

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Praha 2011

Bc. Lucie Menclová

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ

ZDRAVOTNICKÁ TECHNIKA A INFORMATIKA



Bc. Lucie Menclová

Využití liniového polovodičového detektoru při testování vlastností
lineárního urychlovače

Using linear semiconductor detector for testing the properties of
linear accelerator

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Mgr. Pavla Nováková

Konzultant:

Ing. Mgr. Pavla Buřičová

Praha 2011

PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením paní Mgr. Pavly Novákové a uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

Souhlasím se zpřístupněním elektronické verze mé práce v Digitálním repozitáři Univerzity Karlovy v Praze (<http://repozitar.cuni.cz>). Práce je zpřístupněna pouze v rámci Univerzity Karlovy v Praze.

Souhlasím, aby tato závěrečná práce byla archivována v Ústavu vědeckých informací 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze a zde užívána ke studijním účelům.

V Praze dne: 10. 08. 2011

.....
Lucie Menclová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce paní Mgr. Pavle Novákové za cenné informace, konzultace a metodické vedení v průběhu vlastní práce. Dále děkuji paní Ing. Mgr. Pavle Buřičové za poskytnutí pomoci při zpracování daného tématu.

Identifikační záznam

MENCLOVÁ, Lucie. *Využití liniového polovodičového detektoru při testování vlastností lineárního urychlovače. [Using linear semiconductor detector for testing the properties of linear accelerator]*. Praha, 2011. 78 s., 2 příl. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Pavla Nováková.

Abstrakt:

Základním požadavkem všech terapeutických aplikací zdrojů ionizujícího záření je vysoká přesnost dodání předepsané dávky do cílového léčebného objemu tkáně. Každé radioterapeutické pracoviště musí mít v rámci Programu zabezpečování jakosti vypracovány metodiky zkoušek provozní stálosti, které jsou posuzovány a schvalovány Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Součástí zkoušek provozní stálosti lineárních urychlovačů je také pravidelné proměřování a hodnocení parametrů radiačního pole, které se provádí na základě měření dávkových profilů.

V diplomové práci jsou uvedeny výsledky měření a vyhodnocení dávkových profilů fotonových svazků lineárního urychlovače liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC firmy IBA) v automatickém vodním fantomu za referenčních podmínek a jejich porovnání s výsledky získanými měření pomocí ionizační komory za stejných referenčních podmínek.

Výhodou použití lineárního polovodičového detektoru je, že sestává z 99 jednotlivých detektorů v jedné linii ve vzdálenosti 5 mm od sebe a je schopen změřit dávkový profil radiačního pole v mnohem kratším čase, než při použití ionizační komory, kde pouze jeden detektor měří výstupní dávku bod po bodu.

Použití jiného nezávislého systému k měření dávkových profilů je však podmíněno dodržением požadavku SÚJB, že jejich odchylka nebude vyšší než 2% ve srovnání s hodnotami naměřenými ionizační komorou. Při splnění tohoto požadavku je možné zařazení této metody do zkoušek provozní stálosti lineárního urychlovače pro pracoviště RTOK FNKV Praha.

Dalším zpracováním naměřených dávkových profilů v programu *OmniPro-Accept* byly získány a hodnoceny hodnoty parametrů radiačního pole (homogenity, symetrie, polostínu a šířky radiačního pole) a klínové faktory pro použité statické a dynamické klínové filtry.

Klíčová slova: Dávkový profil – Klínový faktor – Radiační pole - Polovodičový detektor – Ionizační komora

Abstract:

A basic requirement for all therapeutic applications of ionizing radiation is the high accuracy of delivery of the prescribed dose to the target volume of tissue healing. Each radiotherapy department must have in the quality assurance program developed methodology for testing the operational stability, which are reviewed and approved by The State Office for Nuclear Safety (SÚJB).

A part of testing the operational stability of linear accelerators is also a regular assessment and measurement of parameters of radiation field, which is done by measuring the dose profiles.

The thesis presents the results of measurement and evaluation of photon beam dose profiles of a linear accelerator, measured using the line-semiconductor detector (LDA-99SC company IBA) in the automatic water phantom under the reference conditions and their comparison with results obtained from measurement with the ionization chamber under the same terms of reference.

The advantage of using a linear detector is a semiconductor that consists of 99 individual detectors in one line at a distance of 5 mm from each other and is able to measure the radiation dose profile field in a much shorter time than using an ionization chamber, where only one detector output can measure dose point after point.

Usage of any other independent system for measuring the dose profile is, according to the SÚJB requirement, predicated on the fact, that their deviation will not be greater than 2% compared with the values measured with ionization chamber. In case that the above requirement is fulfilled, it is possible to include this method to the system of the tests of the operational stability of linear accelerators for workstation of RTOK FNKV Prague.

Further processing of the measured dose profiles in the OmniPro-Accept were obtained and evaluated parameters of the radiation field (flatness, symmetry, and penumbra of the radiation field) and wedge factors used for static and dynamic wedge filters.

Keywords: Dose profile - Wedge factor- Radiation field - Semiconductor detector - Ionization chamber

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	SOUČASNÝ STAV DANÉ PROBLEMATIKY	10
	2.1 Zkoušky zdrojů ionizačního záření v programu zabezpečování jakosti v oblasti zevní radioterapie	10
	2.2 Fotonové záření v zevní radioterapii.....	14
	2.3 Dávka, dávkové profily	21
	2.4 Polovodičové detektory.....	24
3	CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA	26
	3.1 Cíl práce.....	26
	3.2 Hypotéza.....	26
4	ZDROJE, METODY, PŘÍSTROJE.....	27
	4.1 Zdroje a materiály	27
	4.2 Seznam použitých přístrojů	27
	4.3 Metody.....	29
5	PARAMETRY RADIAČNÍHO POLE, KLÍNOVÉ FAKTORY	32
	5.1 Parametry radiačního pole	32
	5.2 Klínové faktory	34
6	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	37
	6.1 Naměřené dávkové profily pro energii X6 a X18 MeV	38
	6.2 Hodnocení výsledků parametrů radiačního pole pro energii X6 a X18 MeV . 46	
7	DISKUZE	53
8	ZÁVĚR.....	55
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
11	SEZNAM TABULEK	58
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	59
13	PŘÍLOHY	60

1 ÚVOD

Radioterapie je léčebná metoda využívající specifických účinků ionizujícího záření především k léčbě zhoubných nádorů, jejím cílem je dodání stanovené dávky do požadovaného objemu se současným minimálním ozářením okolních zdravých orgánů.

Základním požadavkem všech terapeutických aplikací zdrojů ionizujícího záření je vysoká přesnost dodání předepsané dávky do cílového léčebného objemu tkáně. Každé radioterapeutické pracoviště musí mít vypracovaný a SÚJB schválený Program zabezpečování jakosti a SÚJB posouzené metodiky zkoušek provozní stálosti, které jsou vypracovány na základě příslušných platných doporučení SÚJB.

Součástí zkoušek provozní stálosti lineárních urychlovačů je mimo jiné i pravidelné proměřování a hodnocení parametrů radiačního pole. Měření je standardně prováděno ionizační komorou ve vodním fantomu.

Proměření všech bodů dávkových profilů pomocí jedné ionizační komory představuje činnost časově vysoce náročnou. Kompletní provedení měření může vést na některých pracovištích až k situaci, vyžadující dočasné omezení klinického provozu.

Měření dávkových profilů pomocí lineárního polovodičového detektoru, který se sestává z velkého počtu jednotlivých detektorů, vede k výraznému urychlení náběru měřených dat.

Doporučení vydaná SÚJB dovolují použití i těchto jiných nezávislých systémů ovšem s požadavkem, že jeho odchylky měření nejsou vyšší než 2% od měření ionizační komorou. (3)

2 SOUČASNÝ STAV DANÉ PROBLEMATIKY

2.1 Zkoušky zdrojů ionizačního záření v programu zabezpečování jakosti v oblasti zevní radioterapie

Zákon č. 18/1997 Sb. tzv. "Atomový zákon" v §4 ukládá každému, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, povinnost přednostně zajišťovat radiační ochranu a zavést systém jakosti, jehož rozsah je stanoven vyhláškou SÚJB č. 214/1997 Sb. Každému držiteli povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření pak, kromě jiného, ukládá (§18 odst. 1 písm. a) sledovat, měřit, hodnotit, ověřovat a zaznamenávat parametry a vlastnosti zdroje ionizujícího záření. (14)

Ve vyhlášce č.307/2002 Sb., která byla později novelizována vyhláškou č.499/2005 Sb., jsou rozpracovány všechny důležité povinnosti při používání zdrojů ionizujícího záření a způsob jejich naplňování. Paragraf 69 až 72 této vyhlášky stanovuje veličiny, parametry a skutečnosti týkající se zdrojů ionizujícího záření, jež mají být pravidelně ověřovány a to zejména:

- při převzetí zdroje ionizujícího záření před zahájením jeho používání v rozsahu vymezeném pro přijímací zkoušku,
- v průběhu používání zdroje ionizujícího záření v rozsahu vymezeném pro zkoušku dlouhodobé stability a pro zkoušku provozní stálosti. (13)

2.1.1 Program zabezpečování jakosti na radioterapeutickém pracovišti

Program zabezpečování jakosti (dále jen PZJ) je nezbytnou součástí dokumentace k žádosti o povolení nakládání se zdroji ionizujícího záření. Schválení PZJ Státním úřadem pro jadernou bezpečnost je jednou z podmínek pro vydání povolení nakládání se zdrojem ionizujícího záření SÚJB. PZJ vychází z požadavků legislativy (vyhláška č.214/1997 Sb., §5 a 32) a je zaměřen především na popis prvků a položek důležitých z hlediska radiační ochrany. Činnosti a procesy popsané v PZJ mohou být SÚJB kontrolovány a zjištění nesrovnalostí mezi tímto dokumentem a skutečností může být předmětem sankcí (dle §40-42 zákona č.18/1997 Sb.) (1).

Zavedení systému jakosti na pracovišti radioterapie má zajistit radiační bezpečnost pacientům léčených ionizujícím zářením, personálu a obyvatelstvu (doprovodu pacientů).

V tomto dokumentu musí být popsány procesy a související činnosti systému, které bezprostředně ovlivňují kvalitu léčby ionizujícím zářením. Současně je zde stanoven systém odpovědností a také pravidla personálního, technického a finančního zabezpečení léčby.

Mezi činnosti, které bezprostředně ovlivňují kvalitu radioterapeutické léčby patří především zajištění správné funkčnosti zdrojů ionizujícího záření. To spočívá v hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření a v provádění jejich pravidelné údržby.

Součástí PZJ je tedy i popis systému zkoušek (zkoušky provozní stálosti, zkoušky dlouhodobé stability) prováděných držitelem povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření, který obsahuje rozsah a četnost zkoušek, metodiku jejich provedení, vyhodnocování výsledků a postup při řešení situací, kdy odchylka naměřené hodnoty překračuje dovolenou toleranci.

2.1.2 Zkoušky zdrojů ionizujícího záření

Dle rozsahu a obsahu se zkoušky prováděné u zdrojů ionizujícího záření dělí na zkoušky přejímací, zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti. Tyto zkoušky obsahují v principu tři typy testů:

- testy radiačně bezpečnostní
- testy související s geometrickými parametry zařízení
- testy dozimetrické.

Provádění zkoušek a s tím spojené ověřování správnosti parametrů zařízení se zdroji ionizujícího záření bezprostředně zajišťují kvalitní provedení léčby ionizujícím zářením a radiační bezpečnost pacientů léčených radioterapií, pracovníků kliniky a obyvatelstva (doprovodu pacientů).

Přejímací zkouška

Zkoušky přejímací se provádí v rozsahu stanoveném českými technickými normami, nebo v rozsahu stanoveném při typovém schvalování zdroje zařízení, na základě návrhu výrobce nebo dovozce zařízení. Předmětem zkoušky je ověřit zda parametry zařízení důležité z hlediska radiační ochrany deklarované výrobcem odpovídají zjištěným skutečnostem.

Přijímací zkoušku mohou provádět pouze osoby se zvláštní odbornou způsobilostí pro tuto činnost mající povolení SÚJB.

Při přijímací zkoušce držitel povolení, který zkoušku provádí, stanoví rozsah a četnost měření a ověřování vlastností zdrojů ionizujícího záření při předpokládaném způsobu použití v rámci zkoušek dlouhodobé stability a zkoušek provozní stálosti (13).

Zkoušky dlouhodobé stability

Rozsah zkoušky dlouhodobé stability (dále ZDS) je stanoven pro konkrétní zařízení na základě přijímací zkoušky a je schvalován SÚJB. ZDS má zajistit, že se parametry zařízení při provozu pohybují ve stanoveném rozpětí.

ZDS se netýká pouze samotného zdroje ionizujícího záření, ale také příslušenství zařízení, pokud jeho kvalita ovlivňuje radiační bezpečnost. Součástí postupů jsou i požadavky na podmínky průběhu zkoušek a technického vybavení (měřicí přístroje, použité materiály, metodika měření atd.). ZDS se pro zdroje ionizujícího záření pro radioterapii vykonávají dle metodik, které schvaluje SÚJB (1).

U významných zdrojů ionizujícího záření, používaných k zevní radioterapii, se ZDS provádí minimálně 1x za 12 měsíců, pokud SÚJB nestanoví v povolení nebo v rámci kontrolní činnosti jinak a dále:

- při každém důvodném podezření na špatnou funkci zařízení, jehož součástí je zdroj ionizujícího záření
- po údržbě či opravě, která by mohla ovlivnit parametr ověřovaný ZDS
- pokud výsledky zkoušek provozní stálosti signalizují, že vlastnosti nebo parametry zdroje ionizujícího záření vybočují ze stanovených mezí stanovených v českých technických normách nebo v technické dokumentaci od výrobce nebo dovozce.

ZDS zajišťuje držitel povolení k nakládání se zdrojem ZDS mohou provádět pouze osoby mající příslušné povolení SÚJB.

Výsledky ZDS se zaznamenávají do protokolu o této zkoušce, jehož stejnopis obdrží držitel povolení k nakládání s daným zdrojem ionizujícího záření. Kopii protokolu zasílá osoba provádějící zkoušku SÚJB do 1 měsíce od provedení zkoušky (13).

Zkoušky provozní stálosti

Zkoušky provozní stálosti (dále ZPS) na pracovištích radioterapie zahrnují ověřování charakteristických provozních vlastností a parametrů jednotlivých zdrojů ionizujícího záření, které mohou ovlivnit kvalitu léčby pacientů.

ZPS se provádí nejméně v rozsahu stanoveném českými normami, na základě návrhu výrobce, dovozce nebo distributora anebo v rozsahu stanoveném při typovém schválení. Dále se rozsah zkoušek upřesňuje při přijímací zkoušce a při ZDS.

ZPS provádí nebo zajišťuje držitel povolení k nakládání s daným zdrojem. Za provádění ZPS na radioterapeutickém oddělení zodpovídá radiologický fyzik. ZPS lineárních urychlovačů, radionuklidových ozařovačů, simulátorů a brachyterapeutických ozařovačů se provádí dle metodik schválených SÚJB.

Výsledky ZPS se zaznamenávají do protokolu o této zkoušce vedeného držitelem povolení. Ostatním uživatelům daného zdroje musí být umožněno seznámit se s výsledky ZPS.

ZPS lze rozdělit do několika skupin podle:

- stupně ohrožení radiační bezpečnosti pacienta a obsluhy
- rizika, které může odchylka od normálního stavu vyvolat
- pravděpodobnosti výskytu možných nedostatků.

Frekvence jednotlivých ZPS se pak určí dle doporučení SÚJB (2), jejich závažnosti a potřeby (ZPS denní, týdenní, měsíční, půlroční, roční atd.). Vedle pravidelných zkoušek (plánovaných) je nutné provádět i zkoušky mimořádné po opravách nebo rekonstrukci zařízení. Seznam parametrů, které je nutné zkontrolovat při neplánované urgentní zkoušce, je vždy určován podle rozsahu zásahu do zařízení.

U některých parametrů jsou uváděny toleranční limity. Tolerančním limitem je považována hodnota, o kterou se může sledovaný parametr odlišovat od referenční hodnoty. Překročení tolerančního limitu lze chápat jako akční limit, kdy se musí provést revize sledovaného parametru, odstranit poruchu způsobující odchylku a provést nové měření, které prokáže, že uvedený parametr je opět v tolerančním limitu (5,6).

V následujícím odstavci jsou uvedeny konkrétní příklady parametrů kontrolovaných v rámci těchto zkoušek:

- radiačně bezpečnostní - kontrola signalizace stavu přístroje (signalizace na urychlovači, u vstupních dveří do ozařovny, na ovládacím panelu urychlovače, signalizace na základě intenzity ionizujícího záření, signalizace nesouladu různých systémů indikace pracovního stavu, kontrola měřidel pracovních parametrů), kontrola funkce dveřního kontaktu, funkce nouzových tlačítek, pohybů ozařovače, systému sledování pacienta atd.
- geometrické parametry zařízení - shoda mechanických a optických parametrů (geometrická osa kolimátoru, osa rotace kolimátoru, světelná osa, poloha izocentra, světelné zaměřovače, optický dálkoměr, symetrie lamel kolimátoru, shoda velikosti světelného pole s indikovaným atd.), odchylka příčného, podélného, svislého pohybu stolu, izocentrická rotace stolu atd.
- dozimetrické - stabilita systému monitorování dávky, stabilita homogenity svazku, stabilita symetrie svazku, dynamické klíny, dozimetrická stabilita dodání IMRT pole, nastavení a ověření parametrů dozimetrického systému, závislost na rotaci ramene, kontrola linearit systému monitorování dávky atd.

2.2 Fotonové záření v zevní radioterapii

Ionizující záření je záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že při svém průchodu látkou a při interakci s ní vyvolávají ionizaci.

Ionizace představuje děj, při kterém vznikají ionty změnou náboje elektronového obalu atomu nebo molekuly. Uvolňují se při ní elektrony a utváří se pár nosičů nábojů (kladný iont a elektron, kladný a záporný iont, pár elektron-díra)(9).

Z hlediska mechanismů interakce ionizujícího záření s hmotou se toto záření dělí na dvě skupiny:

- záření přímo ionizující je záření, jehož kvanta nesou elektrický náboj a proto přímo vyražejí či vytrhávají *Coulombickými* elektrickými silami elektrony z atomů materiálu, kterým záření prochází.

Patří sem záření elektronové (β^- β^+), záření α , protonové záření atd.

- záření nepřímo ionizující je záření, jehož kvanta nejsou elektricky nabitá. Kvanta nejdříve předají svou kinetickou energii v látce nabitým částicím (většinou elektronům, někdy atomovým jádrům) a ty teprve přímými účinky na atomy látku ionizují.

Do této skupiny patří fotonové záření (záření X, záření γ) a záření neutronové (12).

2.2.1 Fotonové záření

Fotony jsou kvanta elektromagnetického záření. Mají nulovou klidovou hmotnost m_0 a pohybují se rychlostí světla c . Jsou nositeli energie:

$$E = h\nu, \quad (1.1),$$

kde h je Planckova konstanta a ν je frekvence elektromagnetické vlny o vlnové délce λ rovnající se:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.2),$$

Podle mechanismu vzniku se fotonové ionizující záření dělí na:

- záření X - fotonové záření, které vzniká při elektronových přechodech v hlubších orbitách atomového obalu (charakteristické záření) a při zpomalování nabitých částic v látce (brzdné záření).
- záření γ - fotonové záření uvolněné při excitaci atomového jádra jako průvodní jev radioaktivních přeměn i dalších procesů (např. jaderné reakce), po kterých zůstává jádro v energeticky vyšším stavu (9).

S ohledem na danou problematiku diplomové práce bude již dále v textu zmiňováno pouze fotonové záření X.

Zdrojem fotonového záření X, které se používá k léčebnému ozáření v zevní radioterapii jsou (mimo vysokoenergetických rentgenových přístrojů) tzv. urychlovače, které působením silných elektrických a magnetických polí urychlují nabitě částice. Fotonové záření zde vzniká sekundárně, při interakcích primárního svazku urychlených částic, s částicemi vhodného terčíku (12).

2.2.2 Interakce fotonového záření

Fotony samy neionizují. Při jejich interakcích s elektrony a s atomovými jádry materiálu, kterým fotony prochází, však dochází k uvolňování sekundárních nabitých částic. Vzniklé ionty a volné elektrony mohou, pokud mají dostatečnou kinetickou energii, dále ionizovat atomy prostředí, kterým prochází.

Vzájemné interakce fotonu mohou nastat s:

- pevně vázaným elektronem tj. s atomem jako celkem (fotoelektrický jev, koherentní rozptyl)
- polem (produkce párů)
- volným orbitálním elektronem (*Comptonův* jev, produkce tripletů).

V souvislosti s těmito interakcemi fotonu je za pevně vázaný elektron považován orbitální elektron s vazebnou energií stejnou, nebo mírně větší než je energie fotonu, zatímco volný elektron je elektron s vazebnou energií mnohem menší než je energie fotonu. Během interakce může foton také zcela vymizet (fotoelektrický jev, produkce párů či tripletů) nebo může dojít k jeho rozptylu a to buď koherentnímu (*Rayleighův* rozptyl) nebo nekoherentnímu (*Comptonův* rozptyl) (8).

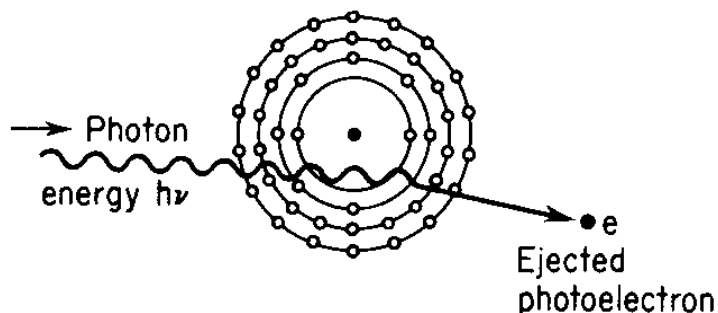
Při průchodu fotonového svazku látkou se uplatňují především tři nejdůležitější procesy – fotoefekt, *Comptonův* rozptyl, tvorba elektron-pozitronových párů.

Fotoelektrický jev (fotoefekt) – absorpční děj, při kterém předá foton veškerou svou energii elektronu některé z energetických hladin atomu absorbujícího prostředí. Elektron se emituje z atomu s kinetickou energií E_k (viz obr.1), která je rovna:

$$E_k = h\nu - E_v \quad (1.3),$$

kde $h\nu$ je energie dopadajícího fotonu a E_v je vazbová energie elektronu v příslušné energetické hladině (9).

Obr. č. 1: Předání energie fotonu orbitálnímu elektronu při fotoefektu.(8)



Fotoefekt se nejvíce uplatňuje u záření s nižšími energiemi a v látkách s velkým protonovým číslem.

Comptonův jev – nekoherentní rozptyl fotonu na volném elektronu nebo elektronu velmi slabě vázaném, že lze vliv vazby zanedbat. Foton předá elektronu část své energie a dále pokračuje rozptýlený foton s vlnovou délkou větší než primární (viz obr.2).

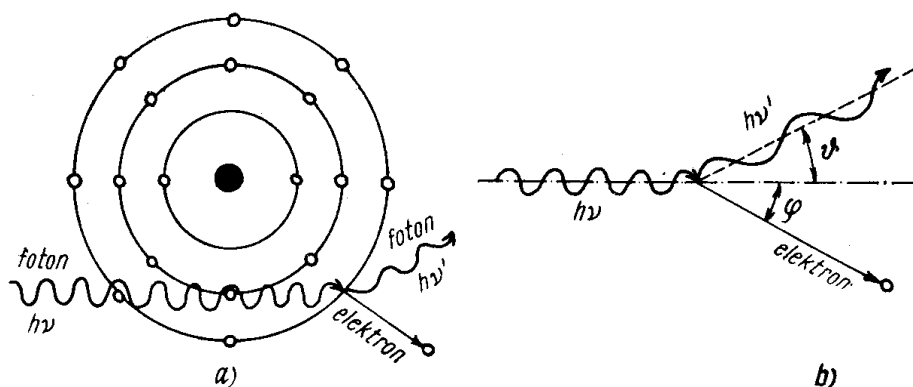
Pro energii rozptýleného fotonu platí :

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{1 + \left(\frac{h\nu_0}{m_{v0}c^2}\right)(1 - \cos\theta)} \quad (1.4),$$

kde m_{oe} je klidová hmotnost elektronu θ je úhel rozptylu. Energie rozptýleného fotonu je závislá na úhlu rozptylu (čím větší úhel rozptylu, tím více energie foton ztrácí a tím více jí získá odražený elektron). Comptonův rozptyl se může několikrát opakovat. Foton pak buď projde materiálem ven, nebo zanikne fotoefektem na některé z elektronových hladin atomů(9).

Obr. č. 2: Předání části energie fotonu orbitálnímu elektronu při Comptonovu jevu.

(8)

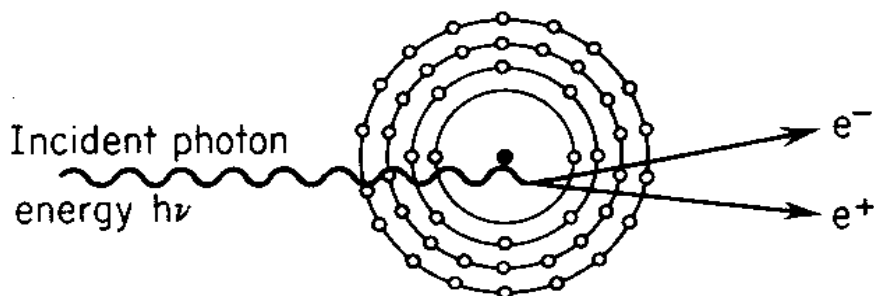


Pravděpodobnost *Comptonova* rozptylu roste s hustotou terčových elektronů v látce, tedy s hmotnostní hustotou látky ρ a protonovým číslem Z a klesá s rostoucí energií fotonů.

Tvorba elektron-pozitronových párů – pokud fotony o dostatečně vysoké energii (vyšší než součet klidové energie elektronu a pozitronu, který je roven 1,022 MeV) prochází materiálem, pak při průletu kolem atomového jádra se elektromagnetickou interakcí se silným *Coulombovým* polem jádra může foton přeměnit na dvojici částic (viz obr.3) - elektron (e^-) a pozitron (e^+).

Obr. č. 3: Vznik elektron-pozitronového páru při interakci fotonu s jádrem atomu.

(8)



Energetickou bilanci procesu v poli jádra lze popsat rovnicí:

$$h\nu_0 = 2m_{e_0}c^2 + T_{e^-} + T_{e^+} \quad (1.5),$$

kde T_{e^-} a T_{e^+} jsou kinetické energie vzniklého elektronu a pozitronu.

Vzniklý pozitron po zabrzdění anihiluje s některým z dalších elektronů za vzniku dvou fotonů γ rozlétající se na opačné strany o energii 511 keV.

Proces tvorby elektron-pozitronových párů se nejvíce uplatňuje při vysokých energiích fotonového záření a u látek s vysokým protonovým číslem (9).

2.2.3 Absorpce fotonového záření

Fotonový svazek je charakterizován – typem záření, energií a intenzitou pole záření. Intenzitu záření lze v zásadě kvantifikovat fluencí částic (fotonů) nebo fluencí energie.

- Fluence fotonů (tok, resp. hustota toku fotonů) Φ je definována jako podíl počtu kvant záření dN , dopadajících na kouli s jednotkovým plošným obsahem hlavního řezu da se středem v daném bodě:

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (1.6).$$

- Fluence energie (tok energie) je definována jako:

$$\Psi = \frac{dR}{da} \quad (1.7),$$

kde R je součet kinetických energií částic (zářivá energie). Jednotkou je [Jm^{-2}].

Interakce záření s hmotou způsobují zeslabení intenzity fotonového svazku. Záření je absorbováno. Zeslabení intenzity monoenergetického fotonového svazku $I_{(x)}$ vyjadřuje vztah:

$$I_{(x)} = I_{(0)}e^{-\mu(h\nu, Z)x} \quad (1.7),$$

kde I_0 je intenzita záření před zeslabením, x je tloušťka zeslabujícího materiálu a $\mu(h\nu, Z)$ je lineární součinitel zeslabení, který závisí na energii fotonu $h\nu$ a atomovém čísle Z zeslabujícího materiálu (8).

Míry interakcí jsou dány účinnými průřezy σ . Účinný průřez je definován jako podíl pravděpodobnosti P , že pro danou terčovou entitu nastane určitá interakce, vyvolaná dopadem nabitých nebo nenabitých částic určitého druhu a energie, a fluence dopadajících částic Φ :

$$\sigma = \frac{P}{\Phi} \quad (1.8).$$

Jednotkou účinného průřezu je $[\text{m}^2]$.

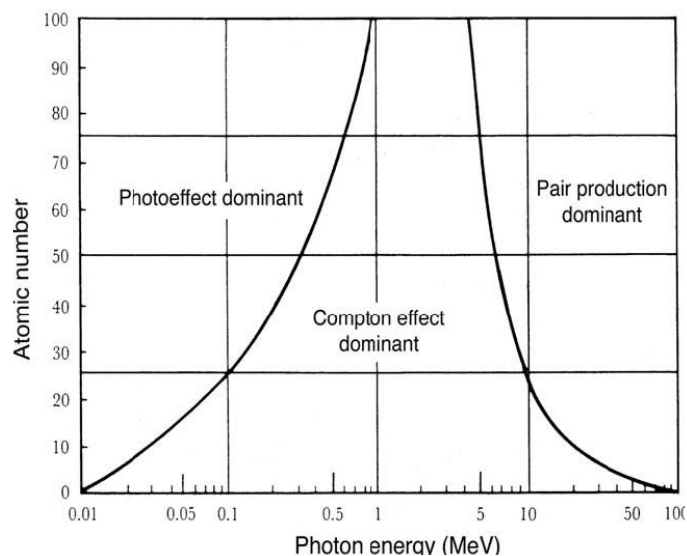
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole u fotonového záření se uplatňují tři nejdůležitější procesy absorpce: fotoefekt, *Comptonův* rozptyl, tvorba elektron-pozitronových párů. Jejich dominance závisí na $h\nu_0$ a Z (viz obr.4).

Celkový účinný průřez je pak dán součtem účinných průřezů jednotlivých interakcí. Vztah mezi účinnými průřezy a součinitelem zeslabení vyjadřuje rovnice:

$$\mu = \sum \sigma \frac{\rho N_A}{M} \quad (1.9)$$

kde ρ je hustota materiálu, N_A Avogadrova konstanta a M molekulová hmotnost (8).

Obr. č. 4: Křivky účinných průřezů jednotlivých interakcí – při nízkých energiích převládá fotoefekt, při středních Comptonův rozptyl, při vysokých tvorba párů (9).



2.3 Dávka, dávkové profily

V léčbě zářením je nejdůležitější veličinou absorbovaná dávka ve vodě, protože právě tato veličina má jasnou souvislost s biologickými účinky ionizujícího záření.

2.3.1 Absorbovaná dávka

Dávka popisuje energii absorbovanou v daném místě látky (12). Je veličinou použitelnou pro přímo i nepřímo ionizující záření.

- Dávka (absorbovaná dávka) D je rovna podílu střední sdělené energie ε předané ionizujícím zářením látce v malém prostoru, a hmotnosti m této látky:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (1.11).$$

Jednotkou absorbované dávky je J/kg. Název jednotky absorbované dávky je gray [Gy].

Pro výpočet dávky v bodě od monoenergetického svazku fotonů (za předpokladu elektronové rovnováhy) platí.

$$D = \int \Psi(E) \frac{\mu_{en}(E)}{\rho} dE \quad (1.12),$$

kde Ψ je fluence energie fotonů a μ_{en} je lineární součinitel absorpce energie (12).

Velikost dávky závisí na **intenzitě záření** v ozařovaném místě (je přímo úměrná **fluenci**

záření), druhu a **energii** kvant ionizujícího záření a na vlastnostech interakce a **absorpce tohoto** záření v dané látce.

Dávka D obdržená v daném místě ozařované látky za jednotku času t je dávkový příkon \dot{D} , který je dán vztahem:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (1.14).$$

Jednotkou dávkového příkonu je [Gy.s⁻¹].

Přenos energie z nepřímo ionizujícího záření na přímo ionizující vyjadřuje kerma, která charakterizuje energii předanou nabitým částicím v látce především při první srážce (12).

- Kerma (z angl. *Kinetic Energy Released in Matter*) K je rovna podílu součtu počátečních kinetických energií E_k všech nabitých částic, uvolněných nenabitými částicemi v elementu látky, a hmotnosti d_m tohoto elementu (12):

$$K = \frac{dE_k}{dm} \quad (1.15).$$

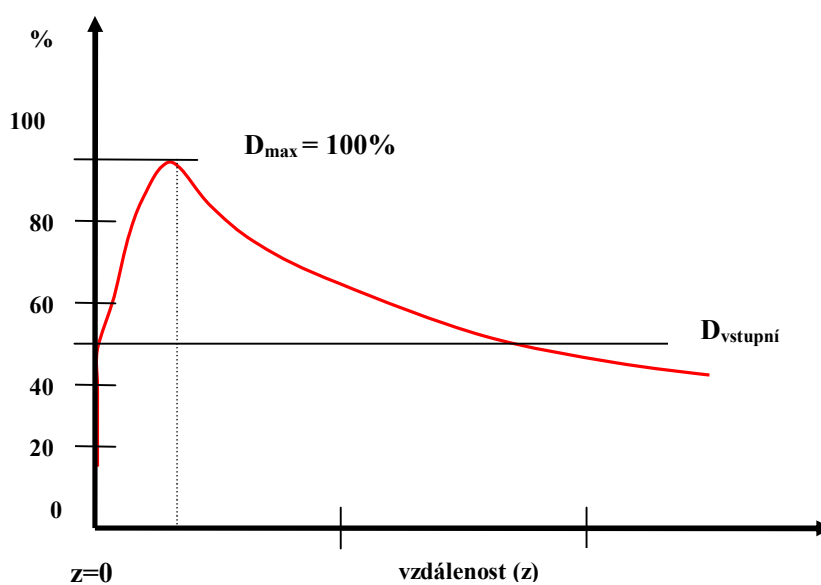
Jednotkou kermy je Gray [Gy].

U kermy je třeba specifikovat k jaké látce se vztahuje (např. kerma ve vzduchu či kerma v tkáni). Za podmínky rovnovážného stavu nepřímého ionizujícího záření, se kerma rovná dávce. Pouze v nerovnovážných procesech, v blízkosti povrchu látky či při vysokých energiích, kdy může část záření unikat, se kerma dávce nerovná (12).

2.3.2 Distribuce hloubkové dávky fotonového záření

Na obr. 5 je křivka hloubkové dávky fotonového záření, měřená ve vodě v rovině centrálního paprsku svazku záření. Měření se provádí ve vodním fantomu za referenčních podmínek.

Obr. č. 5.: Spádová křivka hloubkové dávky fotonového záření ve vodě na centrálním paprsku svazku. Oblast mezi $z = 0$ a $z = z_{max}$ je oblastí tzv. build-up efektu (zóna narůstání elektronové rovnováhy, kde maximum ionizací je v hloubce doletu sekundárních elektronů).(12)

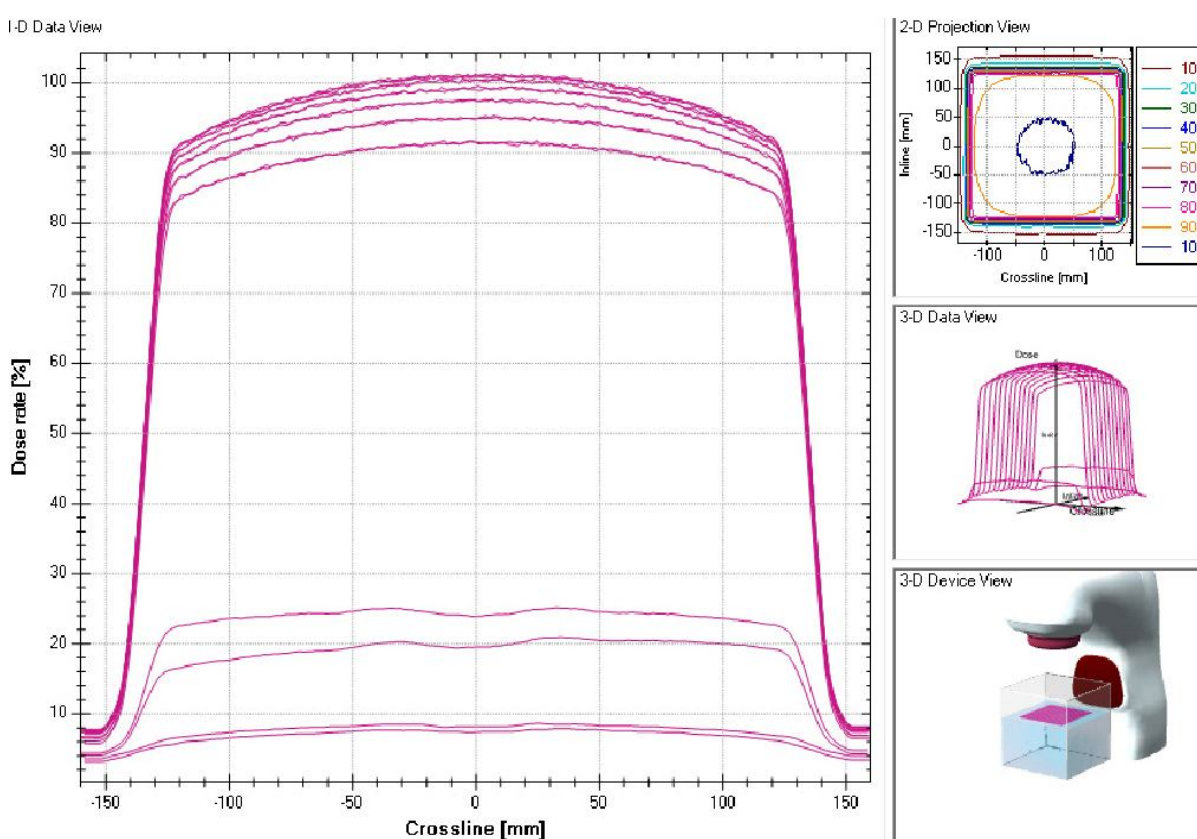


2.3.3 Dávkové profily fotonového záření

Informaci o distribuci dávky mimo osu centrálního paprsku nám podávají dávkové profily. Dávkové profily tvoří hodnoty dávek naměřených v určité hloubce fantomu v rovině kolmé na centrální paprsek svazku záření.

Přes dávkové profily tak lze získat informaci o distribuci dávky v ozařovaném objemu nejen v 1-D projekci, ale i v 2 a 3-D projekci.

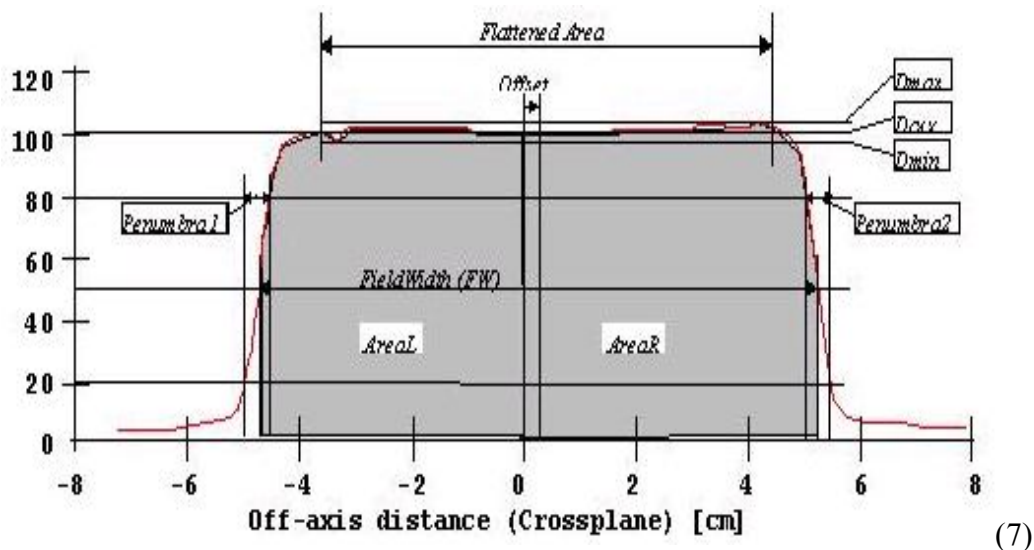
Obr. č. 6.: Dávkové profily v 1-D projekci, 2-D a 3-D projekci.(7)



Profily dávek se měří v definovaných hloubkách pro různě veliká pole. Typická velikost pole je $10 \times 10 \text{ cm}^2$ a $30 \times 30 \text{ cm}^2$. Měří se na hlavních osách pole a na jeho diagonálách a měření se provádí pro všechny energie ozařovače.

Z dávkových profilů lze stanovit homogenitu, symetrii a polostín radiačního pole Obr. č. 7. ukazuje parametry dávkového profilu, které jsou pro toto hodnocení důležité.

Obr. č. 7.: Parametry dávkových profilů fotonového záření. D_{max} je charakterizována jako maximální dávka kdekoli v radiačním poli; D_{min} je minimální dávka uvnitř homogenizované oblasti definované jako 80% šířky radiačního pole. Podrobné vysvětlení parametrů v kapitole 5.(7)



2.4 Polovodičové detektory

2.4.1 Princip polovodičových detektorů

Krystaly polovodičů (např. křemík, germanium) jsou ve svém základním stavu elektricky nevodivé. K indukci jejich vodivosti však stačí i poměrně malá energie.

Elektrony při získání dostatečně velkého kvanta energie mohou opustit krystalovou mřížku. Přesunou se z valenční sféry, přes tzv. zakázaný pás, do energeticky vyšší sféry vodivostní. Na jejich místě se vytvoří kladné díry. Vzniklé nosiče náboje - elektrony, díry - pak mohou vést elektrický proud.

Na zlepšení efektu vodivosti se krystaly polovodičů dotují příměsími prvků, které mohou být buď typu donor, nebo akceptor. Donorová příměs přináší do polovodiče elektrony. Polovodič obohacený elektrony se označuje jako „typ n“. Akceptorové příměsi elektrony z mřížky „odebírají“ - polovodič se označuje jako „typ p“. U polovodičů typu-n se vodivost uplatňuje přes elektrony, elektrony jsou zde majoritními nosiči, u p-typu naopak přes kladné díry, elektrony jsou v tomto případě minoritními nosiči.

Signál polovodičového detektoru vzniká procesy v oblasti přechodu mezi polovodiči donorového a akceptorového typu. Po nadotování donorové i akceptorové oblasti krystalu dochází k samovolné difúzi nosičů náboje a na p-n přechodu se vytváří tzv. „depleční“ vrstva ochuzená o nosiče náboje. Nad touto vrstvou se vytvoří malý potenciálový rozdíl (přibližně 0,7 V pro křemíkové diody). Po ozáření diody se v depleční vrstvě tvoří páry elektron-díra, které se ve vytvořeném elektrickém poli podle svého náboje pohybují buď k p či n straně diody. Po propojení konců diody protéká obvodem proud, který je úměrný počtu vytvořených párů elektron-díra a tedy i dávce (12).

2.4.2 Polovodičové detektory v radioterapii

Polovodičové detektory, tím že využívají přímo ionizačních účinků záření, jsou určitým ekvivalentem ionizační komory. Citlivým médiem zde ovšem místo plynu je vhodný polovodičový materiál.

Z elektronického hlediska představuje polovodičový detektor v podstatě diodu zapojenou v elektrickém obvodu s vysokým napětím přes velký ohmický odpor v závěrném (nevodivém) směru, takže v klidovém stavu obvodem neprotéká elektrický proud (12).

Polovodičové diody jsou v radioterapii široce využívány (především v in vivo dozimetrii). Vhodné jsou především křemíkové polovodičové detektory p-Si typu, neboť jsou méně ovlivňovány radiačním poškozením (5). Jsou to ovšem relativní dozimetry ale nemohou být používány pro kalibraci svazku (8).

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA

3.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je provedení měření fotonových svazků lineárního urychlovače liniovým polovodičovým detektorem v automatickém vodním fantomu za referenčních podmínek a jejich porovnání s výsledky získanými měření pomocí ionizační komory za stejných referenčních podmínek.

Dalším z cílů práce je posouzení možnosti zařazení této metody do zkoušek provozní stálosti lineárního urychlovače pro pracoviště RTOK FNKV Praha 10.

3.2 Hypotéza

Měření dávkových profilů fotonových svazků lineárním polovodičovým detektorem může výrazně urychlit proces náběru potřebných dat.

Hodnoty naměřené detektorem by měly splňovat požadavek, že jejich odchylka nebude vyšší než 2% ve srovnání s hodnotami naměřenými ionizační komorou.

4 ZDROJE, METODY, PŘÍSTROJE

4.1 Zdroje a materiály

Materiálem pro získání potřebných informací byla odborná literatura, věnující se dané problematice, dokumenty publikované SÚJB a vybraná dokumentace fyzikálního oddělení RTOK FNKV Praha 10.

Zdrojem dat byl soubor vlastních měření provedených na pracovišti lineárního urychlovače RTOK FNKV Praha 10 a data z Přejímací zkoušky dlouhodobé stability lineárního urychlovače CLINAC DHX číslo 54/2010 z 30.8. 2010.

4.2 Seznam použitých přístrojů

Přehled a stručná charakteristika přístrojů použitých při měření dávkových profilů (obr. č. 8 – 12):

*Obr. č. 8.: Lineární urychlovač
CLINAC DHX High Performance*

Firma: Varian Medical System

Rok výroby: 2009

Výrobní č. 4462

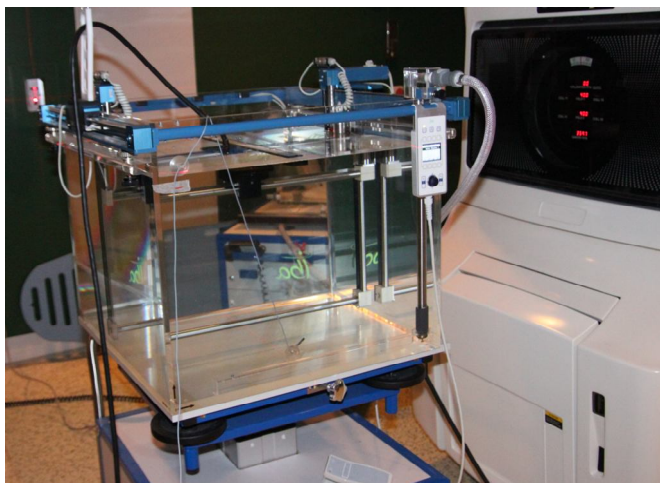


*Obr. č. 9.: Vodní fantom: Blue
Phantom*

Firma: IBA Dosimetry

Rok výroby: 2009

Výrobní č. 7187

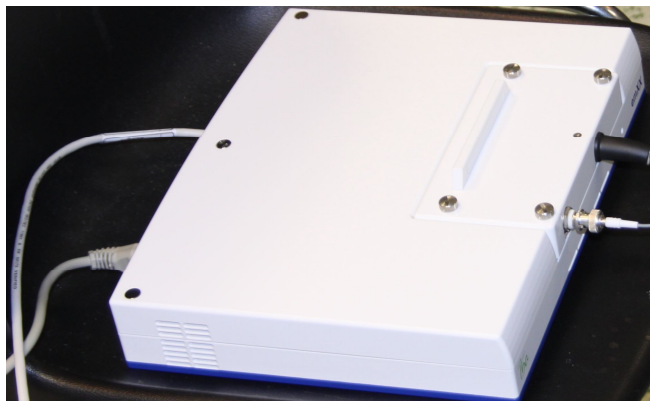


Obr. č. 10.: Elektrometr: CCU

Firma: IBA Dosimetry

Rok výroby: 2009

Výrobní č. 13707



*Obr. č. 11.: Ionizační komora FC
65-G typ Farmer*

Firma: IBA Dosimetry

Rok výroby 2009

Výrobní č. 1781

Datum Ověření komory: 18. 8. 2009

Ověřovací list OE-012-09 v K111

(ověřovací středisko)



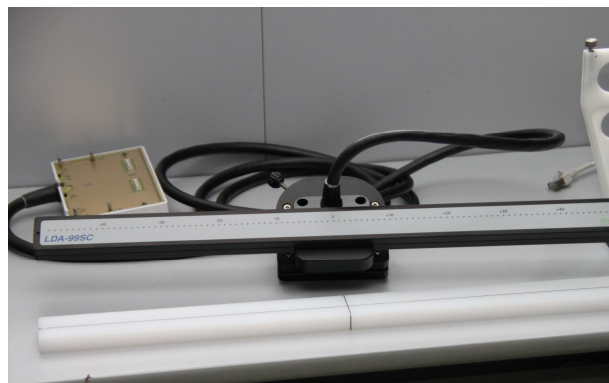
*Obr. č. 12.: Lineární polovodičový
detektor (LDA-99SC) firmy IBA*

*Je složen z 99 detektorů p-
polovodičového typu v jedné linii ve
vzdálenosti 5mm od sebe.*

Firma: IBA Dosimetry

Rok výroby: 2009

Výrobní č. 1046-11158



Softwar: **OmniPro-Accept (V 7.1)**

Firma: IBA Dosimetry

Rok výroby: 2009

Výrobní č. 58*****905 (licenční klíč)

4.3 Metody

Všechna měření byla provedena na lineárním urychlovači na pracovišti Radioterapeutické a onkologické kliniky Fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze 10.

Měření:

■ Dávkových profilů v referenčních hloubkách

Dávkové profily byly měřeny liniovým polovodičovým detektorem:

- pro fotonové svazky o energii 6 a 18 MeV.
- ve vodním fantomu v hloubce maxima pro každou energii (X6 MeV – 15 mm, X18 MeV – 32 mm) a dále v hloubce 50, 100, 200 a 300 mm.
- profily byly měřeny na hlavních osách čtvercových polí o velikosti: 4x4, 5x5, 6x6, 8x8, 10x10, 12x12, 15x15, 20x20, 25x25, 30x30, 35x35 a 40x40 cm².
- měření pro každou hloubku a každé pole bylo provedeno 10x v rámci měsíčních zkoušek provozní stálosti.

■ Dávkových profilů pro pole s klínovými filtry

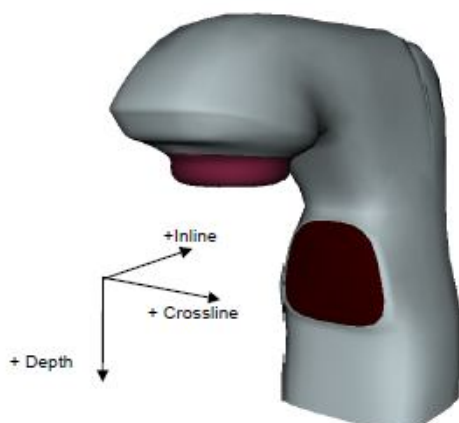
Dále byly měřeny dávkové profily pro pole, u kterých byly použity klínové filtry. Dávkové profily takto modifikovaných fotonových svazků (6 a 18MeV) byly opět změřeny pro všechny velikosti polí a pro všechny uvedené hloubky tak, jak je uvedeno v předešlém odstavci.

K modifikaci svazků byly použity klíny statické i dynamické (viz kapitola 5):

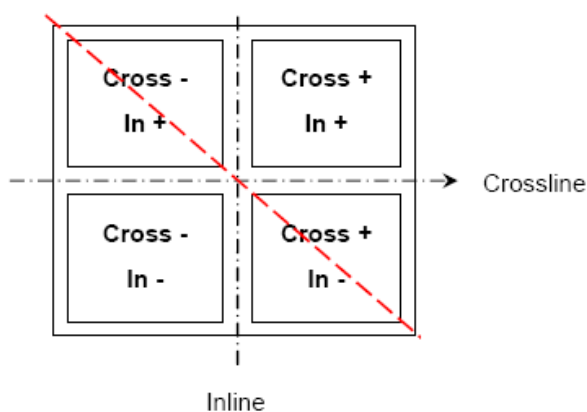
- statické – klín 15°, 30°, 45° a 60°.
- dynamické - klín 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 45° a 60°
- měření pro každý klín, každou hloubku a každé pole bylo provedeno 10x v rámci měsíčních zkoušek provozní stálosti.

Naměřená data dávkových profilů byla zpracována v *SW OmniPro-Accept*, jehož souřadnicový systém vychází z IEC-61217 standardu. Měření se provádí ve dvou směrech, v ose *x* (crossline), ose *y* (inline) a v různých hloubkách v ose *z* (depth), automatickým posunem detektoru ve vodním fantomu.

Obr. č. 13.: Souřadnicový systém IEC-61217 standardu.



Obr. č. 14.: Měření v diagonálních směrech "-- / ++" a "-+ / +-".



(7)

Hodnocení měření:

■ Dávkových profilů v referenčních hloubkách

Zpracováním dávkových profilů v *SW OmniPro-Accept* byly získány hodnoty parametrů radiačního pole - homogenity, symetrie, polostínu a šířky radiačního pole (podrobný popis viz kapitola 5).

- hodnoty parametrů radiačního pole byly stanoveny jako průměrná hodnota z provedených 10 měření.

Hodnoty polí 5x5, 10x10 a 30x30 cm² v hloubce 50mm měřené liniovým polovodičovým detektorem byly porovnány a hodnoceny :

- s hodnotami naměřenými ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV – splnění požadavku maximálně 2% odchylky.

a hodnoceny zda splňují:

- toleranční limity parametrů radiačního pole uváděných v doporučeních vydaných SÚJB (viz kapitola 5).

■ Dávkových profilů pro pole s klínovými filtry

Zpracováním dávkových profilů fotonových svazků (6 a 18 MeV) modifikovaných klínovými filtry v *SW OmniPro-Accept*, byly získány hodnoty jednotlivých klínových faktorů (viz kapitola 5).

- konečné hodnoty klínových faktorů pro jednotlivé klínové filtry (dynamické, statické), pole i hloubky byly stanoveny jako průměrná hodnota z provedených 10 měření.

Klínové faktory byly hodnoceny pouze u polí 10x10cm² měřených v hloubce maxima (X6 MeV-15mm, X18 MeV-35mm), u kterých byly použity klíny statické (15°, 30°, 45° a 60°) a dynamické (15°, 30°, 45° a 60°).

Hodnoty klínových faktorů statických filtrů byly porovnány:

- s hodnotami naměřenými ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV – splnění požadavku maximální 2% odchylky.

Hodnoty klínových faktorů dynamických klínů byly porovnány:

- s hodnotami prvotního měření s liniovým polovodičovým detektorem v rámci zkoušek provozní stálosti. Důvodem je absence měření klínových faktorů dynamických klínů v PZ.

Oba sety měření s klínovými filtry (statické + dynamické) byly hodnoceny, zda splňují

- toleranční limity stability sledovaného parametru, uváděných v doporučeních vydaných SÚJB.

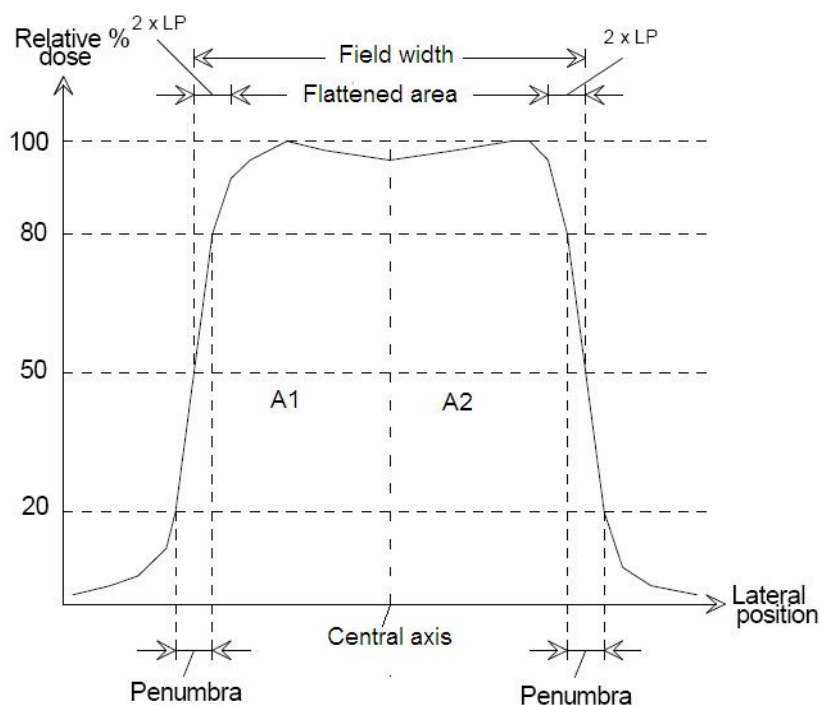
5 PARAMETRY RADIAČNÍHO POLE, KLÍNOVÉ FAKTORY

5.1 Parametry radiačního pole

V této kapitole jsou vysvětleny a popsány jednotlivé parametry dávkových profilů charakterizující radiační pole.

Radiační pole (ozařovací pole, pole záření) je průřez svazku záření vymezeného geometrií kolimačního systému v rovině kolmé k ose svazku záření.

Obr. č. 15.: Parametry dávkových profilů fotonového záření.



(7)

Velikost radiačního pole (dozimetrická definice velikosti pole)

Rozměry plochy vymezené 50% izodozní křivkou v rovině kolmé k ose svazku záření ve standardní ozařovací vzdálenosti. (Hodnota 100% dávky je na ose svazku záření).

(4)

tolerance:

pro pole menší nebo rovno 20x20 cm²: 2 mm

pro pole větší než 20x20 cm²: 3 mm

frekvence kontrol:

pro základní polohu: měsíčně

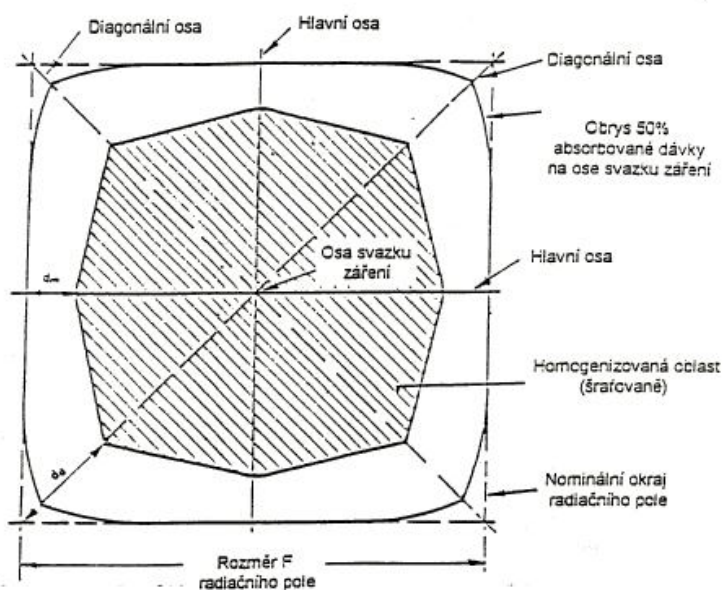
pro hlavní polohy: 2x ročně

Homogenizovaná oblast radiačního pole

Plocha vymezená spojnicemi bodů ležících na hlavních osách a diagonálách čtvercového radiačního pole ve stanovené vzdálenosti d_m resp. d_d od okraje radiačního pole Tyto vzdálenosti jsou definovány ve třech kategoriích:

1. Pro pole menší nebo rovny než 10x10 je d_m resp. d_d rovna 1 cm resp. 2 cm.
2. Pro pole v intervalu 10x10xdo 30x30x je d_m resp. d_d rovna 0,1 násobku velikosti pole resp.0,2 násobku velikosti pole.
3. Pro pole větší ne 30 x30 je d_m resp. d_d rovna 3 cm resp. 6 cm (4)

Obr. č. 16.: Homogenizovaná oblast (vyznačená šrafovane) (4)



Homogenita radiačního pole

Homogenita se stanovuje v homogenizované oblasti radiačního pole. a je definována jako poměr maximální absorbované dávky stanovené v kterémkoliv místě radiačního pole (zprůměrované z plochy ne větší než 1 cm^2) k minimální absorbované

dávce v homogenizované oblasti tohoto radiačního pole (zprůměrované z plochy ne větší než 1 cm^2), obojí v referenční hloubce. (4)

tolerance: pro pole menší nebo rovno $30 \times 30 \text{ cm}^2$: 1.06 pro pole větší než $30 \times 30 \text{ cm}^2$: 1.10 frekvence kontrol: měsíčně

Symetrie radiačního pole

Stanovuje se z dávkových profilů v homogenizované oblasti radiačního pole. Symetrie je definována jako maximální poměr absorbovaných dávek v bodech ležících symetricky vzhledem k ose svazku záření v referenční hloubce. (4)

tolerance: 1.03 frekvence kontrol: měsíčně

Polostín radiačního pole

Velikost polostínu je definována jako vzdálenost mezi 80% a 20% dávkou na hlavních osách radiačního pole. Hodnoty 80% a 20% dávky jsou stanoveny vzhledem k dávce na ose svazku záření. Polostín se stanoví pro pole 5×5 , 10×10 a $30 \times 30 \text{ cm}^2$ (nebo největší rozměr čtvercového pole) a porovná se s referenčními hodnotami polostínu stanovenými při přijímací zkoušce. Tolerance pro tuto odchylku je 2 mm. Velikost polostínu pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ by neměla být větší než 8 mm. (4)

tolerance: 2 mm frekvence kontrol: měsíčně

5.2 Klínové faktory

V kapitole 5.2 je stručně vysvětlen princip klínových filtrů a klínových faktorů.

Klínové filtry

Filtry jsou užívány k tvarování profilu svazku (modelují sklon izodóz).

Umístěním klínu do ozařovaného pole dojde ke snížení intenzity svazku a tím také ke změně průběhu izodóz. Úhel klínu je definovaný jako úhel sklonu izodózní křivky ve stanovené hloubce vody (obvykle 10 cm) k centrální ose paprsku při kolmém dopadu paprsku.

Druhy klínových filtrů:

- statické – jsou používány s úhly 15st, 30st, 45st, a 60st.
- dynamické - k deformaci izodóz dochází plynulým automatickým posunem jedné z proximálních clon napříč svazkem. Úhel klínu je možné zvolit u daného urychlovače 10st, 15st, 20st, 25st, 30st, 45st, a 60st.

Obr. č. 17.: Statické klínové filtry.



Klínový faktor

Měření se provádí pro všechny používané klínové filtry v hloubce referenční roviny na ose svazku záření. Dávkový příkon se měří komorou o objemu $< 0.3 \text{ cm}^3$, přičemž osa cylindrické komory je kolmá ke gradientu klínového filtru. Měření se provádí pro dvě polohy klínového filtru dosažené rotací kolimačního systému o 180° , přičemž naměřené hodnoty se nesmí lišit o více než 2%.

Pro každý klínový filtr se stanoví klínový faktor (wedge factor - WF), který je dán poměrem:

$$WF = D_{1010} W / D_{1010}$$

kde $D_{1010 W}$ je průměrná hodnota dávkového příkonu pro pole 10cm x 10cm s klínovým filtrem ve dvou polohách kolimátoru a D_{1010} je dávkový příkon pro pole 10cm x 10cm bez klínového filtru. (4)

tolerance : 2%

frekvence kontrol : 2x ročně

6 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Pro měření dávkových profilů lineárního urychlovače - CLINAC DHX High Performance (firmy: Varian Medical System) byly použity přístroje: vodní fantom - Blue Phantom, Elektrometr: CCU, Ionizační komora FC 65-G typ Farmer, Lineární polovodičový detektor (LDA-99SC) a Softwar: OmniPro-Accept (V 7.1) (firmy: IBA Dosimetry).

Z těchto naměřených dávkových profilů byly získány parametry radiačního pole: homogenita, symetrie, velikost a polostín radiačního pole a dále také hodnoty jednotlivých klínových faktorů.

Měření liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) bylo provedeno pro každé pole a každou hloubku 10x v rámci měsíčních zkoušek provozní stálosti.

V této kapitole jsou prezentovány pouze základní dávkové profily naměřené ionizační komorou v rámci přijímací zkoušky lineárního urychlovače a liniovým polovodičovým detektorem v rámci této diplomové práce. Jedná se o profily fotonových svazků X6 MeV a X18 MeV pro pole 5x5, 10x10 a 30x30 cm² měřených v hloubce 50mm, které jsou dále hodnoceny.

Liniovým polovodičovým detektorem byly naměřeny profily i dalších velikostí polí: 4x4, 6x6, 8x8, 12x12, 15x15, 20x20, 25x25 a 35x35 a 40x40 cm² v hloubkách 100, 200 a 300 mm, které jsou uvedeny v příloze.

Dále jsou zde prezentovány dávkové profily polí 5x5, 10x10, 30x30 a 40x40 cm² měřených v hloubce maxima (X6MeV-15mm, X18MeV-32mm), u kterých byly použity klíny statické (15°,30°, 45°a 60°) a dynamické (15°,30°, 45°a 60°). Profily statických klínových filtrů byly opět měřeny jak ionizační komorou v rámci přijímací zkoušky, tak i liniovým polovodičovým detektorem v rámci této diplomové práce. Profily dynamických klínů nebyly měřeny v rámci přijímací zkoušky proto byla jako referenční použito první měření.

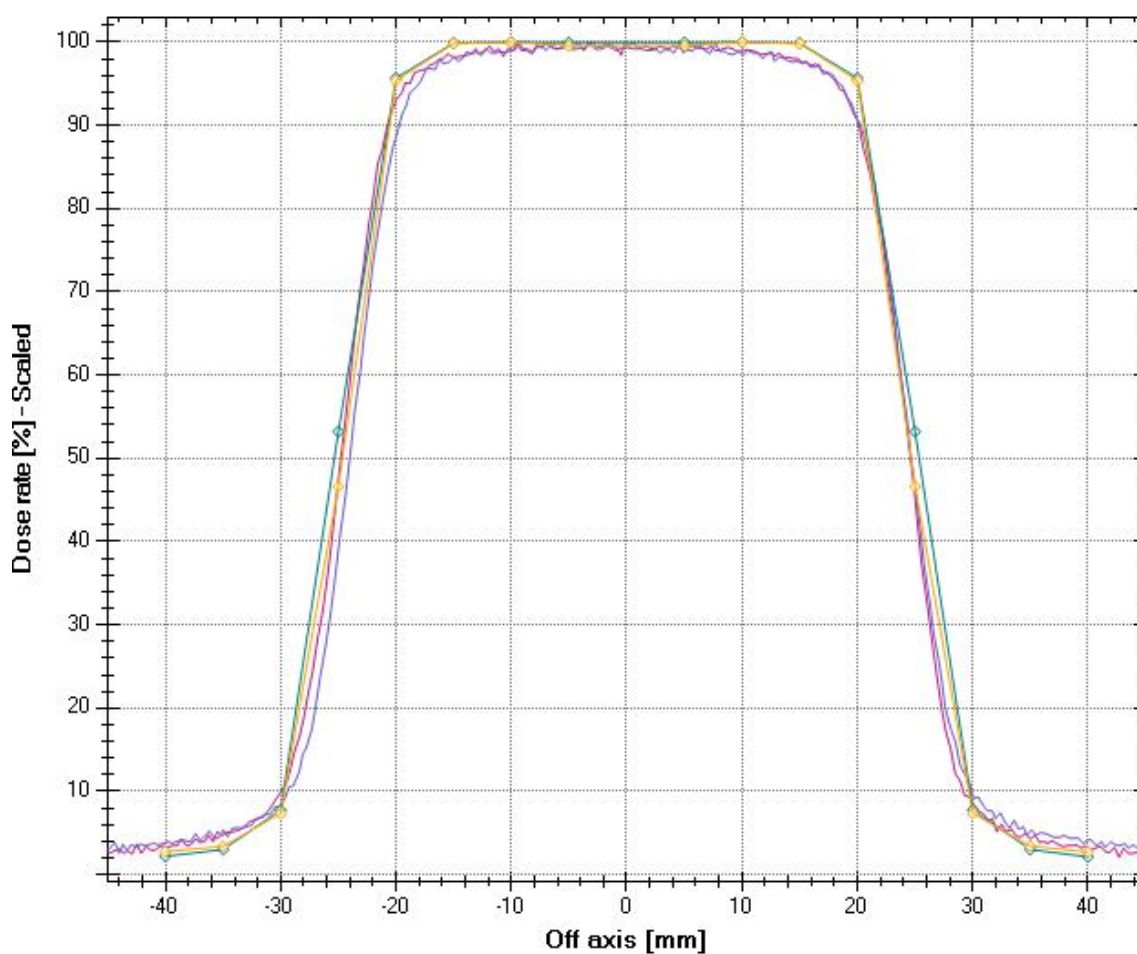
Profily klínových filtrů byly liniovým polovodičovým detektorem změřeny pro uvedené velikosti polí i v dalších hloubkách 100, 200 a 300 mm, které jsou též uvedeny v příloze.





Měření liniovým polovodičovým detektorem bylo provedeno pro každé pole a každou hloubku 10x v rámci měsíčních zkoušek provozní stálosti. Zde jsou prezentovány pouze vybraná měření.

6.1 Naměřené dávkové profily pro energii X6 a X18 MeV

Dávkové profily jsou zpracovány v softwaru OmniPro-Accept (V 7.1) a zde jsou srovnávány dávkové profily naměřené ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole 5x5 cm² ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

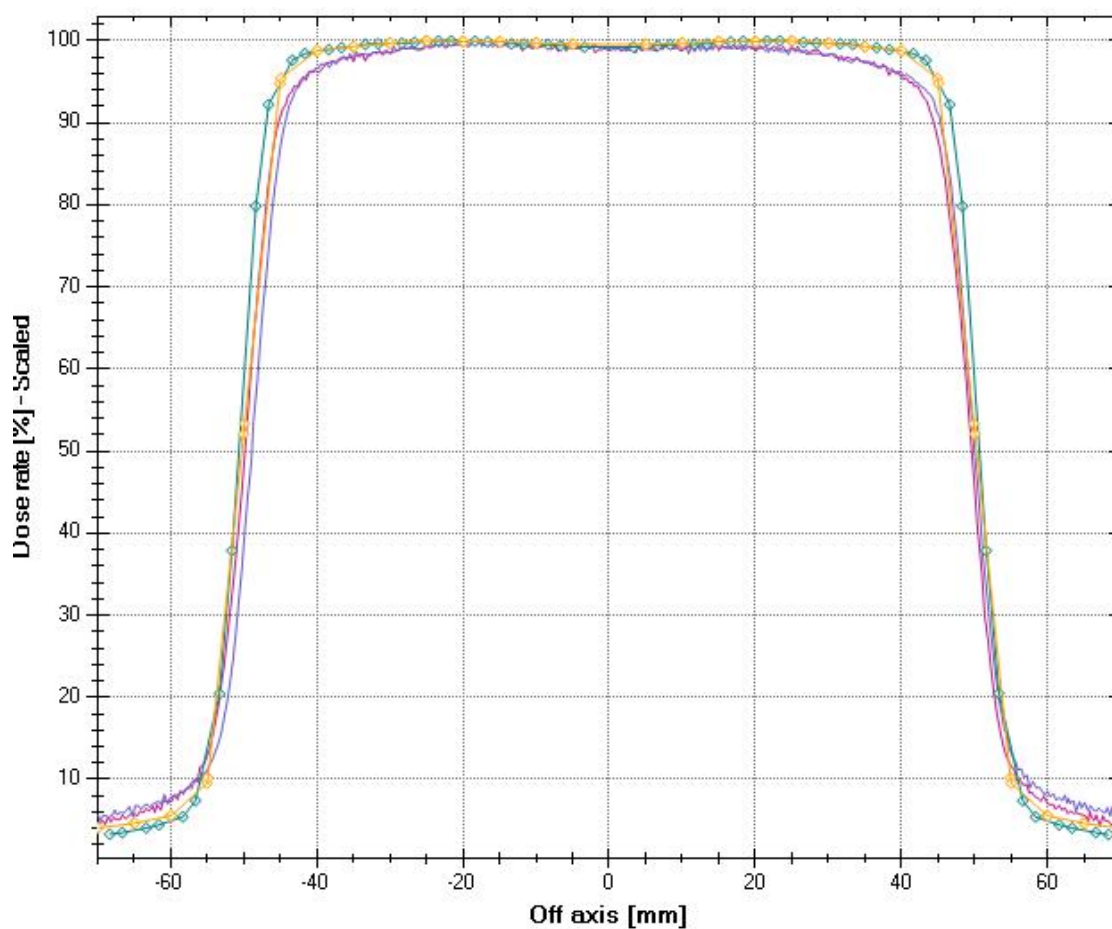
Obr. č. 18.: Dávkové profily pro pole 5x5 cm² pro energii X6MeV.







barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro X6.

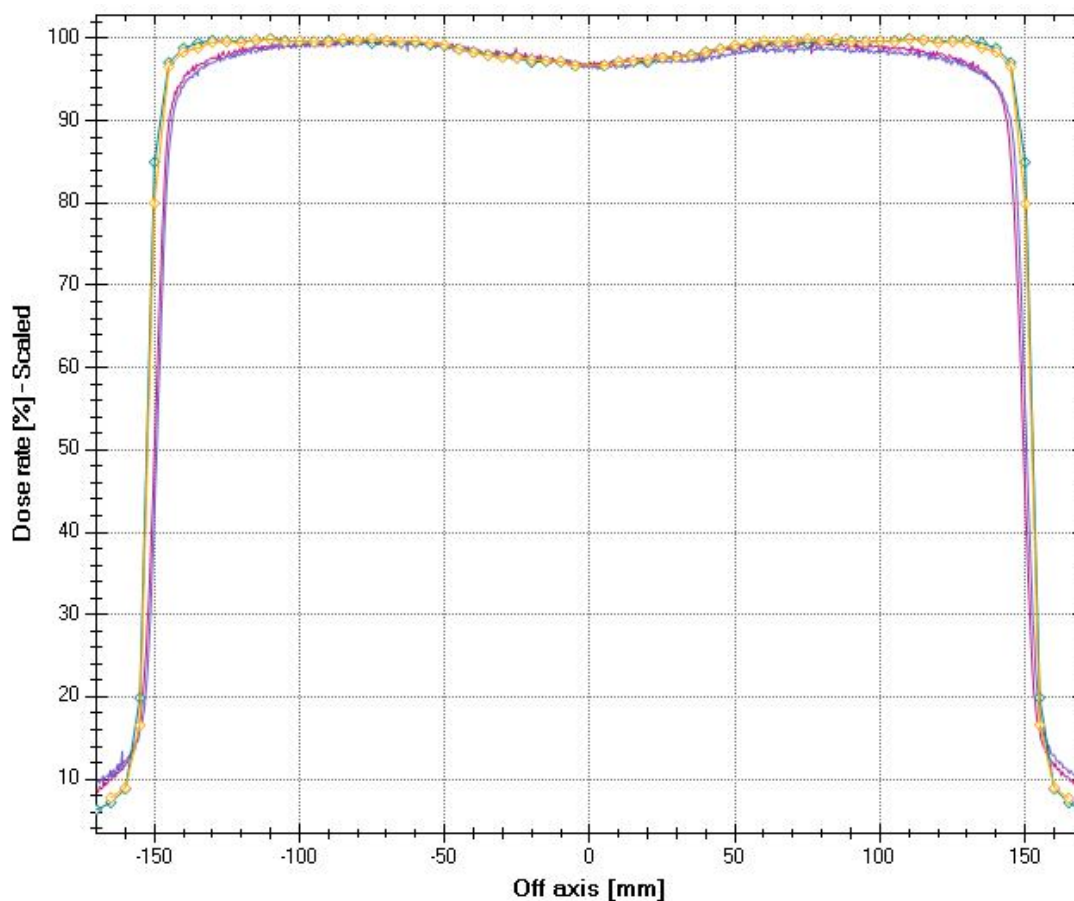
Obr. č. 19.: Dávkové profily pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pro energii X6MeV.







barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro X6.

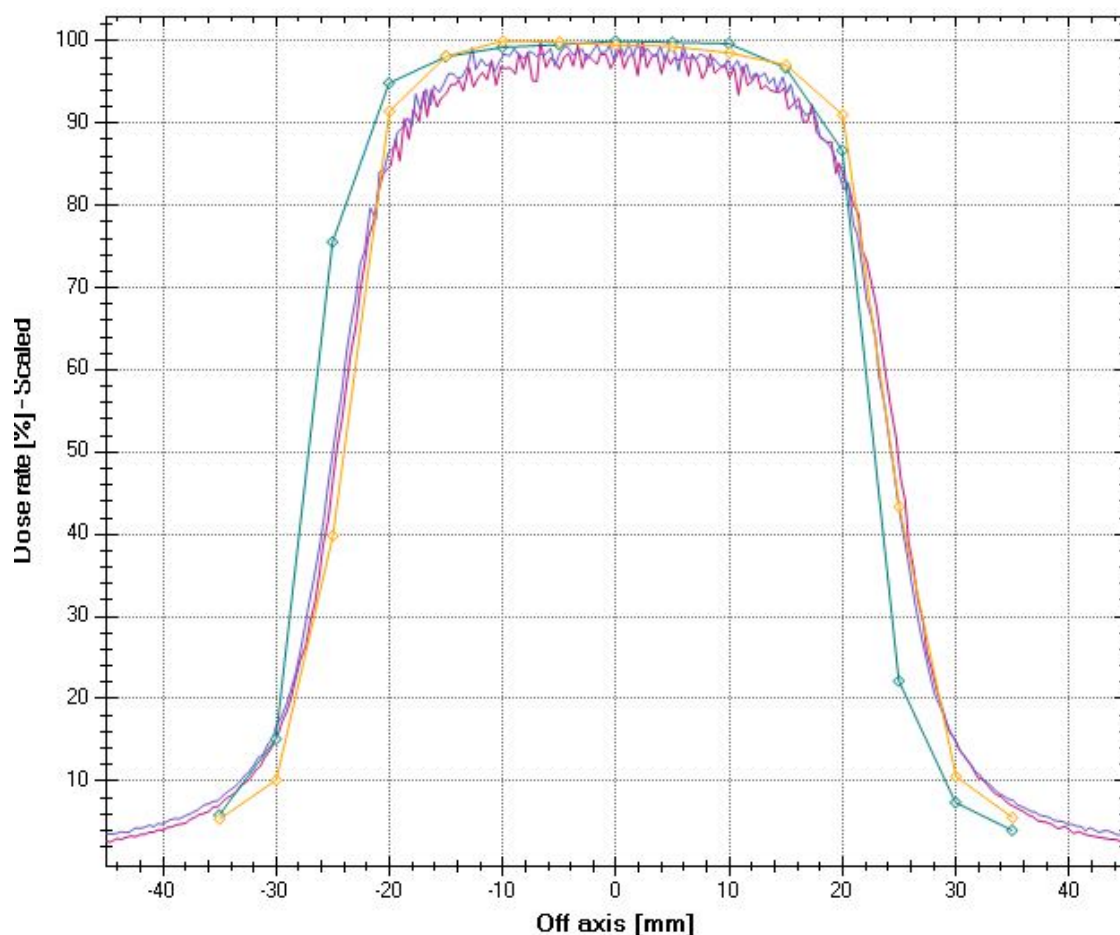
Obr. č. 20.: Dávkové profily pro pole $30 \times 30 \text{ cm}^2$ pro energii X6MeV.



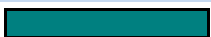



barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro X18.

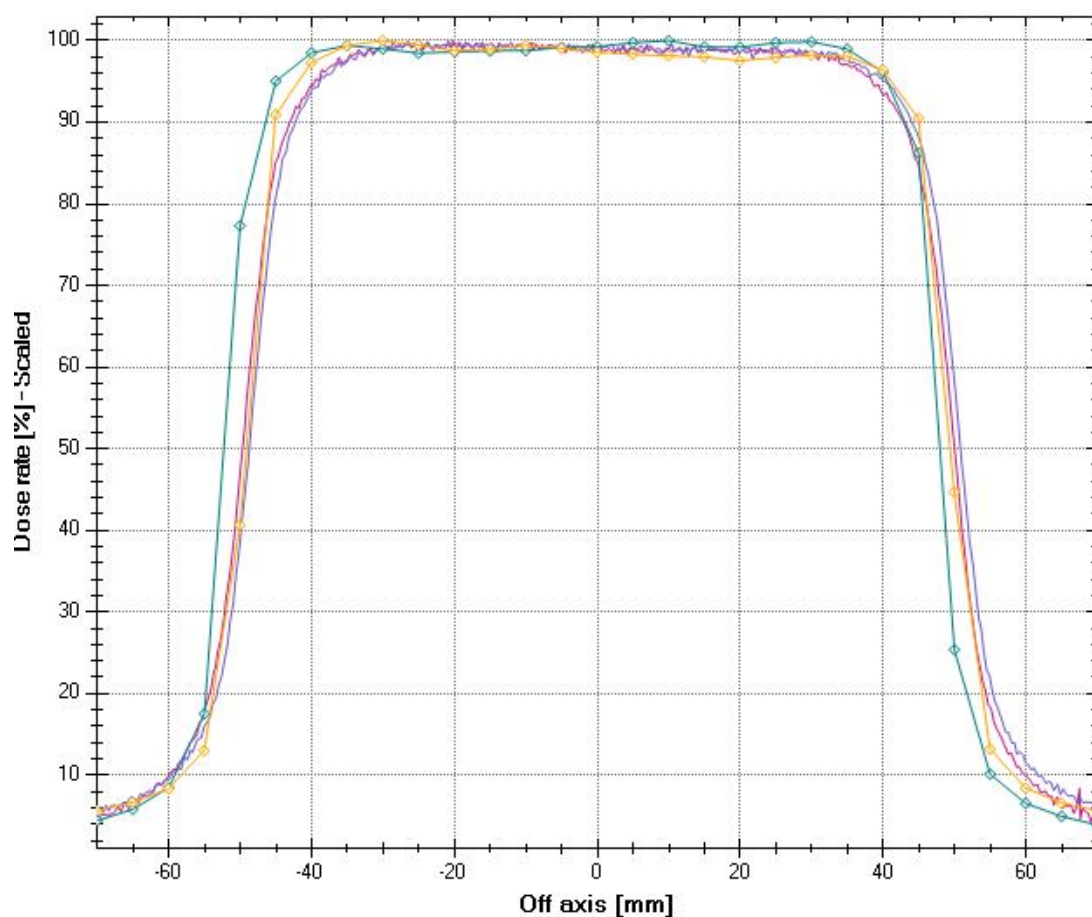
Obr. č. 21.: Dávkové profily pro pole $5 \times 5 \text{ cm}^2$ pro energii X18MeV.







barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro X18.

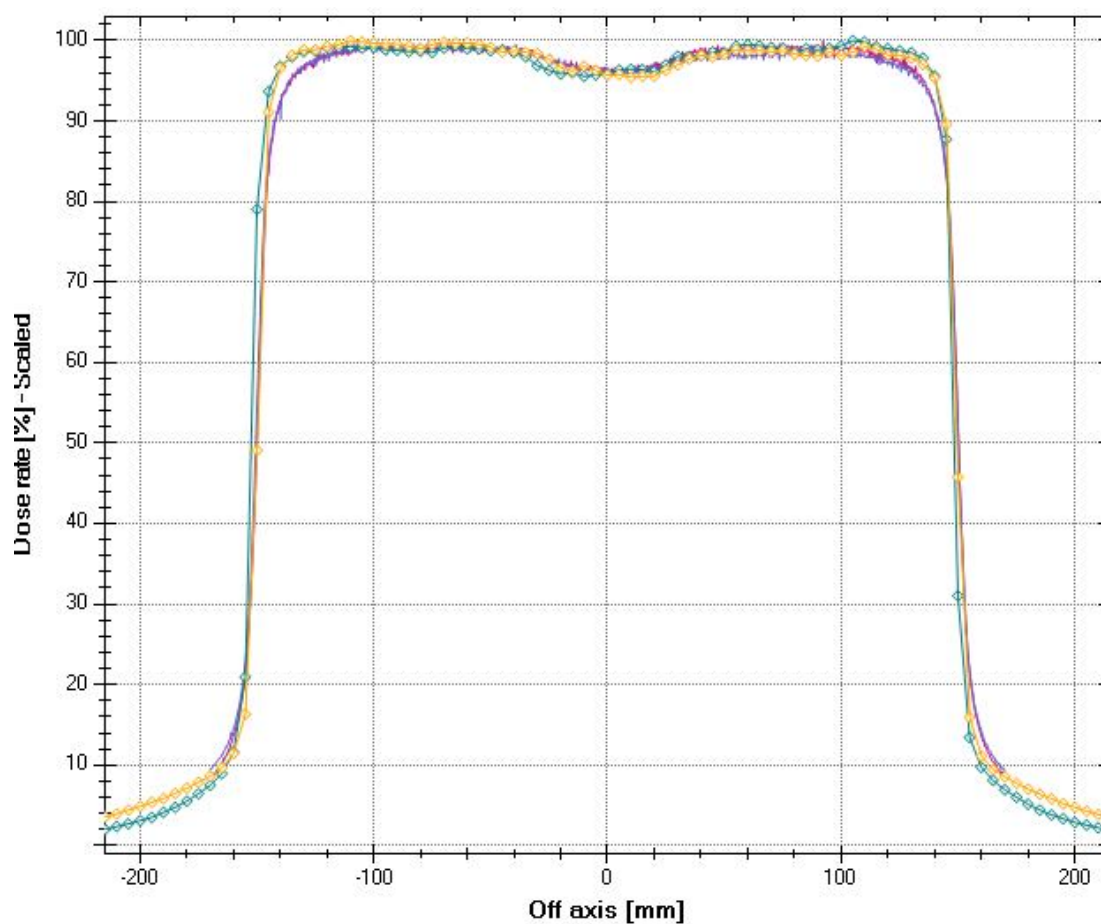
Obr. č. 22.: Dávkové profily pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pro energii X18MeV.



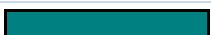



barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) pro pole 30x30 cm² ve směru crossline/inline ve vodním fantomu v hloubce 50 mm pro X18.

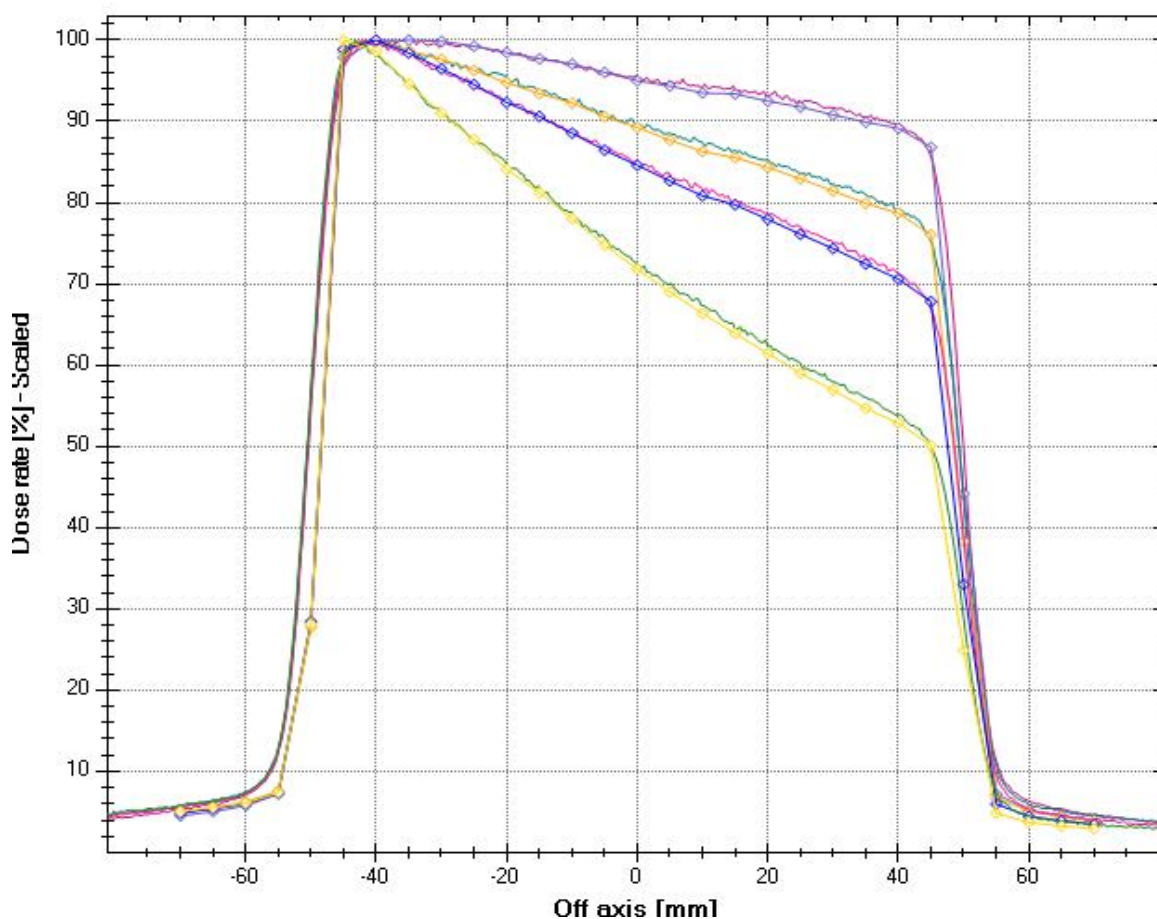
Obr. č. 23.: Dávkové profily pro pole 30x30 cm² pro energii X18MeV.











barva	detektor	směr
	ionizační komora	crossline
	ionizační komora	inline
	LDA	crossline
	LDA	inline

Srovnání dávkových profilů statických klínových filtrů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) ve vodním fantomu v hloubce 15 mm pro energii X6MeV.

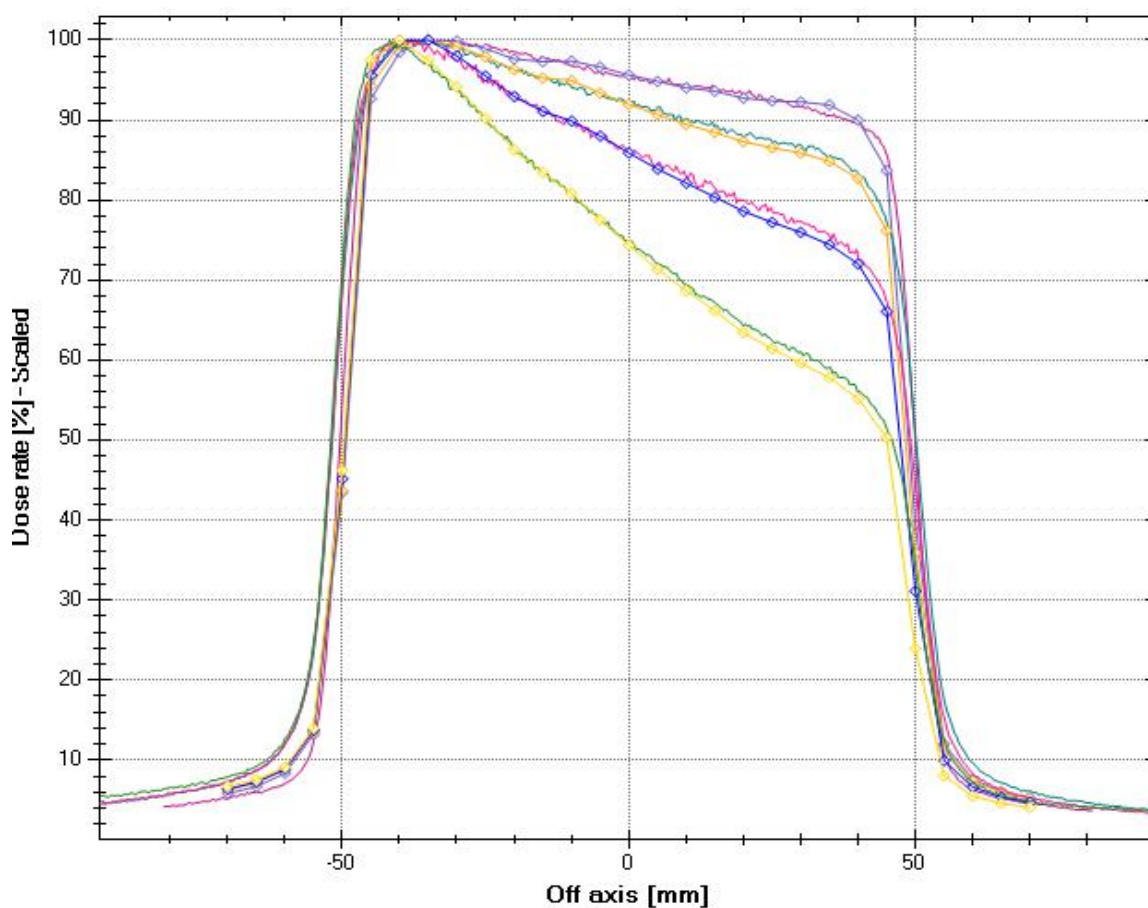
Obr. č. 24.: Dávkové profily statických klínových filtrů pro energii X6MeV.











barva	detektor	směr měření	typ klínového filtru	velikost klínového filtru
	ionizační komora	inline	statický	15°
	LDA	inline	statický	15°
	ionizační komora	inline	statický	30°
	LDA	inline	statický	30°
	ionizační komora	inline	statický	45°
	LDA	inline	statický	45°
	ionizační komora	inline	statický	60°
	LDA	inline	statický	60°

Srovnání dávkových profilů statických klínových filtrů naměřených ionizační komorou a liniovým polovodičovým detektorem (LDA-99SC) ve vodním fantomu v hloubce 32 mm pro X18 MeV.

Obr. č. 25.: Dávkové profily statických klínových filtrů pro energii X18 MeV.



barva	detektor	směr měření	typ klínového filtru	velikost klínového filtru
	ionizační komora	inline	statický	15°
	LDA	inline	statický	15°
	ionizační komora	inline	statický	30°
	LDA	inline	statický	30°
	ionizační komora	inline	statický	45°
	LDA	inline	statický	45°
	ionizační komora	inline	statický	60°
	LDA	inline	statický	60°

6.2 Hodnocení výsledků parametrů radiačního pole pro energii X6 a X18 MeV

Hodnoceny jsou zde hodnoty parametrů radiačního pole - homogenita, symetrie, polostín a šířka radiačního pole pro energii X6 a X18 MeV, které byly získány z dávkových profilů.

- hodnoty parametrů radiačního pole jsou stanoveny jako průměrná hodnota z provedených 10 měření, které byly získány v rámci měsíčních zkoušek provozní stálosti.

Hodnoty parametrů radiačních polí 5x5, 10x10 a 30x30 cm² v hloubce 50mm měřené liniovým polovodičovým detektorem jsou porovnány a hodnoceny:

- s hodnotami naměřenými ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV – splnění požadavku maximálně 2% odchylky. V případě splnění tohoto požadavku vydaného SÚJB, je povoleno ho zařadit mezi měřicí zařízení do systému zkoušek provozní stálosti pracoviště.
- s hodnotami parametrů radiačního pole uváděných v doporučeních vydaných SÚJB.

Homogenita radiačního pole

Výsledné hodnoty homogenity radiačního pole musí splňovat:

1. Toleranční limity pro homogenitu stanovené SÚJB: pro pole menší nebo rovno 30x30 cm² je tolerance 1. 06, pro pole větší než 30x30 cm² je tolerance 1.10.
2. Požadavek maximálně 2% odchylky od měření ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV.

Tabulka č. 1.: Hodnoty homogenity měřené v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	homogenita - ionizační komora	homogenita LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka	splnění tolerance odchylky do 2%
X6	crossline	5x5	1,02	1,03	✓	-0,98%	✓
X6	crossline	10x10	1,04	1,02	✓	1,92%	✓
X6	crossline	30x30	1,04	1,03	✓	0,97%	✓
X6	inline	5x5	1,02	1,03	✓	-0,69%	✓
X6	inline	10x10	1,04	1,03	✓	1,63%	✓
X6	inline	30x30	1,04	1,03	✓	0,87%	✓

Tabulka č. 2.: Homogenita radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	homogenita - ionizační komora	homogenita LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka	splnění tolerance odchylky do 2%
X18	crossline	5x5	1,06	1,04	✓	1,51%	✓
X18	crossline	10x10	1,06	1,04	✓	1,51%	✓
X18	crossline	30x30	1,05	1,04	✓	0,96%	✓
X18	inline	5x5	1,06	1,04	✓	1,51%	✓
X18	inline	10x10	1,06	1,05	✓	1,14%	✓
X18	inline	30x30	1,05	1,06	✓	-0,86%	✓

Hodnocení výsledků hodnot homogenity radiačního pole:

- Hodnoty homogenity naměřené liniovým polovodičovým detektorem jsou:
pro energii X6MeV v rozmezí 1,2-1,4
pro energii X18MeV v rozmezí 1,4-1,6
Hodnoty homogenity naměřené liniovým polovodičovým detektorem splňují toleranční limity stanovené SÚJB (tolerance: do 1,6 resp. 1,10).
- Hodnoty homogenity naměřené ionizační komorou jsou:
pro energii X6MeV v rozmezí 1,2-1,6
pro energii X18MeV v rozmezí 1,5-1,6
- Odchylky hodnot homogenity radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou jsou v rozmezí:
pro energii X6MeV od -0,98% do +1,92%
pro energii X18MeV od -0,86% do +1,51%
Odchylky hodnot homogenity radiačního pole splňují stanovenou toleranci – odchylku do 2%.

Symetrie radiačního pole

Výsledné hodnoty symetrie radiačního pole musí splňovat:

1. Toleranční limity stanovené SÚJB pro symetrii radiačního pole – tolerance hodnot do 1,03.
2. Požadavek maximálně 2% odchylky od měření ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV.

Tabulka č. 3.: Symetrie radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	symetrie ionizační komora	symetrie LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (%)	splnění tolerance odchylky do 2%
X6	crossline	5x5	1,02	1,01	✓	0,59%	✓
X6	crossline	10x10	1,02	1,01	✓	0,59%	✓
X6	crossline	30x30	1,02	1,02	✓	-0,29%	✓
X6	inline	5x5	1,01	1,01	✓	0,39%	✓
X6	inline	10x10	1,01	1,02	✓	-0,79%	✓
X6	inline	30x30	1,02	1,02	✓	-0,29%	✓

Tabulka č. 4.: Symetrie radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	symetrie ionizační komora	symetrie LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (%)	splnění tolerance odchylky do 2%
X18	crossline	5x5	1,03	1,01	✓	1,85%	✓
X18	crossline	10x10	1,02	1,02	✓	0,29%	✓
X18	crossline	30x30	1,02	1,02	✓	-0,20%	✓
X18	inline	5x5	1,03	1,01	✓	1,55%	✓
X18	inline	10x10	1,02	1,02	✓	-0,59%	✓
X18	inline	30x30	1,02	1,02	✓	0,29%	✓

Hodnocení výsledků hodnot symetrie radiačního pole:

- Hodnoty symetrie naměřené liniovým polovodičovým detektorem jsou:
pro energii X6MeV v rozmezí 1,1-1,2
pro energii X18MeV v rozmezí 1,1-1,2
Hodnoty symetrie splňují toleranční limity stanovené SÚJB pro symetrii radiačního pole – toleranci do 1,03.
- Hodnoty symetrie naměřené ionizační komorou jsou:
pro energii X6MeV v rozmezí 1,1-1,2
pro energii X18MeV v rozmezí 1,1-1,3
Hodnoty symetrie splňují toleranční limity stanovené SÚJB pro symetrii radiačního pole – toleranci do 1,03.
- Odchylky hodnot symetrie radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou jsou v rozmezí:

pro energii X6MeV od -1,39% do +0,59%

pro energii X18MeV od -0,59% do +1.85%

Odchyly hodnot symetrie radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou splňují stanovenou toleranci – odchylku do 2%.

Velikost radiačního pole

Velikost radiačního pole musí splňovat tyto požadavky:

1. Toleranční limity stanovené SÚJB pro velikost radiačního pole – tolerance: pro pole menší nebo rovno 20x20 cm²: 2 mm, pro pole větší než 20x20 cm²: 3 mm.
2. Požadavek maximálně 2 mm odchylky od měření ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV.

Tabulka č. 5.: Velikost radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X6

MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	velikost pole (mm) ionizační komora	velikost pole (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB 2-3 mm	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm
X6	crossline	5x5	49,4	49,9	✓	-0,50	✓
X6	crossline	10x10	99,6	101,2	✓	-1,60	✓
X6	crossline	30x30	300,8	302,8	✓	-2,00	✓
X6	inline	5x5	48,7	49	✓	-0,30	✓
X6	inline	10x10	99	100,4	✓	-1,40	✓
X6	inline	30x30	300	300,2	✓	-0,20	✓

Tabulka č. 6.: Velikost radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18

MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	velikost pole (mm) ionizační komora	velikost pole (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB 2-3 mm	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm
X18	crossline	5x5	49,7	50,4	✓	-0,70	✓
X18	crossline	10x10	99,8	101,3	✓	-1,50	✓
X18	crossline	30x30	300,6	301,2	✓	-0,60	✓
X18	inline	5x5	49,4	49,8	✓	-0,40	✓
X18	inline	10x10	99,6	100,8	✓	-1,20	✓
X18	inline	30x30	301,1	302,7	✓	-1,60	✓

Hodnocení výsledků velikosti radiačního pole:

- Odchytky hodnot velikosti radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou jsou hodnocených polí 5x5, 10x10, 30x30:
pro energii X6MeV od -2,00 do +0,30 mm
pro energii X18MeV od -1,60 do +1,10 mm
Odchytky hodnot velikosti radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou splňují požadavek – odchylku do 2 mm.

Polostín radiačního pole

Polostín radiačního pole musí splňovat tyto požadavky:

1. Polostín se porovnává s referenčními hodnotami polostínu stanovenými při přijímací zkoušce. Tolerance stanovená SÚJB pro tuto odchylku je 2 mm. Velikost polostínu pro pole 10x10 cm² by neměla být větší než 8 mm.
2. Požadavek maximálně 2 mm odchylky od měření ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV.

Hodnocení výsledků hodnot polostínu radiačního pole:

- Velikost polostínu naměřeného LDA-99 SC:
pro energii X6MeV pro pole menší než 10x10 cm² je do 6,7 mm
pro energii X6MeV pro pole větší než 10x10 cm² je do 9,5 mm
pro energii X18MeV pro pole větší než 10x10 cm² je do 6,6 mm
pro energii X18MeV pro pole větší než 10x10 cm² je do 9,6 mm
Tolerance pro všechny velikosti polí a obě energie byla splněna.
- Odchytky hodnot polostínu radiačního pole naměřené LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou:
pro energii X6MeV jsou od -1,40 do +1,50 mm
pro energii X18MeV jsou od -0,30 do +2,00 mm
Odchytky hodnot polostínu radiačního pole splňují stanovenou toleranci – odchylku do 2 mm.

Tabulka č. 7.: Polostín radiačního pole měřený v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	polostín L (mm) ionizační komora	polostín L (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm	polostín R (mm) ionizační komora	polostín R (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm
X6	crossline	5x5	5,7	4,2	✓	1,50	✓	5,7	6,7	✓	-1,00	✓
X6	crossline	10x10	6,3	5,8	✓	0,50	✓	6,3	6,5	✓	-0,20	✓
X6	crossline	30x30	7,1	8,5	✓	-1,40	✓	7,1	8,3	✓	-1,20	✓
X6	inline	5x5	5,7	5,7	✓	0,00	✓	5,8	6,5	✓	-0,70	✓
X6	inline	10x10	6,1	6,6	✓	-0,50	✓	6,1	6,5	✓	-0,40	✓
X6	inline	30x30	6,8	7,6	✓	-0,80	✓	6,9	7,6	✓	-0,70	✓

Tabulka č. 8.: Polostín radiačního pole měřený v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

energie	orientace	velikost pole (cm)	polostín L (mm) ionizační komora	polostín L (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm	polostín R (mm) ionizační komora	polostín R (mm) LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB	odchylka (mm)	splnění tolerance odchylky do 2 mm
X18	crossline	5x5	7,4	5,3	✓	2,10	✓	7,2	6,3	✓	0,90	✓
X18	crossline	10x10	8,2	6,8	✓	1,40	✓	8,3	6,8	✓	1,50	✓
X18	crossline	30x30	9,3	7,3	✓	2,00	✓	9,4	8,2	✓	1,20	✓
X18	inline	5x5	7,2	7,5	✓	-0,30	✓	7,6	7,6	✓	0,00	✓
X18	inline	10x10	8,0	7,7	✓	0,30	✓	8,2	7,6	✓	0,60	✓
X18	inline	30x30	9,4	7,8	✓	1,60	✓	9,4	7,8	✓	1,60	✓

Klínové faktory statických klínových filtrů

Klínové faktory statických klínových filtrů musí splňovat následující požadavky:

1. Klínové filtry se porovnávají s referenčními hodnotami klínových filtrů stanovených při přijímací zkoušce. Tolerance stanovená SÚJB pro tuto odchylku je do 2 %.
2. Požadavek maximálně 2% odchylky od měření ionizační komorou v rámci PZ lineárního urychlovače RTOK FNKV.

Tabulka č. 9.: Klínové faktory statických klínových filtrů pro energii X6 MeV.

energie	velikost klínu	klínový faktor ionizační komora	klínový faktor LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB WF do 2%	odchylka (%)	splnění tolerance odchylky do 2%
X6	15	0,958	0,961	✓	-0,31%	✓
X6	30	0,899	0,903	✓	-0,44%	✓
X6	45	0,852	0,856	✓	-0,47%	✓
X6	60	0,727	0,727	✓	0,00%	✓

Tabulka č. 10.: Klínové faktory statických klínových filtrů pro energii X18 MeV.

energie	velikost klínu	klínový faktor ionizační komora	statické klíny klínový faktor LDA-99 SC	splnění limitů SÚJB WF do 2%	odchylka (%)	splnění tolerance odchylky do 2%
X18	15	0,969	0,97	✓	-0,10%	✓
X18	30	0,933	0,933	✓	0,00%	✓
X18	45	0,872	0,872	✓	0,00%	✓
X18	60	0,757	0,755	✓	0,26%	✓

Hodnocení výsledků klínových faktorů statických klínových filtrů:

- Odchylky hodnot statických klínových filtrů naměřených LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou jsou:

pro energii X6MeV v rozmezí od -0.10 do +0,26 %

pro energii X18MeV v rozmezí od -0.47 do +0,00 %

Odchylky hodnot statických klínových filtrů naměřených LDA-99 SC a hodnot naměřených ionizační komorou splňují stanovenou toleranci – odchylku do 2 %.

Hodnoty všech parametrů radiačního pole naměřené liniovým detektorem splnily požadavek maximálního limitu 2% odchylky ve srovnání s hodnotami naměřenými ionizační komorou, přičemž také splnily toleranční limity stanovené SÚJB. Lze ho proto zařadit mezi měřicí zařízení do systému zkoušek provozní stálosti pracoviště.

7 DISKUZE

Jedním z cílů diplomové práce bylo prověřit, zda liniový polovodičový detektor lze použít pro systém zkoušek provozní stálosti. V práci jsou hodnoceny uvedené parametry pouze pro pole 5x5, 10x10x a 30x30 v hloubce 5 cm. Je to dáno jednak tím, že v přejímací zkoušce jsou hodnoceny parametry pouze pro tato pole a jednak tím, že pro větší pole již LDA při daném nastavení fantomu (povrh hladiny vody 100cm a hloubka detektoru 5 cm) svou délkou nedostačuje. Nicméně všechny hodnocené parametry měřené ionizační komorou ve srovnání s měřením liniovým polovodičovým detektorem byly odchýleny do 2%, což umožňuje použití LDA-99SC v systému zkoušek provozní stálosti.

Liniový polovodičový detektor LDA 99SC byl pořízen na pracoviště RTOK FNKV spolu s novým lineárním urychlovačem Clinac DHX s cílem maximálně uspořit čas strávený na ozařovně během provádění předepsaných zkoušek provozní stálosti. Minimalizace času obsazenosti ozařovny během ZPS totiž umožňuje využít tento ušetřený čas pro zvýšení kapacity urychlovače pro ozařování pacientů. Detektor je schopen naměřit požadovaný dávkový profil během 1-20s, dle náročnosti snímání. Některá měření jako je například měření dávkových profilů dynamického klínu nebo měření profilů dynamického mnohalistového kolimátoru (MLC) je téměř nemožné nebo velice problematické změřit pouhou ionizační komorou.

Liniový polovodičový detektor LDA – 99SC výrobce IBA dosimetry má své výhody, ale i nevýhody. Obecně nevýhoda tohoto systému liniových detektorů jakéhokoliv výrobce je ta, že se musí instalovat ve vodním fantomu. Již samotná instalace vodního fantomu do svazku záření je velice časově náročná. Tento typ liniového detektoru nelze instalovat do vodě ekvivalentních fantomů. Dalším problémem konkrétního detektoru a elektrometru, ke kterému je připojen detektor byl ten, že vykazoval během měření chyby. Nejčastější chybou bylo ztráta signálu z detektoru, samovolné odpojení elektrometru, ztráta kalibrace detektoru apod. Tyto problémy byly konzultovány s výrobcem, který je částečně vyřešil výměnou CCU elektrometru a aktualizací obslužného softwaru. Avšak i po aktualizaci se výše uvedené chyby vyskytovaly, i když s mnohem menší frekvencí. Software byl uživatelsky neintuitivní a bylo zdlouhavé se s ním naučit pracovat. V současné době pracoviště jedná s výrobcem o další aktualizaci softwaru, který by měl již zcela uvedené problémy odstranit.

Na trhu existují i další zařízení usnadňující měření předepsaných parametrů radiačního pole. Jsou to převážně detektory maticového typu. Matici detektorů tvoří buď ionizační komory nebo polovodičové detektory uspořádané v 2D matici nebo nověji i tvoří spirálovité řazené detektory po povrchu válce. Tato zařízení jsou však velice cenově náročná.

Proto dobře fungující liniový detektor je dobrým kompromisem mezi zdlouhavým měřením ionizační komorou a velmi nákladným zařízením maticového typu.

Při jakékoliv odchylce překračující stanovené tolerance však musí být výše uvedená zařízení nahrazena měřením ionizační komorou, a pokud tato měření potvrdí nesoulad, je nutné zařízení odtavit z provozu a zjednat nápravu postupy uvedenými v Programu zabezpečování jakosti pracoviště. Po té je nutné před zahájením klinického provozu ozařovače opět proměřit dané parametry.

8 ZÁVĚR

Liniový polovodičový detektor (LDA-99SC) je tvořen 99 polovodičovými detektory, řazenými v jedné linii za sebou s rozestupem 0,5 cm, proto je schopen v jednom okamžiku zaznamenat elektrický impuls ze současně 99 bodů, což ve srovnání s měřením ionizační komorou, kde pouze jeden detektor měří výstupní dávku lineárního urychlovače (bod po bodu) výrazně šetří čas měření.

Liniový polovodičový detektor je též možno použít ke spolehlivému proměřování ozařovacích polí s dynamickými klíny i polí s MLC, což je s ionizační komorou velice obtížné.

Hodnoty naměřené liniovým detektorem splňovaly požadavek maximálního limitu 2% odchylky ve srovnání s hodnotami naměřenými ionizační komorou. Lze ho proto zařadit mezi měřící zařízení do systému zkoušek provozní stálosti pracoviště, avšak nemůže zcela nahradit měření ionizační komorou.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (modrá řada) - „Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii“ - <http://www.sujb.cz>
- (2) Doporučení SÚJB - Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – lineární urychlovače pro 3D konformní radioterapii a IMRT – (SÚJB 2006)
- (3) Doporučení SÚJB - Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – urychlovače elektronů – (SÚJB 1998)
- (4) Doporučení SÚJB – Zpracování programu zabezpečování jakosti pro provádění předepsaných zkoušek zdrojů ionizujícího záření (SÚJB 1999)
- (5) Huyskens, D.P., Physics for clinical radiotherapy booklet vol. 5, Brussels 2001
- (6) Kuna P., Navrátil L.: Klinická radiobiologie, 1.vydání, České Budějovice, 2004
- (7) OmniPro-Accept User's Guide Version 7.1
- (8) Podgorsak, E.B., Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students, IAEA, 2005
- (9) Přednáška IPVZ kurz
- (10) PZJ RTOK FNKV (dokumentace Radioterapeutické a onkologické kliniky FNKV, 2007)
- (11) PZJ RTOO Motol (dokumentace Radioterapeuticko onkologického oddělení Motol, 2007).
- (12) Ulmann V.: Jaderna fyzika a fyzika ionizujícího záření, dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm> - cit. 26.06.2011
- (13) Vyhláška č.307/2002 Sb.
- (14) Zákon č.18/1997 Sb.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Předání energie fotonu orbitálnímu elektronu při fotoefektu.

Obr. č. 2: Předání části energie fotonu orbitálnímu elektronu při Comptonovu jevu.

Obr. č. 3: Vznik elektron-pozitronového páru při interakci fotonu s jádrem atomu.

Obr. č. 4: Křivky účinných průřezů jednotlivých interakcí – při nízkých energiích převládá fotoefekt, při středních Comptonův rozptyl, při vysokých tvorba párů (9).

Obr. č. 5.: Spádová křivka hloubkové dávky fotonového záření ve vodě na centrálním paprsku svazku.

Obr. č. 6.: Dávkové profily v 1-D projekci, 2-D a 3-D projekci.

Obr. č. 7.: Parametry dávkových profilů fotonového záření.

Obr. č. 8.: Lineární urychlovač CLINAC DHX High Performance

Obr. č. 9.: Vodní fantom: Blue Phantom

Obr. č. 10.: Elektrometr: CCU

Obr. č. 11.: Ionizační komora FC 65-G typ Farmer

Obr. č. 12.: Lineární polovodičový detektor (LDA-99SC) firmy IBA

Obr. č. 13.: Souřadnicový systém IEC-61217 standardu.

Obr. č. 14.: Měření v diagonálních směrech "-- / ++" a "-+ / +-".

Obr. č. 15.: Parametry dávkových profilů fotonového záření.

Obr. č. 16.: Homogenizovaná oblast (vyznačená šrafovaně)

Obr. č. 17.: Statické klínové filtry.

Obr. č. 18.: Dávkové profily pro pole $5 \times 5 \text{ cm}^2$ pro energii X6MeV.

Obr. č. 19.: Dávkové profily pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pro energii X6MeV.

Obr. č. 20.: Dávkové profily pro pole $30 \times 30 \text{ cm}^2$ pro energii X6MeV.

Obr. č. 21.: Dávkové profily pro pole $5 \times 5 \text{ cm}^2$ pro energii X18MeV.

Obr. č. 22.: Dávkové profily pro pole $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pro energii X18MeV.

Obr. č. 234.: Dávkové profily pro pole $30 \times 30 \text{ cm}^2$ pro energii X18MeV.

Obr. č. 24.: Dávkové profily statických klínových filtrů pro energii X6MeV.

Obr. č. 25.: Dávkové profily statických klínových filtrů pro energii X18 MeV.

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1.: Hodnoty homogenity měřené v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

Tabulka č. 2.: Homogenita radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

Tabulka č. 3.: Symetrie radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

Tabulka č. 4.: Symetrie radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

Tabulka č. 5.: Velikost radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

Tabulka č. 6.: Velikost radiačního pole měřená v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

Tabulka č. 7.: Polostín radiačního pole měřený v hloubce 50 mm pro energii X6 MeV.

Tabulka č. 8.: Polostín radiačního pole měřený v hloubce 50 mm pro energii X18 MeV.

Tabulka č. 9.: Klínové faktory statických klínových filtrů energie pro energii X6 MeV.

Tabulka č. 10.: Klínové faktory statických klínových filtrů energie pro energii X18 MeV.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

IMRT - Intensity-Modulated Radiation Therapy

LDA - liniový polovodičový detektor

MLC - Multileaf Collimator – mnohalistový kolimátor

PZJ - Program zabezpečování jakosti

PZ – Přejímací zkouška

RTOK FNKV – Radioterapeutická a onkologická klinika Fakultní nemocnice Královské Vinohrady

SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost

ZDS - zkoušky dlouhodobé stability

ZPS - zkoušky provozní stálosti

13 PŘÍLOHY

Hodnoty parametrů radičního pole a klínových faktorů

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
crossline			5x5	50	102	101,6	1,02	1,02	49,4	5,7-5,7	5,7	5,7	-0,1	
inline			5x5	50	102,4	101,4	1,02	1,01	48,7	5,7-5,8	5,7	5,8	0,3	
crossline			10x10	50	104,4	101,6	1,04	1,02	99,6	6,3-6,3	6,3	6,3	-0,1	
inline			10x10	50	104,2	101,2	1,04	1,01	99	6,1-6,1	6,1	6,1	0,6	
crossline			30x30	50	103,6	101,7	1,04	1,02	299,8	7,1-7,1	7,1	7,1	-0,3	
inline			30x30	50	103,9	101,7	1,04	1,02	300	6,8-6,9	6,8	6,9	0,6	
crossline			40x40	50	105,8	100,9	1,06	1,01	439,3	9,3-9,6	9,3	9,6	0	
inline			40x40	50	105,5	100,6	1,06	1,01	441,1	10,1-10,1	10,1	10,1	0	
crossline			5x5	50	107	102,9	1,06	1,03	49,7	7,4-7,2	7,4	7,2	0,1	
inline			5x5	50	106,5	103,7	1,06	1,04	49,4	7,2-7,6	7,2	7,6	-0,4	
crossline			10x10	50	107,1	102,1	1,06	1,02	99,8	8,2-8,3	8,2	8,3	0,2	
inline			10x10	50	105,7	101,5	1,06	1,02	99,6	8-8,2	8,0	8,2	1	
crossline			30x30	50	104,5	101,6	1,05	1,02	300,6	9,3-9,4	9,3	9,4	0,1	
inline			30x30	50	104,6	102,1	1,05	1,02	301,1	9,4-9,4	9,4	9,4	-0,2	
crossline			40x40	50			1,05	1,03	439,8		9,8	9,8		
inline			40x40	50	104,6	101,2	1,05	1,01	442,1	9,5-9,7	9,5	9,7	0,8	
inline	15	hard	10x10	5	114,3	113,8	1,14	1,14	100,3	5,7-6,5	5,7	6,5	-0,3	
inline	15	hard	10x10	15	111,6	111,5	1,12	1,12	100,7	5,4-6,1	5,4	6,1	-0,2	0,958
inline	15	hard	10x10	50	112,1	110,9	1,12	1,11	104,1	6-6,8	6,0	6,8	-0,2	
inline	15	hard	10x10	100	112,9	111,1	1,13	1,11	109,2	7-7,9	7,0	7,9	-0,2	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	15	hard	10x10	200	113,3	109,8	1,13	1,10	119,5	8,9-9,7	8,9	9,7	-0,3	
inline	15	hard	10x10	250	114,1	109,5	1,14	1,10	124,5	10,4-10,8	10,4	10,8	-0,3	
inline	30	hard	10x10	5	129,7	128,7	1,30	1,29	100,5	5,7-7,4	5,7	7,4	-0,6	
inline	30	hard	10x10	15	126,4	126	1,26	1,26	100,8	5-7,1	5,0	7,1	-0,5	0,899
inline	30	hard	10x10	50	125	124,9	1,25	1,25	104,1	5,7-7,8	5,7	7,8	-0,5	
inline	30	hard	10x10	100	124,1	123,8	1,24	1,24	109,3	6,7-8,9	6,7	8,9	-0,6	
inline	30	hard	10x10	200	123,1	121,9	1,23	1,22	119,4	8,9-10,9	8,9	10,9	-0,6	
inline	30	hard	10x10	250	122,3	120,5	1,22	1,21	124,7	10,9-12,8	10,9	12,8	-0,7	
inline	45	hard	10x10	5	144	143,2	1,44	1,43	110,1	5,6-9,9	5,6	9,9	-0,9	
inline	45	hard	10x10	15	139,2	139	1,39	1,39	100,7	4,9-8,5	4,9	8,5	-0,8	0,852
inline	45	hard	10x10	50	138,2	137,8	1,38	1,38	104,1	5,5-9,9	5,5	9,9	-0,8	
inline	45	hard	10x10	100	136,9	136,6	1,37	1,37	109,1	6,6-11,9	6,6	11,9	-0,8	
inline	45	hard	10x10	200	133,6	132,9	1,34	1,33	119,2	9,2-14,9	9,2	14,9	-1	
inline	45	hard	10x10	250	134	132,6	1,34	1,33	124,5	10,4-14,9	10,4	14,9	-0,9	
inline	60	hard	10x10	5	188,4	183,7	1,88	1,84	100,1	5,8-24,6	5,8	24,6	-1,6	
inline	60	hard	10x10	15	182,9	179,02	1,83	1,79,02	100,6	4,6-22,7	4,6	22,7	-1,5	0,727
inline	60	hard	10x10	50	178,9	176	1,79	1,76	103,9	5,3-23,4	5,3	23,4	-1,5	
inline	60	hard	10x10	100	175,3	173	1,75	1,73	109	6,6-25,3	6,6	25,3	-1,6	
inline	60	hard	10x10	200	170	167,3	1,70	1,67	119,3	10,4-26,5	10,4	26,5	-1,7	
inline	60	hard	10x10	250	166,7	165,7	1,67	1,66	124,4	14,6-29,7	14,6	29,7	-1,7	
inline	15	hard	10x10	5	112,4	110,7	1,12	1,11	102,3				-0,5	
inline	15	hard	10x10	32	110,7	109	1,11	1,09	102,8		7,1	7,7	-0,5	0,969
inline	15	hard	10x10	50	112	109,3	1,12	1,09	104,4		7,5	8,2	-0,5	
inline	15	hard	10x10	100	112,1	109,1	1,12	1,09	109,5		8,2	8,8	-0,6	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	15	hard	10x10	200	112,6	109	1,13	1,09	119,4		9,4	10,4	-0,7	
inline	15	hard	10x10	250	112,2	109,3	1,12	1,09	124,6		10,1	10,8	-0,7	
inline	30	hard	10x10	5	122,8	122,4	1,23	1,22	102,5				-0,8	
inline	30	hard	10x10	32	120,3	119,2	1,20	1,19	102,7		7,0	8,4	-0,8	0,933
inline	30	hard	10x10	50	121	119,6	1,21	1,20	104,4		7,4	9,2	-0,8	
inline	30	hard	10x10	100	120,9	119	1,21	1,19	109,6		8,0	10,1	-0,9	
inline	30	hard	10x10	200	121,1	118,9	1,21	1,19	119,5		9,1	11,4	-0,9	
inline	30	hard	10x10	250	120,1	118	1,20	1,18	124,6		9,8	11,9	-1,1	
inline	45	hard	10x10	5	139	138,8	1,39	1,39	102,4				-1,2	
inline	45	hard	10x10	32	136,5	136	1,37	1,36	102,8		6,9	10,3	-1,2	0,872
inline	45	hard	10x10	50	138,9	138	1,39	1,38	104,5		7,2	11,5	-1,3	
inline	45	hard	10x10	100	138,1	136,8	1,38	1,37	109,4		7,9	12,4	-1,3	
inline	45	hard	10x10	200	138,5	136,5	1,39	1,37	119,5		9,4	14,4	-1,5	
inline	45	hard	10x10	250	137,8	135,9	1,38	1,36	124,6		9,8	15,1	-1,6	
inline	60	hard	10x10	5	172,4	171,1	1,72	1,71	101,1				-1,3	
inline	60	hard	10x10	32	174,7	174	1,75	1,74	102,9		7,2	20,8	-1,7	0,757
inline	60	hard	10x10	50	175,4	175,4	1,75	1,75	104,6		7,5	21,6	-1,8	
inline	60	hard	10x10	100	175,3	174,1	1,75	1,74	109,5		8,4	24,2	-1,9	
inline	60	hard	10x10	200	174	171,8	1,74	1,72	119,5		10,6	25,3	-2	
inline	60	hard	10x10	250	172,6	171,3	1,73	1,71	124,7		10,9	28,0	-2,1	
crossline			4x4	32	103,1	100,6	1,03	1,01	39,9	5,4-48	5,4	48,0	-2,2	
crossline			4x4	50	103,5	101,2	1,04	1,01	40,2	5,3-5,9	5,3	5,9	-2,2	
crossline			4x4	100	103,2	100,9	1,03	1,01	41,5	6-7,3	6,0	7,3	-2,1	
crossline			4x4	200	104,1	102,7	1,04	1,03	47	7,8-7,6	7,8	7,6	-2,4	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
crossline			4x4	300	104,8	102,2	1,05	1,02	50,1	6,8-6,8	6,8	6,8	-2,5	
crossline			5x5	32	103,4	100,6	1,03	1,01	50	5,7-5,2	5,7	5,2	-2,2	
crossline			5x5	50	104	100,7	1,04	1,01	50,4	5,3-6,3	5,3	6,3	-2,1	
crossline			5x5	100	103,8	101,3	1,04	1,01	52,3	6,7-7,7	6,7	7,7	-1,9	
crossline			5x5	200	105,9	102,6	1,06	1,03	59	7,3-6,9	7,3	6,9	-2,4	
crossline			5x5	300	106	101,7	1,06	1,02	61,7	7,9-8	7,9	8,0	-2,5	
crossline			6x6	32	104,1	100,8	1,04	1,01	59,9	5,8-5,5	5,8	5,5	-2,2	
crossline			6x6	50	104,9	101	1,05	1,01	60,5	5,3-6,5	5,3	6,5	-2,1	
crossline			6x6	100	105	101,4	1,05	1,01	63	7-7,8	7,0	7,8	-1,6	
crossline			6x6	200	106,5	101,6	1,07	1,02	70,1	6,8-6,7	6,8	6,7	-2,4	
crossline			6x6	300	105,9	102,5	1,06	1,03	74,8	8,5-8,3	8,5	8,3	-2,4	
crossline			8x8	32	103,7	101	1,04	1,01	80,2	5,5-5,8	5,5	5,8	-2,2	
crossline			8x8	50	104,6	101,2	1,05	1,01	80,9	4,9-6,9	4,9	6,9	-2,2	
crossline			8x8	100	104,5	101,6	1,05	1,02	85,2	7,8-7,6	7,8	7,6	-1,4	
crossline			8x8	200	105,9	101,7	1,06	1,02	92,4	8,1-8,3	8,1	8,3	-2,3	
crossline			8x8	300	106,8	102,9	1,07	1,03	100,7	8,2-8,3	8,2	8,3	-2,4	
crossline			10x10	32	103,2	101,6	1,03	1,02	100,3	5,4-6,3	5,4	6,3	-2,2	
crossline			10x10	50	103,4	101,8	1,03	1,02	101,3	5,8-7,4	5,8	7,4	-2,2	
crossline			10x10	100	104,5	101,7	1,05	1,02	107,7	7,9-7	7,9	7,0	-1,9	
crossline			10x10	200	105,4	102	1,05	1,02	117,9	8,3-8,1	8,3	8,1	-2,4	
crossline			10x10	300	105,7	102	1,06	1,02	126,6	8,8-9	8,8	9,0	-2,4	
crossline			12x12	32	103	101,6	1,03	1,02	120,4	5,5-6,4	5,5	6,4	-2,1	
crossline			12x12	50	102,9	101,5	1,03	1,02	121,7	6-7,5	6,0	7,5	-2	
crossline			12x12	100	104,3	101,8	1,04	1,02	129	7,7-6,2	7,7	6,2	-2	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
crossline			12x12	200	103,9	101,9	1,04	1,02	140,4	8,5-8,2	8,5	8,2	-2,4	
crossline			12x12	300	104,8	101,7	1,05	1,02	150,9	9,2-9,1	9,2	9,1	-2,5	
crossline			15x15	32	102,6	101,2	1,03	1,01	150,4	5,5-6,4	5,5	6,4	-2,2	
crossline			15x15	50	102,6	101,4	1,03	1,01	151,9	6,5-7,7	6,5	7,7	-2,1	
crossline			15x15	100	103,3	101,4	1,03	1,01	160,3	6,7-7,3	6,7	7,3	-2,2	
crossline			15x15	200	104	101,9	1,04	1,02	174,1	9,0-9,0	9,0	9,0	-2	
crossline			15x15	300	105,1	101,2	1,05	1,01	189,3	10,5-10,7	10,5	10,7	-2,4	
crossline			20x20	32	103,5	101,8	1,04	1,02	200,5	5,9-7	5,9	7,0	-2,1	
crossline			20x20	50	104	101	1,04	1,01	203,3	7,1-7,9	7,1	7,9	-1,5	
crossline			20x20	100	103,7	101,5	1,04	1,02	213,3	7,9-8,3	7,9	8,3	-1,5	
crossline			20x20	200	104,4	101,4	1,04	1,01	233,3	9-9,2	9,0	9,2	-1,6	
crossline			20x20	300	105,8	101,2	1,06	1,01	251,4	10,5-9,9	10,5	9,9	-2,4	
crossline			22x22	32	104,1	101,7	1,04	1,02	220,8	5,6-7,2	5,6	7,2	-2,1	
crossline			22x22	50	103,8	101,4	1,04	1,01	224,4	7,5-7,6	7,5	7,6	-1,3	
crossline			22x22	100	103,2	101,4	1,03	1,01	235,5	8,3-7,7	8,3	7,7	-1,1	
crossline			22x22	200	104,7	101,1	1,05	1,01	258,1	9,9-10	9,9	10,0	-1,7	
crossline			22x22	300	105	101,9	1,05	1,02	278,6	11,8-11,8	11,8	11,8	-2,3	
crossline			25x25	32	103,5	101,4	1,04	1,01	250,8	5,6-7,2	5,6	7,2	-2	
crossline			25x25	50	104,1	101,3	1,04	1,01	254,9	7,6-7,5	7,6	7,5	-1,2	
crossline			25x25	100	103,4	101	1,03	1,01	268	8,3-7,5	8,3	7,5	-1,6	
crossline			25x25	200	103,9	100,9	1,04	1,01	291,8	9,5-9,3	9,5	9,3	-2	
crossline			25x25	300	105,9	101,5	1,06	1,02	314,7	11,6-11,9	11,6	11,9	-2,2	
inline			4x4	32	103,5	101,4	1,04	1,01	250,8	5,6-7,2	5,6	7,2	-2	
inline			4x4	50	104,1	101,3	1,04	1,01	254,9	7,6-7,5	7,6	7,5	-1,2	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline			4x4	100	103,4	101	1,03	1,01	268	8,3-7,5	8,3	7,5	-1,6	
inline			4x4	200	103,9	100,9	1,04	1,01	291,8	9,5-9,3	9,5	9,3	-2	
inline			4x4	300	105,9	101,5	1,06	1,02	314,7	11,6-11,9	11,6	11,9	-2,2	
inline			5x5	32	102,8	101,5	1,03	1,02	48,4	7,2-7,4	7,2	7,4	0,1	
inline			5x5	50	103,7	101,4	1,04	1,01	49,8	7,5-7,6	7,5	7,6	0,2	
inline			5x5	100	105,4	101	1,05	1,01	53,6	7,3-6,9	7,3	6,9	0,2	
inline			5x5	200	105,3	101,6	1,05	1,02	56,8	7,3-8	7,3	8,0	0,2	
inline			5x5	300	107,1	102,3	1,07	1,02	62,6	7,5-8,4	7,5	8,4	-0,7	
inline			6x6	32	103,8	101,5	1,04	1,02	58,3	7,2-7,5	7,2	7,5	0,2	
inline			6x6	50	104,8	101,7	1,05	1,02	60,1	7,6-7,7	7,6	7,7	0,5	
inline			6x6	100	106,7	102	1,07	1,02	64	7,1-6,5	7,1	6,5	0,2	
inline			6x6	200	105,8	101,4	1,06	1,01	68,6	7,9-8,4	7,9	8,4	0,6	
inline			6x6	300	107,7	102,2	1,08	1,02	75	7,5-8,4	7,5	8,4	-0,3	
inline			8x8	32	103,6	101,8	1,04	1,02	78,5	7,4-7,5	7,4	7,5	0,2	
inline			8x8	50	104,4	101,5	1,04	1,02	80,9	7,6-7,6	7,6	7,6	0,3	
inline			8x8	100	105,1	101,7	1,05	1,02	85	6,6-6,5	6,6	6,5	0,2	
inline			8x8	200	106,8	101,7	1,07	1,02	93,6	8,1-8,2	8,1	8,2	0,4	
inline			8x8	300	107,4	102,1	1,07	1,02	99,8	8,8-8,9	8,8	8,9	-0,8	
inline			10x10	32	103,6	101,8	1,04	1,02	98,6	7,6-7,7	7,6	7,7	0,1	
inline			10x10	50	104,5	102,1	1,05	1,02	101,8	7,7-7,6	7,7	7,6	0,3	
inline			10x10	100	104,9	101,7	1,05	1,02	105,9	6,9-7,3	6,9	7,3	0	
inline			10x10	200	105,6	102,2	1,06	1,02	115,9	8,1-8,3	8,1	8,3	0,2	
inline			10x10	300	106,5	101,8	1,07	1,02	125,3	8,8-9,9	8,8	9,9	-0,5	
inline			12x12	32	103,5	101,9	1,04	1,02	118,8	7,7-7,8	7,7	7,8	0,1	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline			12x12	50	103,5	101,8	1,04	1,02	122,4	7,6-7,5	7,6	7,5	0,1	
inline			12x12	100	103,8	101,6	1,04	1,02	126,7	7,5-7,9	7,5	7,9	0,1	
inline			12x12	200	104,9	102	1,05	1,02	138,8	8,8-8,8	8,8	8,8	0,5	
inline			12x12	300	105,7	102	1,06	1,02	150,1	10,2-9,4	10,2	9,4	-0,9	
inline			15x15	32	102,8	102	1,03	1,02	148,7	7,8-7,9	7,8	7,9	0	
inline			15x15	50	103,1	102	1,03	1,02	153	7,4-7,4	7,4	7,4	0,1	
inline			15x15	100	103,4	102	1,03	1,02	158,7	8,3-8,3	8,3	8,3	0,2	
inline			15x15	200	105,2	101,7	1,05	1,02	174,7	9,7-9,7	9,7	9,7	0	
inline			15x15	300	106,1	102,2	1,06	1,02	187,3	10,1-10,5	10,1	10,5	-0,6	
inline			20x20	32	103,8	101,8	1,04	1,02	198,3	7,9-7,9	7,9	7,9	-0,1	
inline			20x20	50	104,1	101,7	1,04	1,02	203,7	6,9-7,2	6,9	7,2	-0,1	
inline			20x20	100	103,6	101,8	1,04	1,02	213,6	7,9-8	7,9	8,0	0	
inline			20x20	200	105,1	101,9	1,05	1,02	233,5	10,2-10,3	10,2	10,3	0,2	
inline			20x20	300	106,4	101,9	1,06	1,02	250,6	11,8-11	11,8	11,0	-1,2	
inline			22x22	32	104,1	101,7	1,04	1,02	218,3	7,9-8	7,9	8,0	0	
inline			22x22	50	104,5	102	1,05	1,02	224,1	6,7-6,9	6,7	6,9	0	
inline			22x22	100	103,9	101,7	1,04	1,02	234,8	8-8,1	8,0	8,1	0,1	
inline			22x22	200	105,2	101,6	1,05	1,02	255,8	10-9,6	10,0	9,6	0,2	
inline			22x22	300	106,8	102,1	1,07	1,02	275,8	10,6-12	10,6	12,0	-0,3	
inline			25x25	32	104,2	101,8	1,04	1,02	248,7	8,0-8,0	8,0	8,0	-0,1	
inline			25x25	50	104,5	101,7	1,05	1,02	254,7	6,6-6,8	6,6	6,8	0	
inline			25x25	100	104,3	101,6	1,04	1,02	266,1	7,9-8,1	7,9	8,1	0,1	
inline			25x25	200	104,4	101,5	1,04	1,02	291,6	10,2-10,7	10,2	10,7	0,6	
inline			25x25	300	106,9	102,8	1,07	1,03	314,6	12,2-12,6	12,2	12,6	0,4	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline			30x30	32	104,8	101,6	1,05	1,02	300	7,8-8	7,8	8,0	-0,2	
inline			30x30	50	105,5	101,8	1,06	1,02	305,7	6,8-6,8	6,8	6,8	0	
inline			30x30	100	104,5	101,9	1,05	1,02	319,9	8,5-8,5	8,5	8,5	0	
inline			30x30	200	104,8	101,7	1,05	1,02	350	10,5-10	10,5	10,0	0,3	
inline			30x30	300	107,8	102,4	1,08	1,02	376,8	12,2-12,2	12,2	12,2	-0,5	
inline	15	hard	5x5	15	104,3	104,2	1,04	1,04	48,1	4,4-6,7	4,4	6,7	0,9	
inline	15	hard	5x5	50	104,9	103,9	1,05	1,04	50,4	6,3-6,3	6,3	6,3	1,3	
inline	15	hard	5x5	100	104,8	103,4	1,05	1,03	53,4	6,7-4,5	6,7	4,5	0,7	
inline	15	hard	5x5	200	105,2	103,1	1,05	1,03	57,9	5-7,6	5,0	7,6	1,2	
inline	15	hard	5x5	300	105,9	104,3	1,06	1,04	63,4	6,9-6,7	6,9	6,7	0,3	
inline	15	hard	10x10	15	112,1	111,8	1,12	1,12	98,2	5,6-7,1	5,6	7,1	0,5	0,961
inline	15	hard	10x10	50	113,2	111,9	1,13	1,12	103,5	6,3-5,9	6,3	5,9	0,4	
inline	15	hard	10x10	100	113,1	110,9	1,13	1,11	106,9	5,8-7,8	5,8	7,8	0,3	
inline	15	hard	10x10	200	113,6	110,4	1,14	1,10	117,3	7,6-8,8	7,6	8,8	0,6	
inline	15	hard	10x10	300	113,9	110,5	1,14	1,11	126,4	8,9-9,5	8,9	9,5	-0,1	
inline	15	hard	15x15	15	119,7	119,6	1,20	1,20	147,6	5,4-7,4	5,4	7,4	0,2	
inline	15	hard	15x15	50	119,2	118,9	1,19	1,19	154,5	4,8-5,9	4,8	5,9	0	
inline	15	hard	15x15	100	119,7	117,4	1,20	1,17	161,5	7,5-8,6	7,5	8,6	0,7	
inline	15	hard	15x15	200	118,8	115,6	1,19	1,16	175,9	9,4-12,1	9,4	12,1	0,1	
inline	15	hard	15x15	300	120	116,5	1,20	1,17	189,1	16,4-15,9	16,4	15,9	-0,6	
inline	15	hard	20x20	15	127,1	127,1	1,27	1,27	197,1	5,5-7,5	5,5	7,5	0	
inline	15	hard	20x20	50	126,2	126,2	1,26	1,26	205,3	4-7,1	4,0	7,1	-0,3	
inline	15	hard	20x20	100	126	125,3	1,26	1,25	215,3	6,8-11,6	6,8	11,6	-0,2	
inline	15	hard	20x20	200	125,9	122,3	1,26	1,22	235,3	14,9-19,8	14,9	19,8	0	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	15	hard	20x20	300	127,8	122	1,28	1,22	254,1	21,5-31,2	21,5	31,2	-0,6	
inline	30	hard	5x5	15	108,6	108,2	1,09	1,08	48,1	4,6-6,9	4,6	6,9	0,8	
inline	30	hard	5x5	50	109,2	108	1,09	1,08	50,5	6,3-6,7	6,3	6,7	1,2	
inline	30	hard	5x5	100	108,8	107,8	1,09	1,08	53,6	6,4-4,6	6,4	4,6	0,6	
inline	30	hard	5x5	200	109	107,6	1,09	1,08	58	5,2-7,7	5,2	7,7	1	
inline	30	hard	5x5	300	109,8	108,6	1,10	1,09	63,5	6,5-7,1	6,5	7,1	0,1	
inline	30	hard	10x10	15	126,3	126,2	1,26	1,26	98	5,5-7,6	5,5	7,6	0,2	0,903
inline	30	hard	10x10	50	126,2	125,9	1,26	1,26	103,4	5,8-7,6	5,8	7,6	0,1	
inline	30	hard	10x10	100	124,1	124	1,24	1,24	106,7	5,8-8,2	5,8	8,2	0,1	
inline	30	hard	10x10	200	123,2	122,4	1,23	1,22	117,1	7,6-9,2	7,6	9,2	0,2	
inline	30	hard	10x10	300	122,6	122,2	1,23	1,22	126,3	8,8-12	8,8	12,0	-0,4	
inline	30	hard	15x15	15	144,6	144,3	1,45	1,44	147,7	5,7-8,1	5,7	8,1	-0,2	
inline	30	hard	15x15	50	143,3	143,1	1,43	1,43	154,8	4-9,3	4,0	9,3	-0,4	
inline	30	hard	15x15	100	141,3	141,3	1,41	1,41	162,2	6,8-13	6,8	13,0	0	
inline	30	hard	15x15	200	136,8	136,5	1,37	1,37	176	12-20,2	12,0	20,2	-0,4	
inline	30	hard	15x15	300	135,8	135,4	1,36	1,35	189,8	20,5-24,3	20,5	24,3	-1,3	
inline	30	hard	20x20	15	162,4	161,8	1,62	1,62	197,1	5,8-17,1	5,8	17,1	-0,6	
inline	30	hard	20x20	50	161	160,5	1,61	1,61	205,5	5,5-21,1	5,5	21,1	-0,8	
inline	30	hard	20x20	100	158,1	157,9	1,58	1,58	215,5	8,4-27,9	8,4	27,9	-0,8	
inline	30	hard	20x20	200	152,4	152,2	1,52	1,52	235,6	21,3-38,6	21,3	38,6	-0,7	
inline	30	hard	20x20	300	150,2	149,4	1,50	1,49	254,3	30,7-48,1	30,7	48,1	-1,2	
inline	45	hard	5x5	15	113,1	112,4	1,13	1,12	48,1	4,7-7,1	4,7	7,1	0,7	
inline	45	hard	5x5	50	113,2	111,6	1,13	1,12	50,5	6,2-7	6,2	7,0	1,1	
inline	45	hard	5x5	100	113,1	112	1,13	1,12	53,6	6,2-5,3	6,2	5,3	0,5	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	45	hard	5x5	200	112,8	111,4	1,13	1,11	58	5,1-7,9	5,1	7,9	1	
inline	45	hard	5x5	300	113	112,5	1,13	1,13	63,5	6,4-7,4	6,4	7,4	0,1	
inline	45	hard	10x10	15	140,2	140,1	1,40	1,40	97,7	5,5-8	5,5	8,0	-0,2	0,856
inline	45	hard	10x10	50	139,3	139,3	1,39	1,39	103,3	5,2-9,1	5,2	9,1	-0,2	
inline	45	hard	10x10	100	137,5	137,4	1,38	1,37	106,5	5,9-12	5,9	12,0	-0,3	
inline	45	hard	10x10	200	135,5	135,4	1,36	1,35	116,8	7,5-14,1	7,5	14,1	-0,1	
inline	45	hard	10x10	300	134,9	134,8	1,35	1,35	126,2	8,9-16,5	8,9	16,5	-0,7	
inline	45	hard	15x15	15	169,5	168,6	1,70	1,69	147,1	5,5-24,1	5,5	24,1	-0,6	
inline	45	hard	15x15	50	169,1	168,4	1,69	1,68	154,4	3,7-24,8	3,7	24,8	-0,9	
inline	45	hard	15x15	100	165,2	164,9	1,65	1,65	161,8	6,4-28,8	6,4	28,8	-0,5	
inline	45	hard	15x15	200	158	157,8	1,58	1,58	175,6	12,8-33,9	12,8	33,9	-0,8	
inline	45	hard	15x15	300	155,1	155	1,55	1,55	189,4	21,2-37,3	21,2	37,3	-1,9	
inline	45	hard	20x20	15	204,7	202,4	2,05	2,02	196,4	5,7-44,6	5,7	44,6	-1,2	
inline	45	hard	20x20	50	203,7	201,7	2,04	2,02	204,9	5,8-46,6	5,8	46,6	-1,4	
inline	45	hard	20x20	100	198,4	197	1,98	1,97	214,8	10,1-50,3	10,1	50,3	-1,4	
inline	45	hard	20x20	200	188,3	187,9	1,88	1,88	234,8	23,8-58	23,8	58,0	-1,4	
inline	45	hard	20x20	300	183	182,4	1,83	1,82	253	34,6-63,8	34,6	63,8	-2,3	
inline	60	hard	5x5	15	124,7	124,1	1,25	1,24	47,7	4,7-7,6	4,7	7,6	0,3	
inline	60	hard	5x5	50	125,5	123,8	1,26	1,24	50,3	6-8,1	6,0	8,1	0,7	
inline	60	hard	5x5	100	124,9	124,4	1,25	1,24	53,5	5,7-7,7	5,7	7,7	0,2	
inline	60	hard	5x5	200	124,2	123,1	1,24	1,23	57,6	5,2-8,5	5,2	8,5	0,6	
inline	60	hard	5x5	300	125,8	125,7	1,26	1,26	63,4	5,8-8,8	5,8	8,8	-0,3	
inline	60	hard	10x10	15	182,9	180,5	1,83	1,81	97,3	5,4-23,9	5,4	23,9	-0,8	0,727
inline	60	hard	10x10	50	182,2	180,6	1,82	1,81	103,3	4,3-24,5	4,3	24,5	-0,9	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	60	hard	10x10	100	177,1	175,4	1,77	1,75	106,2	6,1-27,3	6,1	27,3	-0,9	
inline	60	hard	10x10	200	171,5	170,7	1,72	1,71	116,5	7,7-28,6	7,7	28,6	-0,7	
inline	60	hard	10x10	300	169,5	168,2	1,70	1,68	126	12,1-30	12,1	30,0	-1,3	
inline	15	hard	5x5	32	105,2	103,9	1,05	1,04	48	7-7,5	7,0	7,5	0,1	
inline	15	hard	5x5	50	105,7	103,8	1,06	1,04	49,3	7,4-7,8	7,4	7,8	0,3	
inline	15	hard	5x5	100	107,7	103,8	1,08	1,04	53,2	7,3-7,4	7,3	7,4	0,2	
inline	15	hard	5x5	200	107,6	103,4	1,08	1,03	56,6	7,2-8,1	7,2	8,1	0,2	
inline	15	hard	5x5	300	108,6	105,1	1,09	1,05	62,3	7,4-8,6	7,4	8,6	-0,7	
inline	15	hard	10x10	32	110,7	109,3	1,11	1,09	98,6	7,4-7,9	7,4	7,9	-0,2	0,969
inline	15	hard	10x10	50	111,7	109,2	1,12	1,09	101,8	7,3-8,2	7,3	8,2	-0,3	
inline	15	hard	10x10	100	112,2	109,1	1,12	1,09	105,9	7,1-7,7	7,1	7,7	-0,1	
inline	15	hard	10x10	200	112,1	108,8	1,12	1,09	115,9	8-9,4	8,0	9,4	-0,1	
inline	15	hard	10x10	300	111,9	109,8	1,12	1,10	125,3	8,8-10,4	8,8	10,4	-0,7	
inline	15	hard	15x15	32	114,6	114,4	1,15	1,14	148,6	7,5-8,3	7,5	8,3	-0,3	
inline	15	hard	15x15	50	115,1	114,6	1,15	1,15	153	6,7-8,4	6,7	8,4	-0,3	
inline	15	hard	15x15	100	115,1	114,1	1,15	1,14	158,5	8-8,9	8,0	8,9	-0,2	
inline	15	hard	15x15	200	115,2	113,2	1,15	1,13	174,7	9,2-11	9,2	11,0	-0,3	
inline	15	hard	15x15	300	116,5	114,1	1,17	1,14	187,3	10,7-12,6	10,7	12,6	-1,1	
inline	15	hard	20x20	32	118,8	118,8	1,19	1,19	198,4	7,6-8,7	7,6	8,7	-0,7	
inline	15	hard	20x20	50	119,3	119,2	1,19	1,19	203,7	6,6-8,9	6,6	8,9	-0,6	
inline	15	hard	20x20	100	119,5	119,1	1,20	1,19	213,6	7,9-9,5	7,9	9,5	-0,5	
inline	15	hard	20x20	200	119,6	118,8	1,20	1,19	233,6	10,2-11,6	10,2	11,6	-0,4	
inline	15	hard	20x20	300	120,1	118,7	1,20	1,19	250,8	11,8-14,2	11,8	14,2	-1,8	
inline	30	hard	5x5	32	108,2	107,2	1,08	1,07	48	7-7,6	7,0	7,6	-0,1	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	30	hard	5x5	50	108,8	107,4	1,09	1,07	49,4	7,3-8	7,3	8,0	0	
inline	30	hard	5x5	100	110,4	107,3	1,10	1,07	53,3	7-7,8	7,0	7,8	0	
inline	30	hard	5x5	200	109,7	106,7	1,10	1,07	56,6	7,3-8,2	7,3	8,2	0,1	
inline	30	hard	5x5	300	111,2	108,5	1,11	1,09	62,3	7,4-8,8	7,4	8,8	-0,9	
inline	30	hard	10x10	32	120,2	119,6	1,20	1,20	98,5	7,2-8,3	7,2	8,3	-0,5	0,933
inline	30	hard	10x10	50	121	120	1,21	1,20	101,7	6,9-8,7	6,9	8,7	-0,5	
inline	30	hard	10x10	100	121,2	119,3	1,21	1,19	105,8	7,2-9,4	7,2	9,4	-0,4	
inline	30	hard	10x10	200	120,7	118,8	1,21	1,19	115,9	8-10,8	8,0	10,8	-0,3	
inline	30	hard	10x10	300	120,2	119,4	1,20	1,19	125,3	8,7-11,1	8,7	11,1	-0,9	
inline	30	hard	15x15	32	132,2	131,9	1,32	1,32	148,8	7,1-9,2	7,1	9,2	-0,8	
inline	30	hard	15x15	50	132,6	132,5	1,33	1,33	153,1	6,5-9,4	6,5	9,4	-0,8	
inline	30	hard	15x15	100	131,6	131,4	1,32	1,31	158,7	7,6-11,3	7,6	11,3	-0,8	
inline	30	hard	15x15	200	130,9	130,6	1,31	1,31	174,8	8,7-13	8,7	13,0	-0,7	
inline	30	hard	15x15	300	130,4	130,3	1,30	1,30	187,7	11,3-15,6	11,3	15,6	-1,6	
inline	30	hard	20x20	32	143,7	143,2	1,44	1,43	199	7,7-12,5	7,7	12,5	-1,2	
inline	30	hard	20x20	50	144,4	144	1,44	1,44	204	7-12,4	7,0	12,4	-1,1	
inline	30	hard	20x20	100	144,3	144	1,44	1,44	213,9	8-13,7	8,0	13,7	-1,1	
inline	30	hard	20x20	200	142,3	142,3	1,42	1,42	233,8	9,8-18,9	9,8	18,9	-1	
inline	30	hard	20x20	300	141,3	141,1	1,41	1,41	251,1	12,6-22	12,6	22,0	-2,4	
inline	45	hard	5x5	32	112,8	112,8	1,13	1,13	47,9	6,8-7,6	6,8	7,6	-0,2	
inline	45	hard	5x5	50	113,1	112,8	1,13	1,13	49,2	7,1-8,2	7,1	8,2	-0,2	
inline	45	hard	5x5	100	115	113	1,15	1,13	53,2	6,6-8,3	6,6	8,3	-0,2	
inline	45	hard	5x5	200	114,8	113,2	1,15	1,13	56,5	7,1-8,8	7,1	8,8	-0,1	
inline	45	hard	5x5	300	115,7	115	1,16	1,15	62	7-9,1	7,0	9,1	-1,2	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	45	hard	10x10	32	137,3	137,2	1,37	1,37	98,7	6,8-10,5	6,8	10,5	-1	0,872
inline	45	hard	10x10	50	138,5	138,2	1,39	1,38	101,7	6,1-11,1	6,1	11,1	-1,1	
inline	45	hard	10x10	100	138,6	138	1,39	1,38	105,8	7,2-11,6	7,2	11,6	-0,8	
inline	45	hard	10x10	200	137,5	137,1	1,38	1,37	115,9	8-13,9	8,0	13,9	-0,7	
inline	45	hard	10x10	300	138,6	138,3	1,39	1,38	125,2	8,7-15,1	8,7	15,1	-1,4	
inline	45	hard	15x15	32	194,1	190,5	1,94	1,91	198,9	9,3-41,1	9,3	41,1	-2,5	
inline	45	hard	15x15	50	196,9	193,7	1,97	1,94	202,8	7,6-42,8	7,6	42,8	-2,3	
inline	45	hard	15x15	100	197	194,1	1,97	1,94	212,6	8,4-46,2	8,4	46,2	-2,4	
inline	45	hard	15x15	200	194,4	192,6	1,94	1,93	232,6	12,7-52,5	12,7	52,5	-2,4	
inline	45	hard	15x15	300	193,5	190,2	1,94	1,90	250,4	16,9-58	16,9	58,0	-3,6	
inline	45	hard	20x20	32	194	190,5	1,94	1,91	198,9	9,2-40,9	9,2	40,9	-2,4	
inline	45	hard	20x20	50	197,6	194,2	1,98	1,94	202,8	7,6-42	7,6	42,0	-2,3	
inline	45	hard	20x20	100	196,9	193,8	1,97	1,94	212,6	8,5-45,5	8,5	45,5	-2,4	
inline	45	hard	20x20	200	194,1	192,6	1,94	1,93	232,6	12,7-53,7	12,7	53,7	-2,5	
inline	45	hard	20x20	300	193,6	190,2	1,94	1,90	250,3	16,6-59,2	16,6	59,2	-3,7	
inline	60	hard	5x5	32	123,9	123,5	1,24	1,24	47,7	6,6-8,6	6,6	8,6	-0,5	
inline	60	hard	5x5	50	124,2	123,9	1,24	1,24	49,1	6,8-9,3	6,8	9,3	-0,7	
inline	60	hard	5x5	100	125,9	125,2	1,26	1,25	53,1	5,8-9,3	5,8	9,3	-0,5	
inline	60	hard	5x5	200	126	125,5	1,26	1,26	56,4	7,0-11,0	7,0	11,0	-0,4	
inline	60	hard	5x5	300	127,4	127,4	1,27	1,27	61,9	6,5-11,1	6,5	11,1	-1,6	
inline	60	hard	10x10	32	176,9	174,7	1,77	1,75	98,9	6,2-22,5	6,2	22,5	-1,9	0,757
inline	60	hard	10x10	50	177,3	176	1,77	1,76	101,2	6,1-23,2	6,1	23,2	-2,1	
inline	60	hard	10x10	100	177	176,6	1,77	1,77	105,6	7,1-24,7	7,1	24,7	-1,5	
inline	60	hard	10x10	200	176,2	176,1	1,76	1,76	115,6	8,2-28,2	8,2	28,2	-1,4	

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline	60	hard	10x10	300	176,3	174,9	1,76	1,75	125	10,2-28,9	10,2	28,9	-2,1	
inline	60	hard	15x15	32	241,3	231,5	2,41	2,32	149	9,1-44,8	9,1	44,8	-3	
inline	60	hard	15x15	50	244	234,8	2,44	2,35	151,5	7,6-46,1	7,6	46,1	-3,2	
inline	60	hard	15x15	100	242	235,1	2,42	2,35	158,8	10-49,7	10,0	49,7	-3,2	
inline	60	hard	15x15	200	237,1	231,1	2,37	2,31	173	12,2-53,	12,2	53,0	-3,1	
inline	60	hard	15x15	300	236,8	229	2,37	2,29	187,9	17,4-56,4	17,4	56,4	-4,3	
crossline			12x12	15	100,9		1,01		122,8		6,6	6,6		
crossline			12x12	50	102,4		1,02		125,9		6,2	6,2		
crossline			12x12	100	104		1,04		132,6		7,9	7,9		
crossline			12x12	200	106,7		1,07		144,5		11,3	11,3		
crossline			12x12	300	107,9		1,08		156,7		13,3	13,3		
crossline			15x15	15	101,5		1,02		153		6,6	6,6		
crossline			15x15	50	101,9		1,02		157		7,3	7,3		
crossline			15x15	100	104,1		1,04		165,1		8,2	8,2		
crossline			15x15	200	107,4		1,07		180		11,0	11,0		
crossline			15x15	300	109,3		1,09		195,1		16,5	16,5		
crossline			20x20	15	102,7		1,03		204		5,7	5,7		
crossline			20x20	50	102,1		1,02		210,1		7,8	7,8		
crossline			20x20	100	104,3		1,04		220,3		8,8	8,8		
crossline			20x20	200	108,7		1,09		240,5		13,4	13,4		
crossline			20x20	300	111,5		1,12		260,4		20,8	20,8		
crossline			22x22	15	102,9		1,03		224,6		5,0			
crossline			22x22	50	102,3		1,02		232,3		7,5			
crossline			22x22	100	104,5		1,05		243,1		9,4			

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
crossline			22x22	200	108,4		1,08		264,7		15,0			
crossline			22x22	300	111,8		1,12		286,8		23,8			
crossline			25x25	15	103		1,03		254,9		4,6			
crossline			25x25	50	102,4		1,02		263,9		6,8			
crossline			25x25	100	104		1,04		275,6		9,4			
crossline			25x25	200	109,3		1,09		300,7		14,7			
crossline			25x25	300	113,7		1,14		325,3					
crossline			30x30	15	103,4		1,03		305,6		4,7			
crossline			30x30	50	102,6		1,03	1,02	315,8		7,0	7,0		
crossline			30x30	100	104,4		1,04		331,3		9,5			
crossline			30x30	200	111,5		1,12		360,9		18,4			
crossline			30x30	300	117		1,17		390,2					
crossline			35x35	15	104,1		1,04		356,2		5,7			
crossline			35x35	50	103		1,03		368,3		8,0			
crossline			35x35	100	105,2		1,05		386		9,7			
crossline			35x35	200	113,5		1,14		420,7		20,4			
crossline			35x35	300	120,8		1,21		454,8					
crossline			40x40	15	104,8		1,05		406,7		6,3			
crossline			40x40	50	103,6		1,04	1,02	422		7,8	7,8		
crossline			40x40	100	105,6		1,06		441,8		10,9			
crossline			40x40	200	115,7		1,16		480,8					
crossline			40x40	300										
inline			12x12	15	100,6		1,01		121,6		6,9			
inline			12x12	50	101,9		1,02		125,3		4,9			

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline			12x12	100	104,5		1,05		131,7		8,0			
inline			12x12	200	106,7		1,07		144,1		10,4			
inline			12x12	300	108,1		1,08		155,6		12,0			
inline			15x15	15	101,5		1,02		152,1		6,9			
inline			15x15	50	101,6		1,02		156,1		6,3			
inline			15x15	100	104,1		1,04		164,7		7,3			
inline			15x15	200	107,5		1,08		178		10,2			
inline			15x15	300	109,7		1,10		194,5		16,0			
inline			20x20	15	102,2		1,02		207,7		7,7			
inline			20x20	50	102,8		1,03		202,8		6,7			
inline			20x20	100	104		1,04		217,7		8,6			
inline			20x20	200	108,4		1,08		237,8		12,7			
inline			20x20	300	111		1,11		257,9		21,5			
inline			22x22	15	102,5		1,03		223,5		6,3			
inline			22x22	50	102,3		1,02		229,6		7,9			
inline			22x22	100	104,5		1,05		241,3		8,7			
inline			22x22	200	108,8		1,09		263,5		14,2			
inline			22x22	300	112		1,12		285		23,7			
inline			25x25	15	103		1,03		254,1		5,7			
inline			25x25	50	102,4		1,02		262,7		7,6			
inline			25x25	100	104,4		1,04		274,9		9,1			
inline			25x25	200	108,8		1,09		298,2		15,3			
inline			25x25	300	113,8		1,14		324,3					
inline			30x30	15	103,4		1,03		305		4,6			

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
inline			30x30	50	102,7		1,03	1,01	304,3		7,6	7,6		
inline			30x30	100	104,5		1,05		328,8		9,2			
inline			30x30	200	111,4		1,11		358,5		18,4			
inline			30x30	300	117,4		1,17		387,9					
inline			35x35	15	104		1,04		355,8		4,6			
inline			35x35	50	102,8		1,03		367		7,8			
inline			35x35	100	105,2		1,05		385,5		9,4			
inline			35x35	200	113,3		1,13		418,9		20,8			
inline			35x35	300	121,3		1,21		454,3					
inline	10	dynam.klín	10X10	32										0,979
inline	15	dynam.klín	10X10	15										0,943
inline	15	dynam.klín	10X10	32										0,964
inline	30	dynam.klín	10X10	15										0,873
inline	20	dynam.klín	10X10	32										0,952
inline	45	dynam.klín	10X10	15										0,794
inline	25	dynam.klín	10X10	32										0,937
inline	25	dynam.klín	10X10	15										0,9
inline	30	dynam.klín	10X10	32										0,925
inline	20	dynam.klín	10X10	15										0,91
inline	45	dynam.klín	10X10	32										0,873
inline	60	dynam.klín	10X10	15										0,673
inline	60	dynam.klín	10X10	32										0,789
inline	10	dynam.klín	10X10	15										0,965
crossline			5x5	50			1,02	1,01	49,9		4,2	6,7		

orientace	velikost klínu	typ klínu	velikost pole (cm)	hloubka (mm)	flatness (homogenita) (%)	symetrie (%)	flatness (homogenita)	symetrie (%)	šířka pole (mm)	polostín (mm)	polostín 1 (mm)	polostín 2 (mm)	centrum	klínový faktor
crossline			10x10	50			1,03	1,01	101,2		5,8	6,5		
inline			5x5	50			1,03	1,02	49		5,7	6,5		
inline			10x10	50			1,03	1,02	100,4		6,6	6,5		
inline			40x40	50			1,04	1,02	428,2		9,6	9,5		
inline			40x40	50			1,06	1,02	430		8,5	8,7		
crossline			30x30	50			1,03	1,02	305,7		7,3	8,2		
crossline			40x40	50			1,04	1,02	430		8,8	8,9		

EVIDENCE VÝPŮJČEK

Prohlášení:

Beru na vědomí, že odevzdáním této závěrečné práce poskytuji svolení ke zveřejnění a k půjčování této závěrečné práce za předpokladu, že každý, kdo tuto práci použije pro svou přednáškovou nebo publikační aktivitu, se zavazuje, že bude tento zdroj informací řádně citovat.

V Praze, 10. 08. 2011

Podpis autora závěrečné práce

Jako uživatel potvrzuji svým podpisem, že budu tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno	Ústav / pracoviště	Datum	Podpis