



Zhodnocení dozimetrických vlastností MicroDiamond PTW 60019 detektoru a jeho využití ve stereotaktických ozařovacích polích

T. Veselský^{1,2,4}, J. Novotný Jr.^{1,2,4}, V. Paštyková^{1,3,4}, B. Otáhal⁵, L. Knybel⁵

¹ Nemocnice Na Homolce, Praha

² Fakultní nemocnice v Motole, Praha

³ Nemocnice Na Bulovce, Praha

⁴ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, KDAIZ, Praha

⁵ Fakultní nemocnice Ostrava, Ostrava

Dále uvidíte...

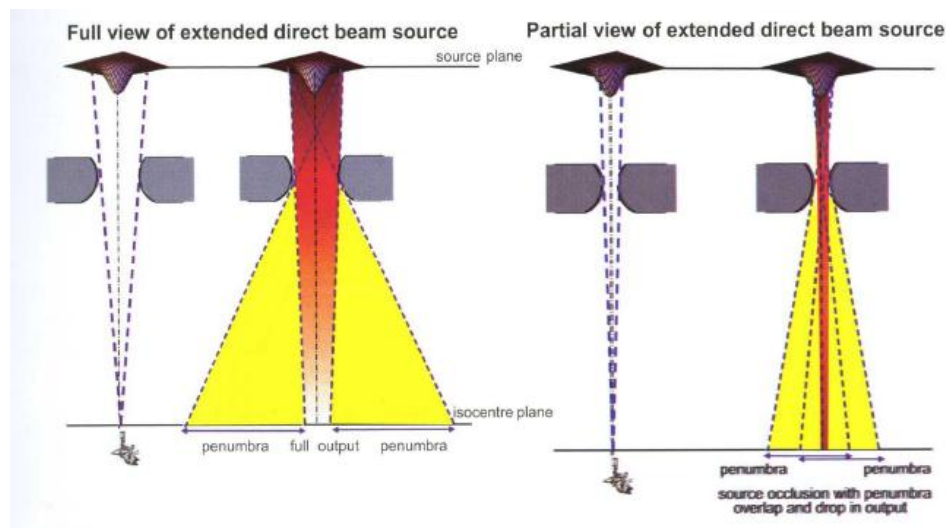
- Problematika dozimetrie malých ozařovacích polí
- Jak vybrat vhodný detektor?
- MicroDiamond (PTW 60019)!
- Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu
- Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích a srovnání výsledků s jinými detektory

Problematika dozimetrie malých ozařovacích polí

- Současné radioterapeutické techniky (IMRT, IMAT, SRT, SRS) a moderní ozařovače (lineární urychlovače vybavené MLC, GammaKnife, CyberKnife, Tomoterapie,...) hojně využívají malá radiační pole k naplnění terapeutického cíle
- Malá pole definujeme jako pole menší než 3 x 3 cm
- Dozimetrické problémy:

1. Částečné stínění zdroje záření

- Velikost pole je pak definována na základě nastavení kolimačního systému a ne pomocí FWHM

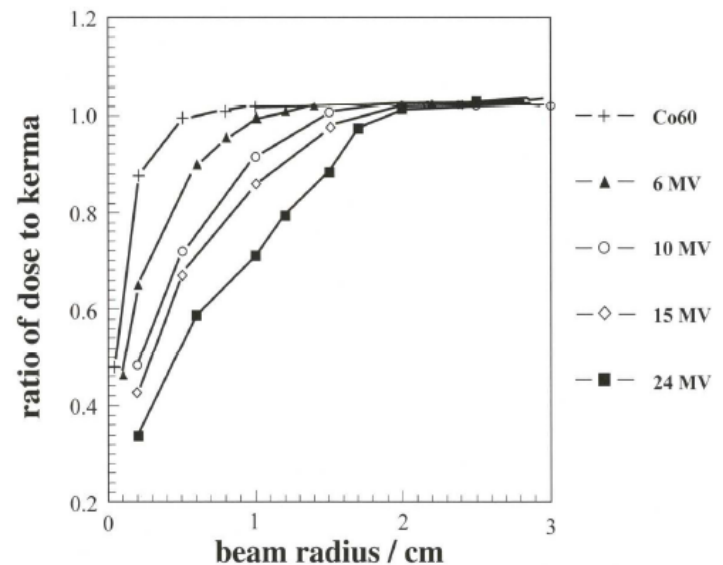


Problematika dozimetrie malých ozařovacích polí

2. Laterální nerovnováha nabitých částic

- Velikost radiačního pole je malá ve srovnání s maximálním dosahem sekundárních elektronů, výsledkem je, že dávka absorbovaná uvnitř radiačního pole je menší než dopadající kerma
- Dosah sekundárních elektronů závisí na energii primárního fotonového svazku a také na hustotě materiálů, jímž svazek prochází
- Experimentálně stanovený vzorec pro výpočet minimálního poloměru radiačního pole potřebného k dosažení elektronové rovnováhy je odvozen z indexu kvality radiačního svazku:

$$r_{\text{LEE}}[\text{g/cm}^2] = 5.973(\text{TPR}_{20,10}) - 2.688$$



Problematika dozimetrie malých ozařovacích polí

3. Rozměry detektoru

- Podle velikosti citlivého objemu dělíme detektory:
 - Standardní detektory (10^{-1} cm^3)
 - Minidetektory (10^{-2} cm^3)
 - Mikrodetektory (10^{-3} cm^3)
- Objemový efekt – zprůměrování signálu z celého citlivého objemu detektoru
 - Velká radiační pole – nadhodnocení oblasti polostínu
 - Malá radiační pole – podhodnocení signálu na ose svazku
- Dozimetrickým problémem je i samotná přítomnost detektoru ve svazku

Jak vybrat vhodný detektor?

- Ideální detektor pro malá ozařovací pole by měl mít:
 - Dostatečné prostorové rozlišení
 - Tkáňovou ekvivalenci
 - Stabilní a reprodukovatelnou odezvu
 - Odezvu lineárně závislou na dávce
 - Odezvu nezávislou na dávkovém příkonu
 - Odezvu nezávislou na energii záření
 - Směrově nezávislou odezvu
 - Odezvu nezávislou na teplotě a tlaku
 - Minimální vliv na okolní dávkovou distribuci
 - Minimální temný proud (alespoň o tři řády nižší než je odezva uvnitř radiačního pole)

MicroDiamond (PTW 60019)!

- Nový detektor s velmi malým citlivým objemem, který tvoří syntetický diamant ($0,004 \text{ mm}^3$)
- Tkáňově ekvivalentní
- Dobrá směrová závislost odezvy
- Detektor se jeví jako slibný nástroj pro dozimetrii malých ozařovacích polí, především pro jejich relativní dozimetrii, je však třeba verifikovat jeho výsledky a srovnat je s běžně používanými detektory



Features

- ▶ Small sensitive volume of 0.004 mm^3
- ▶ Excellent radiation hardness and temperature independence
- ▶ Near tissue-equivalence
- ▶ Operates without high voltage
- ▶ All connecting systems available (BNT, TNC, M)

The new microDiamond detector is a synthetic single crystal diamond detector (SCDD), based on a unique fabrication process [1, 2]. Significant advantages of the synthetic production are standardised assembly and consequently a high reproducibility of the dosimetric properties and good availability of the detector.

Specification

- ▶ Type of product: synthetic single crystal diamond detector
- ▶ Application: dosimetry in radiotherapy beams
- ▶ Measuring quantity: absorbed dose to water
- ▶ Reference radiation quality: ^{60}Co
- ▶ Nominal sensitive volume: 0.004 mm^3
- ▶ Design: waterproof, disk-shaped, sensitive volume perpendicular to detector axis
- ▶ Reference point: on detector axis, 1 mm from detector tip, marked by ring
- ▶ Direction of incidence: axial
- ▶ Pre-irradiation dose: 5 Gy
- ▶ Nominal response: 1 nC/Gy
- ▶ Long-term stability: $\leq 0.5 \%$ per year
- ▶ Dose stability: $< 0.25 \%$ / kGy at 18 MV photons
- ▶ Temperature response: $\leq 0.08 \%$ / K
- ▶ Energy response: $\leq 8 \%$ (100 keV ... ^{60}Co)
- ▶ Detector bias: 0 V
- ▶ Signal polarity: positive

RADIATION THERAPY
Therapy Beam Analysis Equipment

microDiamond Type 60019

New Diamond Detector for dosimetry in high-energy photon and electron beams, especially useful for small field dosimetry

▶ Directional response in water: $\leq 1 \%$ for tilting $\leq 40^\circ$

▶ Leakage current¹⁾: $\leq 20 \text{ fA}$

▶ Cable leakage: $\leq 200 \text{ fC} / (\text{Gy} \cdot \text{cm})$

Materials and Measures

▶ Entrance window: 0.3 mm RW3
0.6 mm Epoxy
0.01 mm Al 99.5

▶ Total window area density: 101 mg/cm²

▶ Water-equivalent window thickness: 1.0 mm

▶ Sensitive volume: circular, radius 1.1 mm, thickness 1 μm

▶ Outer dimensions: diameter 7 mm, length 45.5 mm

Useful Ranges

▶ Radiation quality: 100 keV ... 25 MV photons (6 ... 25) MeV electrons

▶ Field size²⁾: (1 x 1) cm² ... (40 x 40) cm²

▶ Temperature: (10 ... 35) °C, (50 ... 95) °F

▶ Humidity range: (10 ... 80) %, max 20 g/m³

Ordering Information

TN60019 microDiamond Detector, connecting system BNT
TW60019 microDiamond Detector, connecting system TNC
TM60019 microDiamond Detector, connecting system M

The microDiamond detector is realized in collaboration with Marco Marinelli and Gianluca Verona-Rinati and their team, Industrial Engineering Department of Rome Tor Vergata University, Italy.

[1] I. Ciancaglion, M. Marinelli, E. Milani, G. Prestipino, C. Verona, G. Verona-Rinati, R. Consorti, A. Petrucci and F. De Notaristefani, Dosimetric characterization of a synthetic single crystal diamond detector in clinical radiation therapy small photon beams, Med. Phys. **39** (2012), 4483

[2] C. Di Venanzio, M. Marinelli, E. Milani, G. Prestipino, C. Verona, G. Verona-Rinati, M. D. Fazio, P. Bagagli, R. Santoni and M. Pimpinella, Characterization of a synthetic single crystal diamond Schottky diode for radiotherapy electron beam dosimetry, Med. Phys. **40** (2013), 021712

¹⁾ At the high end of the temperature range, higher leakage currents may occur. This detector is well suited for measurements in field sizes smaller than 1 cm x 1 cm. Depending on the accuracy required by the user, correction factors may be required as described in international scientific literature. This applies to any detector used in very small fields.

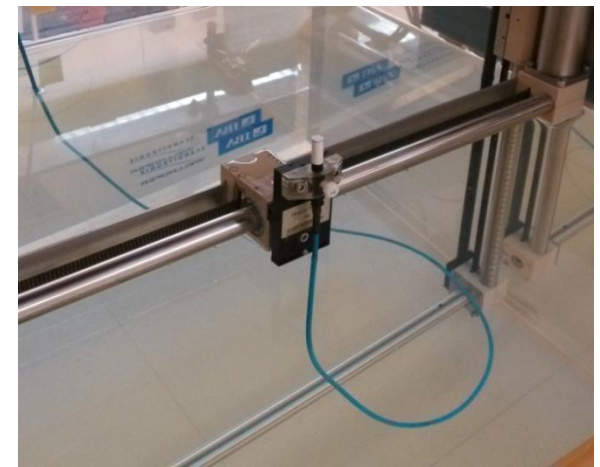
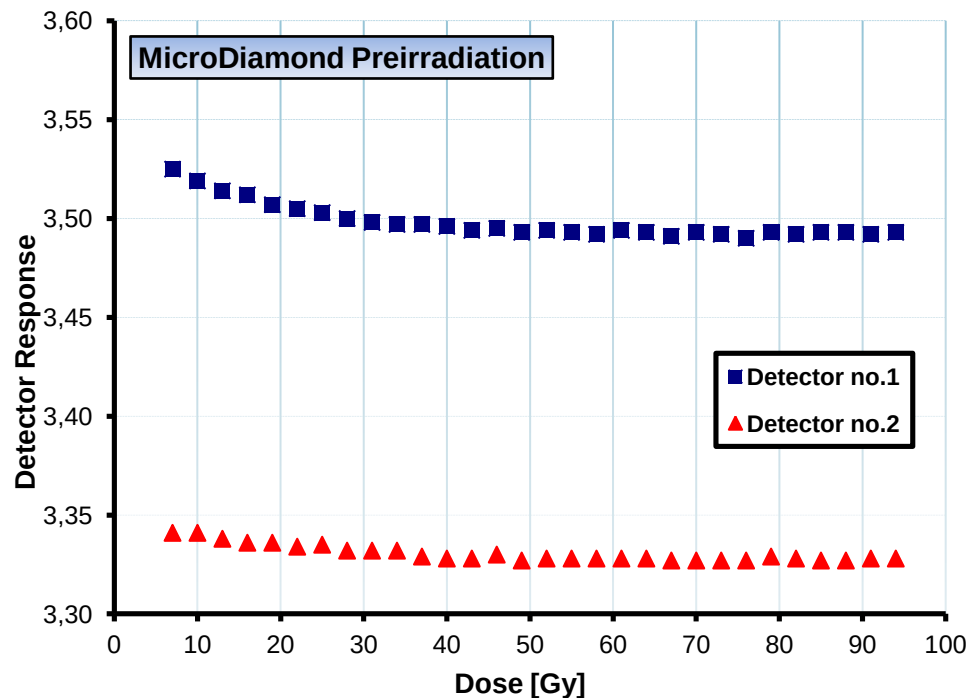
09002 19 0002 Effective 2013-09
Physical specifications are valid.

PTW-Freiburg · Lörracher Straße 7 · 79115 Freiburg, Germany
Phone: +49 761 49055-0 · Fax: +49 761 49055-70
info@ptw.de · www.ptw.de



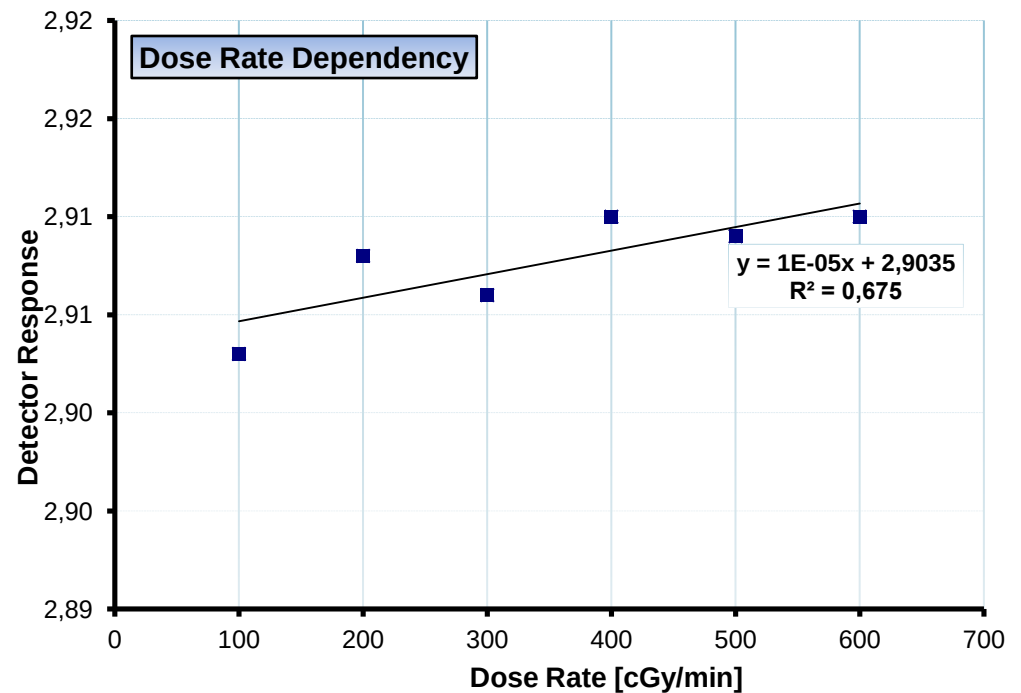
Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu

- Předzáření detektoru
 - Pro dosažení stability odezvy do 0,1% (rozdíl minimální a maximální hodnoty relativně ke střední hodnotě odezev) bylo třeba detektor předzářit dávkou 34 Gy, resp. 22 Gy pro detektor č.1 resp. č.2



Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu

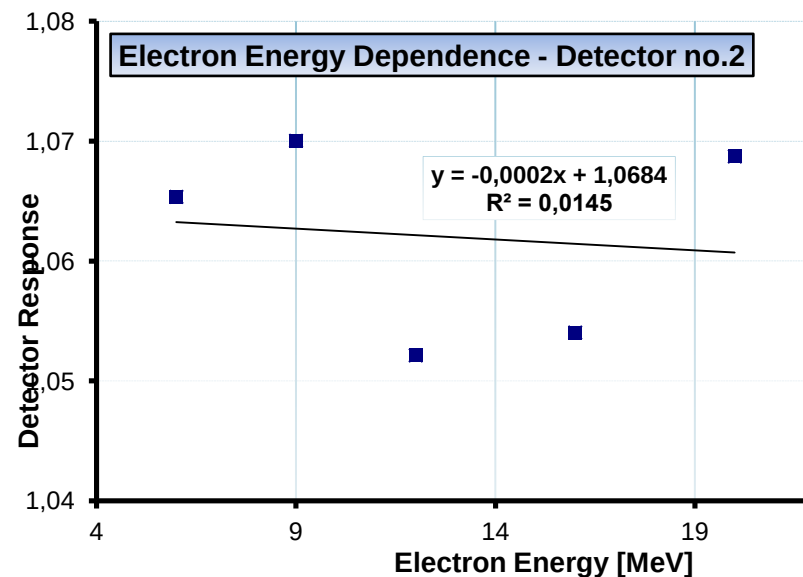
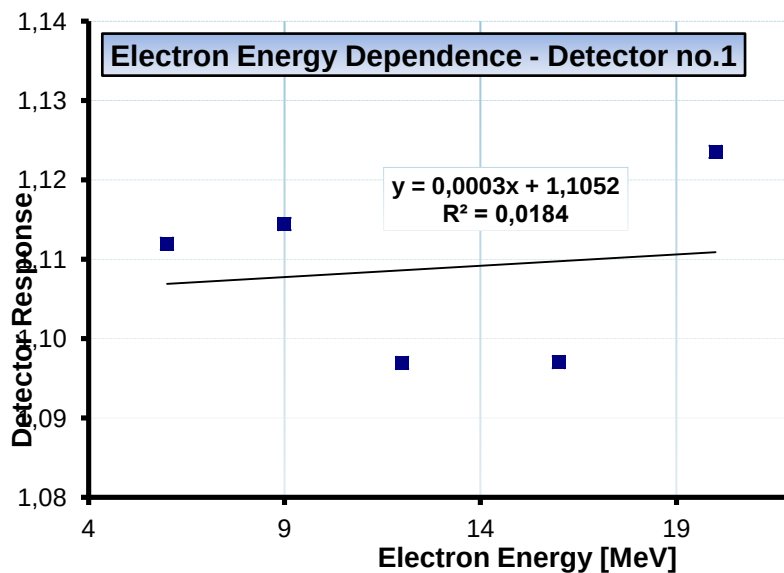
- Závislost odezvy na dávkovém příkonu
 - Měřeno na urychlovači Varian Clinac 2100C/D, energie 6X
 - Použity dávkové příkony 100 cGy/min – 600 cGy/min
 - Rozdíl mezi min a max hodnotou odezvy činí 0,24%



Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu

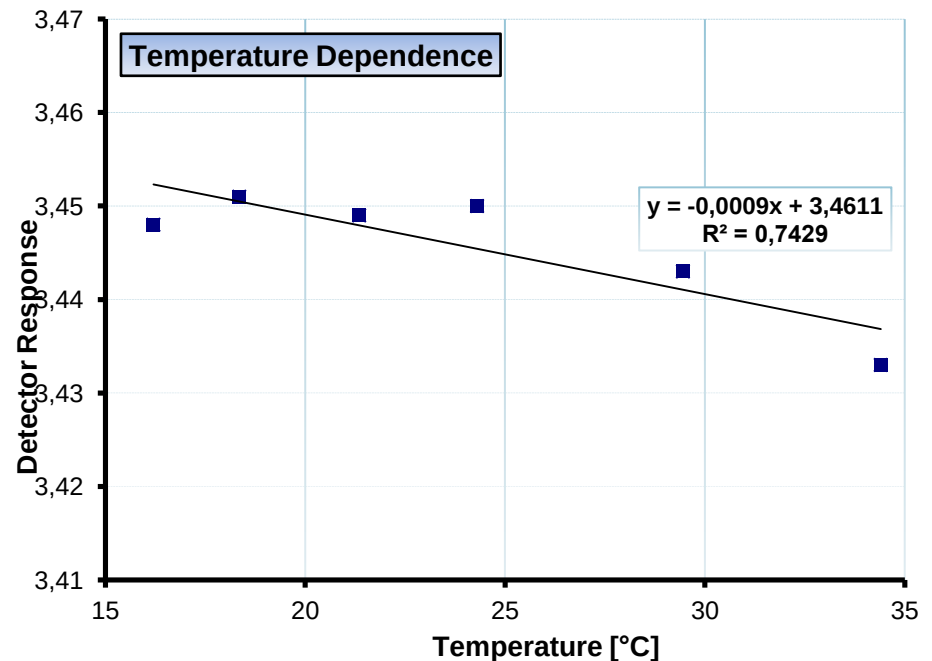
- Závislost odezvy na energii záření
 - Měřeno na urychlovači Varian Clinac 2100C/D
 - Použity fotonové energie 6X a 18X pokrývající běžné terapeutické rozmezí, elektronové energie byly použity v rozmezí 6E – 20E

dependence	max-min [%]
photon energy	0,12
electron energy	2,4



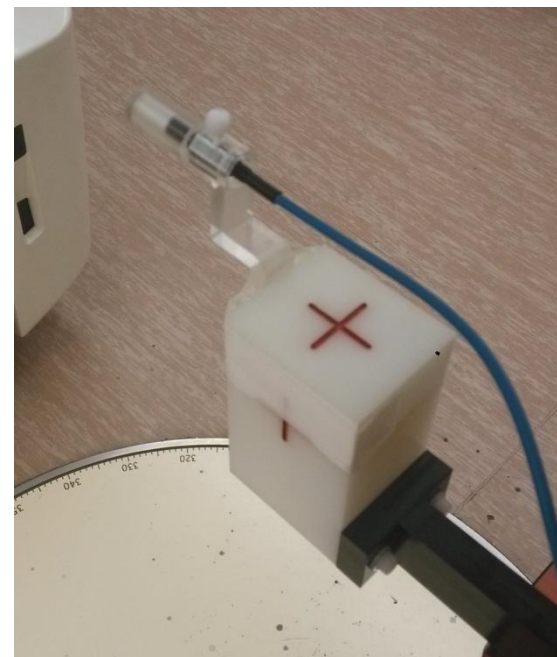
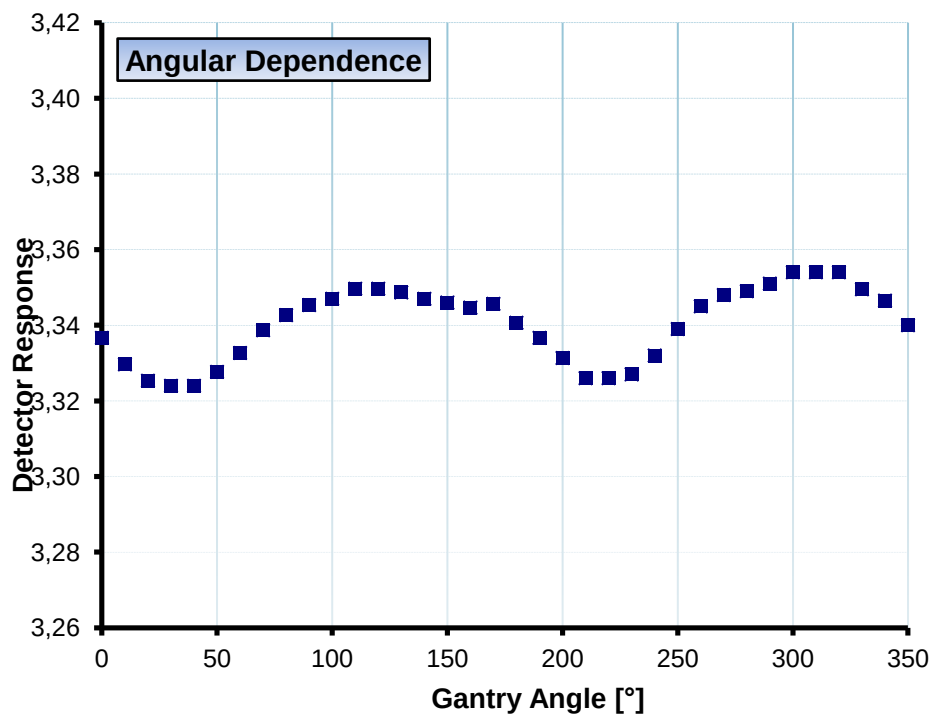
Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu

- Závislost odezvy na teplotě
 - Měřeno na urychlovači Varian Clinac 2100C/D, energie 6X
 - S rostoucí teplotou vody je sledován drobný pokles odezvy, i tak je rozdíl mezi min a max hodnotou odezvy 0,52%



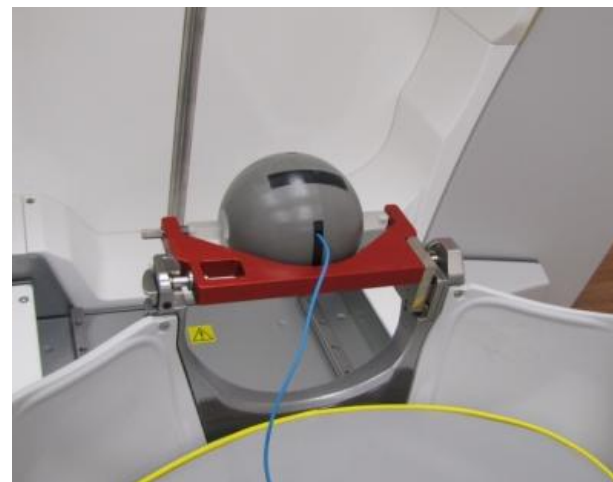
Ověření základních dozimetrických vlastností MicroDiamondu

- Směrová závislost odezvy
 - Měřeno na urychlovači Varian Clinac 2100C/D, energie 6X
 - Rozdíl mezi min a max hodnotou odezvy činí 0,90%



Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

- Leksell Gamma Knife Perfexion
(Nemocnice Na Homolce)
 - Měření output faktory pro 4 mm a 8 mm kolimátory, normalizovány k hodnotě 16 mm kolimátorů
 - Použit Elekta ABS kulový plastový fantom
 - Naměřené hodnoty srovnány s hodnotami udávanými výrobcem



Detector	4 mm ROF	8 mm ROF	Deviation to vendor's values [%]	
			4 mm ROF	8 mm ROF
MicroDiamond	0,831 ± 0,001	0,900 ± 0,001	2,1	-0,1

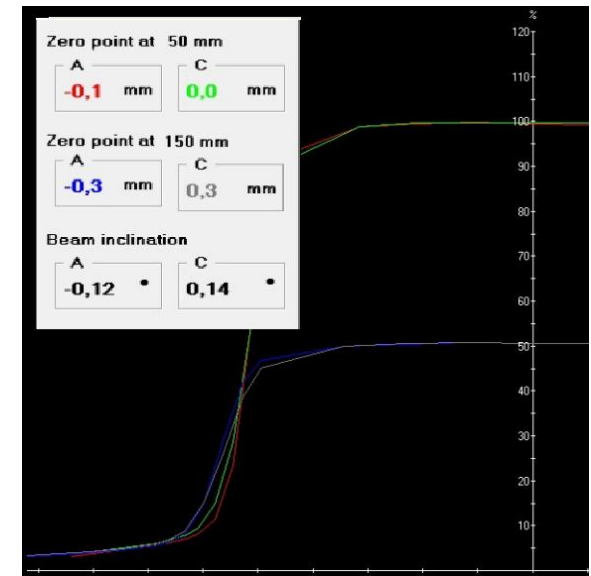
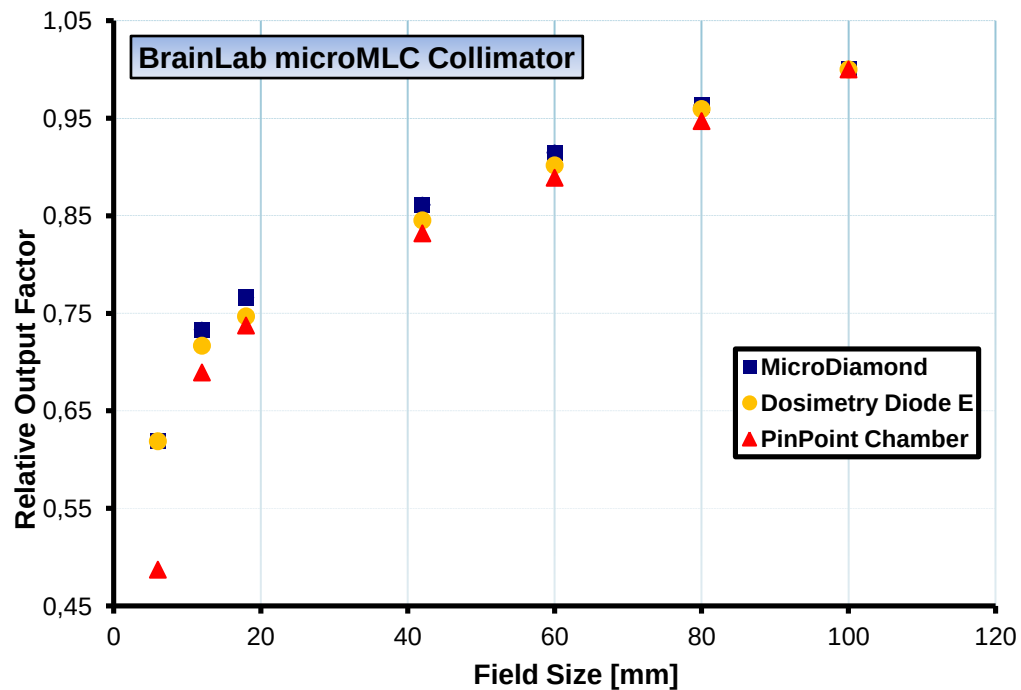
Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

- Varian Clinac 600C + BrainLab m3 microMLC
 - Měření output faktory dle požadavků BrainLab při commissioningu zařízení
 - SSD = 100 cm, hloubka 10 cm
 - Měření prováděno vždy pro 50 MU, srovnání s PinPoint ionizační komorou CC01 jako referenčním měřidlem (data z roku 2009, kdy bylo zařízení uváděno do provozu)
 - Provedeno doplňující měření s běžně používanou diodou PTW 60017 typu E

Jaws [mm]	MLC [mm]	Mean Response [pC]	ROF	Ref. Value	Difference [%]
98x98	100x100	591,423	1	1	0
80x80	80x80	569,705	0,963	0,947	1,715
60x60	60x60	541,007	0,915	0,889	2,902
44x44	42x42	509,320	0,861	0,832	3,512
20x20	18x18	452,863	0,766	0,737	3,829
14x14	12x12	433,543	0,733	0,689	6,342
8x8	6x6	366,150	0,619	0,487	27,082

Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

- Varian Clinac 600C + BrainLab m3 microMLC



Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

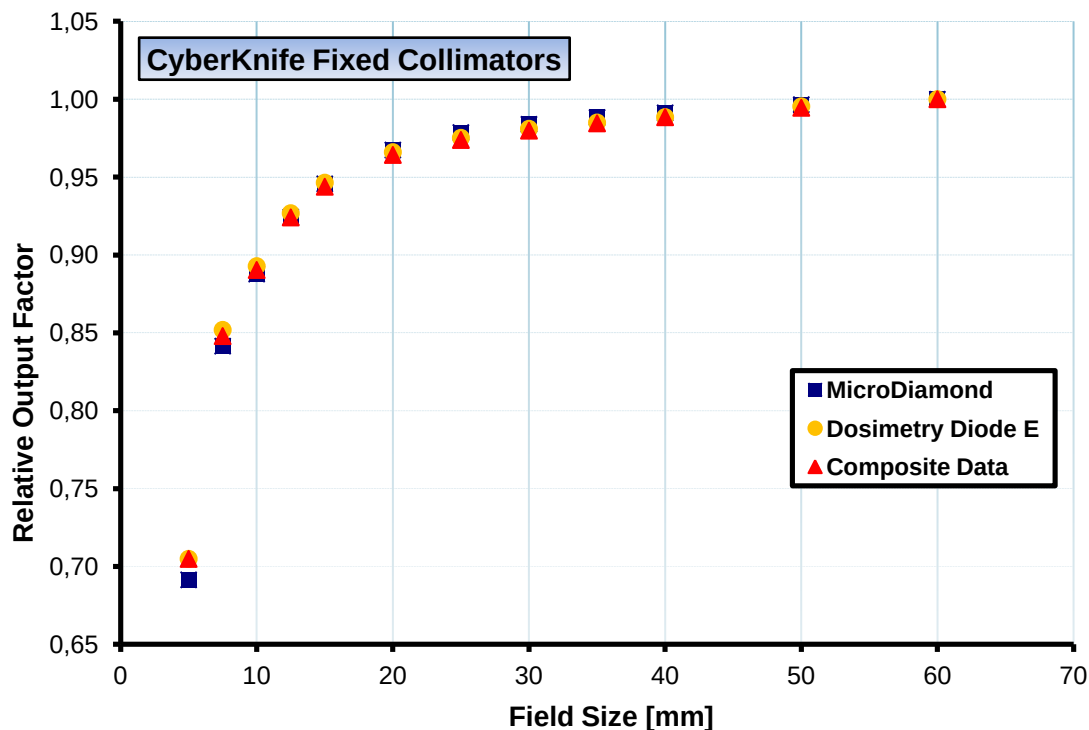
- CyberKnife (FN Ostrava)

- Měřeny byly output faktory pro ozařovací pole o průměru 50 mm – 5 mm, normalizovány k referenčnímu poli o průměru 60 mm
- Získané hodnoty byly srovnány s hodnotami zadanými v plánovacím systému (naměřenými diodou PTW 60017 typu E) a tzv. kompozitními daty (data dodaná výrobcem, jedná se o hodnoty zprůměrované z několika světových CyberKnife pracovišť)

Field Size [mm]	Mean Response [pC]	ROF	Difference [%]
60	1,141	1	0
50	1,137	0,996	0,201
40	1,131	0,991	0,283
35	1,127	0,988	0,380
30	1,122	0,984	0,413
25	1,116	0,979	0,490
20	1,103	0,967	0,326
15	1,079	0,946	0,195
12,5	1,054	0,924	0,016
10	1,013	0,888	-0,292
7,5	0,960	0,841	-0,761
5	0,789	0,691	-1,915

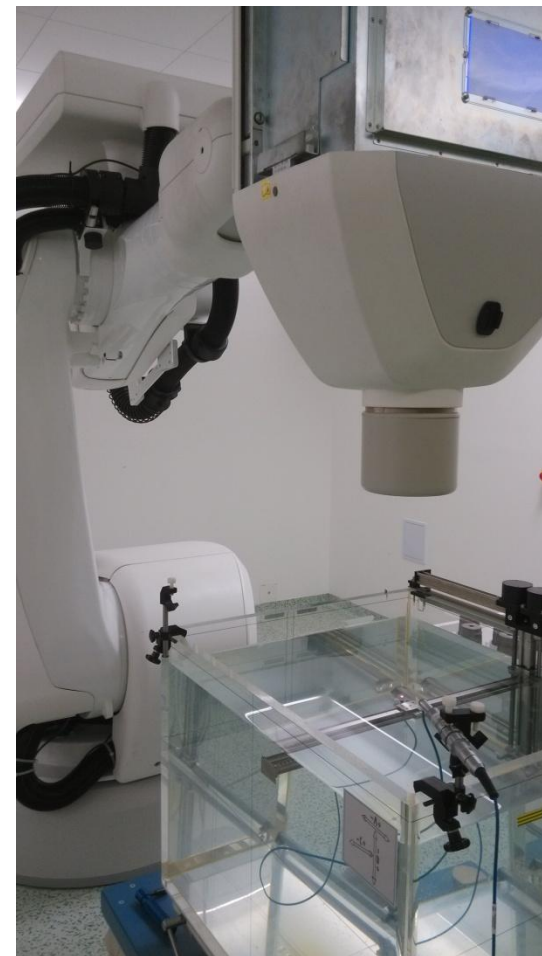
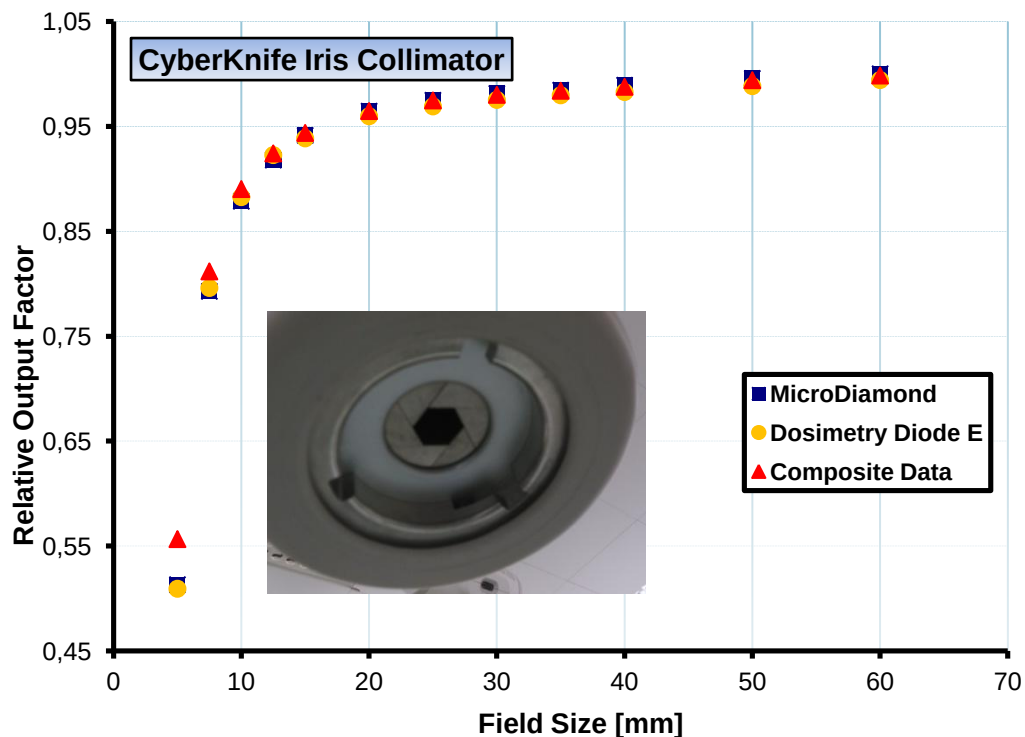
Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

- CyberKnife (FN Ostrava)
 - měření output faktorů bylo provedeno pro sadu fixních kolimátorů a také pro dynamický kolimátor Iris



Měření output faktorů na stereotaktických ozařovačích

- CyberKnife (FN Ostrava)



Závěr

- V rámci rozsáhlých měření popsaných v této prezentaci MicroDiamond detektor potvrdil, že je vhodný pro dozimetrii malých ozařovacích polí
- Potvrzuje se nezávislost odezvy na teplotě, dávkovém příkonu a fotonové energii (detektor vykazuje slabší závislost odezvy na elektronové energii, i ta je ovšem v mezích udávaných výrobcem)
- Potvrzuje se i velmi nízká směrová závislost odezvy detektoru
- Drobným negativem této studie je vyšší dávka, kterou je třeba dodat pro ustabilnění odezvy detektoru před každým měřením
- Výsledky měření output faktorů na stereotaktických ozařovacích pak poukazují na fakt, že data v plánovacím systému je třeba s vývojem dozimetrického vybavení, obzvláště pro malá ozařovací pole, periodicky ověřovat, případně updatovat



Děkuji za pozornost