



**Spolufinancováno
Evropskou unií**



Tato práce byla spolufinancována
Evropskou unií a podpořena MŠMT ČR
v rámci projektu FORTE -
CZ.02.01.01/00/22_008/0004632.

Měření a simulace stripových detektorů pro ATLAS Inner Tracker

Seminář pracoviště SLO

14. května 2024

Karel Černý, Radek Přívara

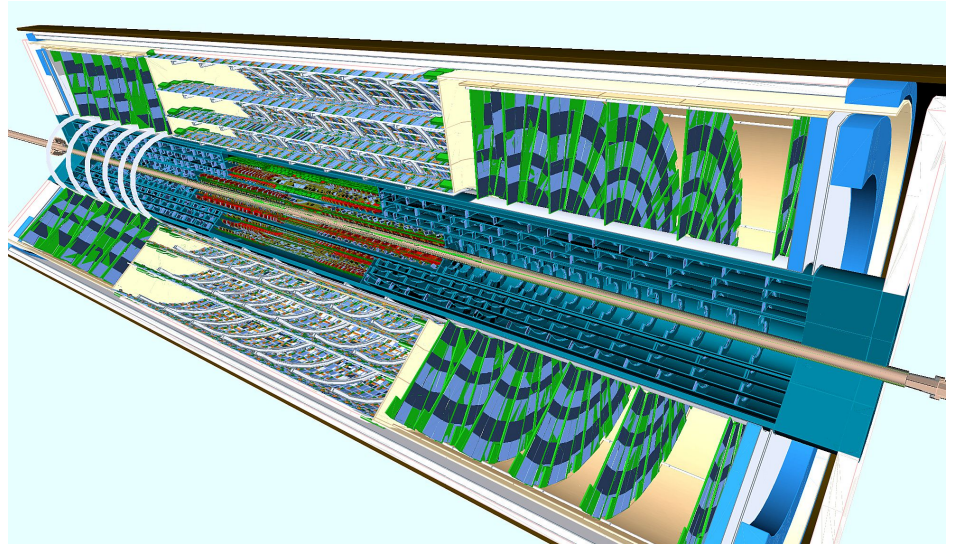
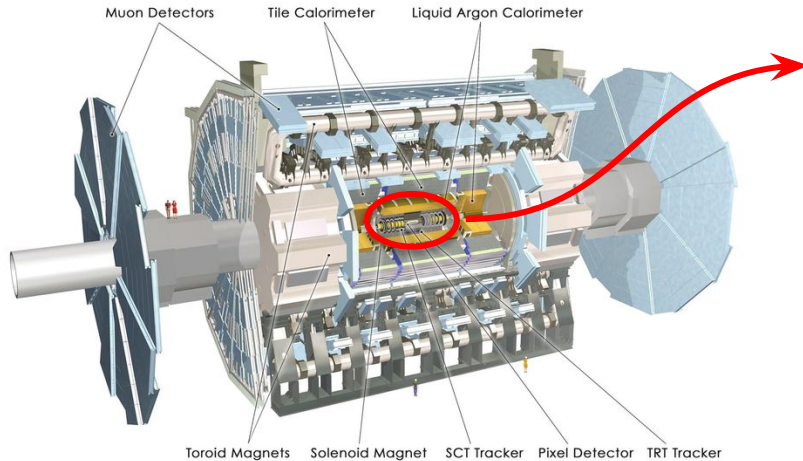
Obsah

1. ATLAS Inner Tracker a stripové detektory
2. Testování ITk stripových modulů
3. Simulace modulů
4. Shrnutí

ATLAS Inner Tracker a stripové detektory

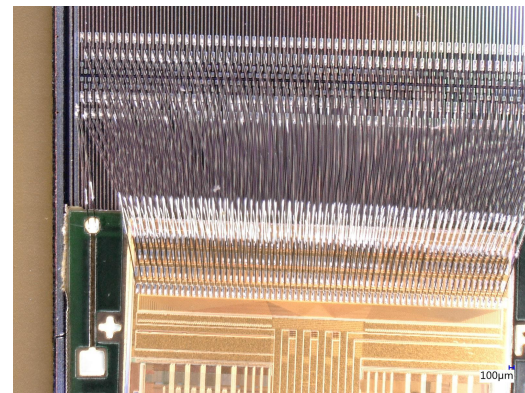
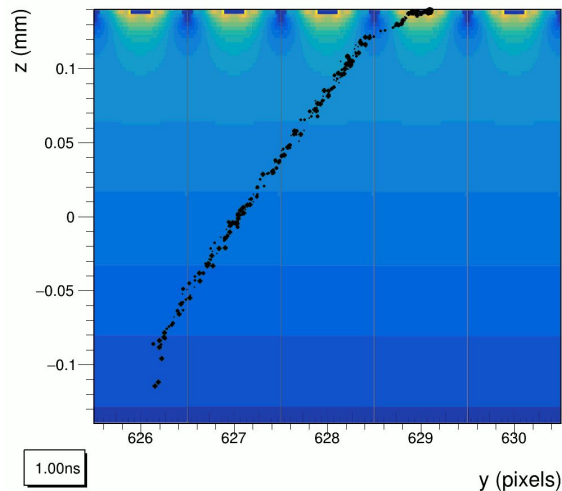
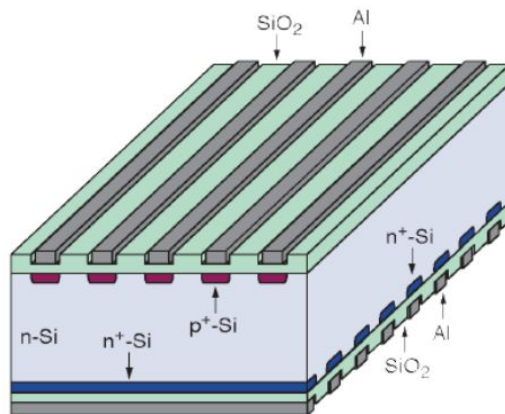
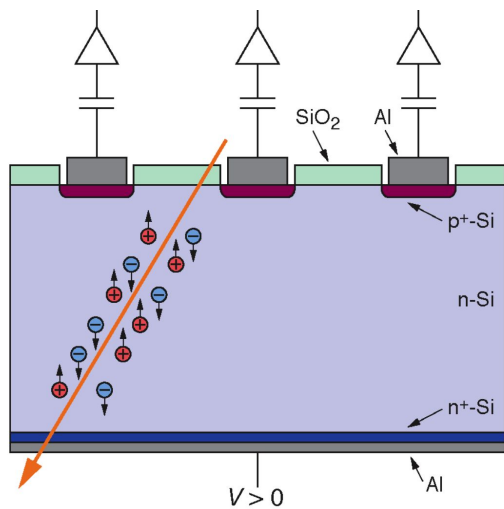
ATLAS Inner Tracker

- Probíhá vývoj nového vnitřního detektoru ATLAS Inner Tracker (ITk).
 - určený pro High-Luminosity LHC (2029+)
- Přesná měření a rekonstrukce drah částic, hledání vertexů.
- Křemíkové pixelové a stripové detektory:
 - ITk Pixel: 13 m^2 , 5000 detektorů, 5 mld. kanálů,
 - ITk Strip: 165 m^2 , 17900 detektorů, 60 mil. kanálů.



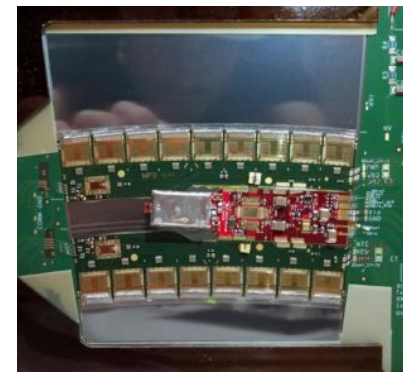
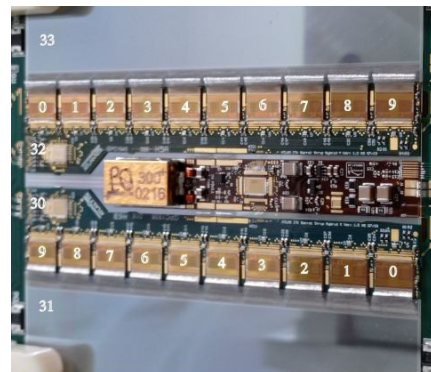
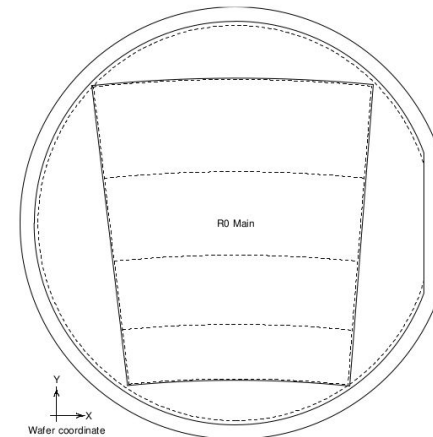
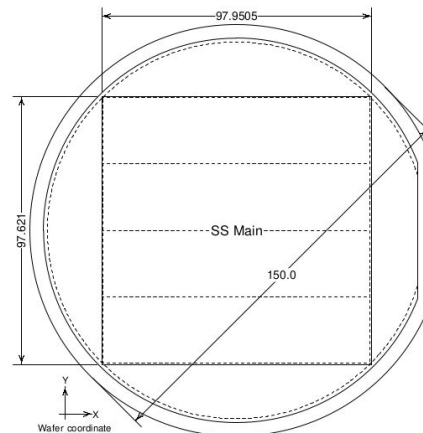
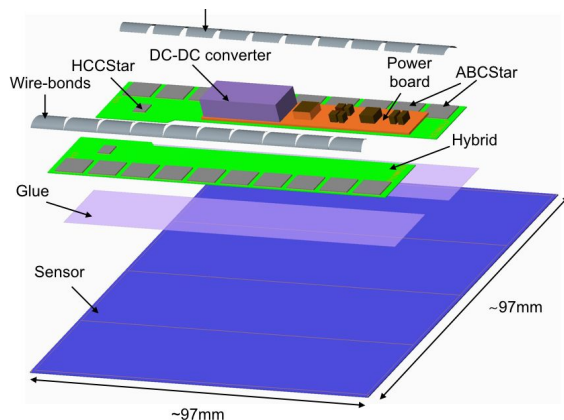
Stripové detektory pro ATLAS ITk

- Diskrétní p - n přechody mezi substrátem a stripy.
- Závěrné napětí (~ 500 V) $\rightarrow$ vyprázdněná oblast.
- Průchodem částice vznikají elektron-děrové páry.
- Proudové impulzy na jednotlivých stripích.
- Prostorové rozlišení dáno roztečí stripů (desítky μm).



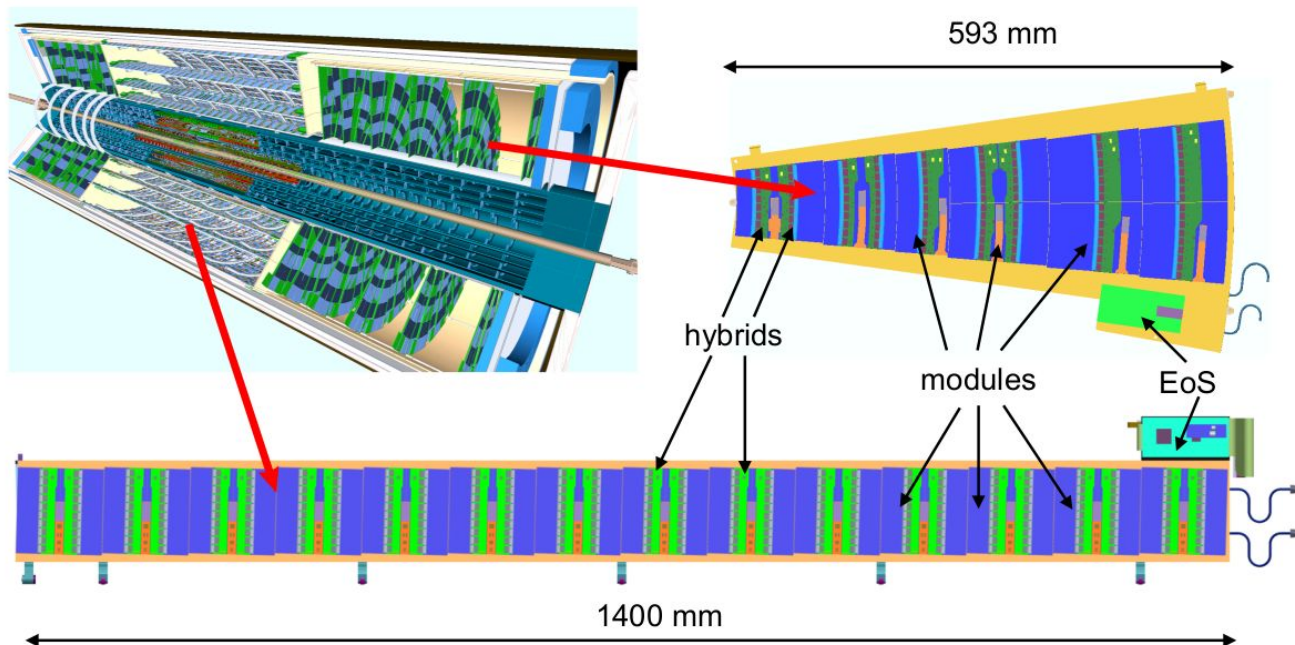
ATLAS ITk stripové moduly

- Komponenty stripového modulu:
 - křemíkový senzor,
 - PCB nalepený na senzor, vyčítací čipy (ASIC),
 - power board,
 - monitorovací a kontrolní čipy.
- Dvě geometrie stripových senzorů - pravoúhlá a lichoběžníková.



ATLAS ITk struktury

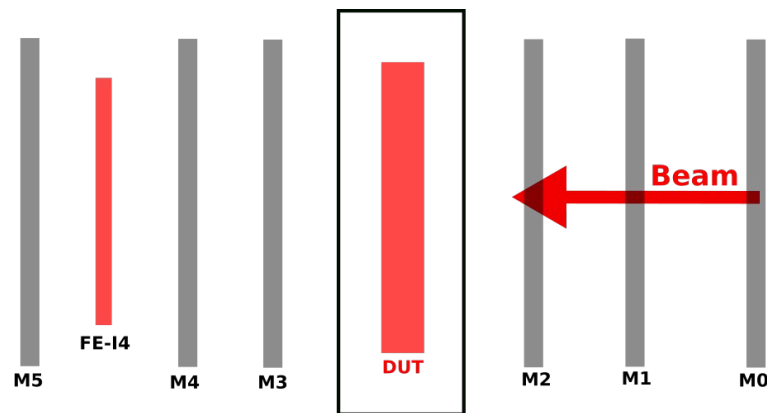
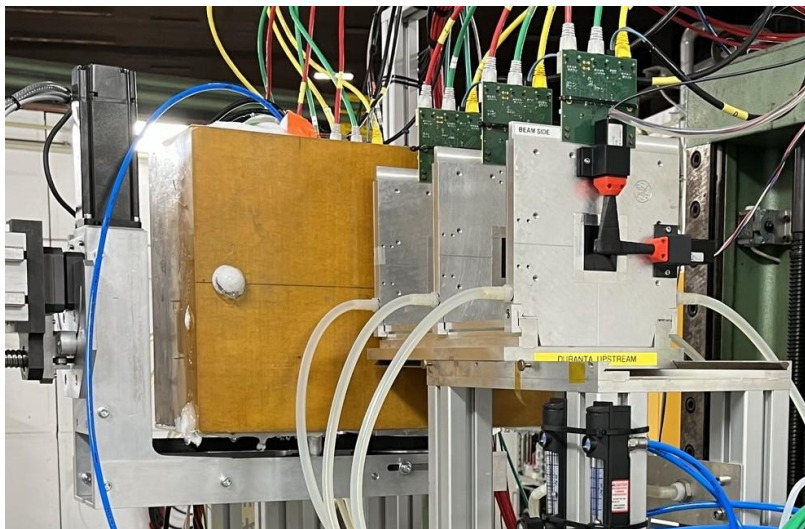
- Stripové moduly na podpůrných strukturách - zajišťují mechanickou pevnost, napájení, vyčítání, chlazení.
 - pravoúhlé moduly v centrální oblasti : 2 typy, umístěné na “staves”
 - lichoběžníkové moduly v dopředných oblastech : 6 typů, umístěné na “petalu”



Testování stripových modulů

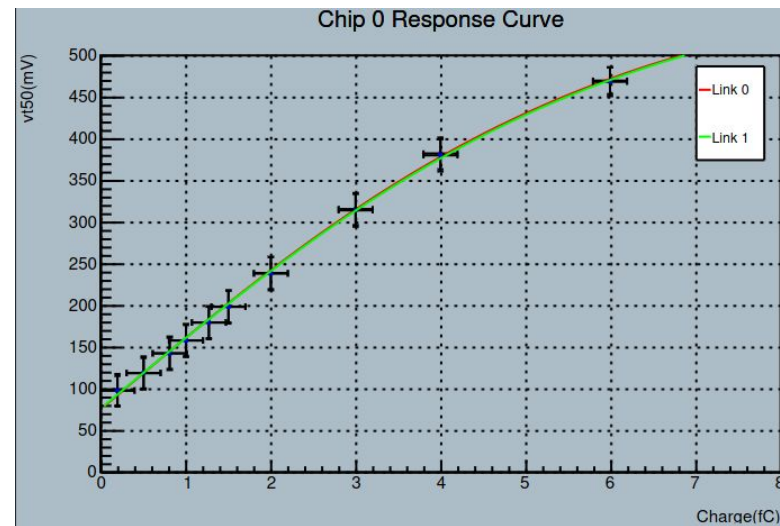
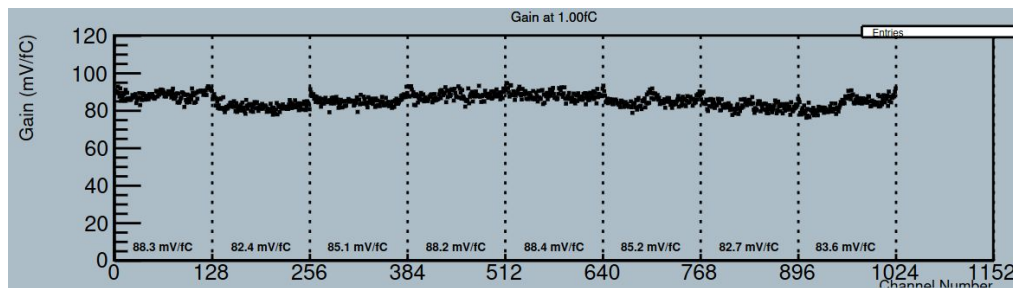
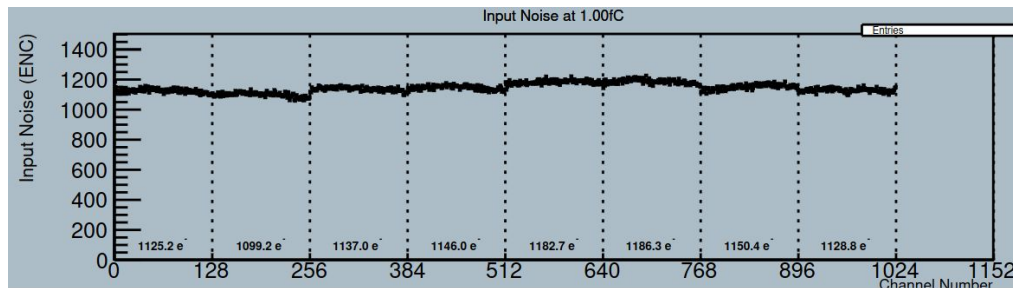
Testování modulů

- Laboratorní testy - kontrola základní funkčnosti.
- Předprodukční stripové moduly testovány pomocí částicových svazků - DESY Hamburk, CERN SPS.
- Testovaný modul vložen do chladicího boxu (suchý led).
- Box obklopen referenčními pixelovými detektory (=teleskop), se kterými se měřený detektor srovnává.



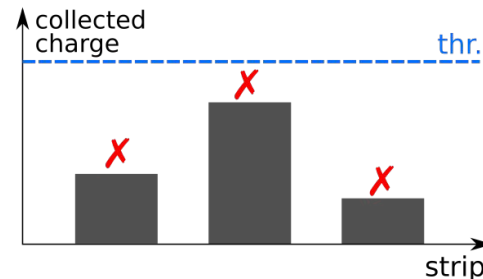
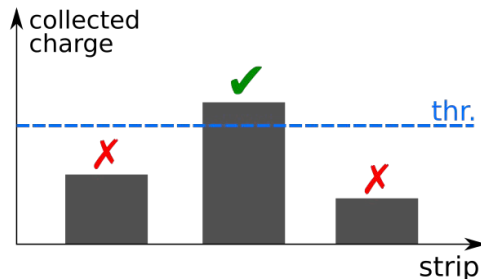
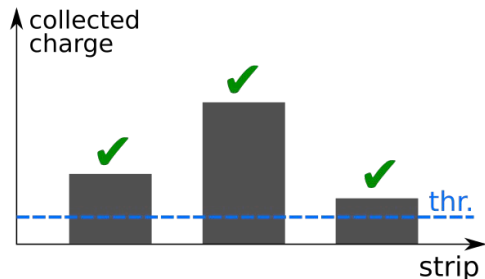
Kalibrace

- Nastavitelný zisk jednotlivých kanálů, možnost jejich maskování.
- Před měřením se provádí tzv. trimming - vyrovnaní zisků všech kanálů.
- Testování odezvy: kalibrační obvod injektuje náboje do kanálů front-end elektroniky.
 - Určení míry šumu.



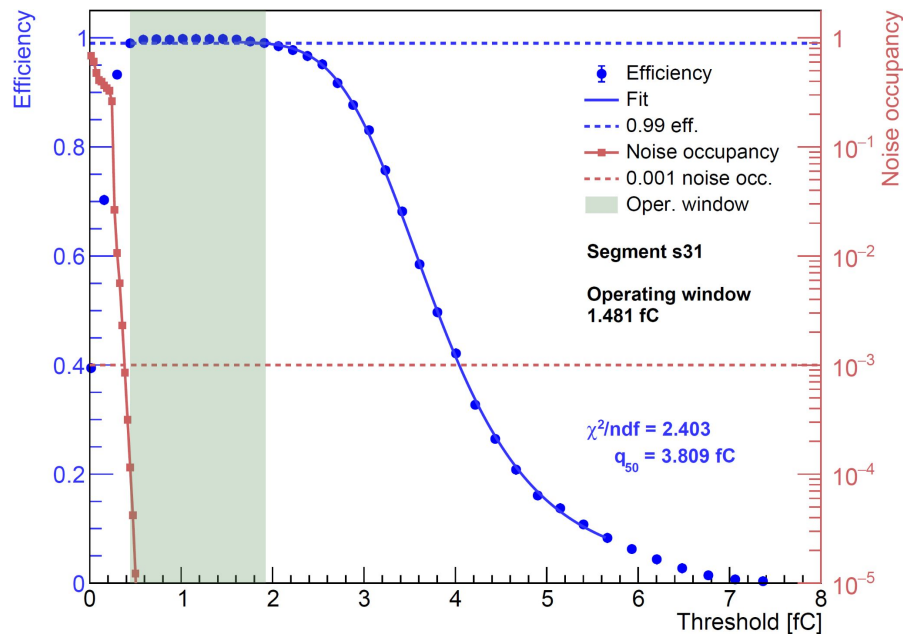
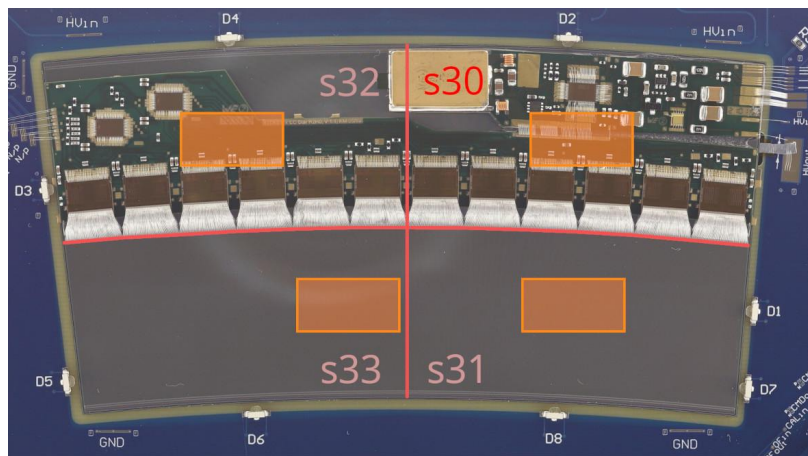
Skenování nábojového prahu

- Binární režim vyčítání - zásah při překročení nábojového prahu.
- Základní metodou testování modulů je skenování nábojového prahu.
 - Nábojový práh se postupně zvyšuje, pro každou hodnotu se provede měření.
 - Všechny veličiny se sledují jako funkce prahu.
- Na nízkých prazích šum vytváří falešné zásahy - obsazenost šumem (Noise Occupancy).
- Na vysokých prazích jsou i skutečné zásahy ignorovány - klesá detekční účinnost.
- Cílem je najít prahy s účinností $>99\%$ a $NO < 0.1\%$ (ekvivalentní s $S/N > 10$).



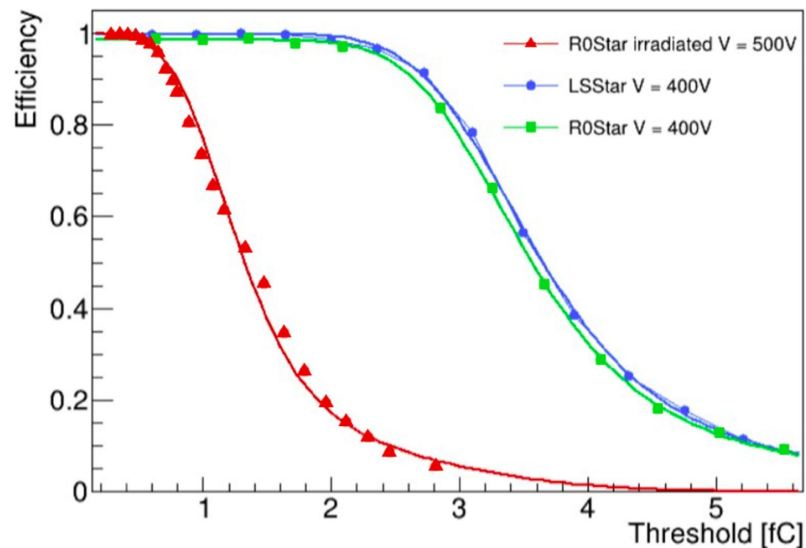
Výsledky měření

- Hlavní výsledky měření jsou účinnost a obsazenost šumem, ale také velikost klastrů nebo prostorové rozlišení.
- Měření modulu ITk R2 v DESY: 4 segmenty modulu, na každém nalezeno široké operační okno.
- S/N poměr 33.0 - 37.7 dle segmentu.



Ozařování modulů

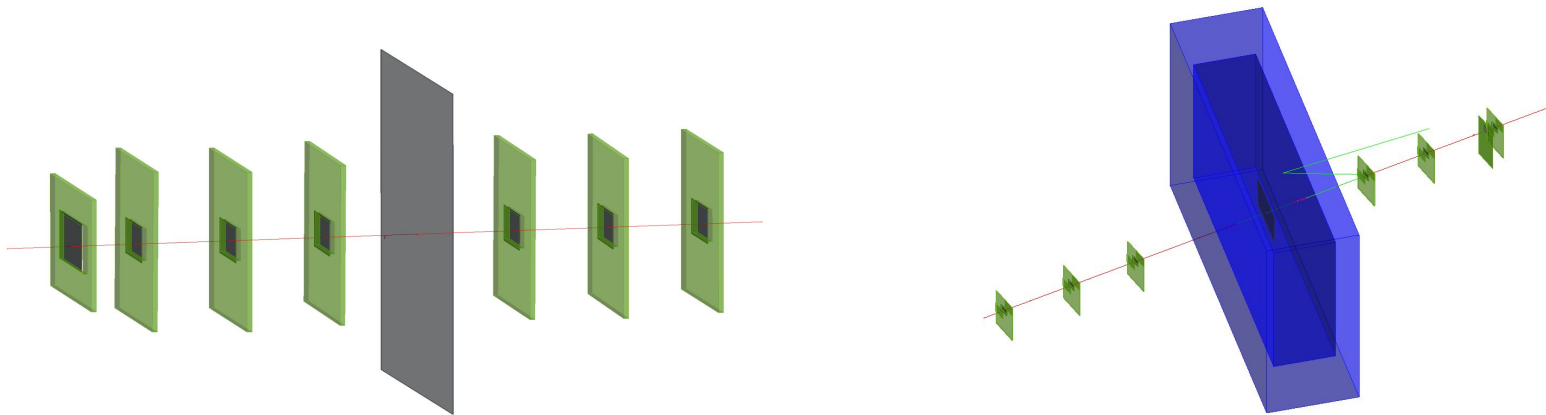
- Detektory budou v ATLASu vystavovány intenzivnímu záření, budou degradovat.
- Hlavním cílem měření je testování ozářených ITk modulů v end-of-life stavu.
 - intenzivní ozařování gamma fotony, protony nebo neutrony.
 - ozařováno na 1.5x očekávané celkové dávky.
- Ozářené moduly mají celkově horší parametry - vyšší šum, nižší účinnost, nutné chlazení.
- Obtížnější najít operační okno.
 - Úspěšně nalezeno pro všechny typy ITk modulů.



Počítačové simulace modulů a experimentů

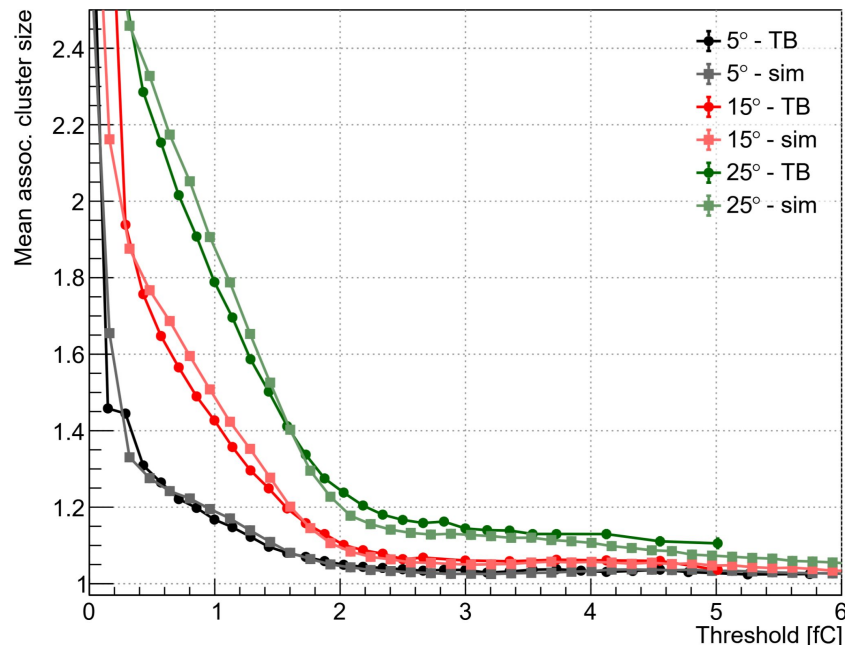
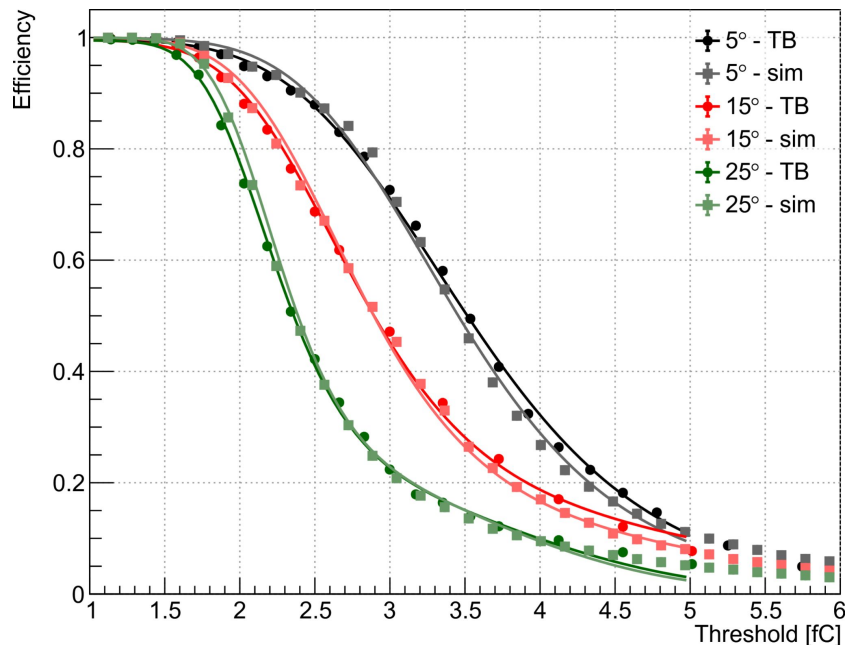
Simulace experimentů

- Simulace experimentů s částicovým svazkem v nástroji Allpix-Squared.
- Nástroj byl rozšířen pro simulace lichoběžníkových senzorů se stereo úhlem (ATLAS kvalifikační úkol).
- Kompletní simulace: referenční detektory, chladič box, stripový modul.
- Všechny parametry co nejblíže reálnému experimentu (geometrie, svazek, šum modulu, ...).
 - Rekonstrukce a analýza dat stejným nástrojem, stejná konfigurace.
- Prozatím možné simulace pouze neozářených modulů.



Výsledky simulací

- Ověření rozšířené simulace srovnáním s experimentálními daty.
 - Měření s různými úhly dopadu svazku
- Dobrá míra shody pro účinnost a velikosti klastrů - potvrzení funkčnosti implementace.



Shrnutí

- Probíhá vývoj nového vnitřního detektoru ATLAS Inner Tracker, tvořeného pixelovými i stripovými detektory.
 - Fáze předprodukce a finálních testování.
- Testování modulů probíhá s pomocí částicových svazků z urychlovačů.
 - Simulace slouží k ověření a doplnění výsledků experimentů.
- Simulační nástroj Alpex-Squared byl rozšířen pro potřeby ITk skupiny, rozšíření bylo otestováno srovnáním s experimentálními daty.

Backup - stereo úhel

- Design lichoběžníkových ITk senzorů zahrnuje tzv. stereo úhel :
stripy nemíří do středu senzoru O , ale do posunutého ohniska F .
- Zásadní pro umožnění měření obou souřadnic zásahu.
- Výhodné pracovat v polárních souřadnicích (R, φ) , ale nutná modifikace kvůli stereo úhlu.

