



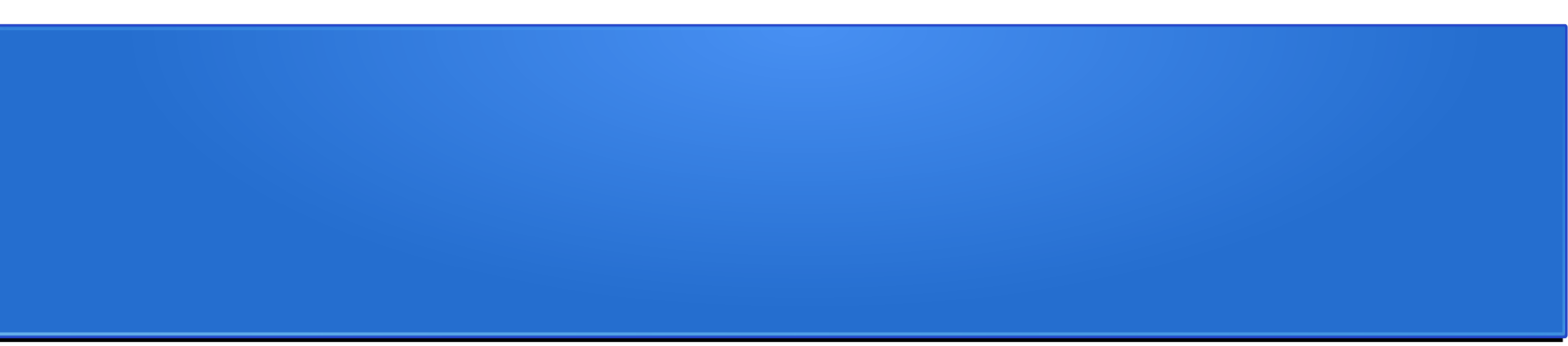
Modelování IMRT polí pomocí Monte Carlo systému EGSnrc/BEAMnrc

S. Horová¹, K. Badraoui Čuprová³, A. Kindlová², O. Konček²

¹ FJFI ČVUT, Praha

² FN Motol, Praha

³ PTC, Praha

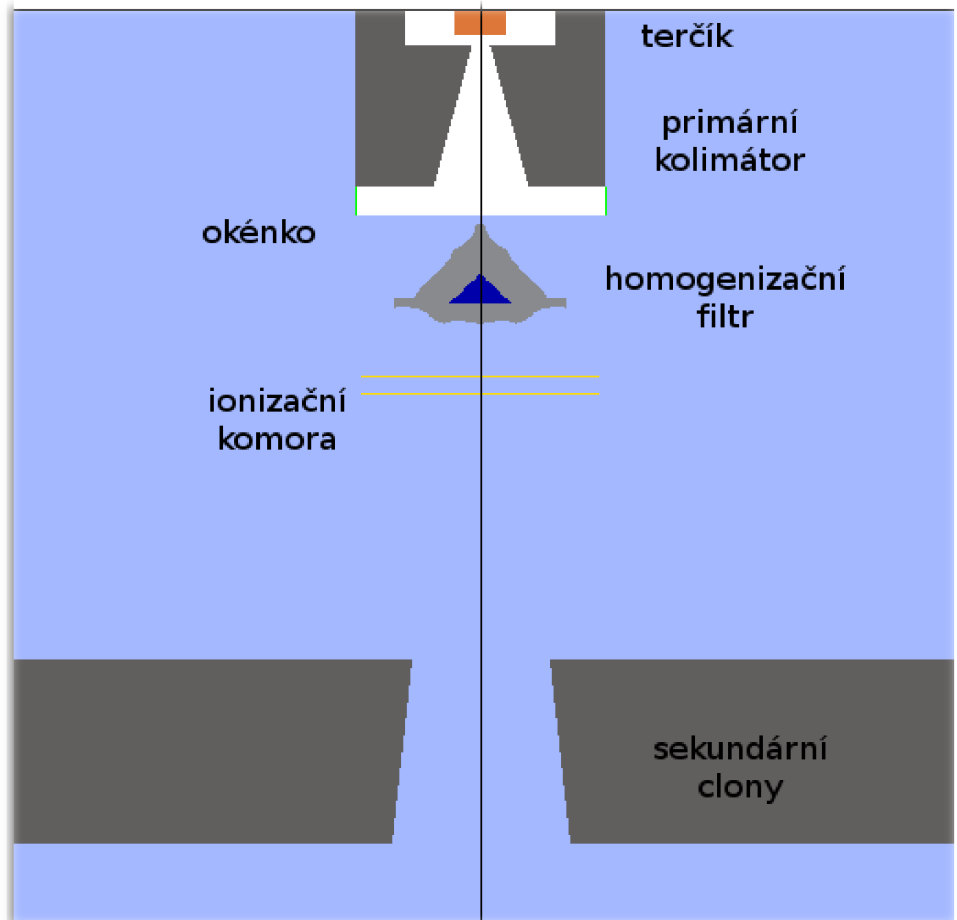
- 
- Metoda Monte Carlo a systém EGSnrc/BEAMnrc
 - Model hlavice LU
 - Model MLC
 - Simulace IMRT polí
 - Využití metody – verifikace a portálová dozimetrie

Monte Carlo systém EGSnrc/BEAMnrc

- Několik MC systémů vhodných pro modelování RT svazků – Geant, MCNP, FLUKA, PENELOPE
- EGSnrc – umí modelovat pouze elektrony (pozitrony) a fotony ve velkém rozsahu energií
- EGSnrc – používán jako zlatý standard pro výpočty v RT. Mnoho nástrojů pro snadnější definice geometrií hlavice LU, MLC, fantomů (BEAMnrc, DOSXYZnrc...).
- Ovládání systému pomocí jednoduchých vstupních souborů případně grafického rozhraní – není potřeba nic programovat

Modelování hlavice LU v systému EGSnrc/BEAMnrc

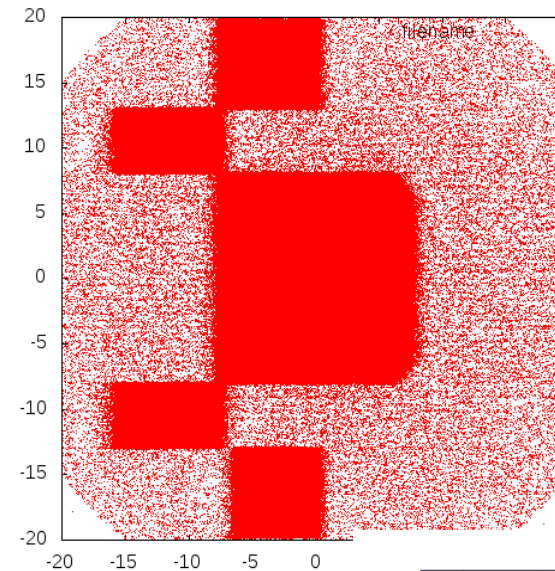
- LU Varian Clinac 2100 C/D (FN Motol), svazek 6MV
- Model zahrnuje – terčik, Be okénko, primární kolimátor, homogenizační filtr (FF), monitorovací komora, zrcátko, clony X a Y, MLC, folie se záměrným křížem na výstupu
- Geometrické rozměry dodává výrobce
- Parametry vstupního el. svazku je třeba vyladit pro daný urychlovač



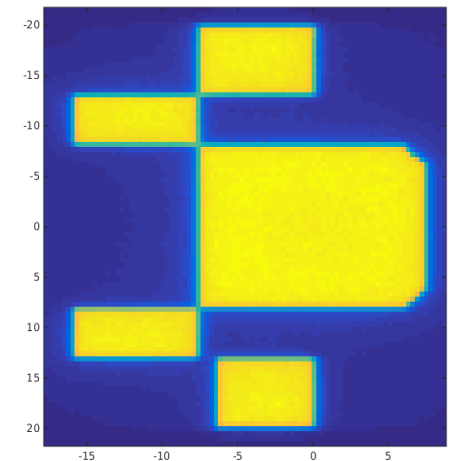
Obr. Model hlavice urychlovače v systému BEAM

Modelování hlavice a fantomu v systému EGSnrc/BEAMnrc

- V systému BEAMnrc probíhá simulace hlavice (nastavení clon a parametrů svazku), ve vzdálenosti 100 cm je modelována vrstva zaznamenávající parametry prolétávajících částic (phase space).
- Z phase space je možné pomocí nástroje beamdp vygenerovat a zobrazit některé veličiny (fluence, spektrum, rozložení částic...) - viz obrázek.
- Phase space slouží jako zdroj částic do simulace s vodním fantomem (systém DOSXYZnrc)



Zobrazení prostorové distribuce částic z phase space pro částice 5-6MeV



Výsledná dávková distribuce ve fantomu

Ladění vstupního el. svazku

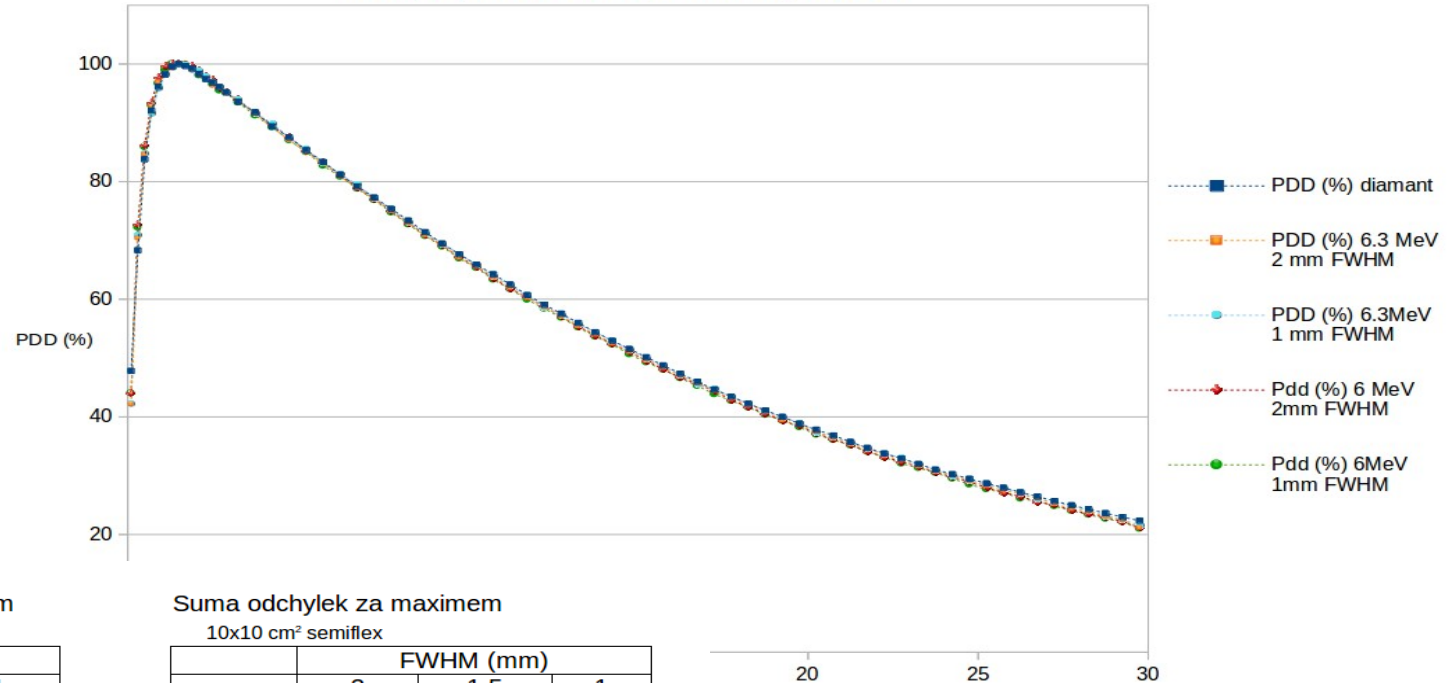
- Parametry vst. el. svazku – **energie** (monoenergetický svazek) a **prostorová distribuce** (velmi úzký gaussián)
- Nedají se změřit, určují se nepřímo pomocí měřitelných veličin, které jsou na změny těchto parametrů citlivé (PDD, dávkový profil,...)
- V našem případě - pro vybrané dvojice parametrů energie-FWHM (pološířka gaussiánu) porovnání simulovaných a měřených dat.
 - PDD - pole 5x5 cm², 10x10 cm² , 40x40 cm² ve vodním fantomu.
 - Profily - pole 5x5 cm², 10x10 cm² , 40x40 cm² ve vodním fantomu v hloubkách 1.5 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm a 30 cm.

Ladění vstupního elektronového svazku

- PDD – normalizace 100% do maxima
 - měřená data pro pole 5x5 a 10x10 pomocí PTW diamantového detektoru a PTW 0.125 ccm semiflex, pro pole 40x40 PTW semiflex.
 - Naměřená data přepočtená do bodů, ve kterých máme simulovaná data
 - Porovnání se simulovanými daty pomocí sumy odchylek a sumy kvadrátů odchylek pro hloubky za maximem (od 1.5 cm)
- Profily – normalizace profilu v každé hloubce 100% na CAX.
 - Měřená data pro pole 5x5 a 10x10 pomocí PTW diamantového detektoru a PTW 0.125 semiflex, pro pole 40x40 PTW semiflex
 - Naměřená data přepočtená do bodů, ve kterých máme simulovaná data
 - Porovnání dat pomocí vážené sumy odchylek a sumy kvadrátů odchylek
- Pro všechny sumy hledáme minimální hodnoty => optimální dvojice parametrů vstupního svazku a splnění podmínky odchylek měřených a simulovaných dat 1%/1 mm.
- Výsledky ovlivněny normalizací, nejistotou (měření, simulace), volbou porovnávací veličiny. Analýza dat a interpretace výsledků je komplexní problém, který musí být pečlivě vyhodnocen₇

Ladění vstupního elektronového svazku

PDD pro pole 10x10 cm², diamantový detektor



Suma kvadrátů odchylek za maximum
10x10 cm² semiflex

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	3.79	6.68	12.23
6	9.04	9.83	7.67

Suma odchylek za maximum
10x10 cm² semiflex

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	5.44	13.41	22.23
6	3.00	-15.00	-10.60

10x10 cm² diamant

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	10.29	5.82	3.54
6	17.48	34.30	28.30

10x10 cm² diamant

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	-21.88	-13.91	-5.09
6	-24.32	-42.32	-37.67

40x40 cm² semiflex

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	27.62	23.90	24.91
6	37.48	243.98	34.72

40x40 cm² semiflex

Energie (MeV)	FWHM (mm)		
	2	1.5	1
6.3	-13.09	-9.07	-6.27
6	-25.20	-32.61	-13.58

Tab.: Příklad porovnání měřených a simulovaných dat pro PDD

Ladění vstupního elektronového svazku

Pole 10x10 cm², semiflex

	FWHM (mm)		
Energie (MeV)	2	1.5	1
6.3	-16.153	-13.78	-0.22
6	-5.56	-5.86	14.82

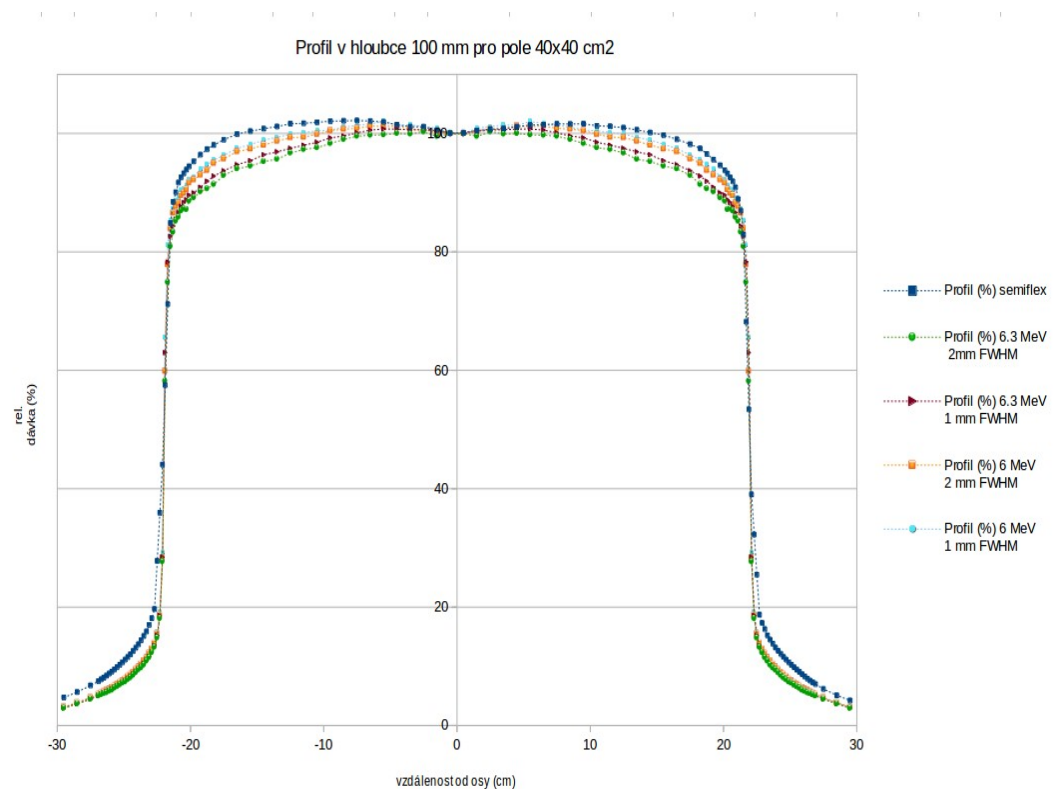
Pole 10x10 cm², diamant

	FWHM (mm)		
Energie (MeV)	2	1.5	1
6.3	-18.404	-16.03	-2.46
6	-7.81	-8.19	12.57

Pole 40x40 cm², semiflex

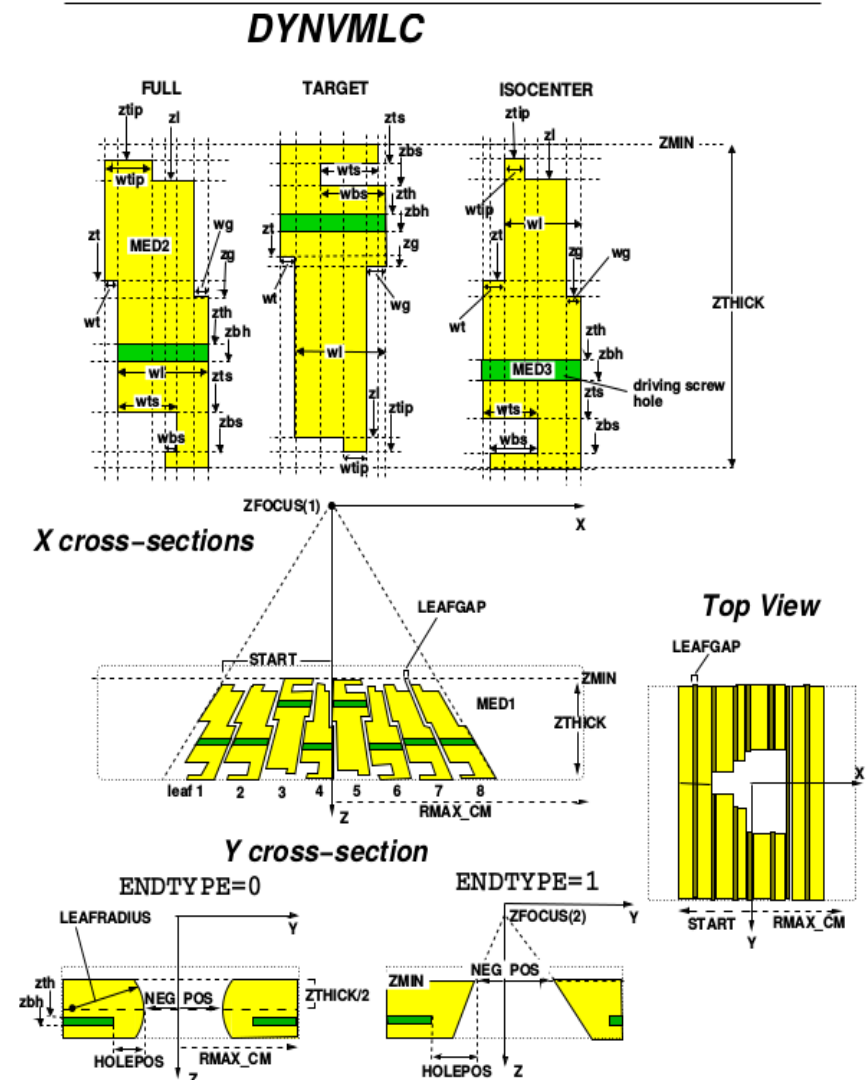
	FWHM (mm)		
Energie (MeV)	2	1.5	1
6.3	-260.2	-230.42	-207.89
6	-123.02	-101.79	-83.68

Tab.: Příklad porovnání simulovaných a měřených dat pro profil v hloubce 100 mm



Model dynamického MLC v systému EGSnrc/BEAMnrc

- V BEAMnrc několik speciálních geometrických modulů pro modelování MLC (pro Varian Millennium 120 lamel modul DYNVMLC) – kulaté konce lamel, tongue-and-groove, drážka...
- MLC buď ve statickém režimu (fyzické pozice lamel) nebo dynamickém režimu (step-and-shoot nebo sliding window) – načítá se speciální soubor s pozicemi lamel, podobný řídicímu souboru pro MLC na urychlovači
- Dynamický MLC – pro každou částici se vygeneruje konkrétní pozice MLC, na základě vstupního souboru, který obsahuje relativní zastoupení jednotlivých pozic lamel během ozáření
- Automatizace procesu převodu MLC souřadnic do požadovaného tvaru



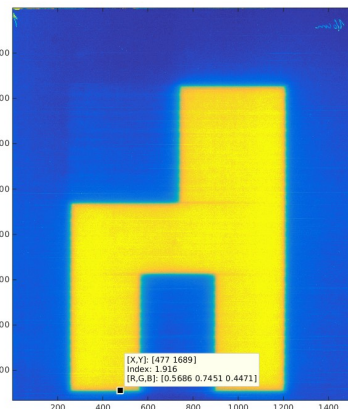
Obr. Příklad modelu MLC v BEAMnrc

Ověření modelu MLC

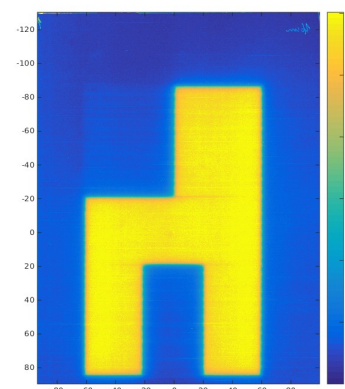
- Porovnáním výsledků simulace a měřených dat – filmová dozimetrie a plastový fantom v hloubkách 1.6 cm a 5 cm.
- Scanování na scanneru Vidar s rozlišením 200 dpi,
- Matlab - dávková kalibrace filmů (red kanál), převod pixely → cm, vycentrování, normalizace
 - Simulovaná data – převod do stejného rozlišení jako film, centrování, ořez, normalizace
 - Porovnání upravených matic pomocí gama analýzy



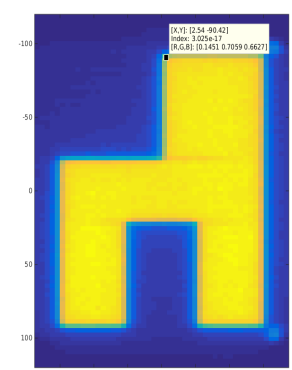
Scan filmu



Načtení v Matlabu



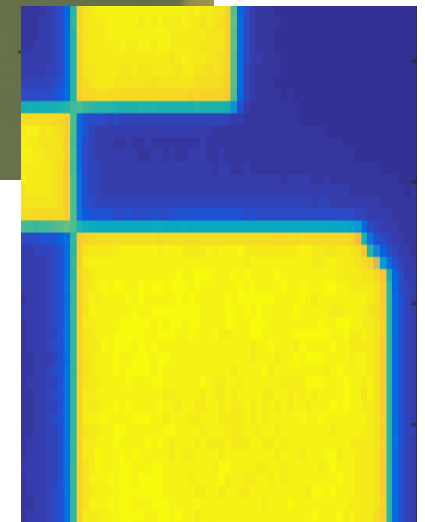
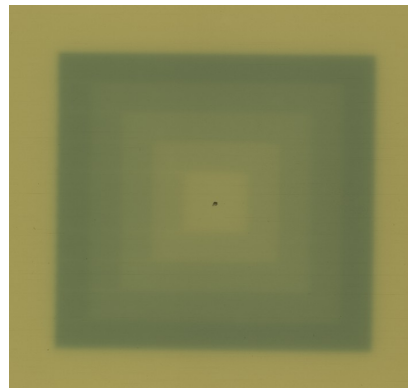
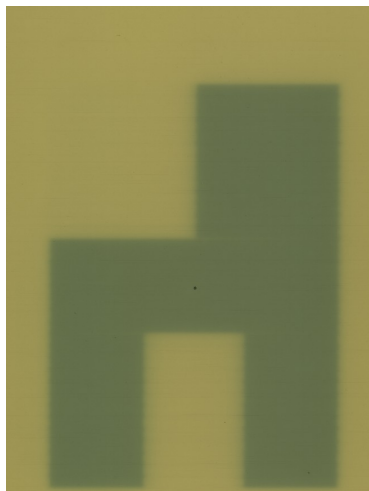
Dávková kalibrace, převod na cm a vycentrování



Výsledek MC simulace

Ověření modelu MLC

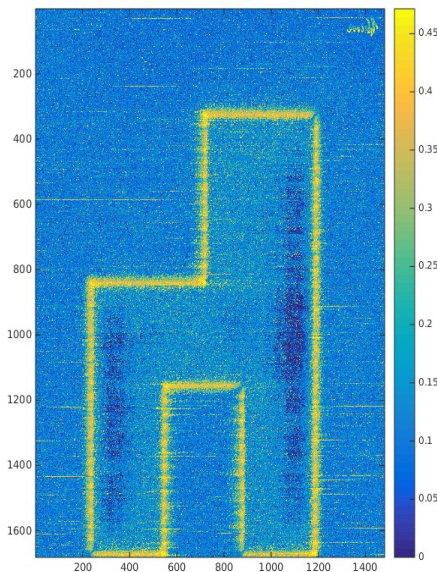
- Statické pole – ověření pozic lamel (co největší pole)
- Dynamický MLC – ověření funkčnosti a správnosti dynamického MLC na několika testovacích polích a posléze reálné IMRT pole z ozařovacího plánu



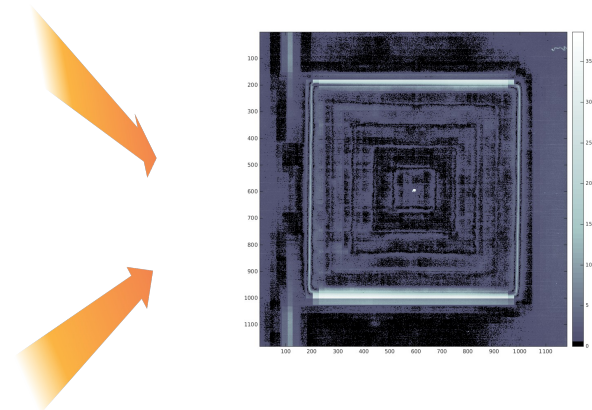
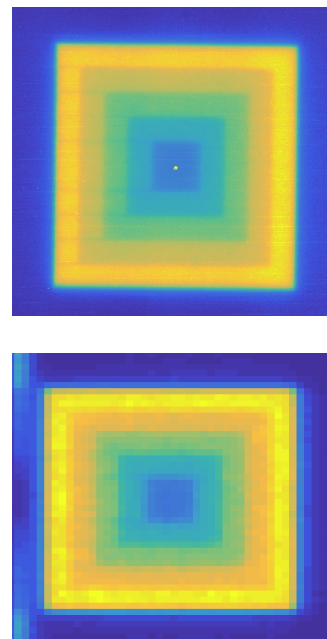
Výřez testovacího pole pro statický MLC, dole výsledek simulace

Ověření modelu dynamického MLC – gama analýza

- Skript pro gama analýzu v programu Matlab
- Otestování funkčnosti skriptu na posunutém obrázku
- Pro porovnání simulace x měřená data-zatím neshoda



MLC pyramida - film



Obr.: Testování skriptu pro gama analýzu

MLC pyramida – MC simulace

Použití modelu

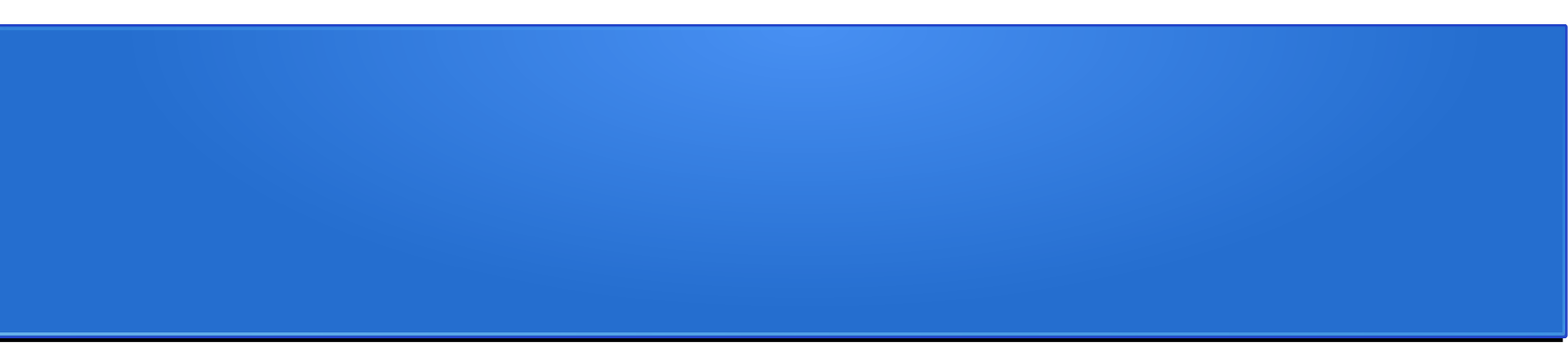
- Verifikace IMRT – pokud nevyjde verifikace standardním způsobem (EPID, měření dávky...), je možné dopočítat distribuci pomocí metody Monte Carlo a rozhodnout se
- Transmisní portálová dozimetrie
- Další aplikace v klinické praxi např. při neshodě dat z plánovacího systému a měření, simulace obtížně měřitelných charakteristik svazku (změny energetického spektra apod.)

Verifikace IMRT

- Vytvoření voxelového fantomu z CT snímků pacienta (vytvořila K. Badraoui Čuprová)
- Délka simulace – prozatím stále velká nevýhoda metody Monte Carlo
- Pacientů není mnoho, je možné klinické využití metody, i když simulace bude dlouhá
- Automatizace některých procesů (převod MLC souborů z TPS do BEAM, tvorba fantomu pacienta...)
- Vizuální porovnání dávkových distribucí, vyhodnocených DVH z MC x TPS, návrh hodnotícího kritéria

Transmisní portálová dozimetrie

- Porovnání odezvy EPID při ozařování pacienta s plánovanou odezvou simulovanou pomocí MC.
- In-vivo dozimetrie pro konformní RT
- Hlavní úskalí pro použití při výpočtech IMRT polí – délka výpočtu (aproximace, výpočetní cluster...)
- Možnost zpětného výpočtu dávkové distribuce v pacientovi na základě naměřené odezvy v EPID.



Děkuji za pozornost!