



FAKULTNÍ NEMOCNICE<sup>®</sup>  
OLOMOUC

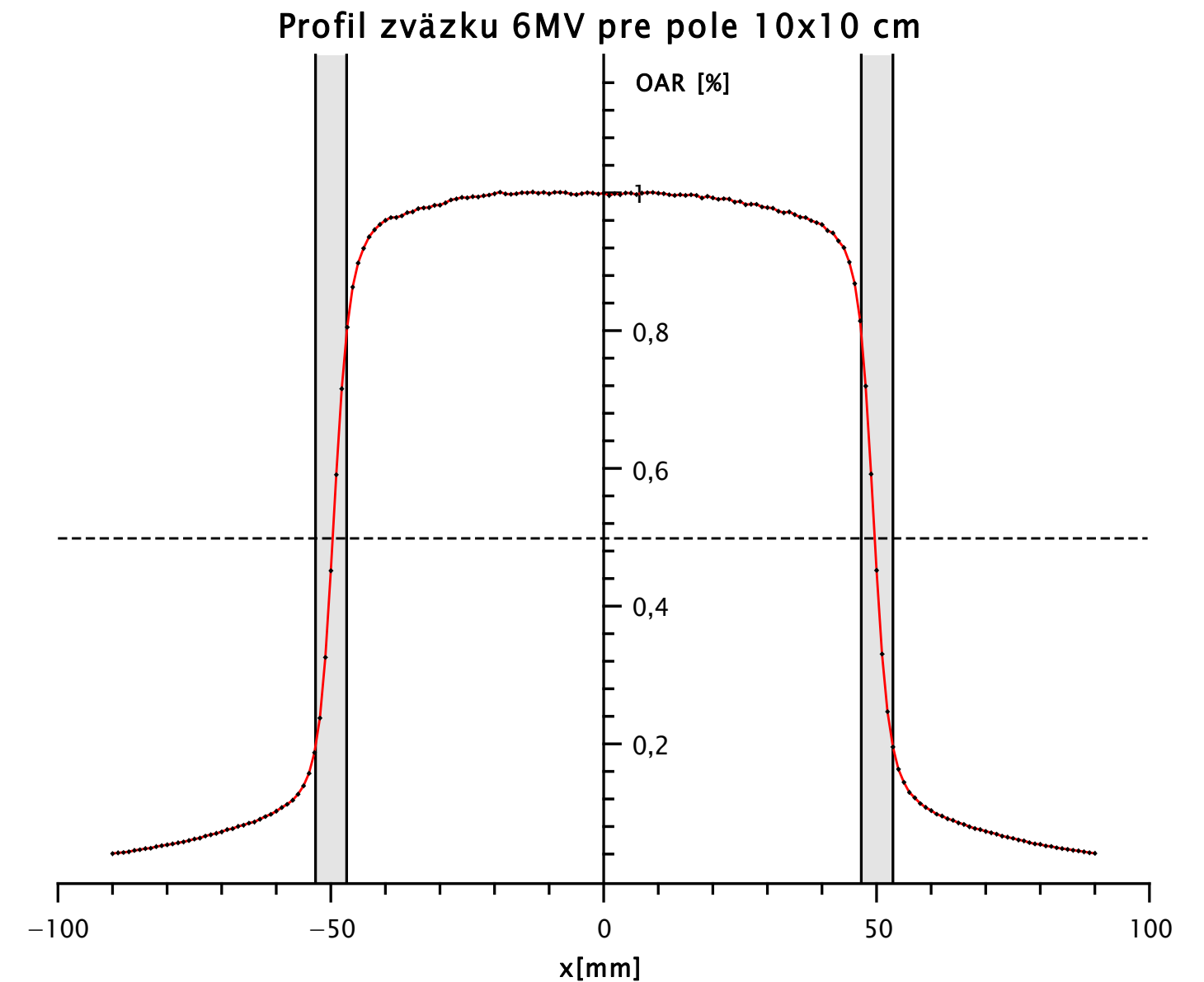
# Transformace dávkových profilů měřených detektory o různém objemu pro potřeby jejich porovnání

Dominik Fábry

Oddělení lékařské fyziky a radiační  
ochrany FN Olomouc

# Profil radiačného zväzku

- ✓ Graf závislosti parametru off-axis ratio na priestorovej súradnici  $x$
- ✓  $OAR = \frac{D_{H_2O}(z_{ref}, a, x)}{D_{H_2O}(z_{ref}, a, 0)}$ , kde  $D_{H_2O}$  je hodnota dávky v bode  $x$ , v referenčnej hĺbke  $z_{ref}$ , pre veľkosť poľa  $a$
- ✓ → norma IEC 60976 (z nej čerpajúce odporúčanie SÚJB pre LU na vykonávanie PZ, ZDS a ZPS) definuje parametre, ktoré sa stanovujú z nameraných dávkových profilov



**Obr. č.1:** grafické znázornenie závislosti OAR na priestorovej súradnici  $x$ , šedé zvislé oblasti označujú oblasť polotieňa  $p_{20-80}$ .

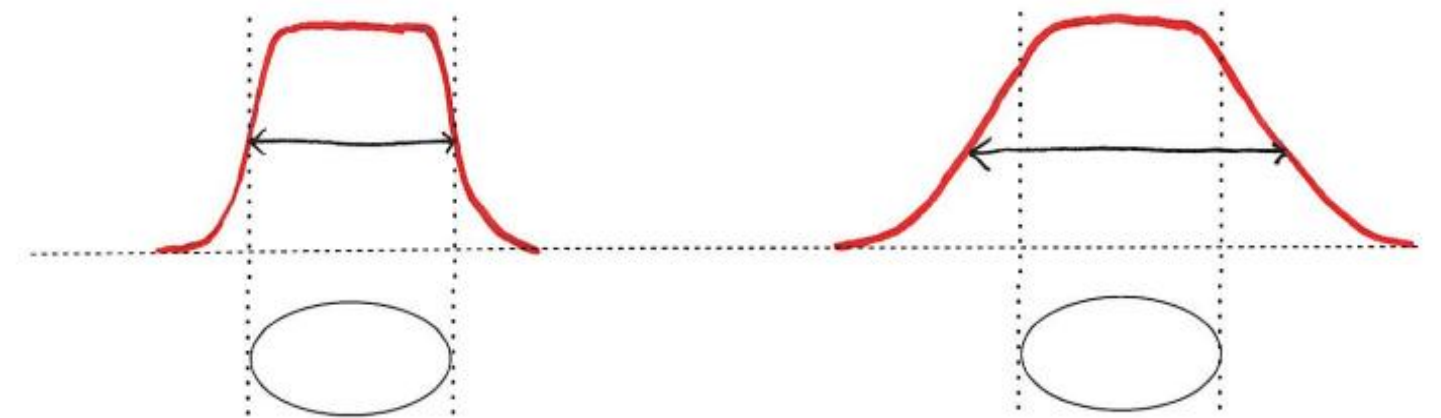
# Polotieň radiačného zväzku a jeho veľkosť

Typy polotieňa podľa spôsobu jeho vzniku:

1. Geometrický -  $p_{geom}$  - daný nenulovou veľkosťou zdroja, závisí na vzdialenosti od zdroja (SAD)
2. Transmisný -  $p_{trans}$  - daný nenulovou transmisiou cez kolimačný systém (jeho okraje) a rozptylom na kolimačnom systéme
3. Radiačný -  $p_{rad}$  - daný rozptylom v médiu a nenulovým dosahom sek.  $e^-$

→ výsledná veľkosť polotieňa je daná súčtom jednotlivých príspevkov, vzniká **fyzikálny polotieň**  $p_{phys}$ , ideálne by bolo, keby má radiačné pole čo najmenšiu veľkosť polotieňa, teda veľký dávkový gradient na okraji poľa → všeobecne sa tým docieli zvýšenie dávky v cieľovom objeme bez ďalšieho dodatočného ožiarenia okolitých štruktúr

$$p_{phys} = p_{geom} + p_{trans} + p_{rad}$$

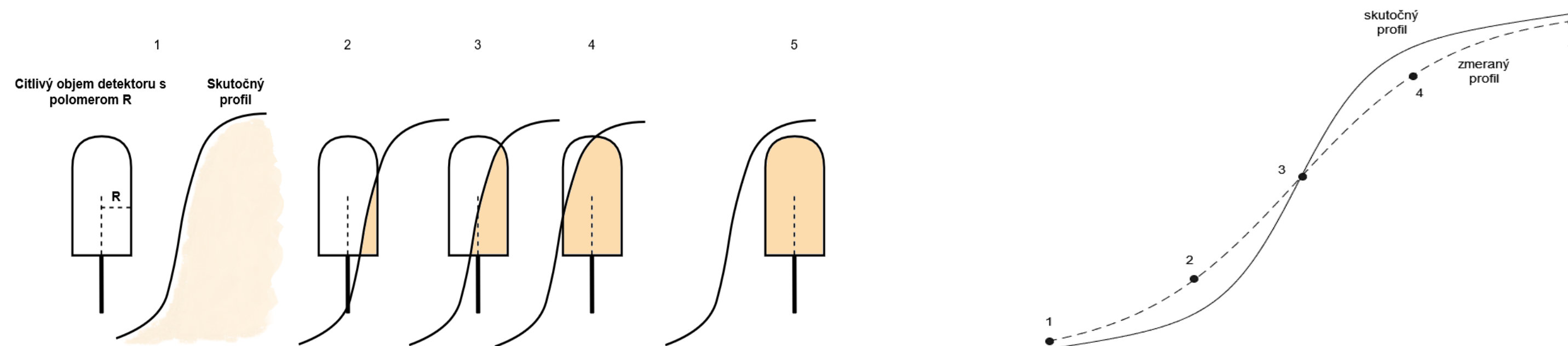


**Obr. č.2:** schematické znázornenie zväčšenia radiačného poľa s klesajúcim gradientom na okraji tohto poľa pri zachovaní takej dávkovej distribúcie v cieľovom objeme, ktorá splní požadované objemovo dávkové kritériá.

# Vplyv detektoru IZ na meranú hodnotu ionizácie



Samotný detektor žiarenia spôsobí v okamihu merania **perturbáciu** fyzikálneho polotieňa daného profilu, to znamená zmenu veľkosti a tvaru polotieňa nameraného profilu v porovnaní s fyzikálnym polotieňom tohto profilu. Všeobecne nastáva vplyvom detektoru **rozšírenie veľkosti polotieňa** (zmenšenie gradientu) a aj zväčšenie veľkosti poľa. Rozlišujú sa dva spôsoby, ktorými detektor (jeho konštrukčné parametre) ovplyvňuje množstvo zozbieraného náboja vo svojom detekčnom objeme, teda výslednú hodnotu odozvy. IK s citlivým objemom  $0,1 - 0,2 \text{ cm}^3$  spôsobí rozšírenie polotieňa o  $0,2$  až  $0,3 \text{ cm}$ .



**Obr. č.3:** schematické znázornenie merania profilu zväzku a perturbácie polotieňa tohto profilu.

# Vplyv detektoru IZ na meranú hodnotu ionizácie

01

Priemerovanie odozvy vplyvom nenulovej veľkosti citlivého (detekčného) objemu detektoru – volume averaging effect. Jedinou možnosťou, ako eliminovať túto systematickú chybu detektora, je zmenšovať citlivý objem. To však naráža na súčasné technologické možnosti.

02

Alterácia, teda narušenie distribúcie sekundárnych elektrónov v danom médiu detektorom v prípade, ak je detekčný objem tvorený materiálom s inými fyzikálnymi vlastnosťami ako je okolité médium. Nastáva zmena veľkosti  $p_{rad}$  a teda aj  $p_{phys}$ . Riešením je opäť detektor s čo najmenším detekčným objemom a materiálou ekvivalenciou citlivého objemu s médiom. Čo však opäť naráža na technologické limity.

→ oba spôsoby perturbácie sa prejavujú v oblasti veľkého gradientu dávky

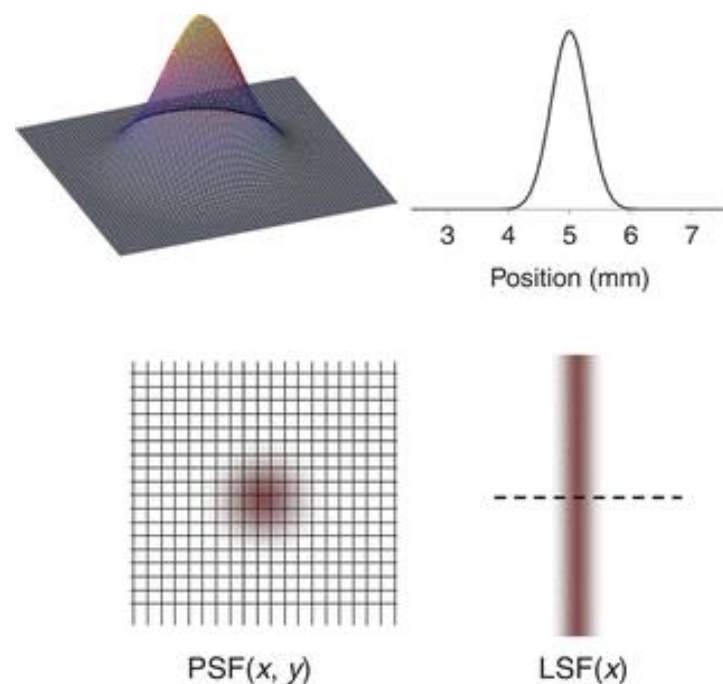
→ v prípade malých polí, teda ak  $2R \geq F$ , kde  $F$  je veľkosť poľa, nastáva z dôvodu zníženia maxima dávky na centrálnej osi zväzku k rozšíreniu veľkosti poľa

# Matematický popis perturbácie fyzikálneho polotieňa

- ✓ Výslednú hodnotu odozvy  $M$  detektoru v danom bode  $x$  je možné matematicky popísať ako integrál súčinu skutočnej hodnoty distribúcie dávky ( $P_t$ ) v tomto bode s funkciou váh

$P_m(x) = \int_{-R}^{+R} P_t(x - a)K(a)da$ , kde  $P_m(x)$  je zmeraný profil zväzku,  $P_t(x)$  je skutočný profil zväzku a  $K(a)$  je funkcia váh → uvedený zápis je zápis **1D konvolúcie**

$K(a)$  v sebe zahŕňa oba mechanizmy perturbácie polotieňa meraného profilu, charakterizuje daný detektor, v 3D prípade sa jedná o PSF (odpoveď detektoru na bodový impulz) daného detektoru, v 1D prípade o LSF



→ typicky je PSF resp. LSF daného detektoru aproximovaná Gaussovou funkciou s vhodným parametrom  $\sigma$ , pričom hodnota tohto parametru je závislá na polomere  $R$  citlivého objemu detektoru v smere náberu dát

$$LSF(x) = \frac{1}{\sigma(R)\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\frac{x^2}{\sigma(R)^2}}$$

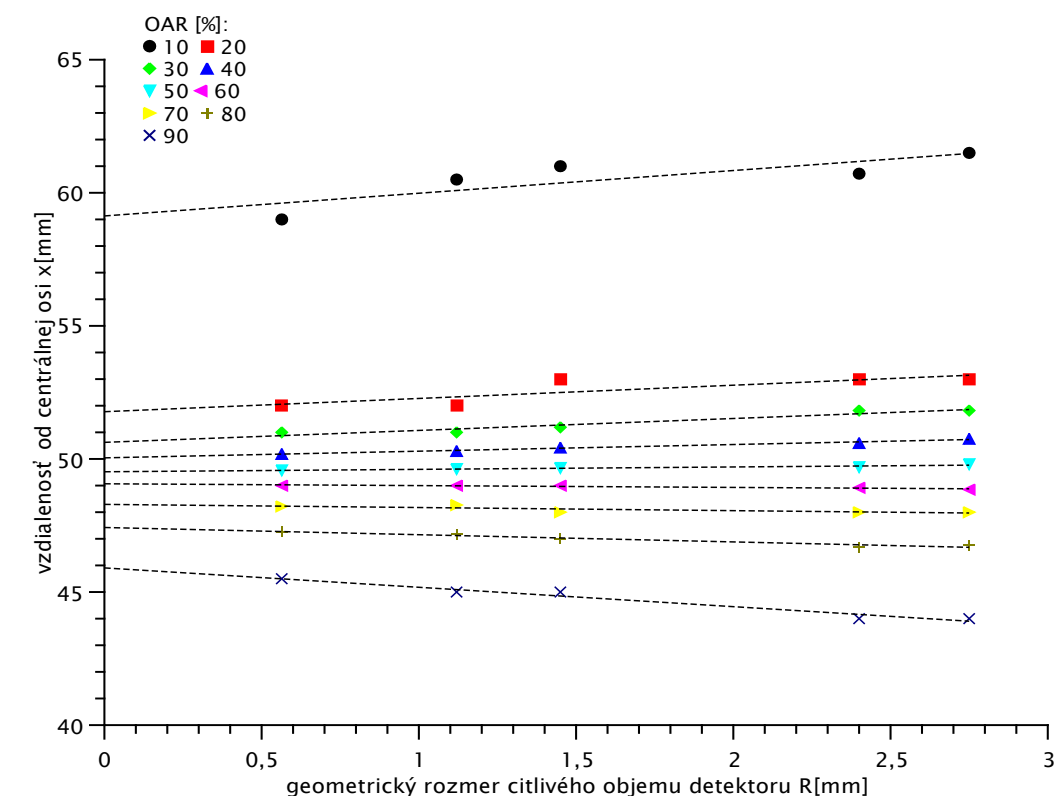
Obr. č.4: znázornenie vzťahu PSF a LSF.

# Idealizácia nameraných profilov

Ako sa dopočítať z nameraných profilov k tým pôvodným, ktoré sú v danom médiu skutočne ?

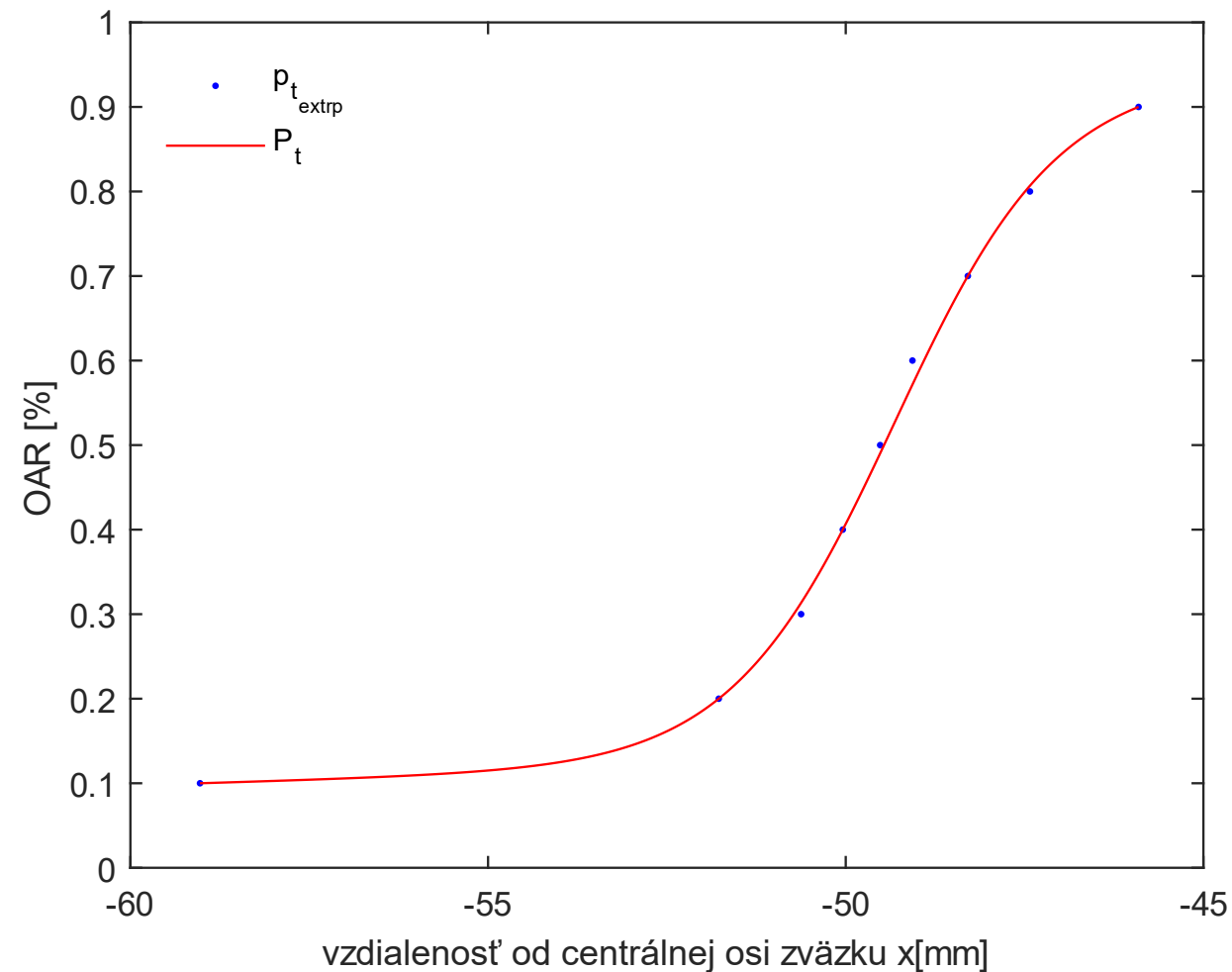
- 01 Mám LSF daného detektoru  $\rightarrow$  dekonvolúcia  $P_m(x)$  s danou LSF a získam  $P_t(x)$  - „priamočiary“ spôsob na základe matematického popisu perturbácie, využitie konvolučného teorému
- 02 Použiť vhodný detektor (dióda, diamant) a považovať namerané profily za skutočné
- 03 Extrapolovať hodnoty polotieňa na nulovú veľkosť detektora

Ako sme postupovali vo FN OL ?  $\rightarrow$  extrapoláciou na nulový objem sme určili  $P_t(x)$  (teda extrapolované profily považujeme za tie skutočné)  $\rightarrow$  následne sme iteratívne riešili konvolúciu  $P_t(x)$  s LSF s meniacim sa parametrom  $\sigma$  pokiaľ nedosiahlo  $R^2$  medzi  $P_m(x)$  a  $P_{m,conv}(x)$  minimum  $\rightarrow$  získali sme LSF daného detektoru a porovnali na overenie správnosti  $P_t(x)$  s  $P_{t,deconv}(x)$



**Obr. č.5:** grafické znázornenie lineárnej extrapolácie na nulový objem detektoru závislosti vzdialenosti danej hodnoty OAR na R pre pole 10x10 cm.

# Idealizácia nameraných profilov



**Obr. č.6:** grafické znázornenie prekladu bodov určených extrapoláciou pre pole 10x10 cm,  $R^2=0,9981$ .

$$P_t(x) = \frac{a}{1 + e^{b*(x-c)}} + \frac{a_1}{1 + e^{b_1*(x-c)}}$$

$p_{m20-80} - p_{t20-80}$ [mm]					
Diode P	micro-Diamond	PinPoint 3D	Semiflex 3D	Semiflex	Star-Check
$0,6 \pm 0,19$	$0,98 \pm 0,24$	$1,6 \pm 0,3$	$2,46 \pm 0,36$	$2,58 \pm 0,35$	$4,3 \pm 0,69$

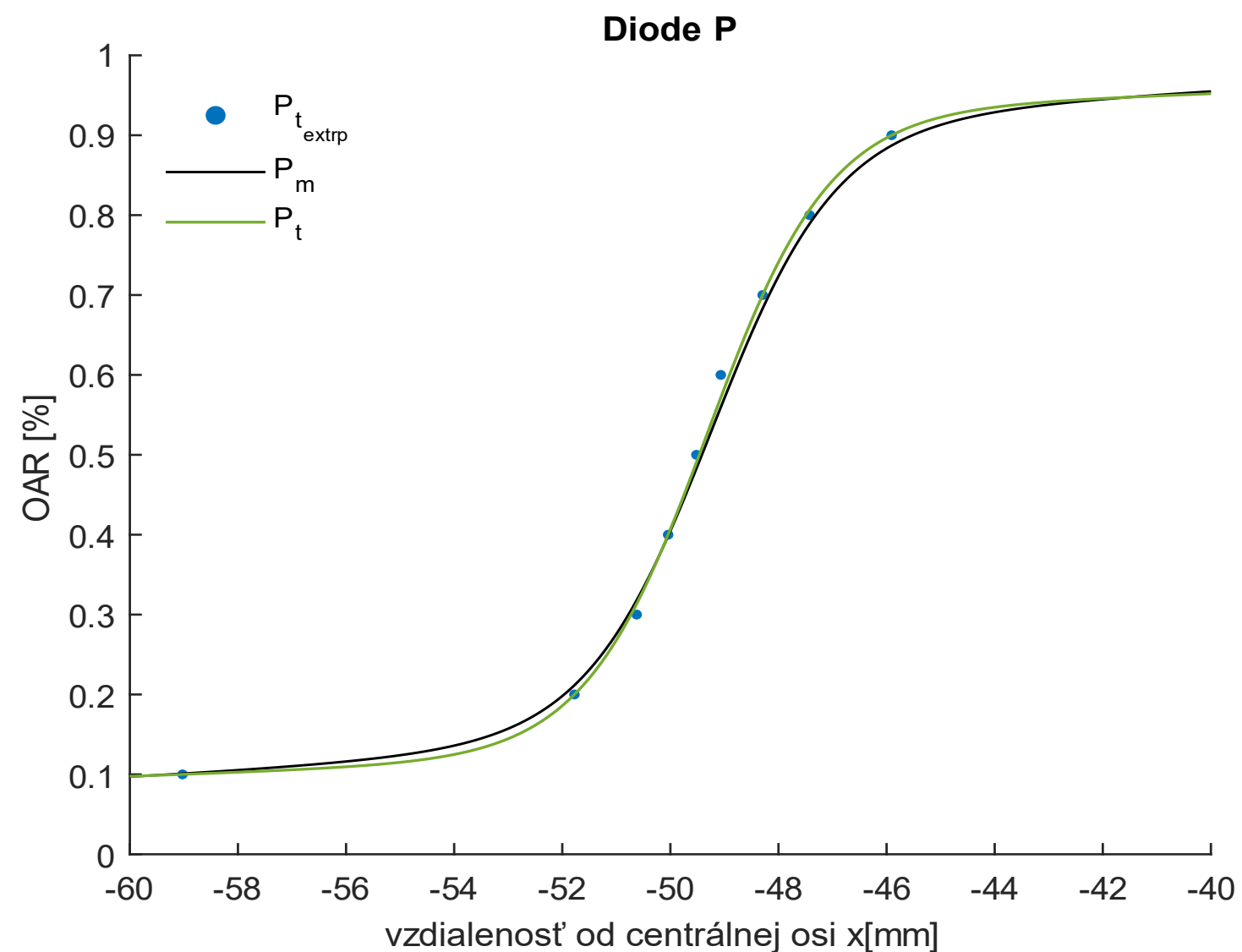
**Tab. č.1:** priemerná hodnota (rôzne veľkosti poľa) rozšírenia veľkosti polotieňa detektorom.

$\frac{p_{m20-80} - p_{t20-80}}{p_{t20-80}}$ [%]					
Diode P	micro-Diamond	PinPoint 3D	Semiflex 3D	Semiflex	Star-Check
$16,09 \pm 5,87$	$25,04 \pm 4,67$	$40,96 \pm 6,31$	$66,69 \pm 11,98$	$63,54 \pm 11,16$	$110,1 \pm 15,73$

**Tab. č.2:** priemerná hodnota (rôzne veľkosti poľa) relatívneho rozšírenia veľkosti polotieňa detektorom.



# Idealizácia nameraných profilov



**Obr. č.7:** grafické porovnanie profilu získaného extrapoláciou a profilu určeného meraním Diódou P, pole veľkosti 10x10 cm

→ z grafu je možné pozorovať relatívnu zhodu oblasti polotieňa určeného meraním a extrapoláciou

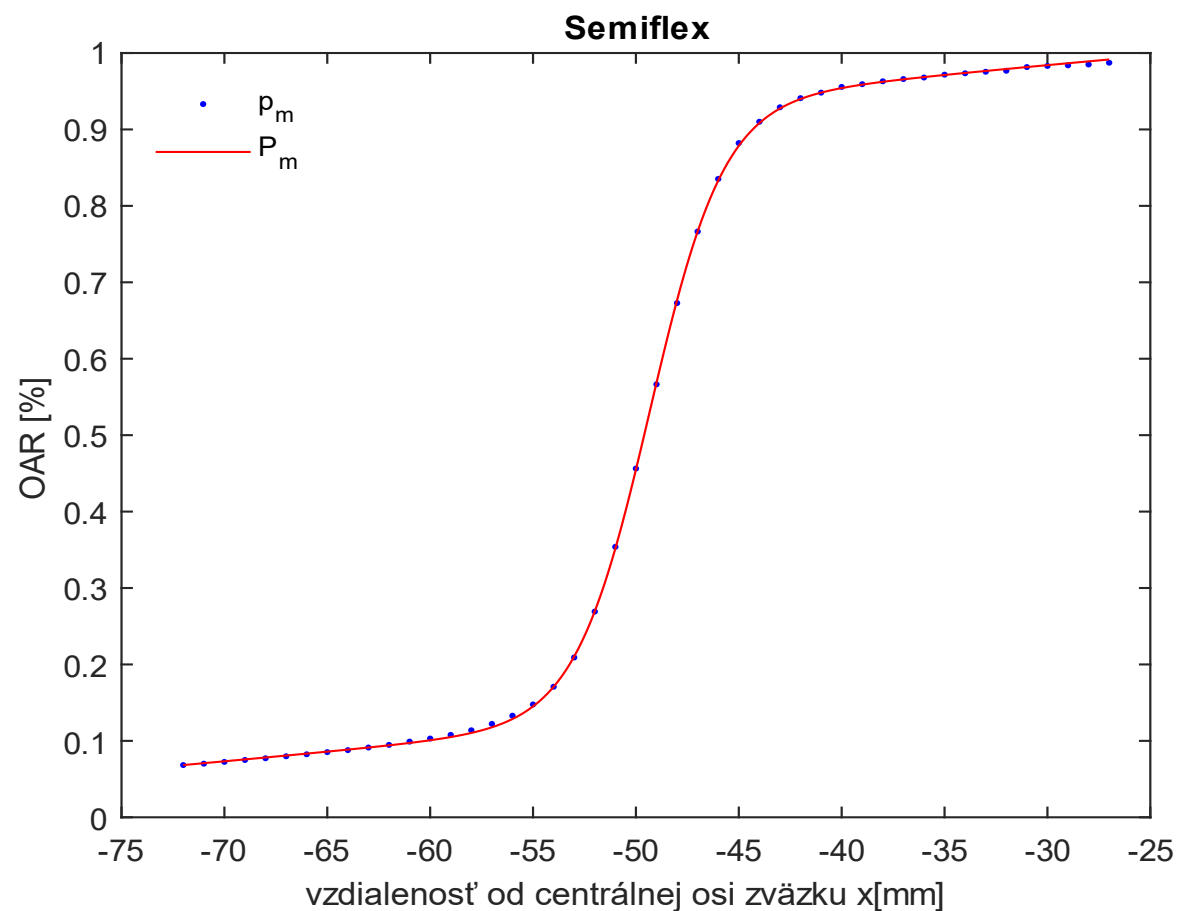
→ oblasť polotieňa určená meraním diódou má o niečo menší gradient → efekt perturbácie

→ pre veľkosť poľa 10x10 dióda rozšíri polotieň o 0,38 mm

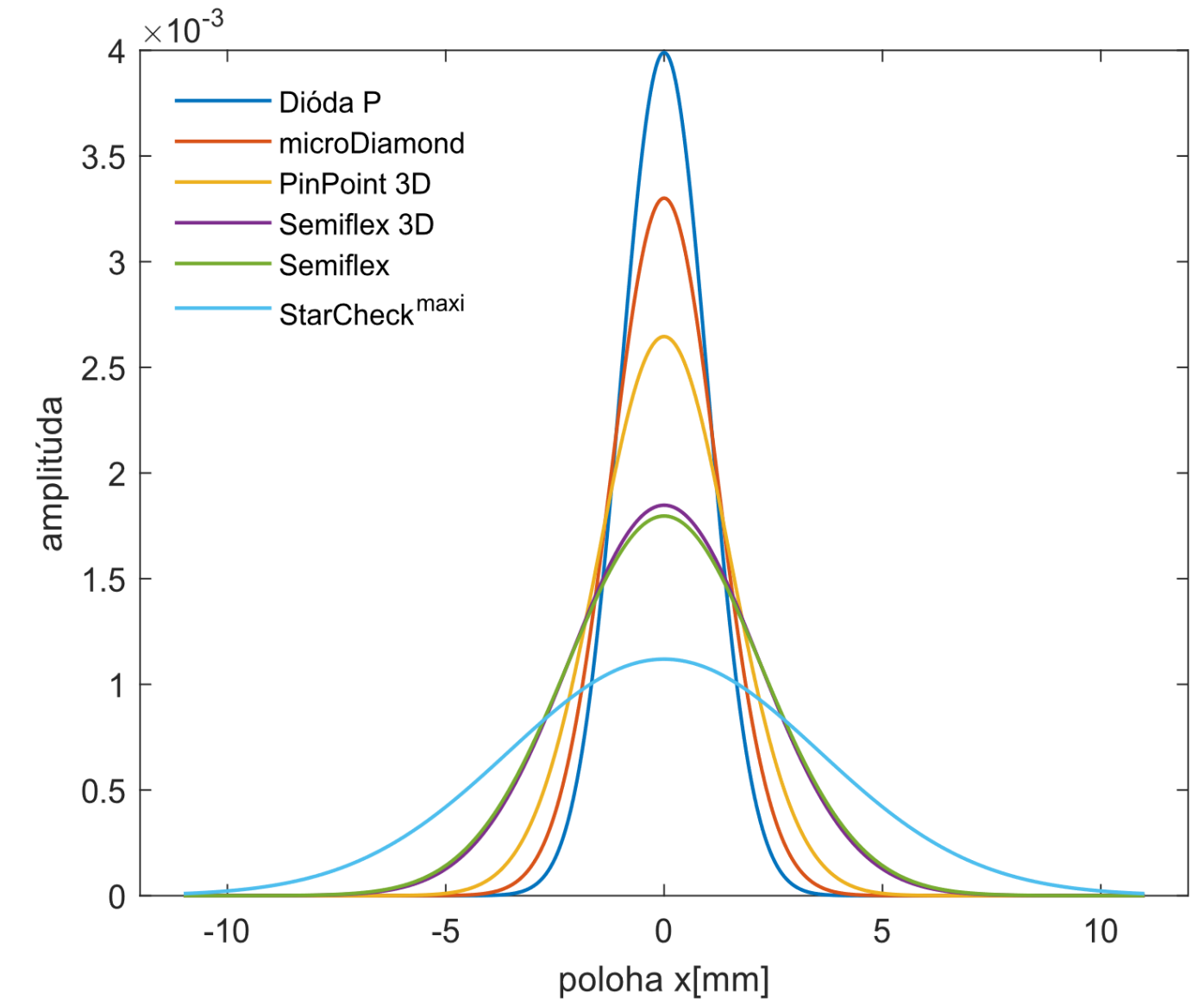
# Idealizácia nameraných profilov

výsledná $\sigma$ [mm] a hodnota R [mm]						
Detektor	Diode P	micro-Diamond	PinPoint 3D	Semiflex 3D	Semiflex	Star-Check
$\sigma$ [mm]	1	1,21	1,51	2,16	2,22	3,57
R [mm]	0,564	1,12	1,45	2,4	2,75	4

Tab. č.3: hodnota parametru  $\sigma$  a R pre 7 rôznych detektorov.

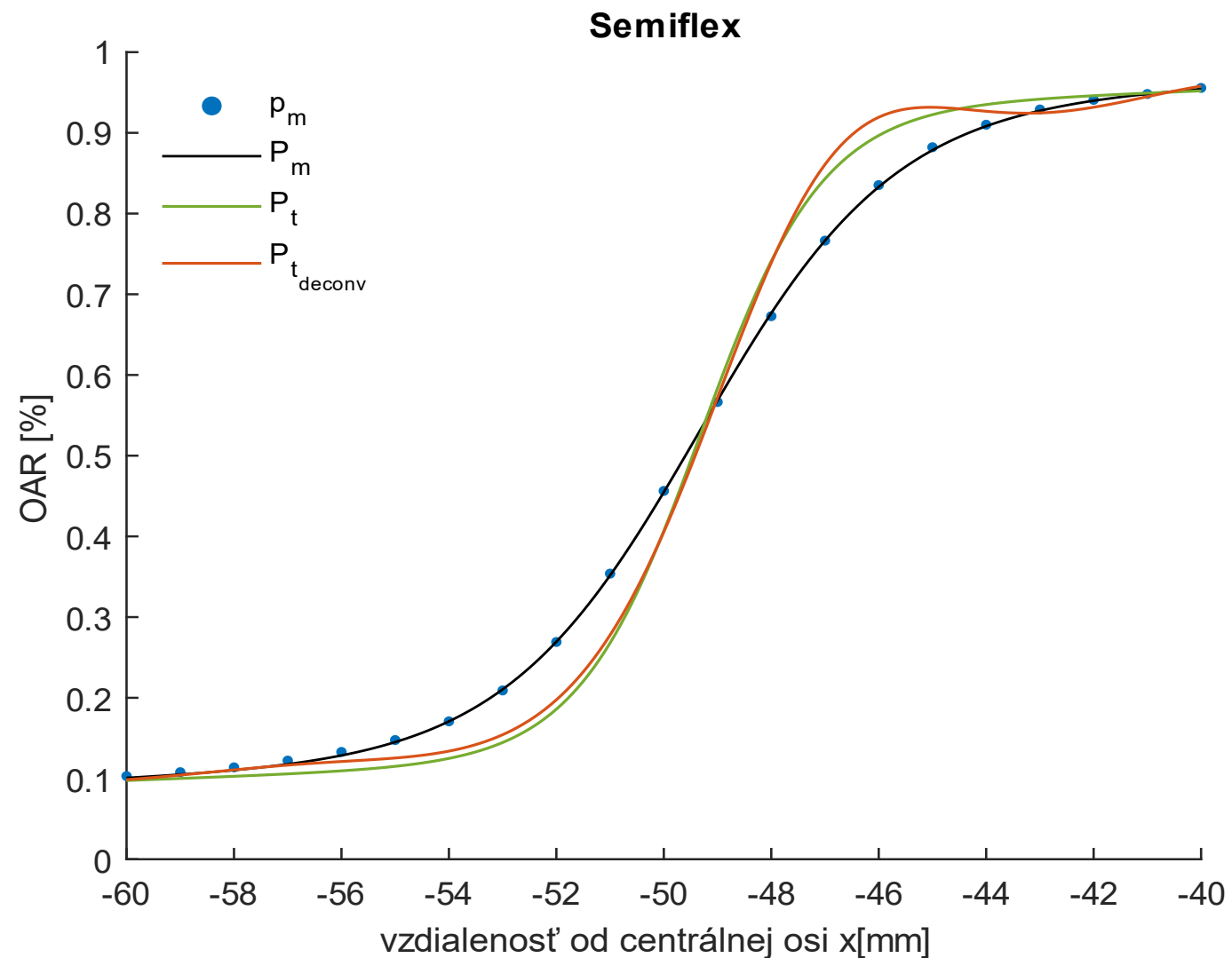


Obr. č.9: grafické znázornenie prekladu hodnôt OAR stanovených na základe merania ionizačnou komorou semiflex pre pole 10x10 cm,  $R^2=1$ .



Obr. č.8: grafické znázornenie výsledných LSF pre každý detektor s určeným parametrom  $\sigma$ .

# Idealizácia nameraných profilov

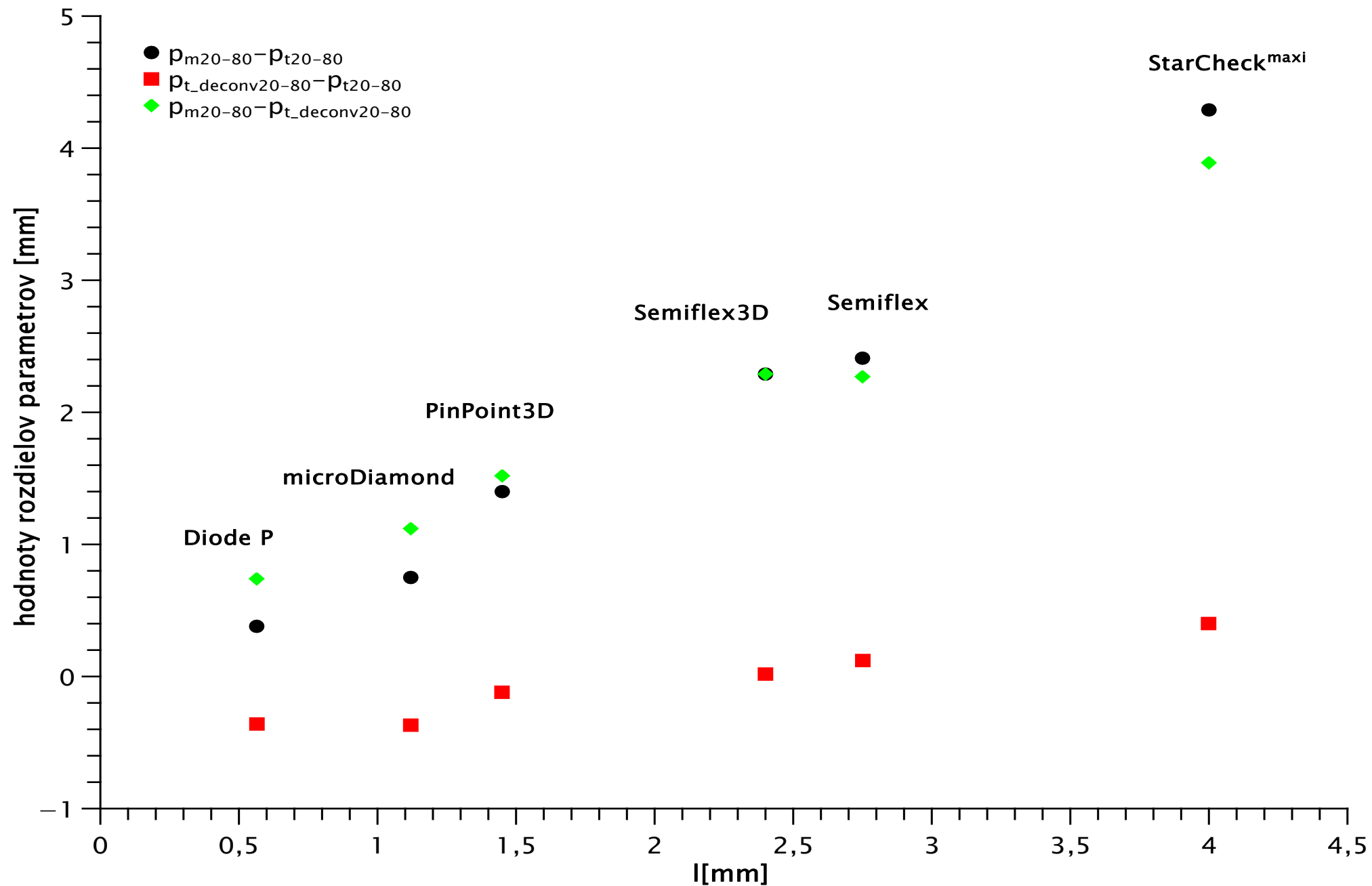


**Obr. č.10:** grafické porovnanie idealizovaného profilu (polotieňa) dekonvolúciou s profilom určeným extrapoláciou a s nameraným profilom IK Semiflex, pole 10x10 cm.

$ p_{t_{deconv}20-80} - p_{t20-80} $ [mm]					
Diode P	micro-Diamond	PinPoint 3D	Semiflex 3D	Semiflex	Star-Check
$0,25 \pm 0,2$	$0,26 \pm 0,12$	$0,28 \pm 0,25$	$0,32 \pm 0,23$	$0,23 \pm 0,17$	$0,62 \pm 0,26$

**Tab. č.4:** priemerné hodnoty absolútnych hodnôt rozdielu medzi veľkosťou polotieňa určené z už idealizovaného profilu a z profilu určeného extrapoláciou. Priemerné hodnoty boli spočítané z hodnôt pre rôzne veľkosti poľa.

# Idealizácia nameraných profilov



→ dekonvolúciou nie je možné úplne eliminovať vplyv detektoru na meranie – záporné hodnoty sú výsledkom voľby parametru  $\sigma$

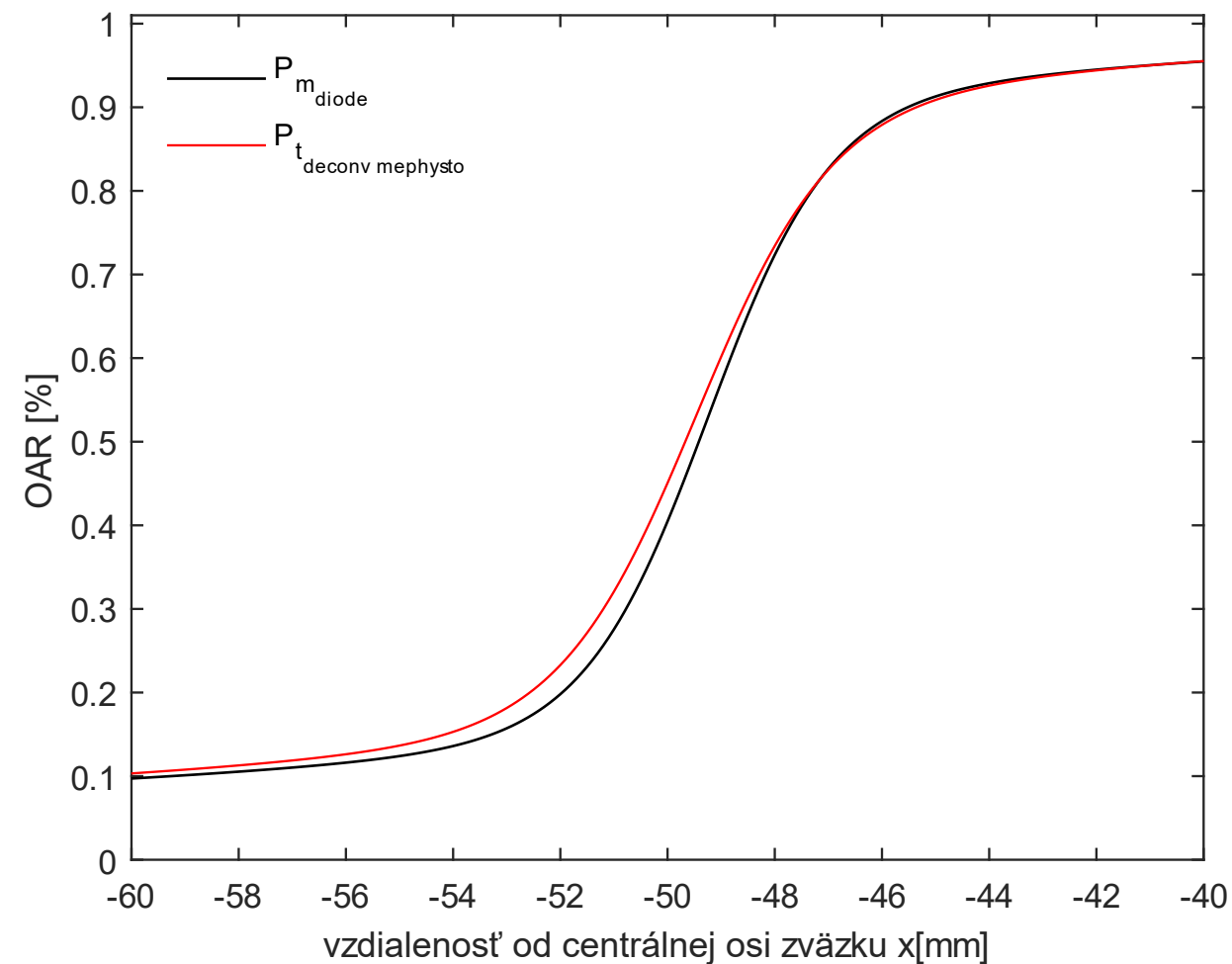
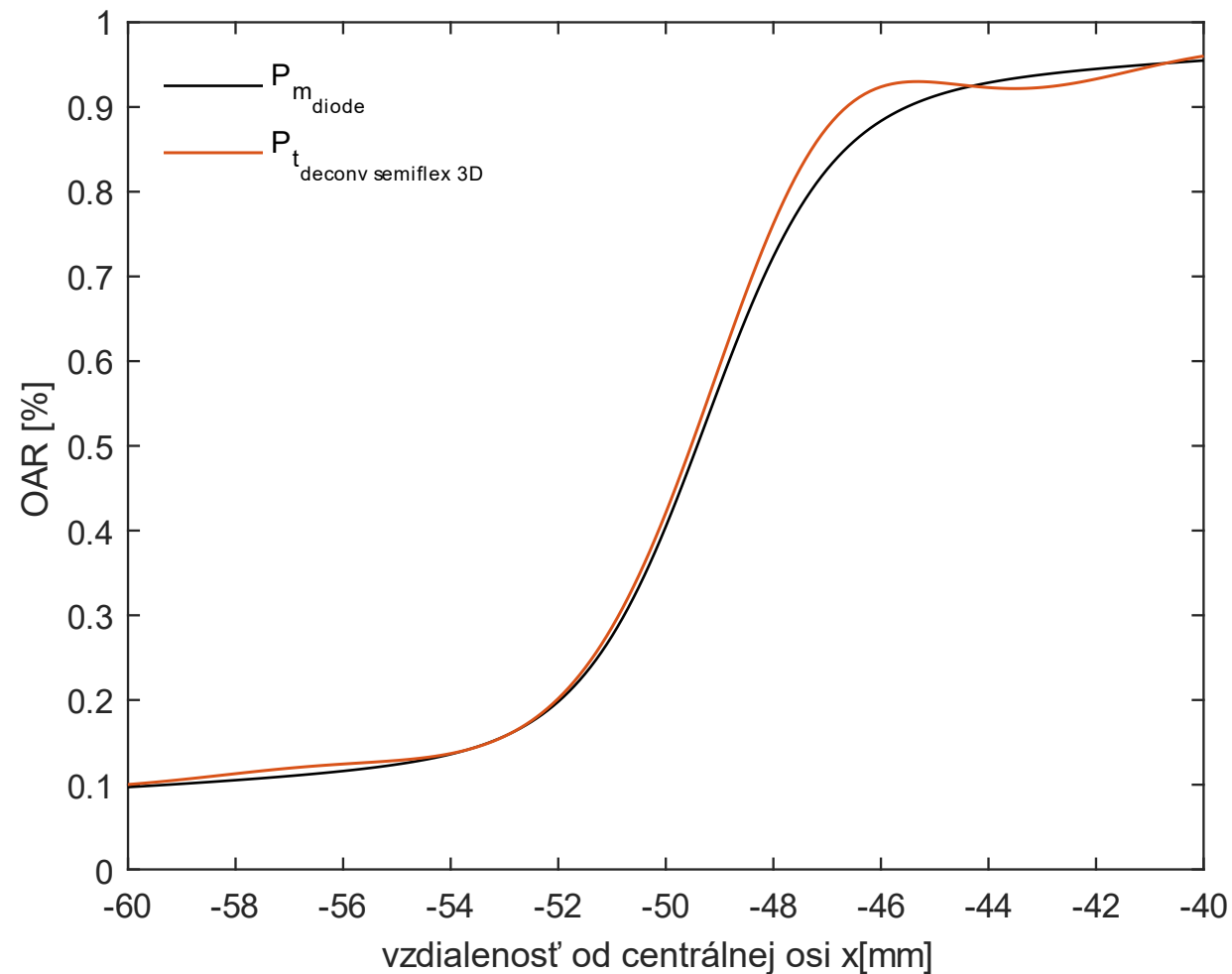
→ pre každý detektor mám určenú  $\sigma$ , teda môžem namerané profily idealizovať (potreba vhodného softwarového riešenia)

**Obr. č.11:** grafické znázornenie rozdielov jednotlivých parametrov pre všetky použité detektory a veľkosť poľa 10x10 cm. Hodnoty znázornené čiernou farbou označujú chybu zavedenú meraním, zelená označuje o koľko bola táto chyba korigovaná idealizáciou a červená udáva rozdiel medzi idealizovanou a extrapolovanou veľkosťou polotieňa.

# Idealizácia nameraných profilov – dekonvolúcia v Mephysto



v software Mephysto možná idealizácia nameraných dát IK Semiflex 3D (funkcia deconvolve)



Hodnoty pre pole 10x10 cm:

$$p_{m20-80_{diode}} = 4,66\text{ mm}$$

$$p_{t20-80_{deconv}} = 4,3\text{ mm}$$

$$p_{t20-80_{deconv\ mephysto}} = 5,38\text{ mm}$$

$$p_{m20-80_{sem\ 3D}} = 6,57\text{ mm}$$

**Obr. č.12:** grafické porovnanie meraním stanovenej oblasti polotieňa diódou s idealizovanou oblasťou polotieňa dekonvolúciou, ktorá bola stanovená na základe merania IK Semiflex 3D, veľkosť poľa 10x10.

DĚKUJEME ZA POZORNOST

FAKULTNÍ NEMOCNICE OLOMOUC



FAKULTNÍ NEMOCNICE<sup>®</sup>  
OLOMOUC