



Protonová terapie PTC Praha

Lubomír Zámečník
Vladimír Vondráček
PTC

www.ptc.cz

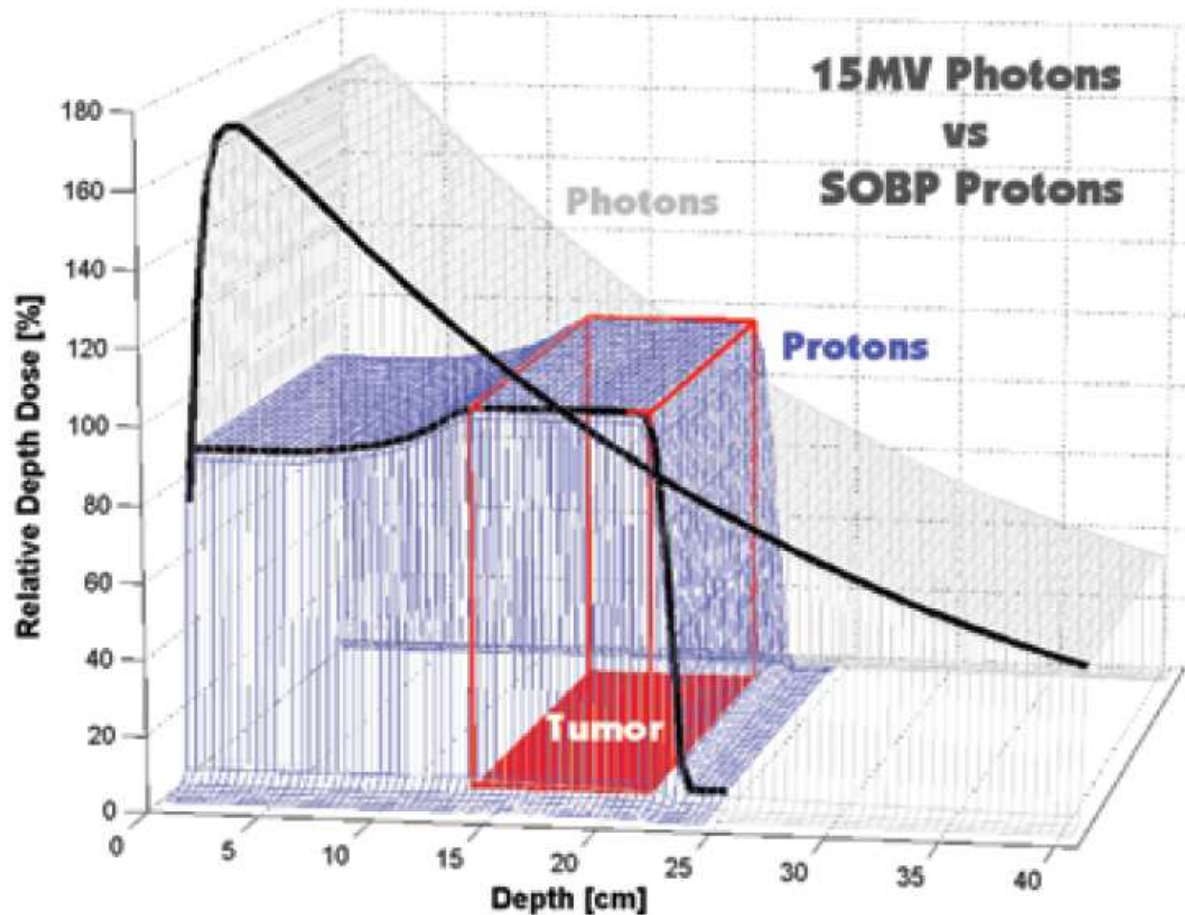
PROTON
THERAPY
CENTER



Brzdné záření vs nabité částice

Usmrcení nádorových buněk pomocí externích svazků záření

Můžeme to udělat lépe?



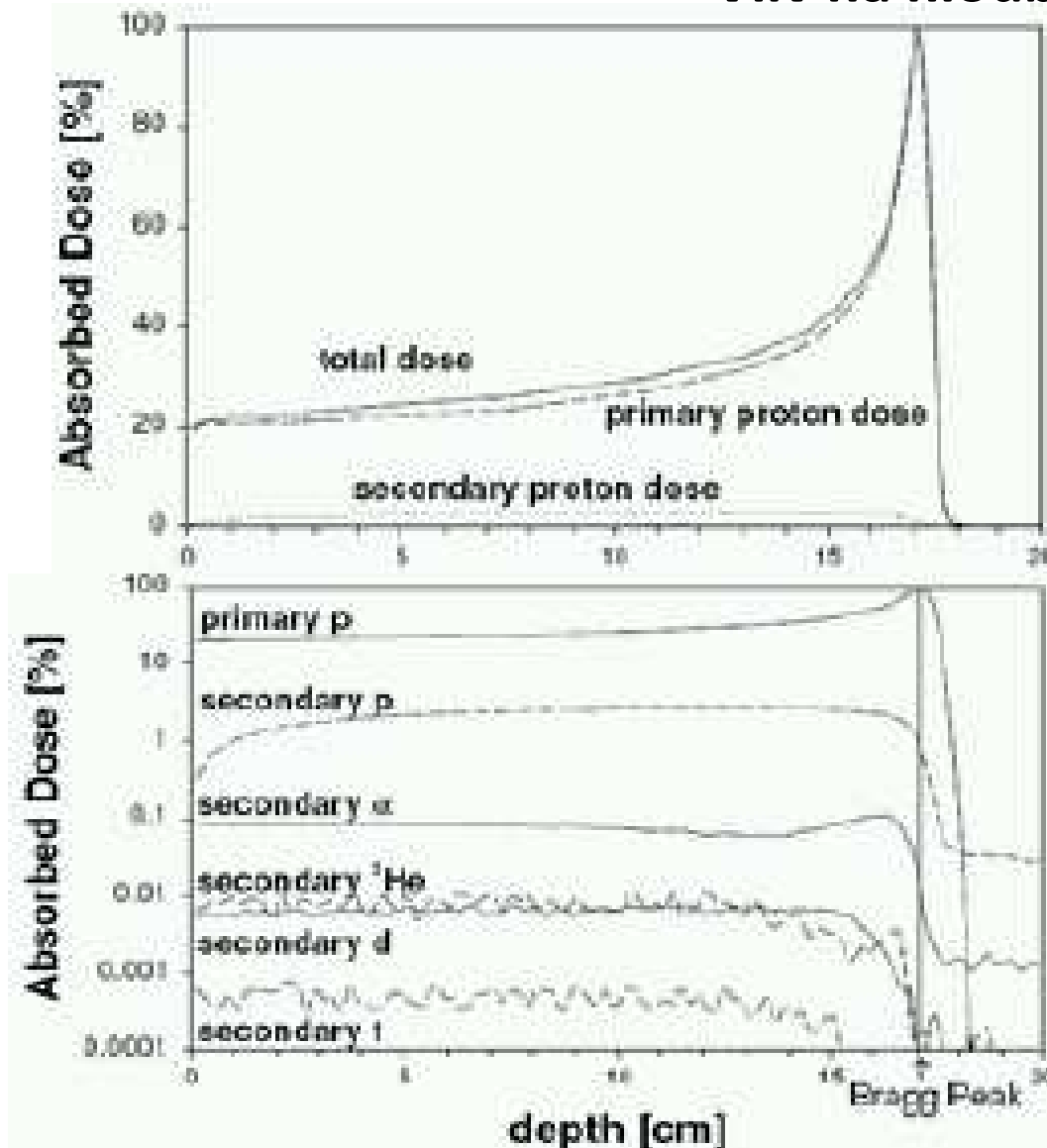
Ano,
s částicemi

PROTON
THERAPY
CENTER



Jaderné reakce – dozimetrické účinky

Vliv na hloubkovou dávkovou křivku



- Jaderným interakcím je vystavena jenom určitá část protonů , hlavně na ^{16}O ($\sim 1\%/cm$).
- Vznikají sekundární částice a dochází k lokálním a nelokálním dávkovým depozicím, zahrnujícím
 - Sekundární protony
 - Neutrony
 - Deutorony
 - ^3He
 - α částice.

Ztráta asi 20% primárních protonů



RBE

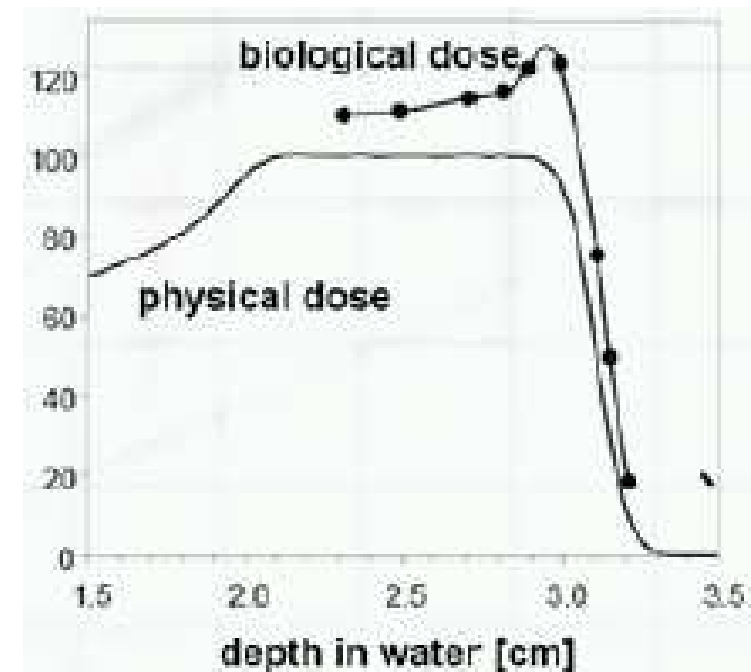
$$D_{\text{eff}} = D_{\text{phys}} \cdot \text{RBE}$$

RBE závisí na:

- Druhu částic
- Energii / LET
- Buňkách / Typu tkáně
- Dávce
- ...

Protony:

- Nárůst RBE průměrně cca 10%
- Zvýšení v posledních 2 mm doletu





RBE – klinické využití

Studie uvádí průměrné hodnoty pro protony:

- RBE = 1,21 (měření in vitro)
- RBE = 1,07 (měření in vivo)

Pro klinickou protonovou terapii:

- Konstantní hodnota RBE = 1,1

Příklad protonové terapie prostaty:

- Předpis 78 CGE = $78/1,1 \text{ Gy} = 70,91 \text{ Gy}$
- 2,0 CGE/frakci = 1,82 Gy/frakci

Konverze CGE na Gy se používá jenom pro MU výpočet/měření



Protonová terapie

Výhody zejména pro

Radioresistentní tumory v blízkosti kritických orgánů a struktur

- **prostata**
 - rektum, močový měchýř
- **hlava - krk**
 - Mozkový kmen, chiasma, oční nervy, sítnice, slinné žlázy ...
- **nádory dětského věku**
 - meningeomy
 - kraniospinální osa



Proton Therapy Center

- Technologie pro dosažení kvalitní dávkové distribuce (IMPT)
- Technologie pro přesnou lokalizaci cílových objemů
- Technologie pro zaměření cíle (IGRT)

Maximalizace výhod protonové terapie



Technologie PTC – p+ svazek

- **CyklotronProteus 235
(230 MeV)**

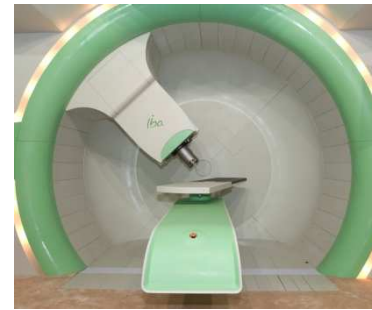


- **5 ozařoven**

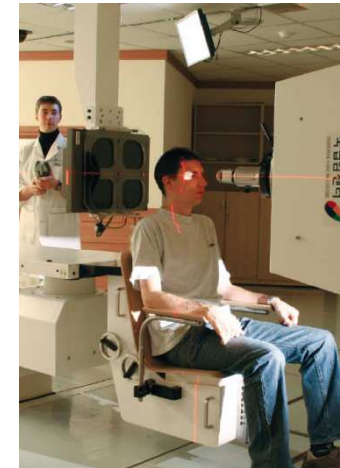
1 „fixed beam“



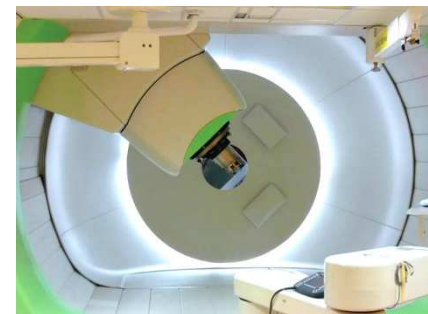
3 Gantry



1 Eye beam



- **Universal nozzles (včetně PBS) – 2x**
- **Dedicated Pencil Beam - 2x**
- **Eye beam nozzle**



**PROTON
THERAPY
CENTER**



Technologie PTC – Imaging

- 2x CT (1x wide-bore, 4D, virt. sim)



- 2x NMR



- 1x CT-PET





Technologie PTC – IGRT

- Ortogonální kV projekce (výhledově cone-beam)
- Respiratory gating
- Video-based Patient Positioning System (VisionRT®)



PROTON
THERAPY
CENTER



Fixace

- Reprodukovatelnost
- Maximalizace přesnosti
- Logistika



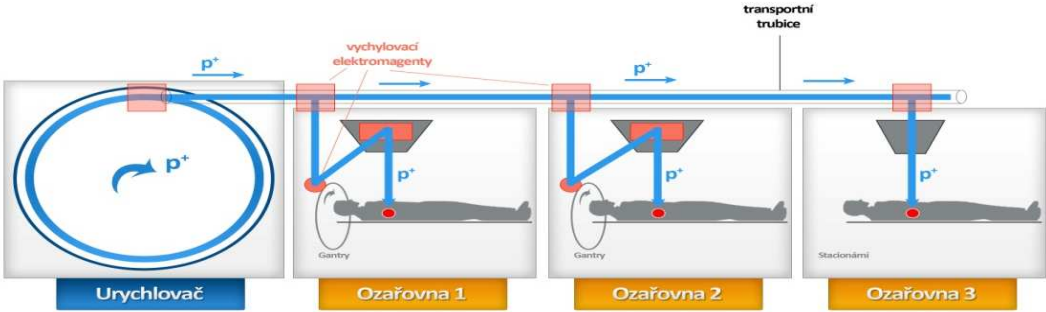
Přepínání svazku
mezi ozařovny v
řádu minut

PROTON
THERAPY
CENTER



Fixace, transport

Blue-Bag System
PatLog System



Ozařování

Positioning

Přesun na
ozařovnu

PROTON
THERAPY
CENTER



MOSAIQ

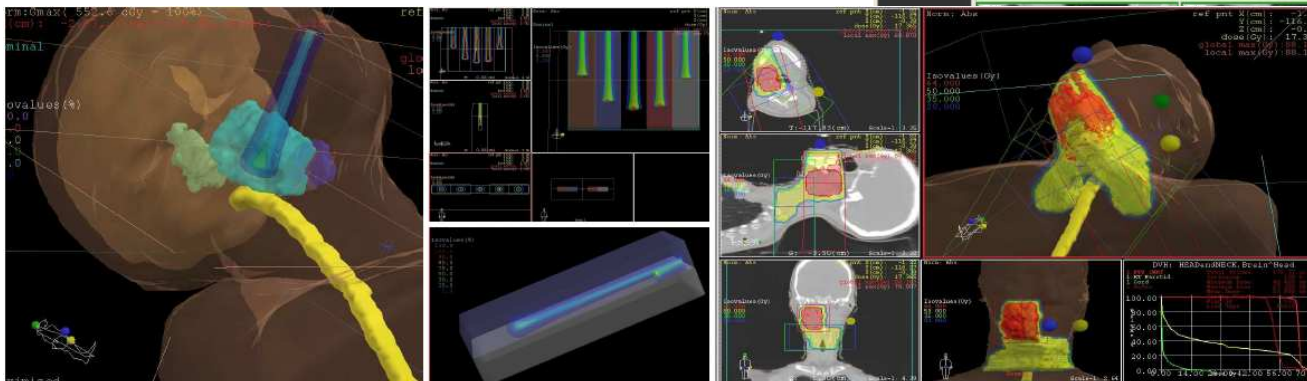
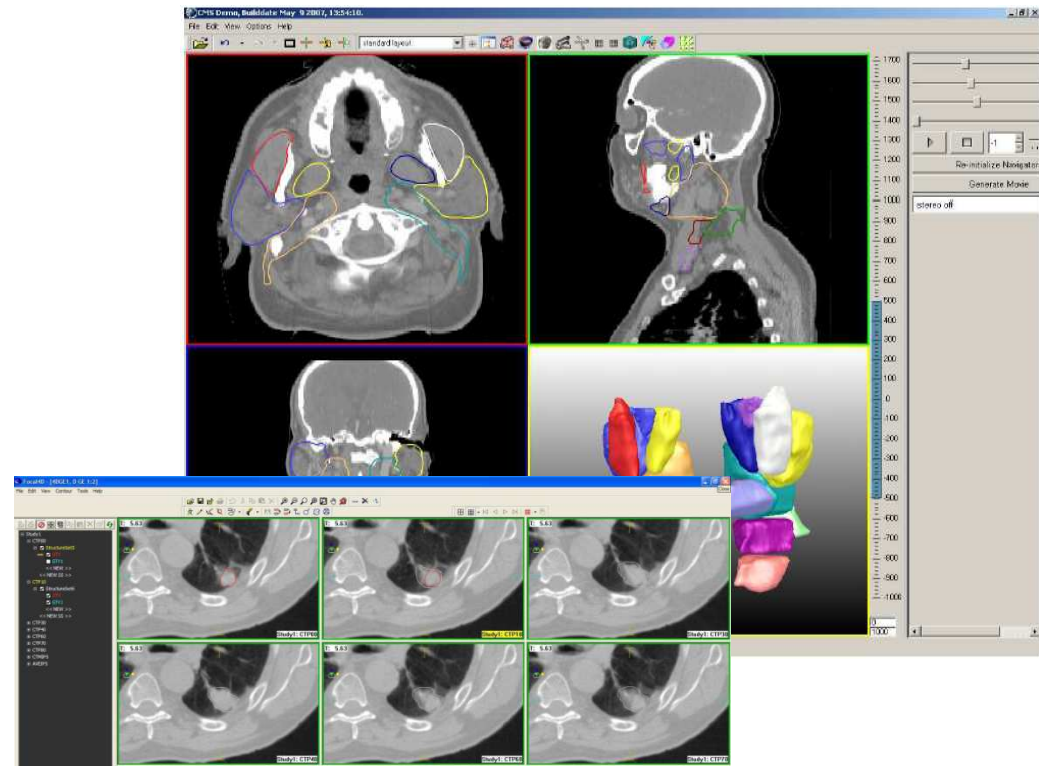
- OIS (Oncology Information System)
- Uchovává kompletní informaci o pacientovi, provedených a plánovaných výkonech, historii ozáření atd.
- Kontroluje správnost nastavení pacienta a ozáření
- Ukládá a zpřístupňuje obrazové informace (verifikační snímky, CT, MRI)





TPS XiO 4

- TPS – Treatment planning system – Plánovací systém pro radioterapii
- Pokročilé funkce konturování (ABAS – Atlas Based Auto-Segmentation)
- Práce s pohyblivými strukturami – Focal 4D

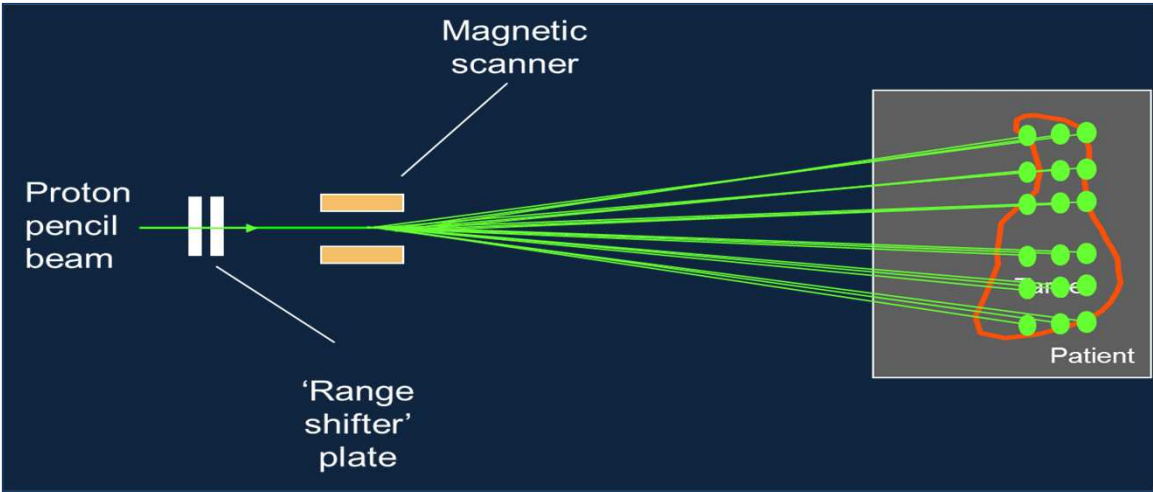
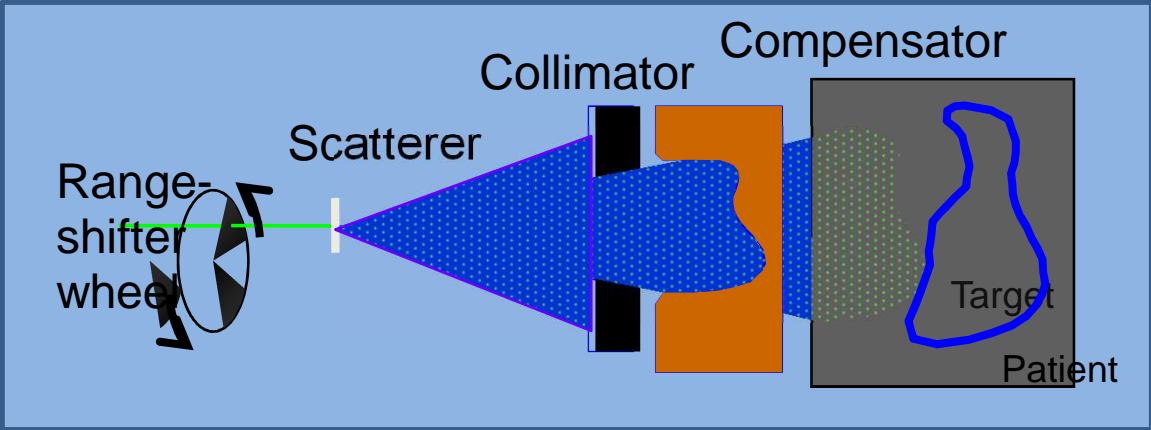


PROTON
THERAPY
CENTER



Modulace svazku

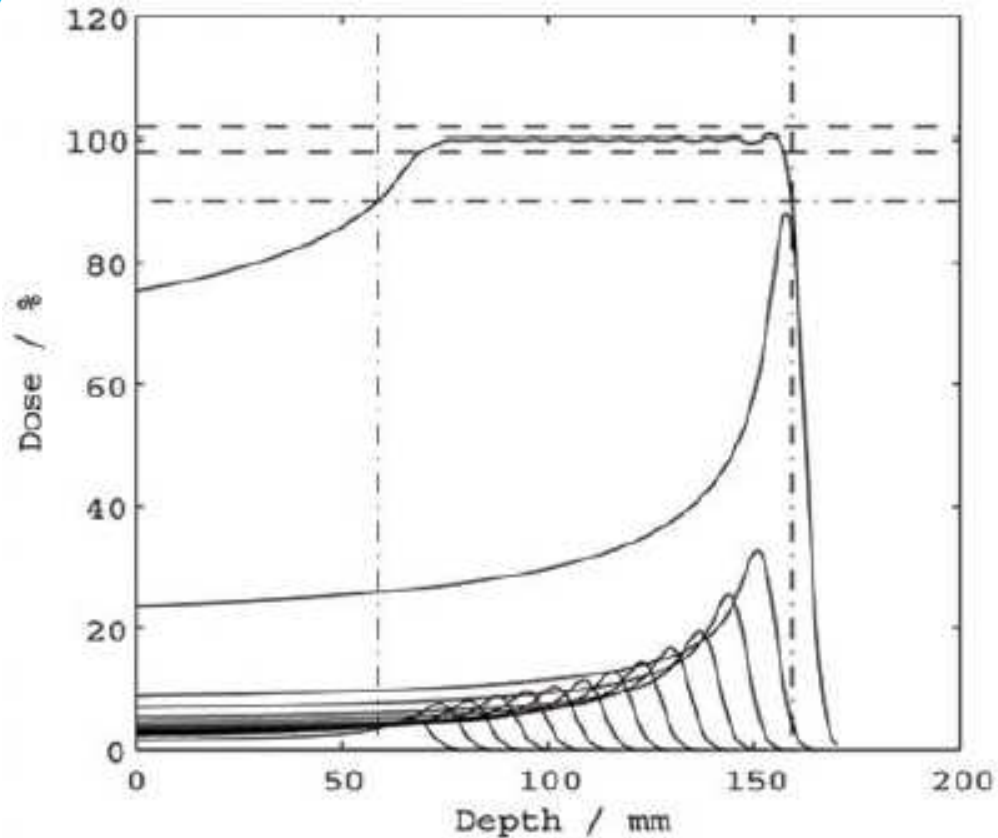
- Nozzles (trysky)
 - **single scattering**
 - **double scattering**



- **uniform scanning**
- **pencil beam scanning**



SOBP

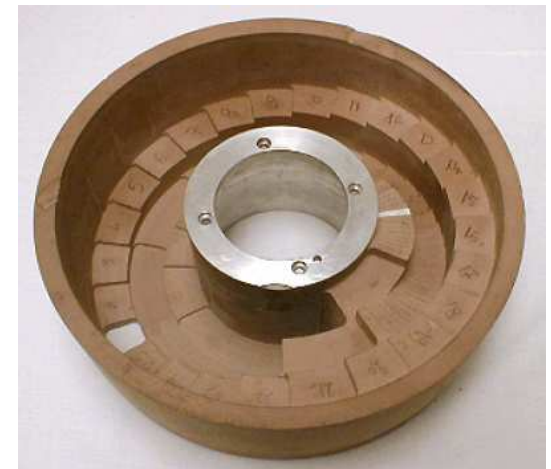


- Použití absorbérů +
dávková distribuce SOBP
vytvořena modulací intenzity
- Čistě mechanicky!
– Kódování pomocí Range
modulator wheel (úhlové
šířky a kroky)
- Vytvoření laterální rovinné
dávkové distribuce
s Gaussian scatterers

$$sobp(d) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot pdd(d + (i-1) \cdot pb) \cdot \left(\frac{SSD + d}{SAD} \right)^2$$

R.Slopsema,PTCOG48,2009

Schaart, Course Particle Therapy





SOBP - dozimetrické vlastnosti

SOBP:

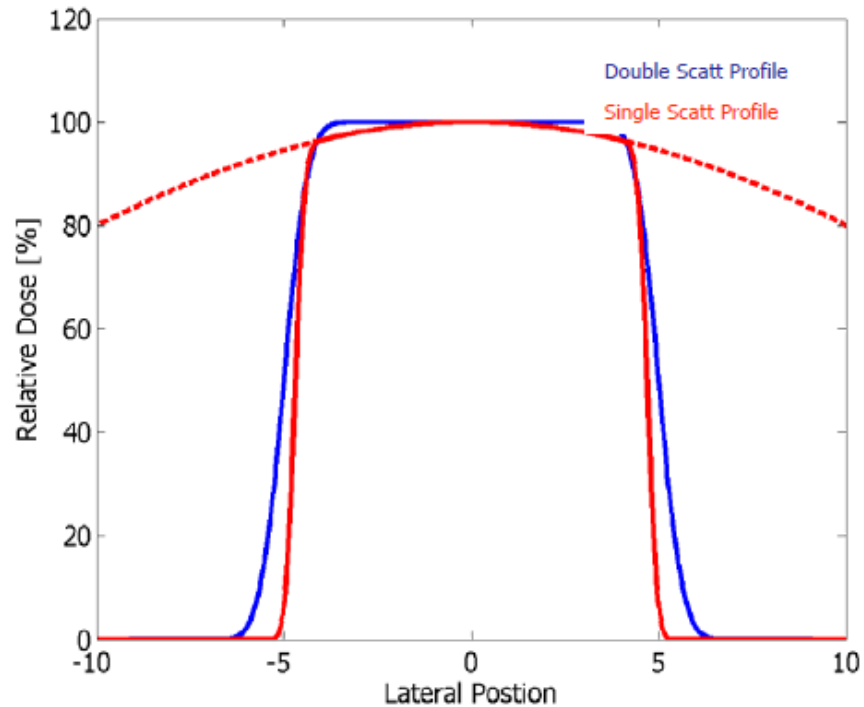
- **Šířka distálního spádu je funkcí:**
 - energet. spektra/úhlového rozsahu, a
 - energet. rozptylu v tkáni
- **Dávkový gradient v distálním spádu @ 10% - 20%/mm**
- **Dávkový gradient v proximální dávce** výrazně nižší než v distálním spádu
 - je funkcí formace SOBP a poměru dosah/modulace
 - ~ 0.5%/mm



Laterální distribuce

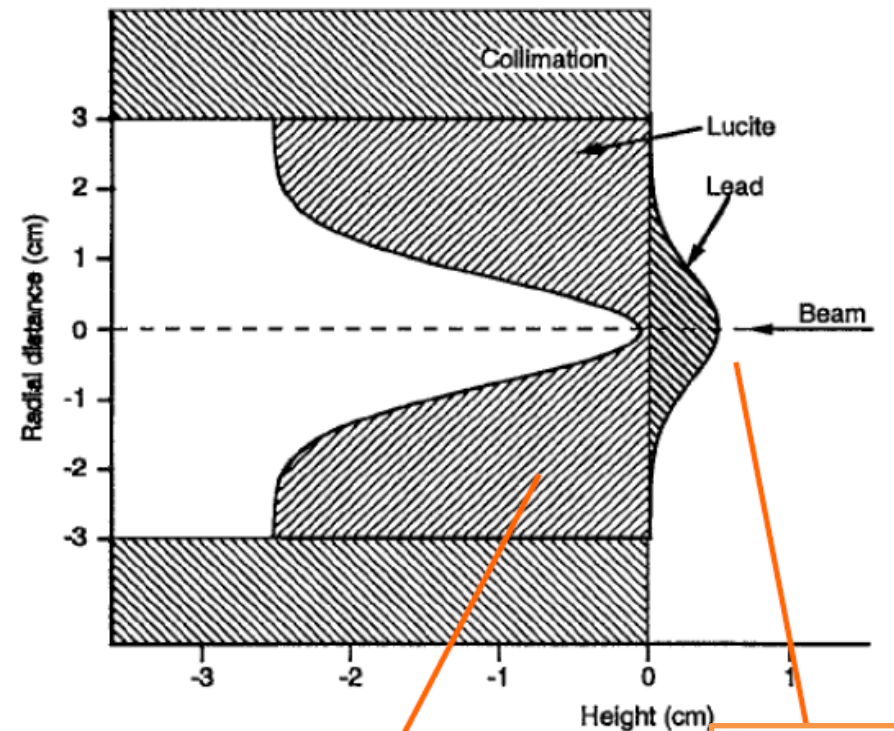
First scatterer – rozšíření svazku na větší Gaussian profil

- kombinace Pb a Lexan folií
- 8 scatterers v IBA univerzal nozzle



Multiple scatterery – dosažení většího pole

- Minimalizuje ztrátu dosahu
- 3 v univerzal nozzle



nízké Z

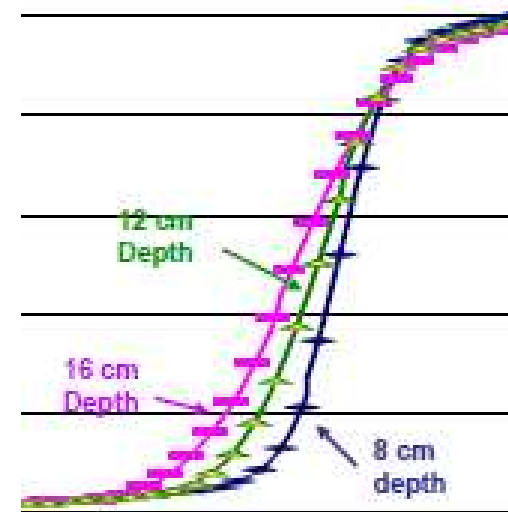
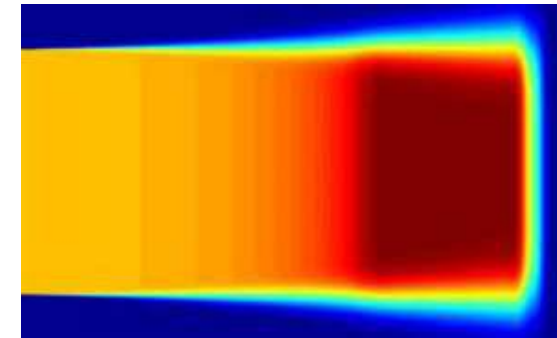
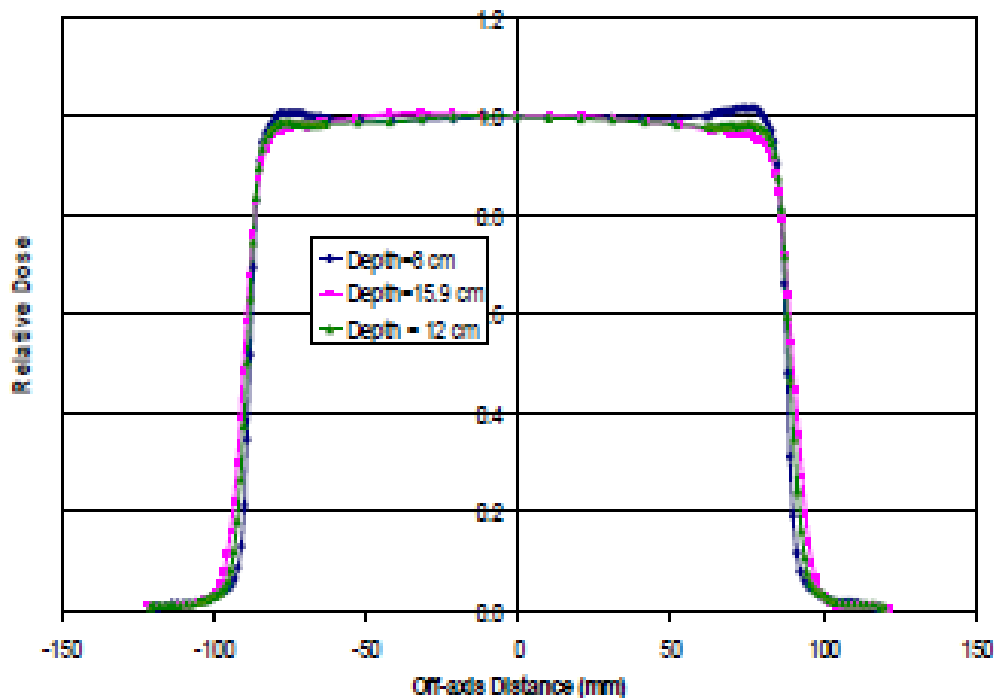
vysoké Z

PR
THERAPY
CENTER



Laterální polostín

- Je dán vícenásobným Coulomb Scattering
- $d_{80-20} \approx 1.68 \sigma \approx 3.3\%$ dosahu $\Rightarrow \sim 5$ mm v hloubce 15 cm
- Příspěvek úhlových rozptylů a reakcí s jádry
- Celkový polostín $\sim 6-7$ mm v hloubce 15 cm

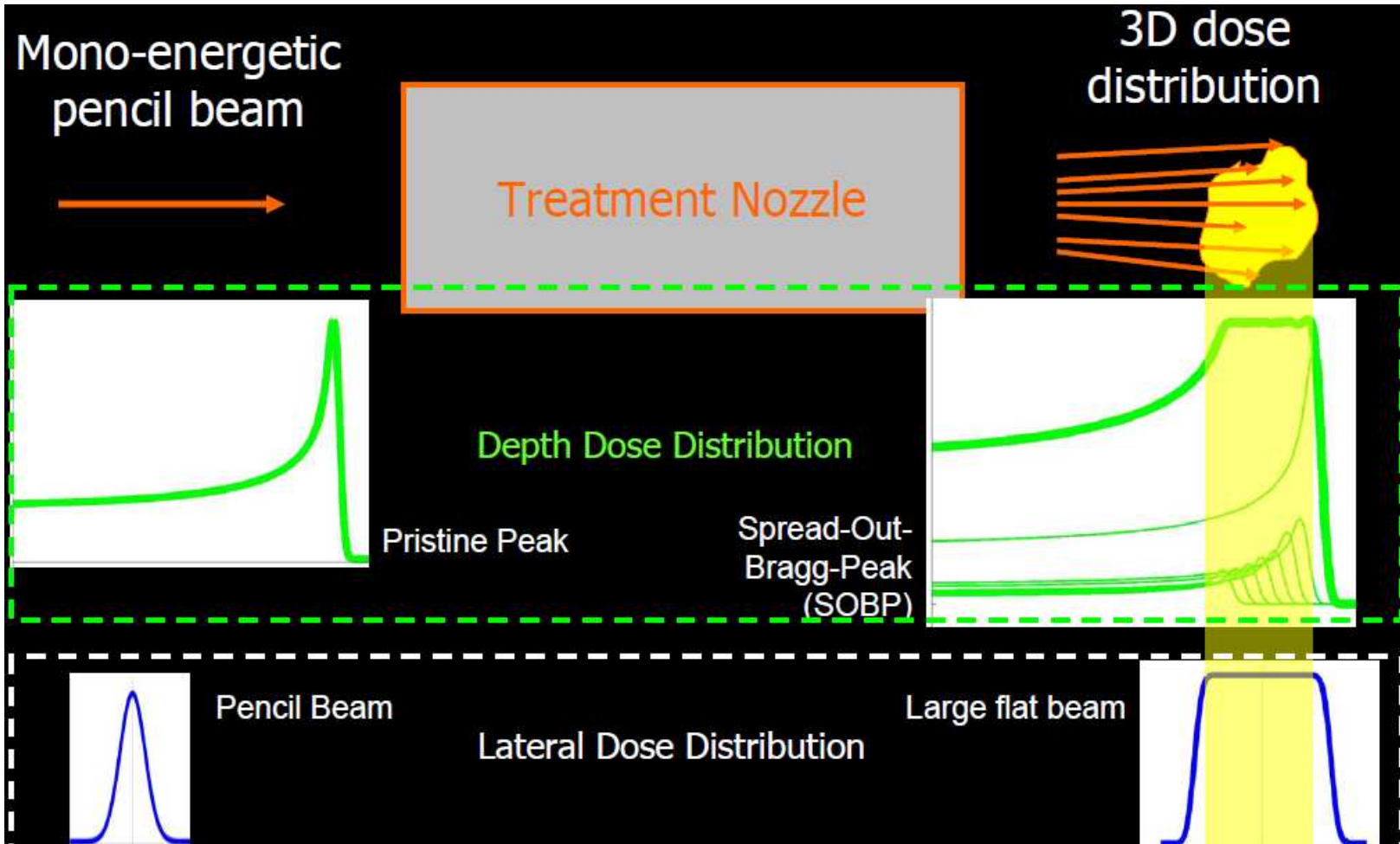


PROTON
THERAPY
CENTER

A.Smith



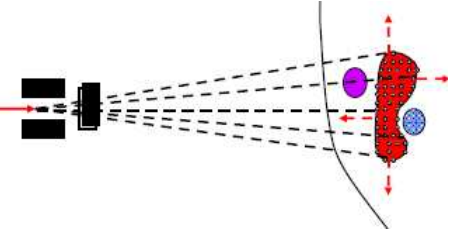
Proton techniky - Scattering beam



PROTON
THERAPY
CENTER



Pencil beam scanning



Pencil beam / scanning

nejvyšší konformita

R&D: IGRT (4DCT) obrazové navádění

pohyb orgánu

Výhody:

- Méně neutronů
- Menší zátěž tkání před ložiskem
- IMPT
- Nejsou potřeba kompenzátory

Nevýhody:

- Komplikovanější systém
- Pohyby orgánů

Řešení:

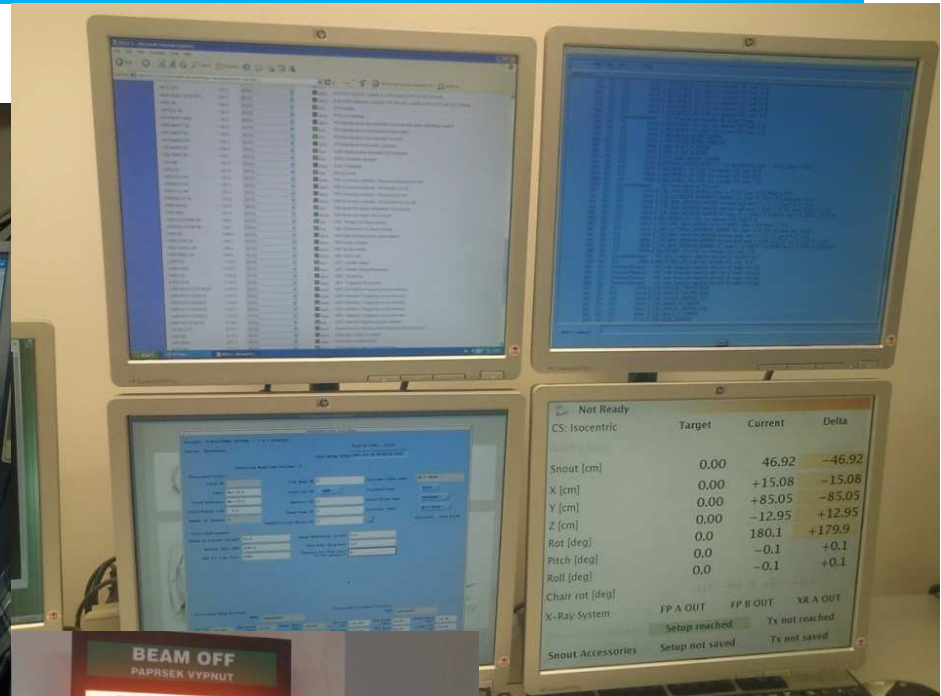
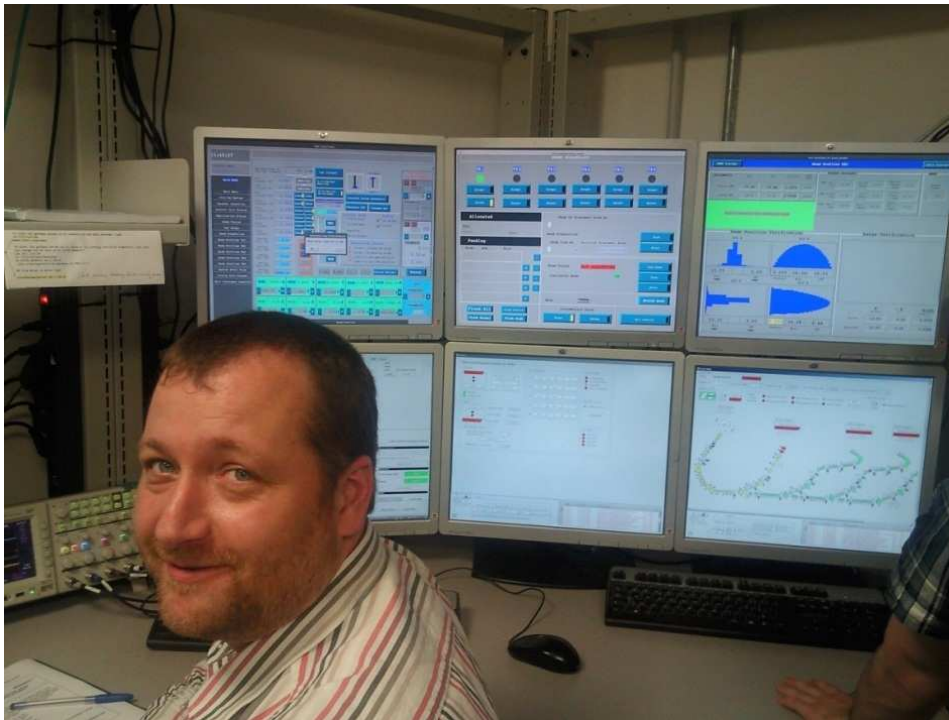
- Rescanning (spot, vrstva, objem)
- $\Delta D/D \propto 1/\sqrt{n}$, kde n = počet skenů
- Beam Gating
- Real time tracking s markery



PROTON
THERAPY
CENTER



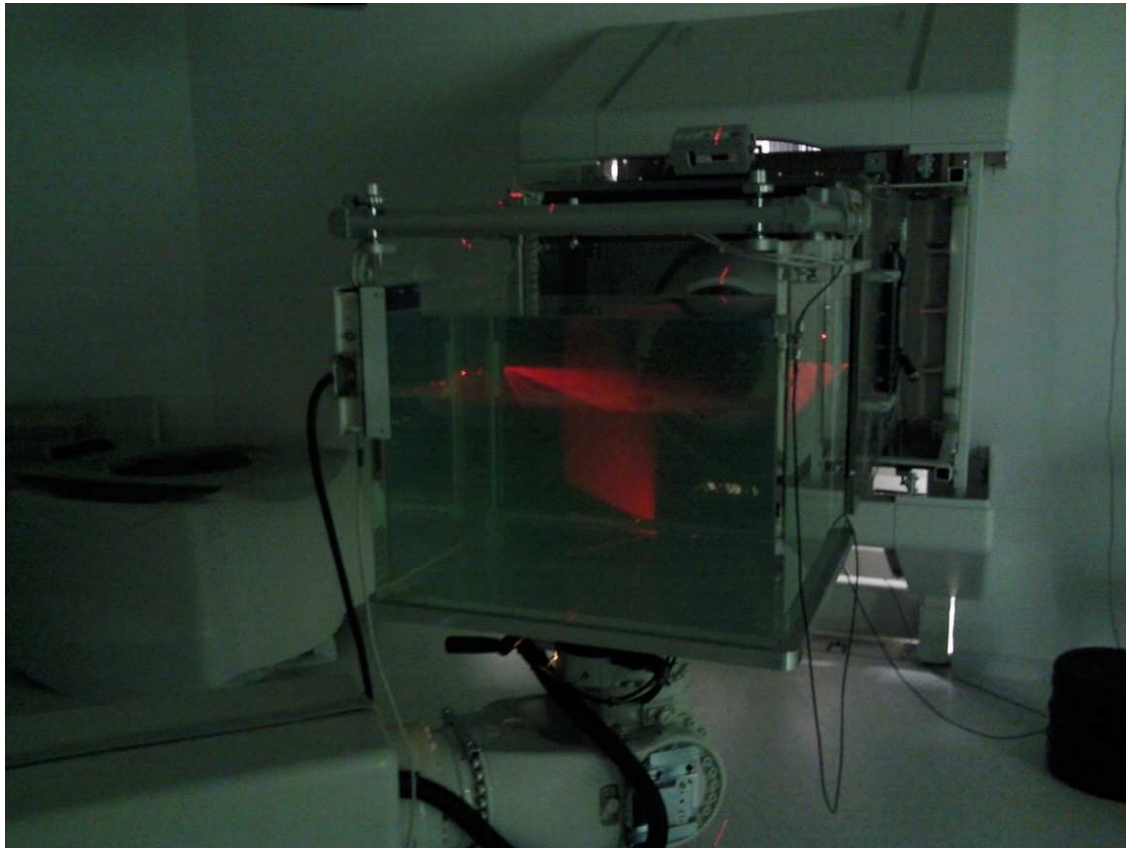
Aktuální momentky z AccT



PROTON
THERAPY
CENTER



Aktuální momentky z AccT



PROTON
THERAPY
CENTER



Nejnovější úlohy klinických fyziků v PTC

- **Akceptační testy a commissioning léčebných svazků**
- **Commissioning TPS**
- **Periodické kontroly (QA den, týden, měsíc, rok)**
- **Verifikace dodání dávky**