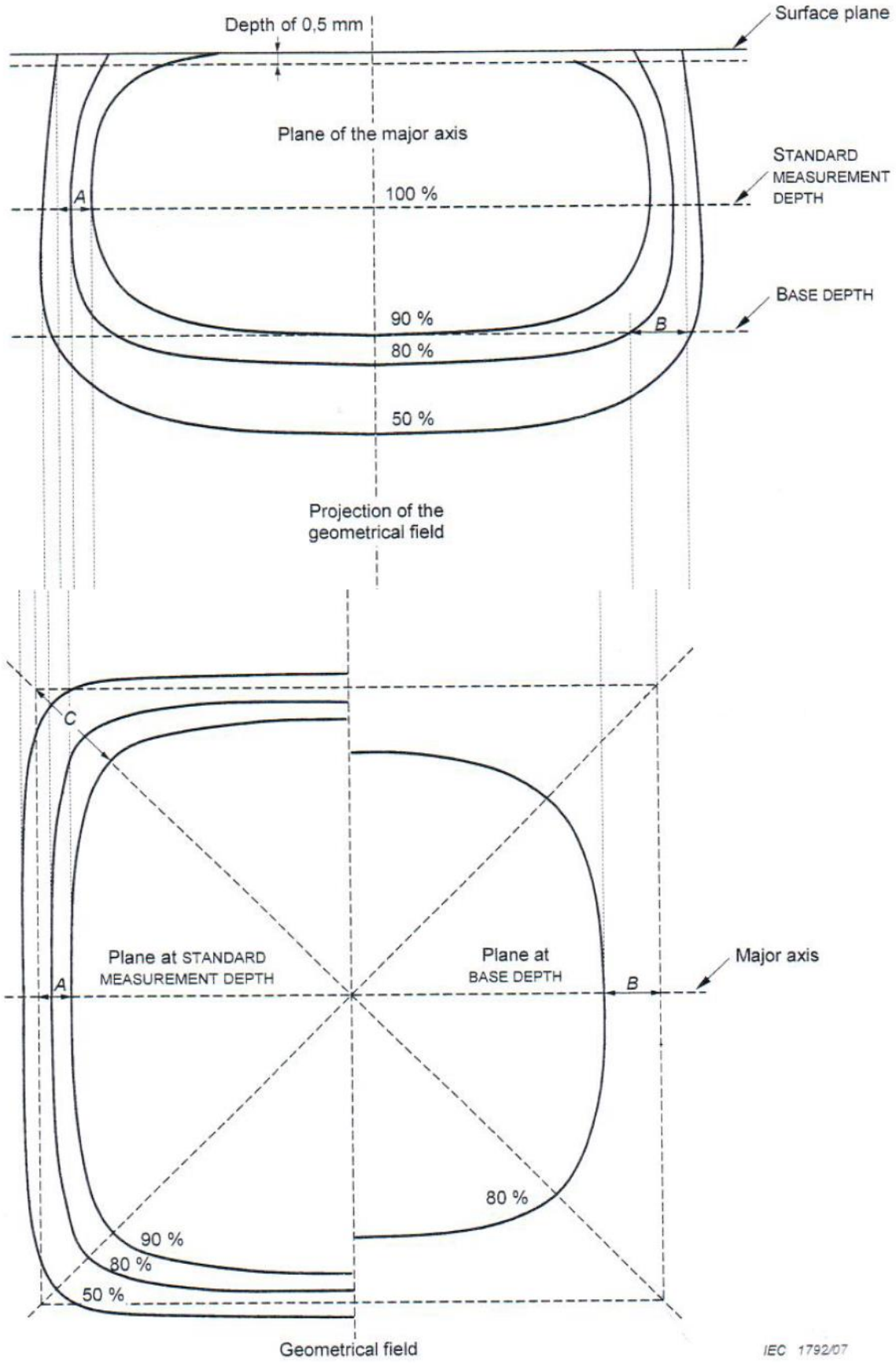
c) maximální hodnota poměru absorbované dávky kdekoliv v rovině kolmé k ose svazku záření v hloubce maximální dávky k hodnotě maximální dávky na ose svazku záření ve vodním fantomu. Pro urychlovače umožňující ozařovat v režimu step-and-shoot se ověření provádí i pro nejmenší možný počet MU zadaný v plánovacím systému.

Naměřené profily se porovnávají s referenčními profily (stanovenými při PZ), čímž se naplňuje požadavek normy ČSN EN 60976, kapitoly 8.2.4., na kontrolu izodózních map.

Pro elektronové svazky se stanovuje při ZPS pro pole 10x10 cm^2 a každý elektronový svazek v základní poloze urychlovače; a při PZ v základní poloze urychlovače (a pro rameno 90°, pokud se budou elektronové svazky používat i pro jiný úhel ramene než 0°) pro pole 10x10 cm^2, 10x20 cm^2, 20x20 cm^2 a maximální velikost pole (kolimátor 0° a 45°) pro všechny elektronové energie; ve standardní ozařovací vzdálenosti z naměřených profilů a hloubkových dávkových křivek ve vodním fantomu:

d) maximální vzdálenost mezi 90% izodózou a okrajem projekce geometrického pole na hlavních osách v referenční hloubce, viz A na obr. 2.
e) maximální vzdálenost mezi 80% izodózou a okrajem projekce geometrického pole na obou hlavních osách v hloubce, ve které se nachází distální bod 90% z maximální absorbované dávky na ose svazku záření (tj. $R90\%_d$), viz B na obr. 2.
f) maximální vzdálenost mezi 90% izodózou a rohem projekce geometrického pole na úhlopříčkách v referenční hloubce, viz C na obr. 2.
g) poměr maximální absorbované dávky kdekoliv v radiačním poli v referenční hloubce a absorbované dávky na ose svazku záření v hloubce maxima
h) maximální poměr absorbované dávky kdekoliv v radiačním poli v hloubce 0,5 mm a maximální absorbované dávky na ose svazku záření (při PZ pouze pro úhel kolimátoru 0° a pole 10x10 cm^2 a maximální velikost pole)

Tyto parametry pro elektronové svazky se stanovují na základě měření profilů na hlavních osách v hloubce 0,5 mm ve fantomu, v referenční hloubce a v hloubce $R90\%_d$. Při ZDS ověří osoba provádějící zkoušku parametry pro takové velikosti pole a úhly kolimátoru, které jsou adekvátní pro daný urychlovač a používané techniky.



Obr. 2. Ilustrační schéma pro definici parametrů ověřovaných u elektronových svazků (dle ČSN EN 60976)

S týdenní frekvencí u fotonových a s měsíční frekvencí u elektronových svazků se provádí „zkrácená zkouška“, kdy se kontroluje absorbovaná dávka v pěti bodech v pevném fantomu případně pomocí matice detektorů, přičemž tyto body by měly být na ose svazku záření a na hlavní osách přibližně ve 2/3 vzdálenosti od osy svazku záření k okraji radiačního pole. Stanovuje se podíl maximální a minimální dávky stanovené tímto detektorem. Geometrie urychlovače by měla pro danou frekvenci provádění zkoušky být dle následující tabulky:

i) Fotonové svazky:

Týden	Úhel rotace ramene	Úhel rotace kolimátoru	Velikost pole	Energie fotonového svazku
1	90°	0°, 90°, 180°, 270°	30x30 cm²	Minimální
2	90°	0°, 90°, 180°, 270°	30x30 cm²	Maximální
3	0°, 90°, 180°, 270°	90°	30x30 cm²	Minimální
4	0°, 90°, 180°, 270°	90°	30x30 cm²	Maximální

Tabulka 2. Geometrie pro stanovení parametrů radiačního pole fotonových svazků při „zkrácené zkoušce“

Dle PS RT: Je možné ověřit všechny uvedené geometrie v rámci měsíční ZPS.

j) Elektronové svazky:

Měsíc	Úhel rotace ramene	Úhel rotace kolimátoru	Velikost pole	Energie elektronového svazku
1	0°	0°	10x10 cm²	Maximální
2	0°	0°	Maximální	Maximální
3	0°	45°	Maximální	Maximální
4	90°	0°	Maximální	Maximální
5	90°	45°	Maximální	Maximální

Tabulka 3. Geometrie pro stanovení parametrů radiačního pole elektronových svazků při „zkrácené zkoušce“

Dle PS RT: Doporučuje provést zkoušku pro všechny elektronové energie.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:

a) Maximální podíl maximální a minimální absorbované dávky v homogenizované oblasti radiačního pole fotonových svazků nesmí pro pole menší než 30x30 cm² překročit 1,06, pro pole 30x30 cm² a větší nesmí překročit 1,10.
b) Maximální podíl maximální a minimální absorbované dávky v homogenizované oblasti radiačního pole fotonových svazků tvarovaných MLC specifikovaných výše nesmí překročit 1,10, pro přerušované IMRT pole se nesmí lišit podíl maximální a minimální absorbované dávky v homogenizované oblasti radiačního pole od tohoto podílu pro nepřerušovaného pole o více než 2%.
c) Maximální poměr absorbované dávky v radiačním poli k absorbované dávce na ose svazku záření v rovině hloubky maxima pro fotonové svazky by měl být pro pole do velikosti 30x30 cm² (včetně) do 1,07 a pro pole větší než 30x30 cm² do 1,09.

d) Maximální vzdálenost mezi 90% izodózou a okrajem projekce geometrického pole na hlavních osách pro elektronové svazky v referenční hloubce překročit 15 mm.
e) Maximální vzdálenost mezi 80% izodózou a okrajem projekce geometrického pole na obou hlavních osách pro elektronové svazky v hloubce $R90\%_d$ nesmí překročit 10 mm.
f) Maximální vzdálenost mezi 90% izodózou a rohem projekce geometrického pole na úhlopříčkách pro elektronové svazky v referenční hloubce nesmí překročit 20 mm.
g) Poměr maximální absorbované dávky kdekoliv v radiačním poli v referenční hloubce a absorbované dávky na ose svazku záření v hloubce maxima nesmí překročit hodnotu stanovenou při PZ.
h) Maximální poměr absorbované dávky kdekoliv v radiačním poli pro elektronové svazky v hloubce 0,5 mm a maximální absorbované dávky na ose svazku záření nesmí překročit 1,09.
i) Toleranci volí klinický radiologický fyzik pracoviště dle použitého detekčního systému tak, aby bylo vyhověno požadavkům na homogenitu uvedeným v předchozích bodech
j) Toleranci volí klinický radiologický fyzik pracoviště dle použitého detekčního systému tak, aby bylo vyhověno požadavkům na homogenitu uvedeným v předchozích bodech

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ, ZDS, ZPS – R
c) PZ, ZDS
d) PZ, ZDS, ZPS – R
e) PZ
f) PZ, ZDS, ZPS – R
g) PZ
h) PZ
i) PZ, ZDS, ZPS – T
j) PZ, ZDS, ZPS – M

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.1. [5]
b) Doporučení IMRT, Příloha 1., Kap. 1.3., 3.8. [2]
c) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.4. [5]
d)– g) ČSN EN 60976, Kap. 9.2.1. [5]
h) ČSN EN 60976, Kap. 9.2.4. [5]
i) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.2. [5]
j) ČSN EN 60976, Kap. 9.2.2. [5]

5.3.5. Symetrie radiačního pole

Cíl kontroly: Ověřit symetrii radiačního pole pro fotonové svazky s homogenizačním filtrem, fotonové svazky bez homogenizačního filtru a pro elektronové svazky.

Popis kontrolovaného parametru:

a) Pro fotonové FF a FFF svazky maximální hodnota poměru absorbovaných dávek v referenční hloubce stanovených ve vodním fantomu ve standardní ozařovací vzdálenosti v bodech symetricky vzdálených od osy svazku záření v homogenizované oblasti. Stanovuje se pro pole velikosti 5x5 cm^2, 10x10 cm^2, 30x30 cm^2 a maximální velikost pole pro jeden dávkový příkon pro všechny fotonové energie. Zkouška se provádí pro základní polohu urychlovače z profilů stanovených ve standardní ozařovací vzdálenosti v referenční hloubce v hlavních osách a úhlopříčkách daného pole.
b) Pro fotonové FFF svazky se sleduje tvar profilu a jeho shoda s profilem stanoveným při PZ. Pro FFF svazky se stanovuje nehomogenita, sklon profilu a poloha dávkového maxima v profilu, viz Příloha 1. Zkouška se provádí pro základní polohu urychlovače z profilů stanovených ve standardní ozařovací vzdálenosti v referenční hloubce v hlavních osách a úhlopříčkách daného pole.

c) Pro fotonové FF a FFF svazky maximální hodnota poměru absorbovaných dávek ze symetricky umístěných detektorů v referenční hloubce stanovených formou „zkrácené zkoušky“ v geometriích popsaných v tabulce 2.
d) Pro elektronové svazky maximální hodnota poměru absorbovaných dávek v referenční hloubce stanových ve vodním fantomu ve standardní ozařovací vzdálenosti v bodech symetricky vzdálených od svazku záření v oblasti zmenšené o 1 cm dovnitř radiačního pole od 90% izodózy v referenční hloubce v rámci PZ pro geometrie popsané v kapitole 5.3.4. a pro pole 5x5 cm^2, v rámci ZPS pro pole 10x10 cm^2. Při ZDS ověří osoba provádějící zkoušku takové geometrie, které jsou adekvátní pro daný urychlovač a používané techniky.
e) Pro elektronové svazky maximální hodnota poměru absorbovaných dávek ze symetricky umístěných detektorů v referenční hloubce stanovených formou „zkrácené zkoušky“ v geometriích popsaných v tabulce 3.

Pro urychlovače umožňující ozařovat v režimu step-and-shoot se ověření provádí i pro nejmenší možný počet MU zadaný v plánovacím systému.

Způsob kontroly: Měřením ve vodním fantomu a formou „zkrácené zkoušky“ v geometriích popsaných v tabulkách 2 a 3.

Tolerance:

a) Maximální zjištěná hodnota kontrolovaného parametru nesmí překročit u fotonových a elektronových svazků 3%.
b) Maximální rozdíl mezi nehomogenitou stanovenou při PZ a při následných zkouškách smí být 1%. Maximální relativní odchylka sklonu profilu od hodnoty při PZ smí být 2,5%. Maximální rozdíl polohy maximální dávky (tj. píku) v profilu smí být 0,5 mm od polohy, ve které se nachází osa svazku záření.
c) d) e) Maximální zjištěná hodnota kontrolovaného parametru nesmí překročit u fotonových a elektronových svazků 3%.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ, ZDS, ZPS – R
c) PZ, ZDS, ZPS – T, *Dle PS RT: M pro každou geometrii, pro kterou byla ověřena homogenita*
d) PZ, ZDS, ZPS – R
e) PZ, ZDS, ZPS – M

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.3. [5]
b) Příloha 1 tohoto Doporučení
c) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.3. [5]
d) ČSN EN 60976, Kap. 9.2.3. [5]
e) ČSN EN 60976, Kap. 9.2.3. [5]

5.3.6. Radiační polostín

Cíl kontroly: Ověřit hodnotu polostínu radiačního pole stanovenou při přejímací zkoušce pro fotonové svazky (FF, FFF a SRT) a pro elektronové svazky.

Popis kontrolovaného parametru: Hodnotí se vzdálenost 20% a 80% izodózy z profilu na hlavních osách v referenční hloubce ve standardní ozařovací vzdálenosti. Radiační polostín se stanovuje pro:

a) fotonové svazky tvarované konvenčními clonami definovaná v kapitole 5.2.8. a) a tři pole fotonových svazků tvarovaná MLC definovaná v kapitole 5.2.8. a) a na obr. 1. Aby bylo možno použít uvedenou definici radiačního polostínu i pro FFF svazky, je třeba naměřené profily znormalizovat způsobem popsaným v Příloze 1. Pokud se lineární urychlovač používá i pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii, polostín se ověřuje pro každou takto používanou energii podél hlavních os pro maximální velikost pole a pole průměru 1 cm (či čtvercová pole 1x1 cm^2).
b) elektronové svazky pro všechny dostupné elektronové aplikátory

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Hodnota polostínu se nesmí lišit od hodnoty získané při přejímací zkoušce o víc než 2 mm. Polostín pro pole 10x10 cm^2 by neměl být větší než 8 mm.
Frekvence:
a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ
Příklad metodiky:
a) ČSN EN 60976, Kap. 9.3. [5]
b) ČSN EN 60976, Kap. 9.3. [5]

5.3.7. Záření pronikající kolimačním systémem

Cíl kontroly: Ověřit, že v pracovním stavu urychlovače záření dostatečně zeslabí kolimační systém (konvenční clony i MLC) resp. elektronové aplikátory.
Popis kontrolovaného parametru:
a) Pro fotonové svazky se kontroluje, zda v pracovním stavu urychlovače pro libovolnou velikost pole zeslabí kolimační systém záření tak, aby absorbovaná dávka ve standardní ozařovací vzdálenosti kdekoliv v oblasti vymezené velikostí maximálního radiačního pole s výjimkou nastaveného úzkého obdélníkového radiačního pole, nepřekročilo 2% maximální absorbované dávky pro pole 10x10 cm^2 měřené na ose svazku záření ve standardní ozařovací vzdálenosti. Stanovuje se pro konvenční clony i pro MLC. Zkouška se provádí pro FF i FFF svazky.
b) Pro fotonové svazky využívající MLC pro IMRT pole, kdy plánovací systém vyžaduje hodnotu transmise MLC pro výpočet dávkové distribuce modulovaných polí, se ověřuje stabilita transmise lamel MLC stanovená při PZ. Zkouška se provádí pro FF i FFF svazky.
c) Pro elektronové svazky absorbovaná dávka, vyjádřená v procentech maximální absorbované dávky na ose svazku záření ve standardní ozařovací vzdálenosti, nesmí překročit hodnotu 10% v oblasti ležící mezi daným radiačním polem zvětšeným o 2 cm na všechny strany a maximálním radiačním polem.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:
a) 2%, viz popis kontrolovaného parametru
b) Rozdíl mezi referenční hodnotou transmise MLC a stanovenou hodnotou transmise MLC nesmí být větší než 0,1 %
c) 10%, viz popis kontrolovaného parametru
Frekvence:
a) PZ, ZDS
b) PZ, ZDS, ZPS – R
c) PZ
Příklad metodiky:
a) Doporučení LU, Kap. 4.5.1. [1], ČSN EN 60601-2-1/A1 [9]
b) Doporučení IMRT, oprava a doplnění 2010 [2]
c) Doporučení LU, Kap. 6.5.1. [1]

5.3.8. Unikající záření vně maximálního radiačního pole

Cíl kontroly: Stanovit hodnotu unikajícího záření vně maximálního radiačního pole pro fotonové (FF a FFF) a pro elektronové svazky.
Popis kontrolovaného parametru:
a) Pro fotonové svazky se ověřuje, zda ochranné stínění urychlovače zeslabí záření tak, že v kruhu o poloměru 2 m, který má střed v ose svazku záření, a který je kolmý na osu svazku záření v izocentru mimo oblast vymezenou maximálním radiačním polem, nepřesáhne absorbovaná dávka způsobená unikajícím zářením (mimo neutrony) 0,2% a v průměru 0,1% maximální absorbované dávky měřené ve středu dané roviny pro

radiační pole 10x10 cm². Měření se provádí pro všechny energie fotonových svazků (FF i FFF) a pro maximální energii elektronových svazků.

b) Pro elektronové svazky se ověřuje, že průměrná absorbovaná dávka způsobená unikajícím zářením v oblasti ležící mezi daným radiačním polem zvětšeným o 4 cm na všechny strany a maximálním radiačním polem nepřekročí stanovenou toleranci: 1% pro energie elektronů do 10 MeV, 1,5% pro energie nad 10 MeV. Kontroluje se, zda absorbovaná dávka měřená ve vzdálenosti 2 cm od povrchu elektronového aplikátoru nepřesáhne 10% maximální absorbované dávky na ose svazku záření ve standardní ozařovací vzdálenosti.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Pro fotonové svazky: Unikající záření pro fotonové svazky nesmí překročit 0,2% a v průměru 0,1% z maximální absorbované dávky měřené pro radiační pole 10x10 cm² ve vzdálenosti 100 cm na ose svazku záření.

b) Pro elektronové svazky: Hodnota unikajícího záření nesmí být větší než 1% pro energie ≤ 10 MeV a víc než 1,5% pro energie > 10 MeV

Frekvence: a) PZ
b) PZ

Příklad metodiky:

a) Doporučení LU, Kap. 4.5.2. [1], ČSN EN 60601-2-1/A1 [9]

b) Doporučení LU, Kap. 6.5.2. [1]

5.3.9. Ukončení pohybové terapie

Cíl kontroly: Ověřuje se správnost ukončení pohybové terapie v případě, že se používá terapie kyvem.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se:

a) rozdíl mezi údajem o počtu MU a spočtenou hodnotou MU, ukončí-li ozařování délka kyvu,

b) rozdíl mezi vykonanou délkou kyvu a spočtenou délkou kyvu, ukončí-li ozařování systém monitorování dávky.

Zkouška se provádí pro jednu energii fotonového svazku (FF či FFF) a jednu energii elektronového svazku. Zkouška se provádí pro minimální a maximální počet MU na 1° rotace ramene.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Ukončí-li ozařování délka kyvu, může být maximální rozdíl mezi údajem o počtu MU a hodnotou spočtenou vynásobením nastavených MU na 1° a nastavenou délkou kyvu 5%.

b) Ukončí-li ozařování systém monitorování dávky, může být maximální rozdíl (ve stupních) mezi délkou kyvu, který rameno vykonalo, a délkou kyvu spočtenou jako podíl nastavených MU a počtu nastavených MU na jeden stupeň 3°.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – M

Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 8.5. [1], ČSN EN 60976, Kap. 7.8. [5]

5.4. Dozimetrické charakteristiky svazků záření

5.4.1. Absorbovaná dávka v referenčním bodě/Stálost výstupu urychlovače

Cíl kontroly: Stanovit absorbovanou dávku v bodě nebo ověřit stálost výstupu urychlovače pro fotonové (FF i FFF) svazky a elektronové svazky.

Popis kontrolovaného parametru: Absorbovaná dávka stanovená dle doporučení IAEA TRS 398 [8] pro všechny dostupné léčebné svazky záření:

a) fotonové svazky (FF i FFF)

b) elektronové svazky

Způsob kontroly: Měřením ve vodním fantomu, příp. jinou nezávislou dozimetrickou metodou, odlišnou od té, která se používá pro denní kontroly. Nezávislý systém musí být dávkově zkalibrovaný minimálně jednou ročně a musí být známa jeho dlouhodobá stabilita (relativní odchylky do 2% od měření ionizační komorou). V případě relativní odchylky překračující toleranci je nutné provést měření stanoveným měřidlem ve vodním fantomu. Rekalibraci lineárního urychlovače je možné provést pouze na základě měření stanoveným měřidlem ve vodním fantomu. Při ZDS se absorbovaná dávka ověřuje stanoveným měřidlem.

Tolerance:

a) Stanovená absorbovaná dávka se od očekávané hodnoty nesmí pro fotonové svazky odlišovat více než o 2%
b) Stanovená absorbovaná dávka se od očekávané hodnoty nesmí pro elektronové svazky odlišovat více než o 3%

Frekvence: a) b) PZ, ZDS, ZPS - M

Příklad metodiky: TRS 398 [8]

5.4.2. Procentuální hloubkové dávkové křivky a energetické parametry svazku záření

Cíl kontroly: Ověřit energetické parametry svazku záření stanovením procentuálních hloubkových dávkových křivek.

Popis kontrolovaného parametru: Pro všechny fotonové (FF i FFF) a elektronové svazky se stanovuje:

a) procentuální hloubková dávková křivka pro všechny dostupné energie při PZ pro pole 10x10 cm^2 a maximální velikost pole v základní poloze urychlovače pro nejpoužívanější dávkový příkon. Křivky se porovnávají s křivkami v plánovacím systému. Při ZPS postačuje provést pouze pro pole 10x10 cm^2
b) relativní povrchová dávka pro pole 10x10 cm^2 a maximální velikost pole
c) hloubka, ve které dosahuje dávka 80% z dávky v maximu pro pole 10x10 cm^2

Pro fotonové svazky se navíc stanovuje:

d) hloubka dávkového maxima pro pole 10x10 cm^2 a maximální velikost pole

e) ukazatel kvality svazku dle TRS 398: $TPR_{20,10}$

Pro elektronové svazky se navíc stanovuje:

f) poměr praktického dosahu a hloubky, ve které je 80% dávky z maxima pro maximální velikost pole a pro pole 10x10 cm^2, provede se pro jednu elektronovou energii a pro minimální a maximální dávkový příkon
g) ukazatel kvality svazku dle TRS 398: R_{50}
h) referenční hloubka dle TRS 398

Pozn. Pro elektronové svazky je možné použít namísto pole 10x10 cm^2 pole 20x20 cm^2 dle doporučení IAEA TRS 398

Pokud se lineární urychlovač používá i pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii, parametry a) b) c) se ověřují pro každou takto používanou energii pro maximální velikost pole a pole o průměru 1 cm (či pro čtvercová pole 1x1 cm^2).

Způsob kontroly: Měřením 1D detektorem ve vodním fantomu.

Tolerance:

a) Stanovená hloubková dávková křivka se od referenční dávkové křivky stanovené při přejímací zkoušce smí odlišovat maximálně o 3%
b) Relativní povrchová dávka se porovnává s údajem relativní povrchové dávky uvedené v průvodní dokumentaci lineárního urychlovače
c) Hloubka, ve které dosahuje dávka 80% z dávky v maximu, se nesmí od referenční hodnoty lišit o více než 3 mm pro fotonové svazky a 2 mm pro elektronové svazky
d) Hloubka dávkového maxima se nesmí lišit od referenční hodnoty o více než 1 mm.
e) Stanovená hodnota $TPR_{20,10}$ se smí lišit od referenční hodnoty stanovené při přejímací zkoušce maximálně o 3%.

f) Poměr praktického dosahu a hloubky, ve které je 80% dávky z maxima, nesmí být pro elektronové svazky vyšší než 1,6
g) Stanovená hodnota R_{50} se nesmí lišit od referenční hodnoty stanovené při přejímací zkoušce o více než 2 mm.
h) Referenční hloubka elektronových svazků se nesmí od referenční hodnoty stanovené při přejímací zkoušce lišit o více než 1 mm.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ
c) PZ
d) PZ, ZDS, ZPS – R
e) PZ, ZDS, ZPS – R
f) PZ
g) PZ, ZDS, ZPS – R
h) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky: ČSN EN 60976 8.1., 8.2. [5], TRS 398 [8]

5.4.3. Stabilita energie svazku záření

Cíl kontroly: Ověřit stabilitu energie prostřednictvím poměru dávek ve dvou hloubkách.

Popis kontrolovaného parametru: Poměr dávek/korigovaných odezev ve dvou hloubkách

a) pro fotonové (FF, FFF, modulované i nemodulované, IMAT) svazky
b) pro elektronové svazky

Pro urychlovače umožňující ozařovat v režimu step-and-shoot se ověření provádí i pro nejmenší možný počet MU. Zkouška se provede pro každou energii pro jednu velikost pole a pro maximální velikost pole pro jednu hodnotu dávkového příkonu.

Dle PS RT: Zkoušku není nutné provádět pro maximální velikost pole

Způsob kontroly: Měřením vhodným detektorem ve vodním fantomu

Dle PS RT: Zkoušku není nutné provádět ve vodním fantomu, ale je možné použít např. matici detektorů

Tolerance: Stanovený poměr se od referenčního poměru dávek či odezev smí odlišovat maximálně o 3%.

Frekvence:

a) pro fotonové svazky: ZPS – M
b) pro elektronové svazky: ZPS – T pro 3 energie tak, aby se postupně vystřídaly všechny dostupné elektronové energie, *dle PS RT: ZPS – M pro všechny energie*

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60796, Kap. 8.1. [5]
b) ČSN EN 60976, Kap. 8.2. [5]

5.4.4. Faktory velikosti pole

Cíl kontroly: Ověřit faktory velikosti pole pro fotonové (FF, FFF, SRT) a elektronové svazky.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se faktor velikosti pole jako poměr dávek pro dané pole a pole 10x10 cm^2. Při PZ se ověřují všechny faktory velikosti polí, které se vyžadují při zadání dat do plánovacího systému. Při PZ se navíc kontroluje pro všechny energie fotonových a elektronových svazků průměrná dávka z pěti po sobě naměřených hodnot pro pole 5 cm x 20 cm a 20 cm x 5 cm. Posuzuje se maximální zjištěný rozdíl mezi průměrnými dávkami stanovenými pro tato pole a porovnává se s hodnotami deklarovanými výrobcem. Při ZDS se ověřují největší a nejmenší pole (z polí stanovených při PZ) a pole ověřující stálost tzv. collimator exchange efektu. Při ZPS se ověřují faktory velikosti pole pro pole 5x5 cm^2 a 30x30 cm^2.

Způsob kontroly: Měřením 1D detektorem ve vodním fantomu

Tolerance: Stanovené faktory velikosti pole se nesmí od referenčních hodnot zadaných v TPS odlišovat o více než 2%.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 7.6. [5], Doporučení LU, Kap. 7.3. [1]

5.4.5. Klínové faktory a úhly klínu

Cíl kontroly: Ověřit úhly klínů a klínové faktory zadané v plánovacím systému pro fotonové svazky s homogenizačním filtrem.
Popis kontrolovaného parametru:

a) Poměr dávky pro pole 10x10 cm^2 s klínem a pole 10x10 cm^2 bez klínu pro fyzikální klíny, dynamické klíny a motorizované klíny.
b) Při přejímací zkoušce se ověřuje nominální hodnota úhlu klínu stanovená z izodózních křivek stanovených pro maximální velikost pole s klínem pro všechny fotonové svazky, pro které je možné klínové filtry použít. Provádí se pro fyzikální klíny, dynamické klíny a motorizované klíny.

Způsob kontroly: a) Měřením ionizační komorou ve vodním fantomu
b) Měřením 1D detektorem nebo polem detektorů

Tolerance:

a) Stanovený klínový faktor se od referenčního nesmí lišit o více než 2%.
b) Úhly klínu se od nominální hodnoty nesmí lišit o více než 2°.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ

Příklad metodiky:

a) Doporučení LU, Kap. 5.4.1. [1]
b) ČSN EN 60976, Kap. 9.1.5. [5]

5.4.6. Kontrola polohy klínu

Cíl kontroly: Ověřit, že rotace kolimátoru nemá vliv na hodnotu klínového faktoru.
Popis kontrolovaného parametru: Při přejímací zkoušce se ověřují klínové faktory pro každou možnou polohu klínového filtru v kolimátoru vždy pro dvě polohy kolimátoru dosažené rotací kolimátoru o 180° pro fyzikální klíny a motorizované klíny. Pro dynamické klíny se neověřuje pro rotaci kolimátoru o 180°, ale pro oba směry pohybu clon. Při ZDS a při ZPS se ověřují vybrané polohy klínového filtru v kolimátoru.
Způsob kontroly: Měřením ionizační komorou ve vodním fantomu.
Tolerance: Jednotlivé hodnoty klínových faktorů se nesmějí lišit o více než 1%.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 5.4.2. [1]

5.4.7. Faktory podložky

Cíl kontroly: Ověřit hodnotu faktoru podložky, se kterou počítá plánovací systém.
Popis kontrolovaného parametru: Poměr dávek pro pole 10x10 cm^2 s podložkou a pole 10x10 cm^2 bez podložky. Provádí se pro všechny používané podložky pod bloky v hloubce referenční roviny na ose svazku záření.
Způsob kontroly: Měřením ionizační komorou ve vodním fantomu.
Tolerance: Stanovený faktor podložky se od referenčního nesmí lišit o více než 2%.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 5.5. [1]

5.4.8. Faktory zeslabení stínícím blokem

Cíl kontroly: Ověřit hodnotu faktoru zeslabení stínícím blokem, se kterou počítá plánovací systém.
Popis kontrolovaného parametru: Poměr dávek pro pole 10x10 cm^2 se stínícím blokem a podložkou a pole 10x10 cm^2 bez stínícího bloku s podložkou. Provádí se pro všechny používané materiály bloků a pro všechny výšky bloků v hloubce referenční roviny na ose svazku záření.
Způsob kontroly: Měřením ionizační komorou ve vodním fantomu.
Tolerance: Stanovený faktor zeslabení stínícím blokem se od referenčního nesmí lišit o více než 2%.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 5.6. [1]

5.4.9. Stabilita svazku při rotaci ramene

Cíl kontroly: Ověřit, že pro rotační techniku zůstává svazek stabilní, to znamená, že není aktivován žádný příznak přerušení záření.
Popis kontrolovaného parametru: Sleduje se stabilita bezporuchového provedení kyvu. Zkouška se provádí pro jednu fotonovou a jednu elektronovou energii.
Způsob kontroly: Vizuálně a provedením
Tolerance: Svazek musí být při rotaci ramene stabilní, ozařování nesmí být přerušeno.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: Katalog metodik, Kap. A.IV.9. [4]

5.4.10. Kontaminace elektronových svazků brzdným zářením

Cíl kontroly: Ověřit, že kontaminace elektronových svazků brzdným zářením je dostatečně nízká.
Popis kontrolovaného parametru: Dávka od brzdného záření v hloubce za praktickým dosahem elektronových svazků
Způsob kontroly: Měřením procentuálních hloubkových dávkových křivek
Tolerance: Pro energie nižší než 10 MeV musí být dávka od brzdného záření za hloubkou praktického dosahu elektronových svazků nižší než 3%, pro energie vyšší než 10 MeV potom nižší než 5%.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: Katalog metodik, Kap. A.IV.3. [4]

5.4.11. Reprodukovatelnost polohy clon a MLC

Cíl kontroly: Ověřit reprodukovatelné nastavení clon a MLC provedením zkoušky shody radiačního a světelného pole, která se provede opakovaně.
Popis kontrolovaného parametru: Pro fotonové (FF) svazky se provádí pro:

a) konvenční clony pro pole 5x5 cm^2 tak, že se tato velikost pole clonami jednou nastaví z menších hodnot a poté z větší hodnot, přičemž reprodukovatelnost musí být takto ověřena min. 6x.
b) 3 pole tvarované MLC pro geometrii uvedenou v kapitole 5.2.8. a)
c) modulované IMRT a IMAT pole (porovnává se s referenčním tvarem pole stanoveným při PZ)
d) pokud se lineární urychlovač používá i pro stereotaktickou radioterapii/radiochirurgii, reprodukovatelnost nastavení kolimačního systému se ověří pro nejmenší a největší symetrické radiační pole

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Rozdíl mezi maximální a minimální velikostí radiačního pole pro opakované nastavení pole (konvenčními clonami i MLC) pro stejnou indikovanou hodnotu smí být

maximálně 2 mm. Maximální vzdálenost mezi okrajem světelného pole a radiačního pole pro opakovaně nastavenou stejnou indikovanou hodnotu (pro konvenční clony i MLC) je 2 mm.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky:
a) b) d) ČSN EN 60976, Kap. 10.1.3. [5]
c) Doporučení IMRT, Příloha 1, Kap. 3.1. [2]

5.4.12. Přesnost lokalizace při stereotaktické radioterapii/radiochirurgii

Cíl kontroly: Ověřit přesnost lokalizace při stereotaktické radioterapii/radiochirurgii.
Popis kontrolovaného parametru: Ověření lokalizace při stereotaktické radioterapii/radiochirurgii na základě čtyř měření pozic anatomických registračních bodů ve fantomu vůči vztažné soustavě pro stereotaxi v longitudinálním, laterálním a vertikálním směru. Před každým z celkem 12ti měření by měl být fantom odstraněn a znovu umístěn do ozařovací polohy. Pro každou z os vztažné soustavy se přesnost lokalizace stanovuje jako standardní odchylka ze čtyř měření.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Standardní odchylka ze čtyř měření pozic anatomických registračních bodů vůči vztažné soustavě pro stereotaxi nesmí v žádném ze tří směrů (longitudinálním, laterálním a vertikálním) překročit 0,5 mm.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 10.1.4

5.4.13. Dozimetrická stabilita dodání IMRT a IMAT pole

Cíl kontroly: Ověřit dozimetrickou stabilitu IMRT pole.
Popis kontrolovaného parametru: Pro urychlovače umožňující IMRT techniku step and shoot a sliding window se sleduje pro fotonové svazky (FF i FFF):
a) stabilita referenčního modulovaného pole v čase pro úhel ramene a kolimátoru 0°
b) stabilita referenčního modulovaného pole v čase pro hlavní polohy ramene a pro úhel kolimátoru 0°
c) stabilita referenčního modulovaného pole v čase pro hlavní polohy ramene a pro úhly kolimátoru 0°, 45°, 90°, 270°, příp. 180°, pokud to umožňuje konstrukce urychlovače

Pro urychlovače umožňující IMAT (FF i FFF) se ověřuje:
d) stabilita referenčního modulovaného IMAT pole v čase pro úhel kolimátoru 0° při rotaci ramene
e) stabilita referenčního modulovaného IMAT pole v čase pro úhly kolimátoru 0°, 45°, 90°, 270°, příp. 180°, pokud to umožňuje konstrukce urychlovače

Pro urychlovače umožňující IMRT či IMAT se ověřuje
f) přesnost dodání dávky IMRT a IMAT pole při přerušeném ozáření (pro IMRT v základní poloze urychlovače při úhlu kolimátoru 0°)

Zkoušky b) – f) je při PZ nezbytné provést v klinickém módu. Při PZ se získávají referenční data pro následné provádění zkoušek.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:
a) – e) Maximální povolená relativní odchylka korigované odezvy detektoru od referenční hodnoty jsou 3%.
f) Maximální povolená relativní odchylka korigované odezvy detektoru mezi přerušovaným a nepřerušovaným polem jsou 2%

Frekvence:
a) ZPS – D
b) PZ, ZDS, ZPS – M
c) PZ, ZDS, ZPS – R
d) PZ, ZDS, ZPS – D

e) PZ, ZDS, ZPS – M
f) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) Doporučení IMRT, Příloha 1, Kap. 3.2. [2]
b)– e) Doporučení IMRT, Příloha 1, Kap. 3.3. [2]
e) Doporučení IMRT, Příloha 1, Kap. 3.4. [2]

5.4.14. Stabilita dozimetrické separace lamel MLC

Cíl kontroly: Ověřit stabilitu dozimetrické separace lamel, stanovit hodnotu dozimetrické separace lamel při PZ.

Popis kontrolovaného parametru: Dozimetrická separace lamel představuje vzdálenost, o kterou je třeba korigovat nastavení polohy lamely MLC pro IMRT pole kvůli tvaru čela lamely. Stanovuje se pro všechny fotonové energie (FF i FFF) u urychlovačů, které vyžadují zadat hodnotu dozimetrické separace lamel do plánovacího systému.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Rozdíl mezi stanovenou hodnotou dozimetrické separace lamel a referenční hodnotou získanou při PZ smí být maximální 0,1 mm.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R

Příklad metodiky: Doporučení IMRT, Oprava 2010 [2]

5.5. Systém monitorování dávky

5.5.1. Stabilita systému monitorování dávky

Cíl kontroly: Ověřuje se stabilita výstupu lineárního urychlovače.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se relativní odchylka parametru charakterizujícího výstup lineárního urychlovače od očekávaného výstupu lineárního urychlovače vztaženého k odpovídajícímu počtu MU. Provádí se pro všechny fotonové (FF i FFF) a elektronové svazky a pro dynamické klíny:

a) ráno před zahájením klinického provozu
b) ráno před zahájením klinického provozu a ten samý den večer po ukončení klinického provozu
c) týdně se kontroluje stabilita výstupu lineárního urychlovače v pěti po sobě jdoucích dnech stanovením maximálního rozdílu mezi nejvyšší a nejnižší stanovenou hodnotou parametru charakterizujícího výstup lineárního urychlovače

Na ověření těchto parametrů navazuje ověření stability polí popsané v kapitole 5.4.13.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Výstup lineárního urychlovače se nesmí od očekávané hodnoty lišit o více než 2%.
b) Maximální relativní odchylka mezi hodnotou změřenou ráno a večer může být 2%.
c) Maximální rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší stanovenou hodnotou parametru charakterizujícího výstup lineárního urychlovače smí být 2%.

Frekvence:

a) ZPS – D
b) ZPS – M
c) ZPS – T

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 7.7.1. [5], Doporučení LU, Kap. 8.1. [1]
b) ČSN EN 60976, Kap. 7.7.2. [5]
c) ČSN EN 60976, Kap. 7.7.3 [5]

5.5.2. Blokovací funkce sekundárního systému monitorování dávky

Cíl kontroly: Ověřit, že řídicí systém urychlovače zastaví záření v případě, že nedojde k zastavení záření primárním ani sekundárním systémem monitorování dávky.
Popis kontrolovaného parametru: Sekundární systém monitorování musí být nastaven tak, aby nebyl překročen zvolený počet MU primárního monitoru o více než 10% nebo 0,25 Gy. Bezpečnostní časovač musí být nastaven na čas nejvýše o 20% větší, než odpovídá zvolenému počtu MU primárního monitoru dávky.
Způsob kontroly: Překlenutím funkce ukončení záření primárním i sekundárním monitorem dávky.
Tolerance: Systém musí za popsaných podmínek zastavit záření.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Katalog metodik, Kap. B.I.5. [4]

5.5.3. Reprodukovatelnost systému monitorování dávky

Cíl kontroly: Ověřit reprodukovatelnost systému monitorování dávky.
Popis kontrolovaného parametru: Koeficient variace poměru MU a odpovídající měřené absorbované dávky. Zkouška se provádí při úhlu rotace ramene 0° nebo 90° pro velikost pole 10 x 10 cm^2. PZ se provádí pro všechny používané dávkové příkony pro všechny energie elektronových i fotonových (FF i FFF) svazků. ZDS a ZPS se provádějí pro všechny používané dávkové příkony pro minimální a maximální energie fotonových (FF i FFF) a elektronových svazků.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Hodnota koeficientu variace poměru MU a odpovídající měřené absorbované dávky nesmí překročit 0,5 %.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 7.2. [5]

5.5.4. Linearita systému monitorování dávky

Cíl kontroly: Ověřit linearitu systému monitorování dávky s počtem odzářených MU.
Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se maximální relativní odchylka stanovené absorbované dávky od hodnoty dané vynásobením počtu monitorových jednotek U faktorem úměrnosti S (tj. referenční absorbované dávky D), přičemž platí: D = SxU. Zkouška se provádí při úhlu rotace ramene 0° a pro velikost pole 10 x 10 cm^2. PZ se provádí pro všechny používané dávkové příkony a pro všechny energie elektronových i fotonových (FF i FFF) svazků. ZDS a ZPS se provádějí pro maximální dávkový příkon a pro pětinový dávkový příkon z maximálního dávkového příkonu pro jednu fotonovou a jednu elektronovou energii.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Maximální povolená relativní odchylka stanovené a referenční absorbované dávky je 1%.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R
Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 7.3. [5]

5.5.5. Závislost systému monitorování dávky na rotaci ramene

Cíl kontroly: Ověřit vliv rotace ramene na systém monitorování dávky.
Popis kontrolovaného parametru: Ověřuje se vliv rotace ramene na výstup lineárního urychlovače.

a) Stanovuje se poměr MU a odpovídající stanovené absorbované dávky pro stacionární polohu ramene. PZ a ZDS se provádí pro hlavní polohy ramene urychlovače a pro velikost pole 10 x 10 cm^2, pro jednu hodnotu dávkového příkonu a pro maximální a minimální energii fotonových a elektronových svazků. ZPS se provádějí pro hlavní

polohy urychlovače pro jednu energii fotonových svazků a jednu energii elektronových svazků.

b) Stanovuje se maximální rozdíl mezi poměrem počtu MU a odpovídající absorbované dávky stanovený při rotaci ramene v různých oblastech úhlového rozsahu rotace ramene a průměrnou hodnotou maximálních a minimálních hodnot poměrů počtu MU a odpovídajících absorbovaných dávek stanovených při stacionární poloze ramene. Provádí se pro jednu fotonovou (FF i FFF) a jednu elektronovou energii.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Pro stacionární polohu ramene může být maximální rozdíl mezi maximálními a minimálními hodnotami poměru počtu MU a odpovídající absorbované dávky pro hlavní polohy urychlovače 3%.

b) Při rotaci ramene mohou být maximální relativní odchylky poměru počtu MU a odpovídající absorbované dávky od aritmetického průměru maximálních a minimálních hodnot poměru počtu MU a odpovídajících absorbovaných dávek stanovených dle kap. 5.5.3. 3%.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 7.4. [5]

b) ČSN EN 60976, Kap. 7.5. [5]

5.6. Ozařovací stůl

5.6.1. Svislý pohyb ozařovacího stolu

Cíl kontroly: Ověřit, že pohyb ozařovacího stolu je svislý.

Popis kontrolovaného parametru: Poloha průmětu světelné osy v základní poloze ramene na desku stolu pro dvě polohy výšky stolu posunuté alespoň o 20 cm při zatížení stolu 135 kg rozprostřenými na 2 m a 30 kg rozprostřenými na 1 m.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Průměty světelné osy při dvou výškách stolu posunutých o min. 20 cm od sebe nesmí být vzdáleny o více než 2 mm.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS – M pokud je parametr důležitý pro nastavování pacienta, např. protože je využíván při úpravě polohy pacienta po zobrazení kV systémem či EPID, jinak R

Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 16.2. [5]

5.6.2. Izocentrická rotace ozařovacího stolu

Cíl kontroly: Ověřit stabilitu ozařovacího stolu při izocentrické rotaci stolu a rovnoběžnost rotačních os stolu.

Popis kontrolovaného parametru:

a) Poloha průmětů světelné osy na desku stolu při izocentrické rotaci stolu ve výšce izocentra. Stanovuje se průměr kružnice opisované průmětům světelné osy na desku stolu při současném zatížení stolu 135 kg rozprostřenými na 2 m a 30 kg rozprostřenými na 1 m.

b) Maximální úhel mezi osou izocentrické rotace stolu a osou rotace desky stolu, pokud stůl tuto rotaci umožňuje. Zkouška se provádí při zatíženém stolu.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Poloměr kružnice opsané průmětům světelné osy na desku stolu nesmí být větší než 2 mm.

b) Maximální úhel mezi rotačními osami může být 0,5°

Frekvence:

a) PZ, ZDS, při ZPS – M pouze pokud je parametr důležitý pro nastavování pacienta, např. protože je využíván při úpravě polohy pacienta po zobrazení kV systémem či EPID
b) PZ

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, 16.3. [5]
b) ČSN EN 60976, 16.4. [5]

5.6.3. Longitudinální a laterální pohyb ozařovacího stolu

Cíl kontroly: Ověřit stabilitu ozařovacího stolu při longitudinálním a laterálním pohybu.

Popis kontrolovaného parametru: Ověřuje se, zda

a) při longitudinálním pohybu desky stolu nedochází ke změně výšky stolu mezi krajní polohou stolu a takovou polohou, kdy se čelní okraj stolu nachází v transverzální rovině izocentra. Provede se pro obě krajní polohy stolu při výšce stolu přibližně v rovině izocentra při zatížení stolu jednak 135 kg rozložených podél 2 m a jednak 30 kg rozložených podél 1 m od okraje stolu blíž k ramenu urychlovače.
b) při laterálním pohybu desky stolu nedochází ke změně výšky stolu mezi krajní polohou stolu a takovou polohou, kdy se boční okraj stolu nachází v sagitální rovině izocentra. Provede se pro obě krajní polohy stolu při výšce stolu přibližně v rovině izocentra při zatížení stolu 135 kg rozprostřenými do 2 m.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: a) b) Stůl nesmí změnit výšku o více než 5 mm při laterálním a longitudinálním pohybu.

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ, ZDS

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 16.5.1. [5]
b) ČSN EN 60976, Kap. 16.5.2. [5]

5.6.4. Stálost nastavené výšky stolu

Cíl kontroly: Ověřit stabilitu ozařovacího stolu při zátěži.

Popis kontrolovaného parametru: Pokles výšky stolu při zatížení závažím o hmotnosti 135 kg po dobu 10 minut.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Stůl nesmí změnit výšku při dlouhotrvajícím zatížení o více než 2 mm.

Frekvence: PZ, ZDS

Příklad metodiky: Doporučení LU, Kap. 9.4. [1]

5.6.5. Vodorovnost ozařovacího stolu v longitudinálním a laterálním směru

Cíl kontroly: Ověřit vodorovnost ozařovacího stolu v longitudinálním a laterálním směru.

Popis kontrolovaného parametru: Maximální úhlová odchylka od vodorovné roviny při zátěži 135 kg rozprostřené do 2 m. Stanovuje se pro

a) longitudinální směr
b) laterální směr

Způsob kontroly: Měřením např. klinometrem

Tolerance: Stůl musí být vodorovný

a) v longitudinálním směru s maximální povolenou odchylkou 0,5°
b) v laterálním směru s maximální povolenou odchylkou 0,3°

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - M

5.7. Kontrola kvality obrazu zobrazovacích systémů a přesnost jejich použití

5.7.1. Kontrola kontrastu snímku zobrazovacího systému

Cíl kontroly: Ověřit kontrast snímku zobrazovacího systému (rozlišení při nízkém kontrastu).
Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se kontrast prostřednictvím získání snímků vhodného fantomu, přičemž se vyhodnocuje viditelnost jednotlivých disků na snímcích.
Zkouška se provádí pro

a) EPID pro každou energii fotonového záření pro dávkový příkon nejvíce používaný v klinickém provozu,
b) rozlišení při nízkém kontrastu pro 2D zobrazení kilovoltážním zobrazovacím systémem pro expoziční parametry stanovené pro tuto zkoušku výrobcem,
c) rozlišení při nízkém kontrastu pro CBCT pro expoziční parametry stanovené pro tuto zkoušku výrobcem.

Způsob kontroly: Vizuálně a měřením
Tolerance:

a) Rozlišení kontrastu musí být při použití EPID fantomu menší než 0,4%
b) Na Leeds TOR 18FG fantomu musí být viditelných minimálně 12 disků
c) Při použití CatPhan fantomu musí být ještě viditelný 15 mm disk v oblasti Supra-Slice

Frekvence:

a) ZPS – T pro nejběžnější nastavení, PZ, ZDS, ZPS – M pro běžně klinicky používaná nastavení
b) PZ, ZDS, ZPS - M,
c) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) Katalog metodik, Kap. B.XII.2. [4]
b) Doporučení kV, Kap. IV.6.1.1. [3]
c) Doporučení kV, Kap. IV.6.2.2. [3]

5.7.2. Kontrola funkcí software zobrazovacího systému

Cíl kontroly: Ověřit měření vzdálenosti, plochy a úhlu v software zobrazovacích systémů.
Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se odchylka délky, plochy a úhlu od nominální hodnoty pro

a) megavoltážní zobrazovací systém s EPID
b) kilovoltážní zobrazovací systém pro 2D zobrazení pro expoziční parametry stanovené pro tuto zkoušku výrobcem.
c) kilovoltážní zobrazovací systém pro CBCT (ověřuje se pouze měření vzdálenosti) pro expoziční parametry stanovené pro tuto zkoušku výrobcem.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:

a) b) Odchylka pro měření vzdáleností musí být menší než 2 mm a pro měření úhlu menší než 1°
c) Odchylka mezi skutečnou vzdáleností ve fantomu a naměřenou hodnou smí být maximálně 1 mm

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - M
Příklad metodiky:

b) Doporučení kV, Kap. IV.6.1.3. [3]
c) Doporučení kV, Kap. IV.6.2.5. [3]

5.7.3. Prostorové rozlišení

Cíl kontroly: Ověřit prostorové rozlišení zobrazovacího systému (rozlišení při vysokém kontrastu).

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se prostorové rozlišení prostřednictvím získání snímků vhodného fantomu, přičemž se vyhodnocuje počet viditelných čar na mm (u EPID viditelnost drátu tloušťky 1 mm). Zkouška se provádí pro:

a) megavoltážní zobrazovací systém s EPID pro každou energii fotonového záření a dávkový příkon nejvíce používaný v klinickém provozu
b) kilovoltážní zobrazovací systém pro 2D zobrazení pro expoziční parametry stanovené pro ověření tohoto parametru výrobcem.
c) kilovoltážní zobrazovací systém pro CBCT pro expoziční parametry stanovené pro ověření tohoto parametru výrobcem.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance:

a) Prostorové rozlišení musí být minimálně 1 mm
b) Musí být rozlišitelný minimálně 1,3 lp/mm
c) Prostorové rozlišení musí být dle specifikace výrobce (OBI pro Half Fan minimálně 0,6 lp/mm, pro Full Fan minimálně 0,7 lp/mm; pro XVI minimálně 0,7 lp/mm)

Frekvence:

a) PZ, ZDS, ZPS – R
b) PZ, ZDS, ZPS – M
c) PZ, ZDS, ZPS – R

Příklad metodiky:

a) ČSN EN 60976, Kap. 17.1.3.7. [5], Doporučení IMRT, Kap. 4.2. [2]
b) Doporučení kV zobrazovací systémy, Kap. IV.6.1.2. [3]
c) Doporučení kV zobrazovací systémy, Kap. IV.6.2.3. [3]

5.7.4. Poměr signálu k šumu (Signal-to-noise ratio)

Cíl kontroly: Ověřit, že hodnota poměru signálu k šumu splňuje toleranci.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se střední hodnota signálu vydělená standardní odchylkou signálů z jednotlivých pixelů obrazu pro homogenní fluenci, která na detektor obrazu dopadla. Zkouška se provádí pro snímek získaný EPID a kV zobrazovacím systémem.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Poměr signálu k šumu pro dávku odpovídající přibližně 1 cGy nesmí být menší než 50.

Frekvence: PZ, ZDS

Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 17.1.3.5.3. [5]

5.7.5. Převod hustoty materiálu na Hounsfieldovy jednotky pro CBCT

Cíl kontroly: Ověřit závislost Hounsfieldových jednotek (HU) na hustotě materiálu.

Popis kontrolovaného parametru: Stanovuje se odchylka mezi stanoveným počtem HU a referenčním počtem HU. Ověření se provádí pro kV zobrazovací systémy, do kterých lze vložit (nebo ve kterých už je vložená) převodní tabulku závislosti hustoty materiálu na HU. Parametr se ověřuje pro expoziční parametry stanovené výrobcem.

Způsob kontroly: Měřením

Tolerance: Hodnota HU odečtená systémem se musí shodovat s hodnotami HU udanými v manuálu fantomu do 40 HU.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R

Příklad metodiky: Doporučení kV zobrazovací systémy, Kap. IV.6.2.1. [3]

5.7.6. Ověření homogenity obrazu pro CBCT

Cíl kontroly: Ověřit homogenitu obrazu pro CBCT.

Popis kontrolovaného parametru: Maximální odchylka stanoveného počtu HU od referenční hodnoty 0 HU. Ověření tohoto parametru se provádí pro expoziční parametry stanovené výrobcem.
Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Na snímku pro vodu se žádná z hodnot ve stanovených oblastech nesmí lišit od nominální hodnoty 0 HU o více než ±40 HU.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.6.2.4 [3]

5.7.7. Minimální čas potřebný k získání snímku

Cíl kontroly: Ověřit minimální čas potřebný k vytvoření snímku.
Popis kontrolovaného parametru:

a) Minimální čas potřebný k vytvoření snímku při nejvyšší rychlosti získávání snímků (frame rate).
b) Minimální počet snímků za sekundu vytvořených zobrazovacím systémem

Zkouška se provádí pro EPID a pro kV zobrazovací systémy.
Způsob kontroly: Kontrolou dokumentace
Tolerance:

a) Minimální čas potřebný k vytvoření snímku je maximálně 0,5 s.
b) Počet snímků získaných za sekundu musí být minimálně 2.

Frekvence: PZ
Příklad metodiky: ČSN EN 60976, Kap. 17.1.3.5.2 [5]

5.7.8. Ověření polohy cílového objemu

Cíl kontroly: Ověřit, že referenční DRR snímky (digitálně rekonstruované rentgenogramy) nebo 3D referenční snímky fantomu pro kontrolu izocentra a snímky tohoto fantomu získané pomocí kVD nejsou vzájemně posunuté. Kontrola zahrnuje ověření procesu od plánování v plánovacím systému po ověření na lineárním urychlovači.
Popis kontrolovaného parametru: Posun stolu pro korekci polohy cílového objemu. Zkouška se provádí:

a) pomocí ortogonálních 2D snímků
b) pro CBCT

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance:

a) Požadovaný posun stolu pro korekci polohy cílového objemu na základě ortogonálních 2D snímků musí být menší než 1 mm.
b) Požadovaný posun stolu pro korekci polohy cílového objemu na základě snímků CBCT musí být v jednotlivých směrech (x, y, z) menší než 1 mm a pro celkovou vzdálenost to musí být méně než 2 mm.

Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - M
Příklad metodiky:

a) Doporučení kV, Kap. IV.5.3.2. [3]
b) Doporučení kV, Kap. IV.5.3.3. [3]

5.7.9. Automatický posuv stolu pro ortogonální 2D snímky a CBCT

Cíl kontroly: Ověřit přesnost automatického posuvu stolu při porovnání ortogonálních 2D snímků a CBCT s referenčními obrazy.
Popis kontrolovaného parametru: Odchylka mezi vypočteným a známým posuvem stolu v jednotlivých směrech a odchylka mezi známou a změřenou vzdáleností radiokontrastních značek od laserových zaměřovačů. Parametr se ověřuje pro:

a) kilovoltážní zobrazovací systém pro 2D zobrazení

b) kilovoltážní zobrazovací systém pro CBCT

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: a) b) V jednotlivých směrech (x, y, z) musí být odchylka menší než 1,5 mm.
Frekvence: a) b) PZ, ZDS, ZPS - M
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.5.3.4 [3]

5.7.10. Celková kontrola správné funkčnosti 4DCT

Cíl kontroly: Ověřit správnou komunikaci CT skeneru s příslušenstvím monitorujícím dýchací cyklus, ověřit správnost snímání a rekonstrukce 4D obrazu.
Popis kontrolovaného parametru: Tvar fantomu a fáze dýchacího cyklu.
Způsob kontroly: 4DCT akvizicí pohyblivého fantomu určitého tvaru (např. kulový fantom).
Tolerance: Vyhovuje, pokud zobrazený tvar fantomu odpovídá skutečnému tvaru fantomu, nejsou přítomny pohybové artefakty, fantom je zobrazen ve správné fázi dýchacího cyklu.
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R
Příklad metodiky: Na CT skeneru zvolit sekvenci používanou pro 4DCT a provést 4D akvizici pohyblivého fantomu kulového tvaru. Data z CT odeslat do plánovacího systému a ověřit, že fantom je správně zobrazen v každé zvolené fázi dýchacího cyklu, tj. ověřit jeho tvar a ověřit, zda data jsou správně označena podle fáze dýchacího cyklu, tj. je-li kupříkladu prováděna prospektivní 4DCT akvizice ve výdechu, data skutečně odpovídají fázi výdechu. Metodika se může lišit v závislosti na systému monitorování dýchacího cyklu a druhu 4DCT (prospektivní, retrospektivní).

5.7.11. Kontrola řízení spouštění zobrazovacího systému příslušenstvím monitorujícím dýchací cyklus

Cíl kontroly: Ověřit, zda k akvizici zobrazení dochází v definované fázi dýchacího cyklu.
Popis kontrolovaného parametru: Koincidence kontrastních značek.
Způsob kontroly: Zobrazením pohyblivého fantomu v definované fázi dýchacího cyklu.
Tolerance: 1 mm
Frekvence: PZ, ZDS, ZPS - R
Příklad metodiky: Na ozařovací stůl ustavit pohyblivý fantom s kontrastní značkou, např. drátkem. Proti hrotu kontrastního drátku umístit statický drátek do výšky odpovídající nejnižšímu bodu dýchací křivky, tj. aby v tomto okamžiku docházelo ke koincidenci hrotů obou drátků. V odpovídající fázi dýchacího cyklu provést akvizici bočního 2D zobrazení. Změřit vzdálenost hrotů drátků. Test několikrát zopakovat a pokusit se o spuštění akvizice v různých fázích dýchacího cyklu. Ověřit, že zobrazovací systém čeká na signál od příslušenství, které monitoruje dýchací cyklus.

5.8. Dozimetrické charakteristiky svazků zobrazovacích systémů

5.8.1. Napětí rentgenky

Cíl kontroly: Ověřit napětí rentgenky.
Popis kontrolovaného parametru:

a) Relativní odchylka průměrné hodnoty odečtu kVp-metru a jmenovité hodnoty napětí rentgenky
b) Velikost variačního koeficientu
   Provedou se min. 3 měření při napětí na rentgence 60 kV, 80 kV, 100 kV a 120 kV nebo při napětích blízkých k těmto hodnotám při nastavení obvykle používaného proudu na rentgence a se zatěžovacím časem přibližně 0,1 s. Při napětí 80 kV se dále provede měření při nejnižším a nejvyšším možném nastavení proudu rentgenkou.
   Jako alternativa výše uvedeného nastavení napětí a proudu lze vycházet z nabídky expozičních parametrů, které nabízí kV zobrazovací systém při klinickém resp. servisním módu.

Způsob kontroly: Měřením kVp-metrem
Tolerance:

a) Relativní odchylka průměrné hodnoty odečtu kVp-metru a jmenovité hodnoty napětí rentgenky nesmí překročit 10%
b) Variační koeficient musí být menší než 5%

Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.7.1 [3]

5.8.2. Ověření první polotloušťky

Cíl kontroly: Ověřit, zda není polotloušťka menší než minimální přípustná hodnota.
Popis kontrolovaného parametru: První polotloušťka definovaná jako tloušťka materiálu (např. hliníku) v mm potřebná ke snížení odezvy detektoru ve vzduchu na jednu polovinu původní hodnoty. **Způsob kontroly:** Měřením
Tolerance: Minimální přípustné hodnoty první polotloušťky jsou závislé na napětí rentgenky a měly by být uvedeny výrobcem.
Frekvence: PZ
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.7.3 [3]

5.8.3. Index přenosové kermy

Cíl kontroly: Zaznamenat aktuální hodnotu indexu přenosové kermy a sledovat její vývoj v čase
Popis kontrolovaného parametru: Index přenosové kermy TK_i se vypočítá podle vztahu:

$$TK_i = K_T \cdot \frac{r_T^2}{Q_a}$$

kde TK_i je index přenosové kermy
K_T je přenosová kerma představující kermu ve vzduchu měřenou za zeslabovací vrstvou materiálu (např. 25 mm Al).
r_T je vzdálenost zdroj ionizační komora
Q_a je indikovaný součin proudu a expozičního času

Pozn. Ověřovanou dozimetrickou veličinou nemusí být index přenosové kermy, ale může to být přenosová kerma nebo výstup záření dle doporučení výrobce. Výstup záření je definován jako kerma ve vzduchu v 1 m bez zeslabovací vrstvy dělená indikovaným součinem proudu a expozičního času.

Způsob kontroly: Měřením ve vzduchu za zeslabovací vrstvou materiálu (např. 25 mm Al)
Tolerance: Sleduje se vývoj parametru v čase, nově naměřená hodnota se zaznamenává, zohledňuje se doporučení výrobce.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.7.4 [3]

5.8.4. Linearita a reprodukovatelnost přenosové kermy

Cíl kontroly: Ověřuje se linearita přenosové kermy na nastaveném proudu a reprodukovatelnost přenosové kermy.
Popis kontrolovaného parametru:

a) Linearita přenosové kermy (l) v závislosti na nastavení proudu se vypočítá podle vztahu:

$$l = \frac{\left|\left(\frac{K_T}{Q_a}\right)_{mA\,max} - \left(\frac{K_T}{Q_a}\right)_{mA\,min}\right|}{\frac{\left(\frac{K_T}{Q_a}\right)_{mA\,max}}{2} + \frac{\left(\frac{K_T}{Q_a}\right)_{mA\,min}}{2}}$$

kde indexy mA max, resp. mA min značí měření přenosové kermy pro nejvyšší, resp. nejnižší hodnotu proudu na rentgence (viz kapitola 5.8.3.). Hodnota nastaveného ozařovacího času je konstantní.

b) Reprodukovatelnost přenosové kermy (r) se vyjádří jako variační koeficient podle vztahu:

$$r = \left(\frac{100}{K_{Tp}}\right) \cdot \left[\sum \frac{\left(K_{Tp} - K_{Ti}\right)^2}{n-1}\right]^{1/2}$$

kde K_{Ti} je i-tá hodnota pro dané napětí
K_{Tp} je průměrná hodnota odečtů pro dané nastavení
n označuje celkový počet odečtů pro jedno nastavení napětí
$\sum$ značí sumaci pro i = 1 až n

Zkouška se provádí pro klinicky používané kombinace napětí a proudu resp. elektrického množství (součinu proudu a expozičního času) pro nejméně pět odečtů.
Způsob kontroly: Měřením ve vzduchu za zeslabovací vrstvou materiálu
Tolerance:
a) Linearita přenosové kermy musí být menší než 20%
b) Reprodukovatelnost přenosové kermy musí být menší než 5%.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.7.5 [3]

5.8.5. Vstupní povrchová kerma

Cíl kontroly: Zaznamenat aktuální hodnotu indexu přenosové kermy a sledovat její vývoj v čase
Popis kontrolovaného parametru: Vstupní povrchová kerma je kerma ve vzduchu měřená na centrální ose svazku v místě vstupu svazku do pacienta, přičemž se započítává příspěvek zpětně rozptýleného záření. Vstupní povrchová kerma (K) se vypočítá pomocí vzorce:

$$K = N_K * R * K_{t,p} * K_{en}$$

kde N_K je kermový kalibrační faktor ionizační komory
R je odečet detektoru
$K_{t,p}$ je korekce na tlak a teplotu
K_{en} je opravný faktor na energetickou závislost komory

Vstupní povrchová kerma se měří pro všechny klinicky používané hodnoty napětí a elektrického množství.

Pozn. Ověřovanou dozimetrickou veličinou nemusí být vstupní povrchová kerma, ale může to být dopadající kerma. Dopadající kerma nezahrnuje příspěvek zpětného rozptylu.

Způsob kontroly: Měřením na povrchu fantomu
Tolerance: Sleduje se vývoj parametru v čase, nově naměřená hodnota se zaznamenává, zohledňuje se doporučení výrobce.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení kV, Kap. IV.7.6 [3]

5.8.6. Kermový index pro CBCT

Cíl kontroly: Ověřit, zda se hodnoty kermového indexu pro CBCT shodují s hodnotami specifikovanými při PZ nebo uvedenými výrobcem.
Popis kontrolovaného parametru: Relativní odchylka změřené hodnoty váženého kermového indexu pro CBCT a referenční hodnoty váženého kermového indexu pro CBCT (uvedené výrobcem nebo při PZ). Vážený kermový index pro CBCT ($C_{w,CB}$) se vypočítá podle vztahu:

$$C_{W,CB} = \frac{1}{3}\, C_{PMMA,100,c,CB} + \frac{2}{3}\, C_{PMMA,100,p,CB}$$

kde $C_{PMMA,100,c,CB}$ je hodnota kermového indexu pro CBCT v ose CT fantomu
$C_{PMMA,100,p,CB}$ je průměrná hodnota kermového indexu pro CBCT při měření s ionizačními komorami umístěnými v postranních otvorech CT fantomu na pozici 0°, 90°, 180° a 270°

Kermové indexy pro CBCT se měří CT komorou v CT fantomu a stanoví se dle následujícího vztahu:

$$C_{PMMA,100,CB} = \frac{1}{100} \int_{-50}^{+50} K(z)dz$$

kde K(z) je kermový profil ve směru osy rotace z (kolmé na rovinu axiálního řezu).

Poznámka: Metodika této zkoušky vychází z doporučení kV [3] v návaznosti na normu ČSN EN 61223-3-1. Až vyjde norma na IGRT (IEC 60601-2-68) bude nutné vyhovět jejím požadavkům. Nová norma např. zavádí nový formalismus pro stanovení CTDI.

Způsob kontroly: Měřením
Tolerance: Relativní odchylka změřené hodnoty váženého kermového indexu pro CBCT ($C_{W,CB}$)se smí od referenční hodnoty uvedené výrobcem nebo stanovené při PZ lišit maximálně o 20%.
Frekvence: PZ, ZDS
Příklad metodiky: Doporučení kV zobrazovací systémy IV.7.8 [3]

Poznámka

V případě, že by se kV zobrazovací systém používal i ve skiaskopickém režimu, je potřeba kontrolovat také kermový příkon ve vzduchu na vstupní rovině receptoru rentgenového obrazu a kermový příkon ve vzduchu v místě vstupu do pacienta se zpětným rozptylem.

Příloha 1: Ověřované parametry pro svazky bez homogenizačního filtru (FFF)

Předmětem této přílohy je popsat specifika a odlišnosti svazků bez homogenizačního filtru na lineárním urychlovači. Popisované parametry vycházejí z publikace Fogliata et al: Definition of parameters for quality assurance of flattening filter free (FFF) photon beams in radiation therapy, Med. Phys. 39(10), October 2012, pp 6455 – 6464. Předmětem této přílohy nejsou urychlovače pro tomoterapii a Cyberknife.

Urychlovače bez homogenizačního filtru (flattening filter free – FFF) představují ozařování nehomogenními svazky, jejichž dávkový profil má obvykle tvar píku. Fyzikální a dozimetrické rozdíly mezi klasickými svazky s filtrem a svazky bez filtru se mohou v některých aspektech výrazně lišit. U svazků s homogenizačním filtrem se obvykle ověřují homogenita, symetrie a polostín – tyto se u FFF svazků nedají tak snadno použít. Používané parametry je proto nutné nově definovat a pozměnit stávající veličiny a parametry postihující dozimetrické aspekty QA pro FFF.

Urychlovače bez homogenizačních filtrů mají namísto homogenizačního filtru tenkou fólii. Ta je zde umístěna jednak z bezpečnostních důvodů (zastaví elektrony v případě kolapsu terčíku), jednak kvůli navýšení signálu ionizační komory produkcí elektronů. Dále sníží počet kontaminačních elektronů z primárního kolimátoru, které se dostanou až do izocentra. Profil má tvar píku. Rozdíl mezi ověřováním svazků bez homogenizačního filtru a s homogenizačním filtrem se týká hlavně dozimetrie svazku, nikoliv k mechanických parametrů lineárního urychlovače, pro které jsou obecné postupy pro jejich ověřování stále platné.

1. Normalizace

FFF svazky doručí nejvyšší dávku na ose svazku (nedochází k zeslabování svazku přítomností homogenizačního filtru). Pro účely vyhodnocování profilů a některých parametrů svazku není vhodné použít normalizaci do maxima dávky, protože definice některých parametrů je závislá právě na normalizaci. Ta by tedy měla být provedena na základě tvaru profilu na hranici pole.

Pro symetrické svazky je možné využít metody inflexního bodu nebo přesně definované polohy bodu v profilu, vůči které se normalizace provede.

1.1. Metoda inflexního bodu (využití první derivace)

Inflexní bod lze použít pro definici hranice radiačního pole. Tento bod by se měl nacházet ve stejném místě pro FF i FFF svazky (při stejném nastavení kolimačního systému), a z normalizovaného profilu FFF svazku, kdy se inflexnímu bodu přiřadí relativní hodnota 50% dávky, je potom možné vyhodnotit velikost pole či polostín dle běžné definice. V inflexním bodě je druhá derivace nulová a první derivace představuje minimum nebo maximum funkce, které odpovídá tvar profilu v oblasti hranice radiačního pole. Bez matematického vyjádření tohoto průběhu lze nalézt inflexní bod stanovováním dávkových rozdílů ΔD ve dvou sousedních měřených bodech v profilu. Zakreslíme-li graf těchto dávkových rozdílů v závislosti na jejich poloze, poloha inflexního bodu bude odpovídat poloze maxima nebo minima takto zakreslené křivky (mimo osu svazku záření). Touto metodou je tedy možné nalézt přesně inflexní bod pouze za předpokladu velmi přesného krokování při měření radiačního profilu. Při volbě velikosti kroku 1 mm může být hodnota dávky použitá k normalizaci profilu zatížena chybou až

10% (Pönisch et al.). Taková nejistota je potom v oblasti osy svazku záření ještě násobena (až 40%). Proto se tento způsob normalizace obecně nedoporučuje.

1.2. Metoda stanovení renormalizované hodnoty (využití třetí derivace)

Tato metoda normalizace využívá podobnosti tvaru profilů v oblasti polostínu pro FF a FFF svazky. Spočívá v nalezení bodu na raménku profilu svazku s homogenizačním filtrem, který je poté použit pro normalizaci FFF svazku na stejnou hodnotu dávky v daném bodě, jako je u svazku s homogenizačním filtrem. Bod v raménku je umístěn v oblasti zmenšujícího se dávkového gradientu a v oblasti, kde je tvar profilu pro svazky s homogenizačním filtrem i bez homogenizačního filtru shodný (před body, kdy se začnou profily FF a FFF svazku odlišovat v důsledku vzrůstu dávky pro FFF svazky v radiačním poli směrem k ose svazku záření). Tento bod je vyjádřen maximem třetí derivace průběhu dávkového profilu. Postup nalezení tohoto bodu je následující:

1. Provede se sesazení profilů pro homogenizovaný a nehomogenizovaný svazek přes sebe dle prostorové souřadnice, přičemž profily by měly být symetrické a v jejich středu by měla být osa svazku záření, viz obr. 2.

2. Profil FF svazku je normalizován dle zvyklostí, tj. relativní dávce 100% odpovídá dávka na ose svazku záření. Normalizace FFF svazku v tomto okamžiku může být libovolná.

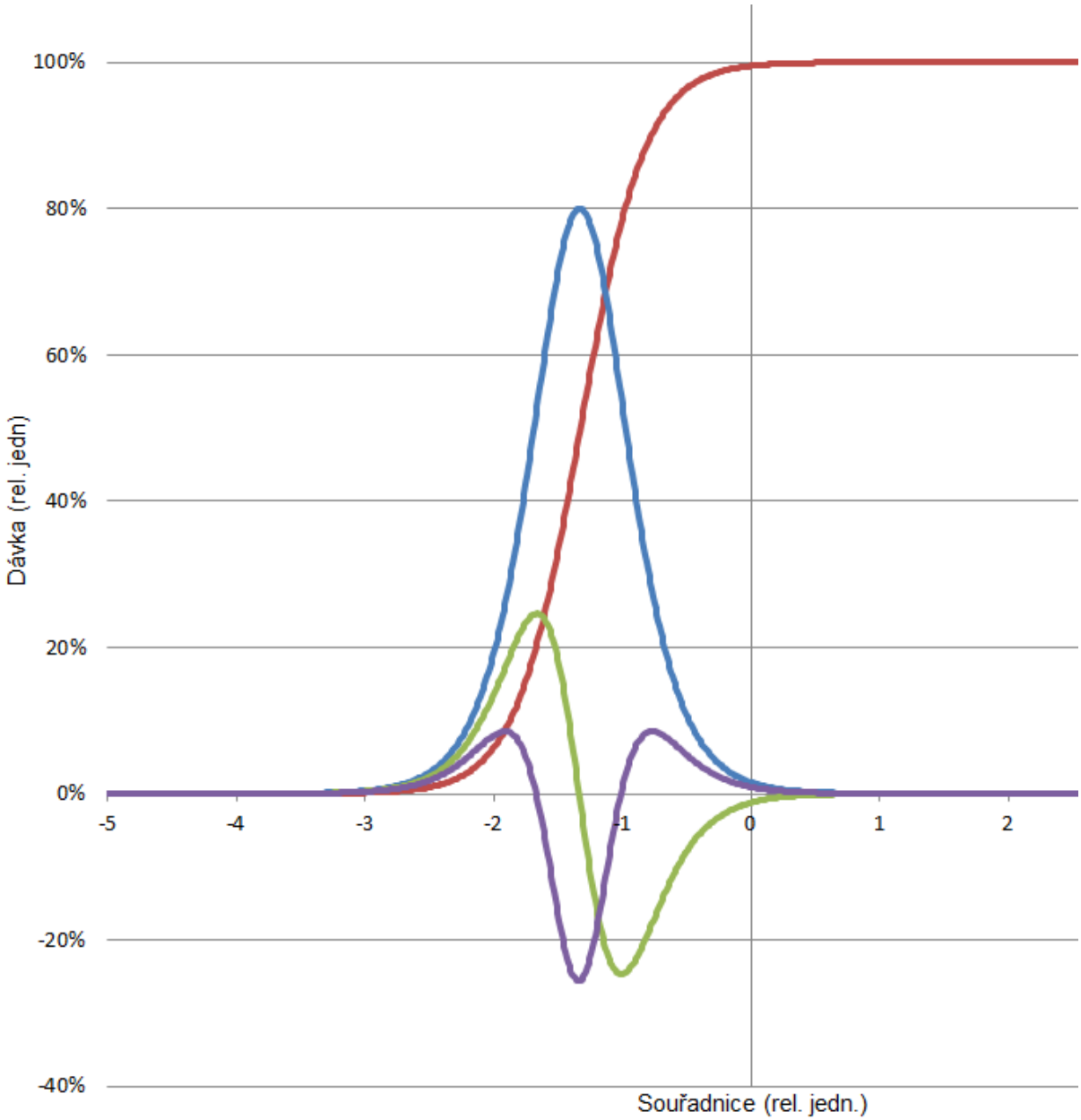
3. Spočte se třetí derivace průběhu profilu FF svazku v oblasti polostínu (na základě stanovení ΔD1 nejprve pro dávky v jednotlivých bodech profilu, poté na základě ΔD2 z rozdílů ΔD1 a nakonec ΔD3 z hodnot ΔD2), viz obr. 1. Výsledný průběh má tvar dvou maxim (minim) ve stoupající (resp. klesající) části profilu (třetí derivaci lze získat z profilů pro FFF i FF svazky, ale kvůli konzistentnosti doporučujeme provést výpočet pro FF svazky), viz obr. 2.

4. Relativní dávka mimo osu svazku záření na profilu FF svazku odpovídající souřadnici druhého maxima třetí derivace pro levou stranu profilu blíže k ose svazku záření (první minimum třetí derivace pro pravou část profilu) se poté přiřadí relativní dávce ve stejné souřadnici FFF svazku, čímž provedeme renormalizaci, viz obr. 3.

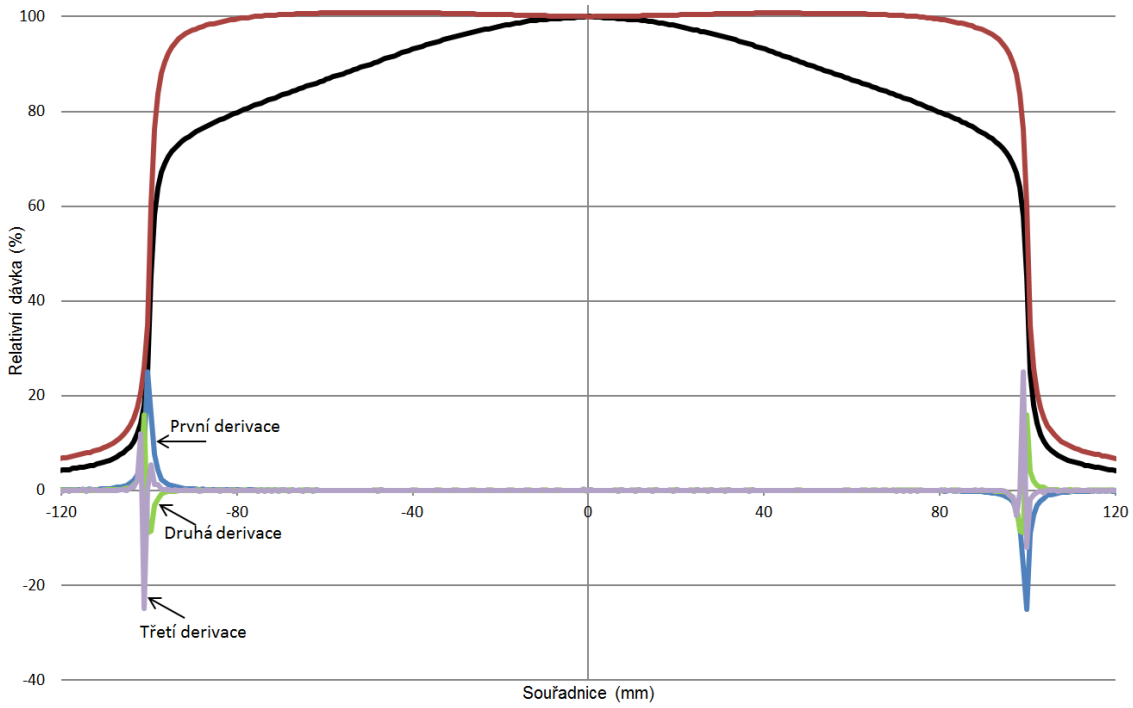
5. Relativní dávka na ose svazku záření pro svazek bez homogenizačního filtru je potom tzv. renormalizovanou hodnotou. Renormalizovaná hodnota je závislá na velikosti pole a hloubce, ve které byl profil změřen, a lze ji využít jako sledovaný parametr při zkouškách dlouhodobé stability či provozní stálosti. Renormalizované hodnoty pro FFF svazky realizované na lineárním urychlovači Varian lze dohledat v literatuře a na základě fitu těchto dat byl odvozen následující vztah pro stanovení renormalizované hodnoty pro lineární urychlovače Varian, který je možné použít za účelem kontroly vlastních naměřených dat:

$$Renormalizovaná\ hodnota = \frac{a + b \times velikost\ pole + c \times hloubka\ měření\ profilu}{1 + d \times velikost\ pole + e \times hloubka\ měření\ profilu}$$

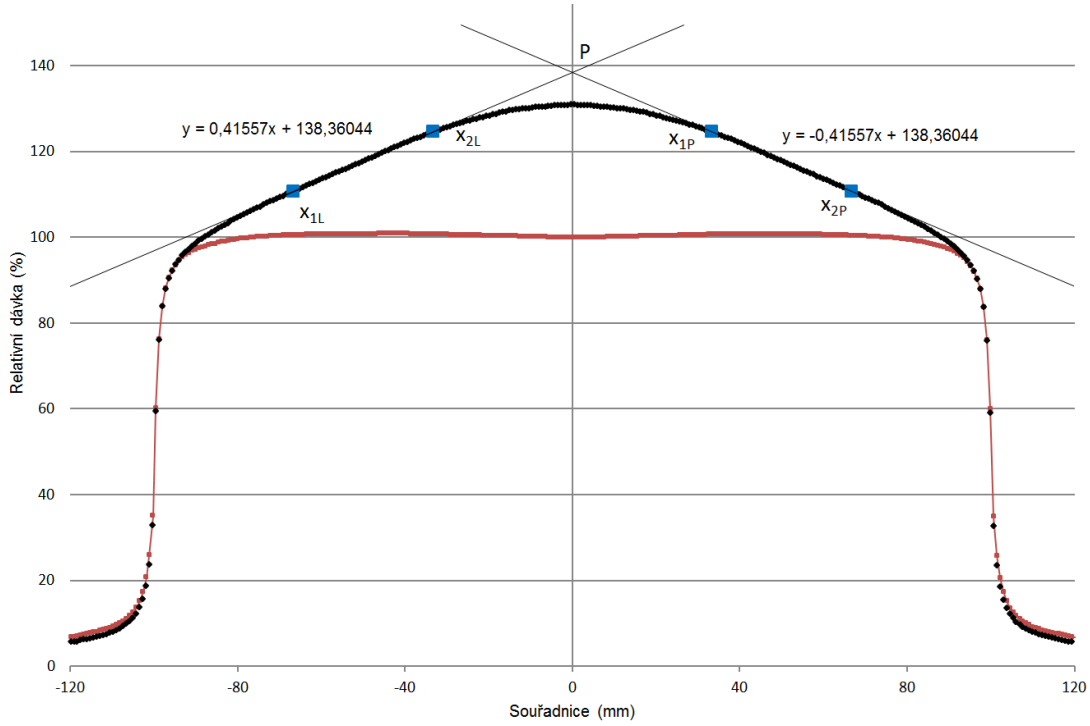
Fitovací parametry pro FFF svazek 6 MV:
a = 95,6; b = 0,6595; c = 0,1255; d = -0,0099; e = 0,0013
Fitovací parametry pro FFF svazek 10 MV:
a = 89,08; b = 2,4826; c = 0,1152; d = -0,0078; e = 0,0011



Obr 1. Červeně je znázorněn ilustrativní tvar profilu FF svazku v oblasti polostínu. První derivace křivky je zakreslena modře (jedno maximum), druhá derivace zeleně (jedno maximum a jedno minimum), třetí derivace fialově (dvě maxima a jedno minimum). Souřadnice odpovídající druhému maximu třetí derivace křivky (tj. maximum vpravo na fialové křivce) bude použita pro renormalizaci profilu FFF svazku.



Obr 2. Červeně profil pro FF svazek, černě pro FFF svazek pro velikost pole 20 x 20 cm² (prozatím provedena normalizace obou svazků tak, že dávce na ose svazku záření je přiřazeno 100% dávky). Modrá, zelená a fialová křivka vyznačují první, druhou a třetí derivaci FF profilu.



Obr 3. Výsledný renormalizovaný profil FFF svazku (černě) a klasicky normalizovaný profil FF svazku (červeně). V profilu FFF svazku jsou modře vyznačeny body x_{1L}, x_{2L}, x_{1P} a x_{2P} potřebné pro stanovení směrnice přímek vyjadřujících strmost levé a pravé části profilu. Jsou uvedeny rovnice obou přímek v tomto konkrétním případě. Bod P je bodem protnutí těchto přímek (v ideálním případě leží na ose svazku záření).

2. Parametry profilu FFF svazku

Pokud je renormalizace FFF svazku provedena popsanými způsoby, lze zachovat definici parametru velikost radiačního pole (jako vzdálenost bodů s 50% dávkou) a polostín (vzdálenost 20% a 80% dávky na okraji pole). Protože se nezmění definice velikosti radiačního pole, zůstává i pro FFF svazky shodná definice homogenizované oblasti jako pro FF svazky, v případě FFF svazků však budeme tuto oblast nazývat oblastí zájmu. V oblasti zájmu se potom stanovuje nehomogenita, symetrie svazku, sklon profilu a poloha bodu, kde je naměřena v profilu maximální hodnota dávky.

2.1. Nehomogenita

Nehomogenita je parametr, který u FFF svazků odpovídá parametru homogenita stanovovanému pro FF svazky. Jde o poměr dávky na ose svazku záření vůči dávce v předepsané vzdálenosti od osy svazku záření. Je možné použít souřadnici specifikovanou jako 80% z velikosti pole pro pole s velikostí strany větší než 10 cm a 60% pro pole s velikostí strany menší než 10 cm. Pro hodnocení nehomogenity je nutné používat stále stejnou definici velikosti radiačního pole při stejném způsobu normalizace (např. renormalizační metodou popsanou výše).

2.2. Symetrie

Symetrie je definována stejně jako u FF svazků, tj. jedná se o maximální hodnotu poměru absorbovaných dávek v referenční hloubce stanovených ve vodním fantomu ve standardní ozařovací vzdálenosti v bodech symetricky vzdálených od osy svazku záření v oblasti zájmu.

2.3. Sklon profilu

Sklon profilu je vyjádřen prostřednictvím směrnice přímky procházející dvěma přesně definovanými body ve vzrůstající resp. klesající části dávkového profilu. Tyto body se mohou nacházet v 1/3 a 2/3 vzdálenosti od osy svazku záření k okraji radiačního pole (při provedené renormalizaci a při definici radiačního pole uvedené výše). V ideálním případě je směrnice stejná v levé i v pravé části profilu (jen s opačným znaménkem). Výpočet levé (S_L) resp. pravé (S_P) směrnice se vypočte dle následujícího vztahu za předpokladu, že relativní dávce y odpovídá souřadnice x:

$$S_L = \frac{(y_{1L} - y_{2L})}{(x_{1L} - x_{2L})}\ resp.\ S_P = \frac{(y_{1P} - y_{2P})}{(x_{1P} - x_{2P})}$$

Hodnoty x_{1L} a y_{1L} odpovídají souřadnici a dávce v prvním bodě (tj. ve -2/3) v levé části profilu a x_{1P} a y_{1P} odpovídají souřadnici a dávce v prvním bodě (tj. v +1/3) v pravé části profilu. Hodnoty x_{2L} a y_{2L} odpovídají souřadnici a dávce v druhém bodě (tj. v -1/3) v levé části profilu a x_{2P} a y_{2P} odpovídají souřadnici a dávce v druhém bodě (tj. v +2/3) v pravé části profilu (viz obr. 3). Stabilita parametru Sklon profilu jednak ověřuje symetrii profilu (spolu s parametrem Symetrie), jednak také nepřímo ověřuje stabilitu energie. Sklon profilu má smysl stanovovat pouze pro pole se stranou rovnou 10 cm a větší, malá pole totiž leží v širokém maximu profilu, tudíž by spočtené hodnoty nedávaly smysl.

2.4. Poloha dávkového maxima v profilu

Poloha dávkového maxima v profilu FFF by měla být na ose svazku záření. V ideálním případě pak budou směrnice přímek levé a pravé části profilu v absolutní hodnotě stejné a budou se protínat v poloze osy svazku záření. Poloha dávkového maxima v profilu se stanoví jako:

$$P = \frac{I_L - I_P}{S_P - S_L}$$

kde I_L a I_P jsou souřadnice průsečíku levé resp. pravé přímky s osou y (pro x=0) a S_L a S_P jsou levá a pravá směrnice. Průsečíky se spočtou jako:

$$I_L = y_{1L} - x_{1L} \times S_L = y_{2L} - x_{2L} \times S_L$$

$$I_P = y_{1P} - x_{1P} \times S_P = y_{2P} - x_{2P} \times S_P$$

Frekvence a tolerance pro ověřování těchto parametrů jsou uvedeny v kapitole 5.3.5. a) a b).

Literatura

[1] **Doporučení LU**
Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – Urychlovače elektronů. SÚJB, 1998.

[2] **Doporučení IMRT**
Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - Lineární urychlovače pro 3D konformní radioterapii a IMRT. SÚJB, 2007. Doplnění a oprava, 2010.

[3] **Doporučení kV**
Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - kilovoltážní zobrazovací systémy pro IGRT. SÚJB, 2009.

Poznámka: Toto doporučení zahrnuje požadavky normy ČSN EN 61223-3-1, část 3-1: přejímací testy – proces zobrazování u rentgenových skiagrafických a skiaskopických zařízení.

[4] **Katalog metodik**
Katalog metodik pro zkoušky v radioterapii – www.sujb.cz, Radiační ochrana/Dokumenty

[5] **Norma**
ČSN EN 60976 – Zdravotnické elektrické přístroje – Lékařské urychlovače elektronů – Funkční charakteristiky. Český normalizační institut, 2008.

[6] IEC/TR 60977 – Technical Report: Medical electrical equipment – Medical electron accelerators – Guidelines for functional performance characteristics. International Electrotechnical Commission, 2008.

[7] **Doporučení bezpečnost**
Doporučení SÚJB Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů záření v radioterapii – Bezpečné používání moderní radioterapeutických metod. SÚJB, 2014.

[8] **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.

[9] ČSN EN 60601-2-1/A1 – Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2 -1: Zvláštní požadavky na bezpečnost urychlovačů elektronů pracujících v rozsahu od 1 MeV do 50 MeV, 2002.