



Úvod a motivace

- Radiografií se rozumí zobrazování vzorků a jejich vnitřních struktur pomocí ionizujícího záření (IZ)
- 1895 W. C. Röntgen - schopnost tzv. paprsků X zobrazovat vnitřní struktury organismů
- Princip Röntgenovy (RTG) radiografie: Polohově citlivém měření poklesu intenzity ozáření za vzorkem
- Radiografie pomocí těžkých nabitých částic je založena na odlišném principu
- Na rozdíl od RTG radiografie je zde zobrazování založeno na energetických ztrátách jednotlivých částic po průchodu vzorkem
- Stačí pouze jediný proton k získání úplné informace o daném obrazovém bodu
- Tím je dána nižší radiační zátěž vzorku oproti RTG (stačí vzorek vystavit nižšímu počtu částic i když radiační účinky stejného počtu částic jsou vyšší)
- Použití hybridní polovodičových polohově citlivých detektorů Timepix a Timepix3 (pracujících na bázi ASIC čipů)
- Na základě zaznamenaných stop po dopadu jednotlivých protonů je možné zpětně získat parametry jednotlivých protonů, k jejichž získání a následné rekonstrukci obrazu, je třeba vyvinout vhodné algoritmy.

Cíle práce

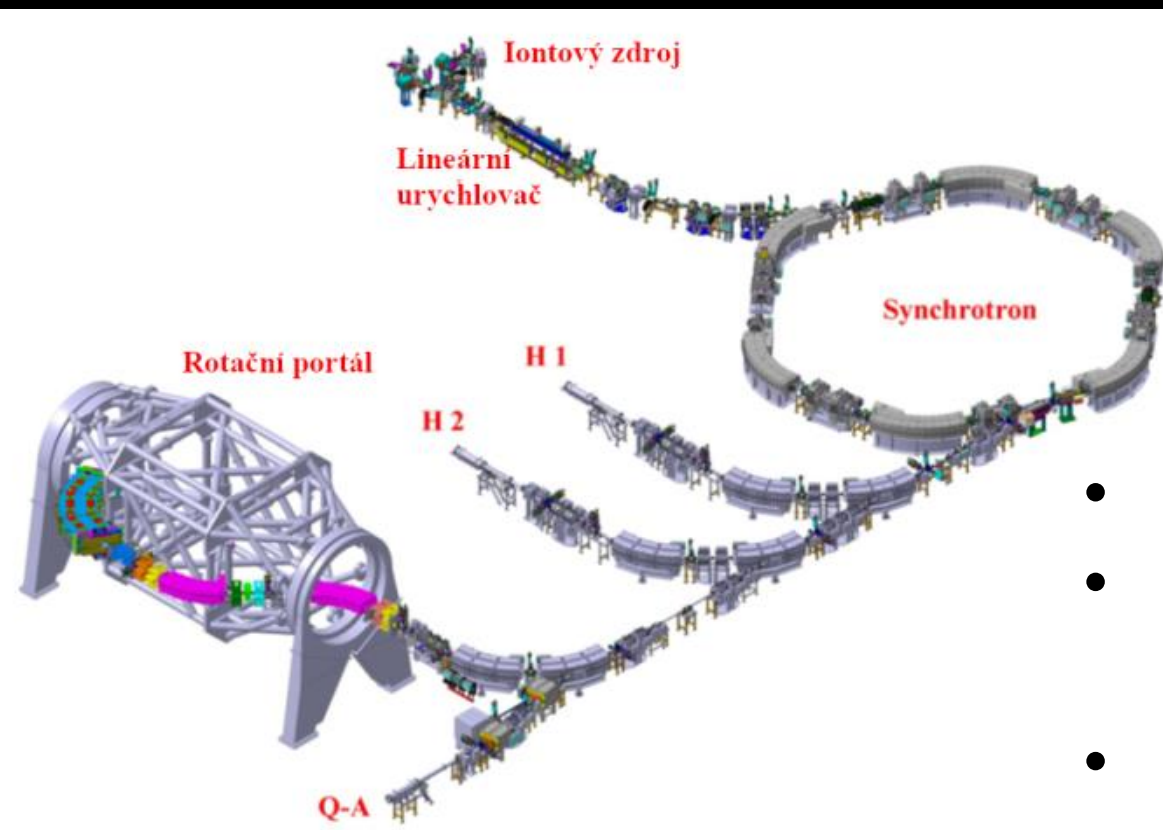
- Hlavní cíl je:
- Vývoj metody zpracování a rekonstrukce obrazu pomocí pixelových detektorů Timepix a Timepix3 při radiografii nabitými částicemi konkrétně protony
- Dílními cíli jsou:
- Zkoumání a vyhodnocení odezvy aplikace zvolené detekční metody na tenkých vzorcích od cca 5 μm
 - Určení rozlišovací schopnosti a zobrazovací citlivosti zobrazovací metody pro případ slabě kontrastních vzorků
 - Rozvinutí použité zobrazovací metody s nasazením detektorů Timepix a Timepix3
- Shrnutí nových přístupů:
- Využití nekonvenčního principu zobrazování na základě změny energie částic (a dalších parametrů)
 - Aplikace pixelových detektorů Timepix a Timepix3 pro radiografii nabitými částicemi
 - Vyvinutí nové metody radiografie pro dostupné urychlovače částic, které primárně neslouží pro zobrazování
 - Optimalizace algoritmů vč. kombinace s vlastními novými funkcemi a skripty

Experimentální část

Experimenty na 3 pracovištích s rozdílnými energiemi protonů:

- Radiografie využívající vysokoenergetické protony byla realizována v centru (HIT – Heidelberg Ion Therapy Centre)
- Radiografie využívající protony se střední energií byla realizována na Cyklotronu U-120M (ÚJF AV ČR)
- Radiografie s využitím protonů s nižší energií byla realizována na Tandetronu 4130MC (ÚJF AV ČR)

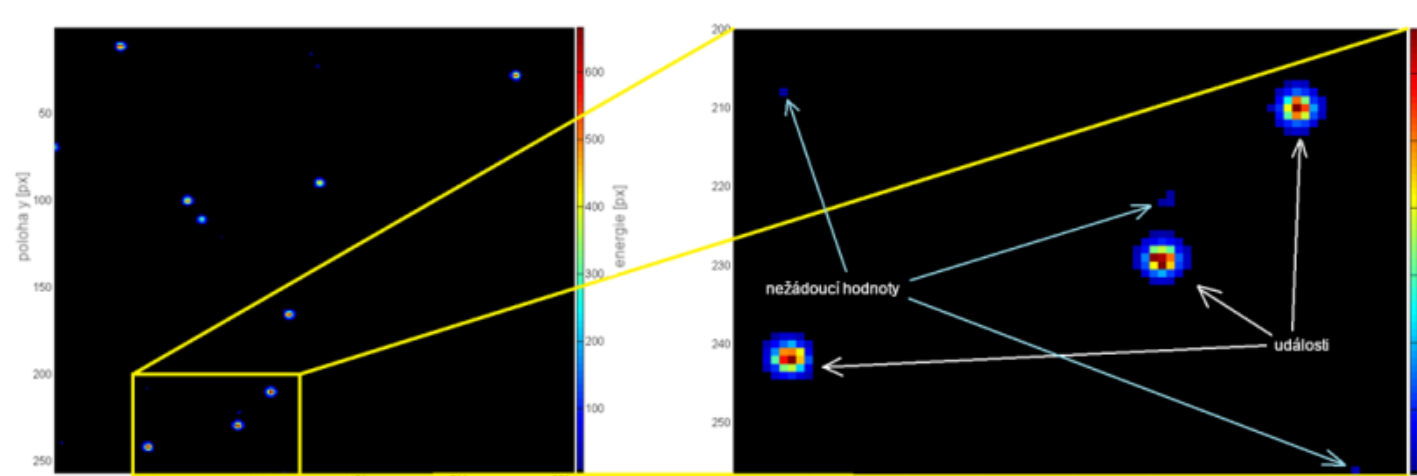
Experiment HIT



Obr. 1 Schéma urychlovače a ozařovací sestavy HIT [ONOREKA, D., WEINRICH, U., The Heidelberg Ion Therapy (HIT) Accelerator coming into operation, Proc. of EPAC08, Genoa, Italy (2008) 979-981.]

- Ozařování ve vzduchu
- Protonový svazek o energii 221 MeV
- Detektor Timepix
- Vzorky: křídélko mouchy a sada tenkých na sebe naskládaných folií

Analýza dat



Obr. 2 Zobrazení jednoho framu: vlevo celý detektor; vpravo výřez se 3 klastrů od protonů a dalšími nežádoucími hodnotami, které je nutné odstranit při předzpracování

Porovnání metod

Střed klastrů nalezen pomocí metod:

- Houghova transformace
- Fitování na 2D Gaussian
- Výpočet orientované střední hodnoty v ploše

Vybrána přesná a nejrychlejší metoda výpočtu: 2D orient. Střední hodnota

Výsledky

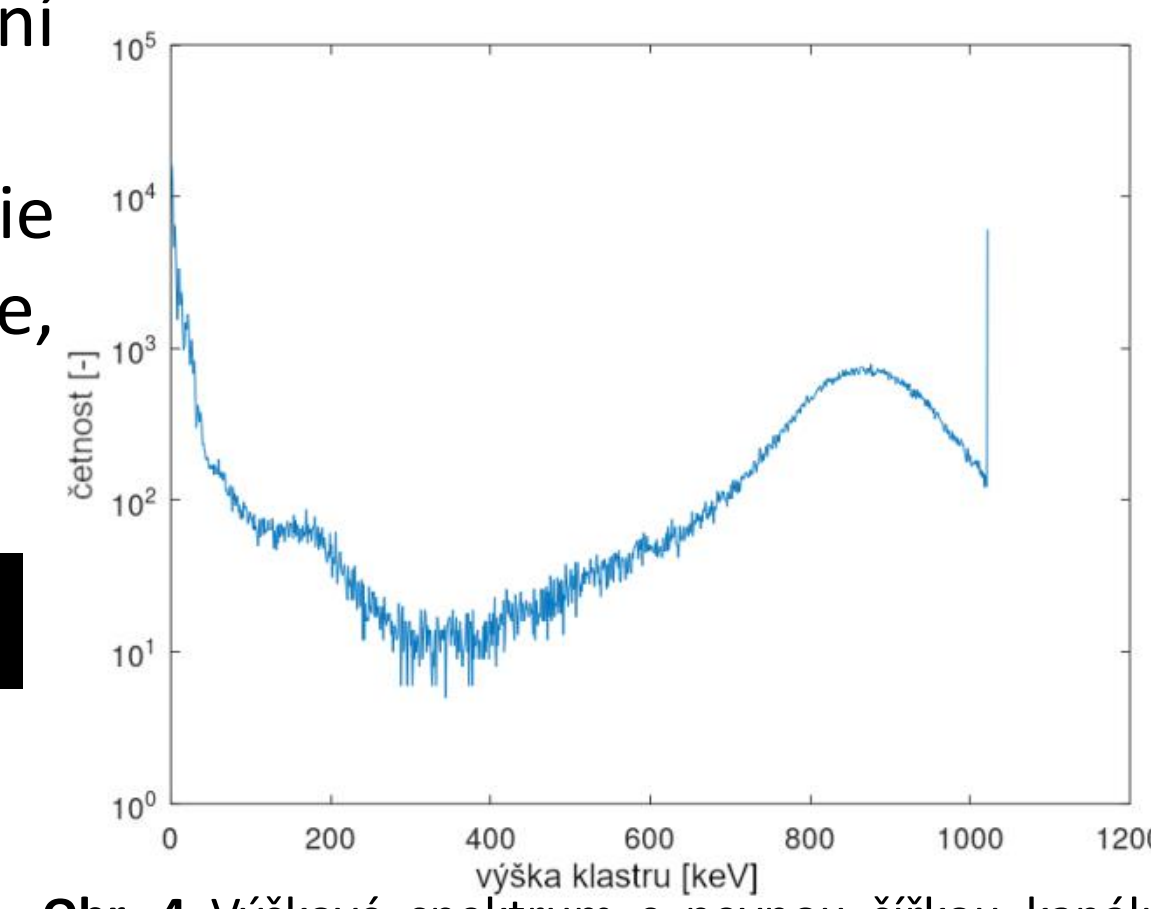
- Radiogramy zobrazeny s různým rozlišením a následně byla analyzována kvalita zobrazení tj. zkoumání počtu obrazových bodů, do nichž nebyl zobrazen jediný proton.
- Optimální celková míra událostí na pixel přibližně 1,3. Což je dobrý výsledek ve srovnání s radiografií založenou na intenzitě expozice.

Experiment Cyklotron U-120M ÚJF AV ČR

- Ozařování ve vzduchu
- Energie urychlených protonů 31 MeV
- Použití tlumicích desek na výstupním okně iontovodu (výsledné energie 13, 22 a 31 MeV)
- Kolimovaný svazek
- Ozařování v 4 různých úhlech natočení detektoru vůči svazku (0, 10, 20 a 30°)
- Vzorky: matice poskládané 300 μm folie (0-3 vrstvy), reflexní diamantová folie, neosazený PCB
- Detektor Timepix3

Popis a analýza dat

- Jednotlivé události (dopady protonů) zaznamenány samostatně (hodnota ToT a časový záznam)
- Vytvoření seznamu klastrů
- Výběr klastrů podle parametrů
- Zobrazení energetických a výškových spekter a histogramů rozdělení četnosti klastrů podle velikosti



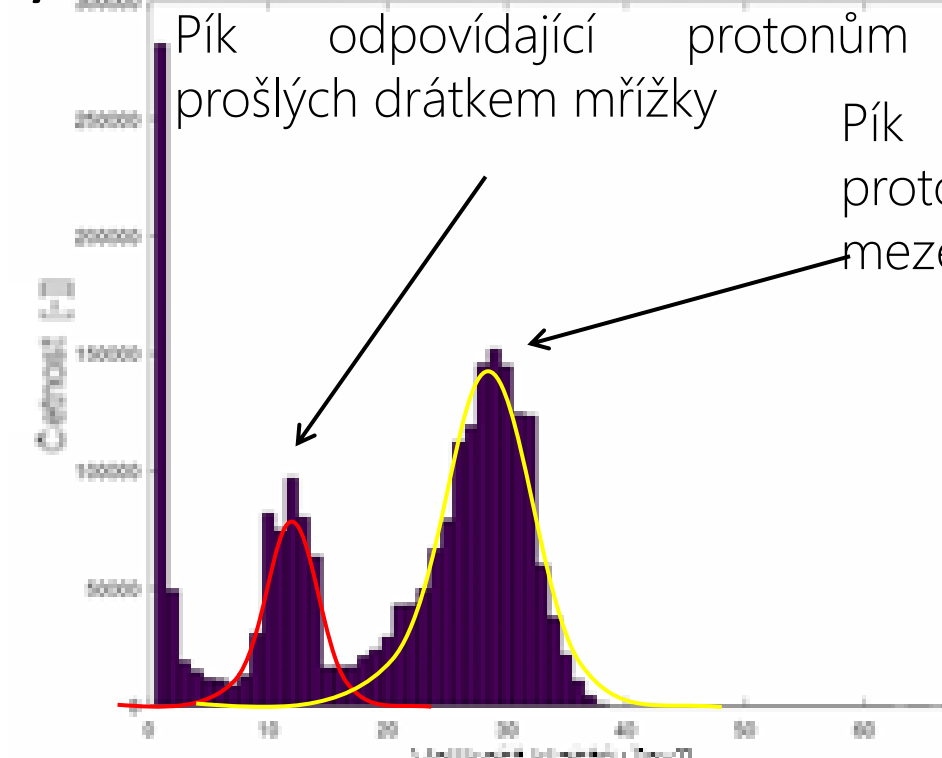
Obr. 4 Výškové spektrum s pevnou šířkou kanálu (1 keV) bylo vytvořeno ze všech klastrů. Energie protonů byla 31 MeV, vzorek byl neosazený plošný spoj a detektor byl natočen kolmo k ose svazku.

Výsledky

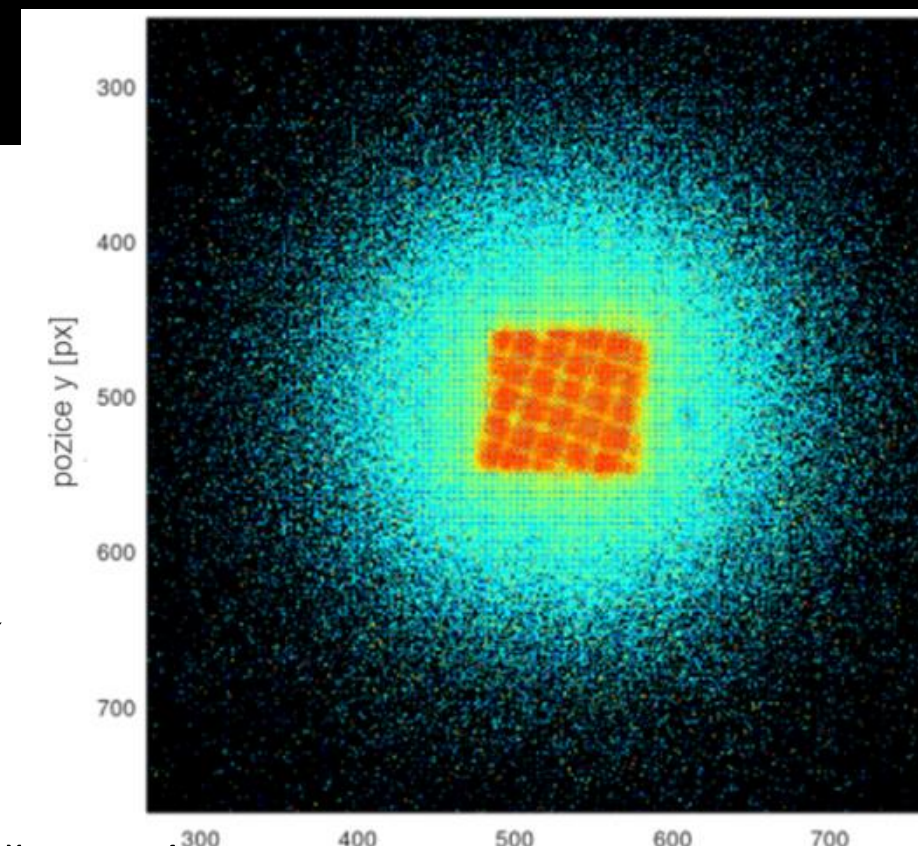
- Experimentálně i analyticky bylo zjištěno, že protonový svazek nebyl striktně monoenergetický
- Ve výsledných radiogramech nebyly patrné tenké struktury vzorků
- Dobře byly patrné jednotlivé vodiče napájecího kabelu, který se dostal do svazku nedopatřením

Experiment Tandetron 4130 MC ÚJF AV ČR

- Kalibrace
- Seznam klastrů
- Spektra a histogramy
- Výběr dat
- Tvorba radiogramů na základě filtrace parametrů a kombinací



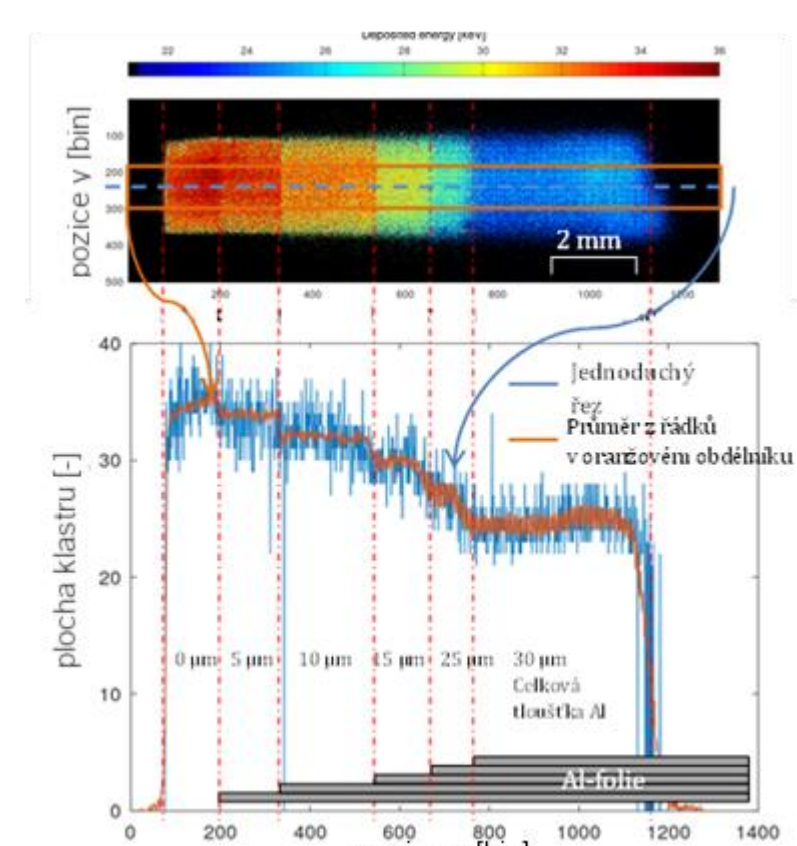
Obr. 7 Histogram četnosti klastrů podle velikosti jejich ploch. Patrné 2 Gaussiány odpovídající protonům prošlých skrz drátky mřížky a mezerami mezi nimi



Obr. 8 Výsledný radiogram vzorku kovové mřížky, 1 px \approx 13,75 μm . Data zaznamenaná Tpx3.

Výsledky

- 3MeV protony – schop. radiograf.
- Vytvořeny radiogramy s větším rozlišením než kolik px. má detek.



Obr. 9 Grafická analýza radiogramu: Nahoře: radiogram Al naskládaných folií, dole: graf jednoho řádku radiogramu (modře) a průměru ze 100 řádků (oranžově); šedě přes graf znázorněn počet vrstev Al folií

- Ozařování ve vzduchu
- Energie protonů 2,9 MeV
- Detektory Timepix a Timepix3 umístěné 7 mm od výstupního okénka
- Skenování mikrosvazkem
- Vzduch (bez vzorku)
- Mylarová folie
- Hliníková folie
- Na sebe naskládané Al folie (0, 5, 10, 15, 25 a 30 μm)
- Na sebe naskládané 5 μm Mylar. folie (0-20 μm)
- Hrana Mylar. folie
- Kovová mřížka s roztečí 0,25 μm

Seznam vzorků

- Sada vzorků
- Si – aktivní vrstva
- ASIC – TPX / TPX3

Obr. 6 Znárodné průchodu svazku během skenování skrz vzorek a jeho zachycení detektorem

Závěr

Hlavním cílem této práce jakož i přínosem autora bylo rozvinout navržené metody včetně rozsáhlého a detailního zpracování dat a tvorby spektrálně citlivých obrázků z protonové radiografie. Byl vytvořen programový systém pro precizní a systematické zpracování dat z detektorů Timepix a Timepix3, díky němuž je možné vytvořit výsledné radiogramy. Byla zpracována data, která byla pořízena pomocí monoenergetických svazků protonů s různými energiemi (od jednotek až po stovky MeV). Přesné metody byly založeny na využití fitování na 2D Gaussian a určení těžiště pomocí výpočtu 2D orientované střední hodnoty. Pro zpracování veškerých dat byly vyvinuty programy a rozvinuty algoritmy, které načítly data do paměti, našly středy klastrů, vybraly vhodné klastry a nakonec také zobrazily a uložily výsledné radiogramy.