

# Modifikace spekter částic médiem na experimentu ALICE v CERN

J. Dolejší<sup>1</sup>

M. Robotková<sup>2</sup>

Gymnázium dr. A. Hrdličky, Humpolec<sup>1</sup>

Gymnázium Velké Meziříčí<sup>2</sup>

j.dolejsak@seznam.cz<sup>1</sup>

robotkova.m@seznam.cz<sup>2</sup>

## Abstrakt:

Naším úkolem je analýza dat ze srážek protonů nebo olověných jader zachycených na detektoru ALICE v CERNu. Pokusíme se určit modifikaci energetických spekter pro různé typy srážek, která dokazuje vznik kvark-gluonového plazmatu při těchto srážkách. Výsledky našeho pokusu jsou zachyceny v grafech, které udávají různé vlastnosti srážek. Naše výsledky splňují teoretická očekávání, která jsme před experimentem měli.

## 1 Úvod

Detektor ALICE (A Large Ion Collider Experiment) je jedním z několika detektorů na urychlovači LHC (Large Hadron Collider) v CERNu. Mimo jiné zkoumá proton-protonové (pp) srážky a srážky olověných (PbPb) jader. Při PbPb srážkách může docházet ke vzniku kvark-gluonového plazmatu (QGP), což je speciální stav hmoty, k jehož zformování dochází při dostatečně vysoké hustotě energie. V tomto stavu se hmota pravděpodobně nacházela bezprostředně po Velkém třesku. Během našeho experimentu jsme se snažili popsat vlastnosti QGP na detektoru ALICE.

## 2 Modifikace spekter částic

### Příčná hybnost

Veličinou, jež pomáhá k popisu srážek, je příčná hybnost  $p_T$  nabitých částic, která je složkou hybnosti částice v rovině  $xy$  kolmou k ose svazku  $z$  (směr pohybu srážených částic).

### Centralita

Při srážkách olověných jader, která jsou mnohem větší než protony, je nutné uvažovat zmiňovanou geometrii srážky popisovanou srážkovým parametrem  $b$ , který vyjadřuje, jak moc se jádra při srážce překrývají. Na základě překryvu můžeme rozlišit srážky centrální (centralita 0-10 %), semicentrální a periferální. Při centralitě 100 % se jádra minou. Při srážkách rozlišujeme nukleony na tzv. participanty, které se srážky přímo účastní, a pozorovatele, které se srážky neúčastní. Čím nižší je centralita, tím více nukleonů se srážky účastní, a tudíž vzniká

teplejší kvark-gluonové plazma, které má díky své velké hustotě tlumivé účinky a pohlcuje některé částice vzniklé při srážce.

### Jaderný modifikační faktor $R_{AA}$

Jaderný modifikační faktor  $R_{AA}$  je veličina, která popisuje rozdíl mezi produkcí částic vzniklých při pp srážkách a srážkách olovených jader, u nichž je nutné přihlížet k odlišným geometriím srážky. Definice  $R_{AA}$  faktoru je

$$R_{AA} = \frac{Y(PbPb)}{\langle N_{coll} \rangle Y(pp)}, \quad (1)$$

kde veličiny  $Y(PbPb)$  a  $Y(pp)$  označují počet částic vzniklých při dané srážce a  $\langle N_{coll} \rangle$  je střední počet srážek nukleon-nukleon, ke kterým dochází při srážkách dvou iontů olova.

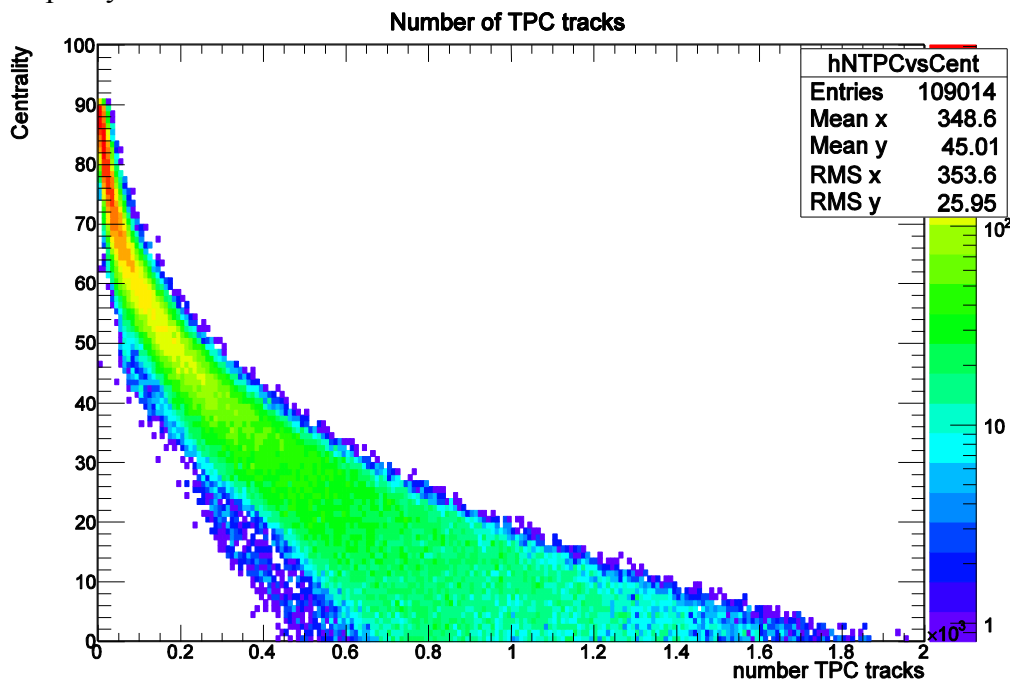
V případě, že nejsou k dispozici data z měření pp srážek, je možné místo nich použít data z periferních PbPb srážek. Tento faktor se pak nazývá  $R_{CP}$ .

## 3 Vlastní analýza dat

Vstupní data pro analýzu jsou data ze srážek na experimentu ALICE, která jsme následně analyzovali pomocí programu v softwaru ROOT. Software ROOT je analyzační prostředí používané v CERNu založené na C++. Náš program analyzoval data z přibližně  $10^7$  srážek, která jsme následně zpracovali do několika grafů. Do grafů jsme zanesli data pro tři skupiny srážek podle centrality (0-10 %, 20-30 %, 50-60 %).

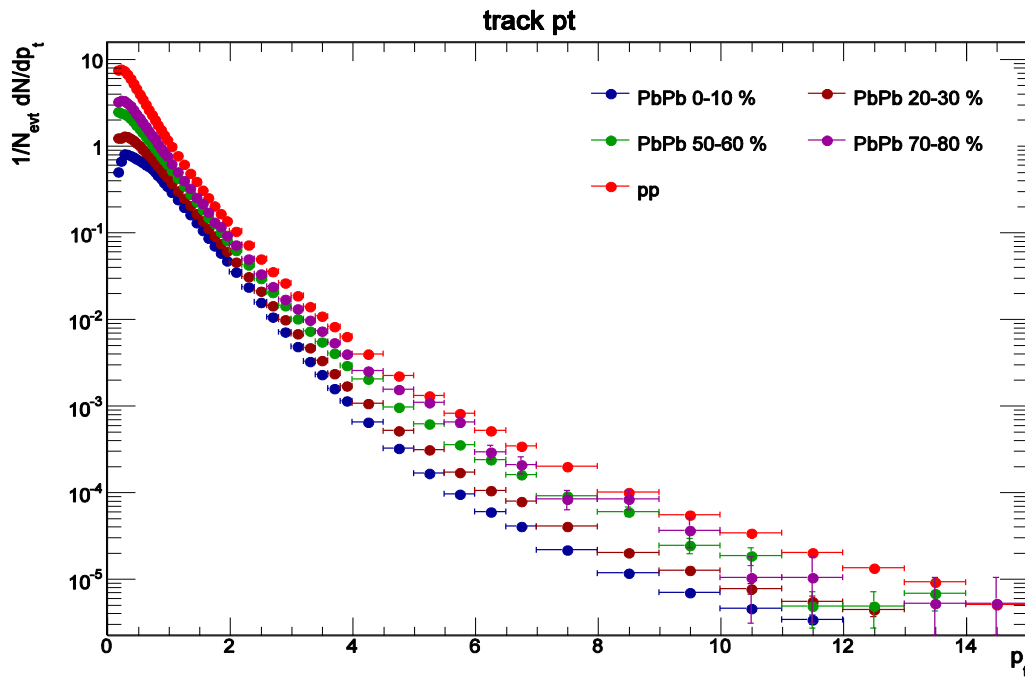
### Výsledky analýzy

Na Obr. 1 je zobrazena závislost počtu srážek na centralitě a počtu drah v TPC, pro data ze srážek PbPb. Z grafu je patrné, že při nízké centralitě je počet zachycených částic ze srážky menší než při vyšší centralitě.



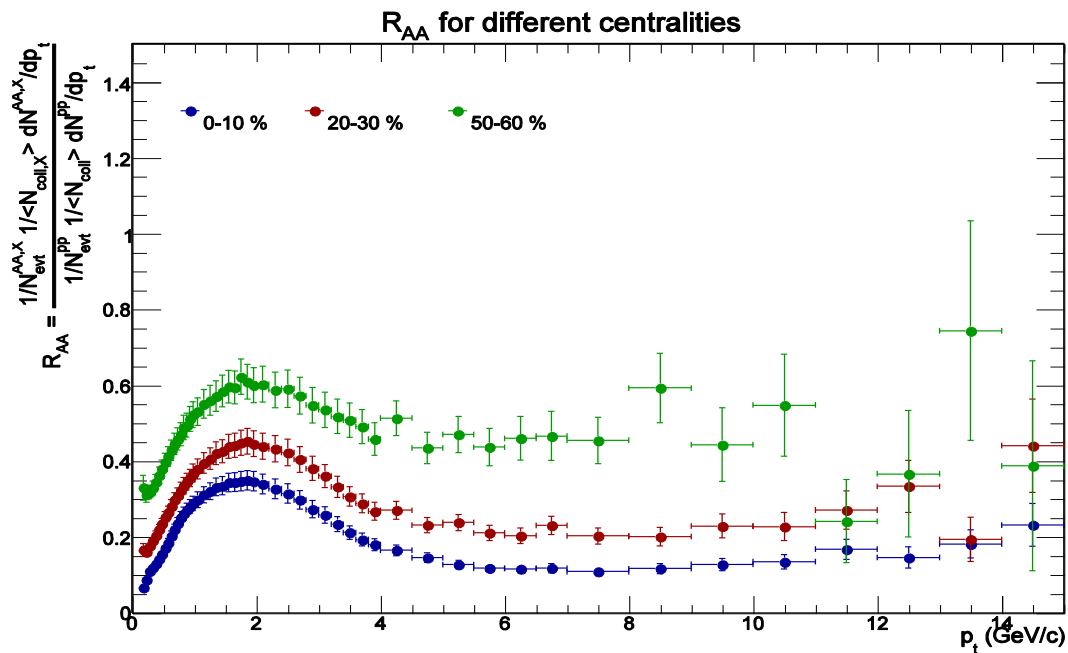
Obrázek 1: Naměřená závislost počtu srážek na centralitě a počtu drah v TPC, pro data ze srážek PbPb.

Obr. 2 udává průměrný počet vzniklých částic na jednu srážku s danou příčnou hybností. S nižší centralitou klesá počet částic s danou hybností, které vznikly. To je pravděpodobně způsobeno potlačením těchto částic kvark-gluonovým plazmatem.



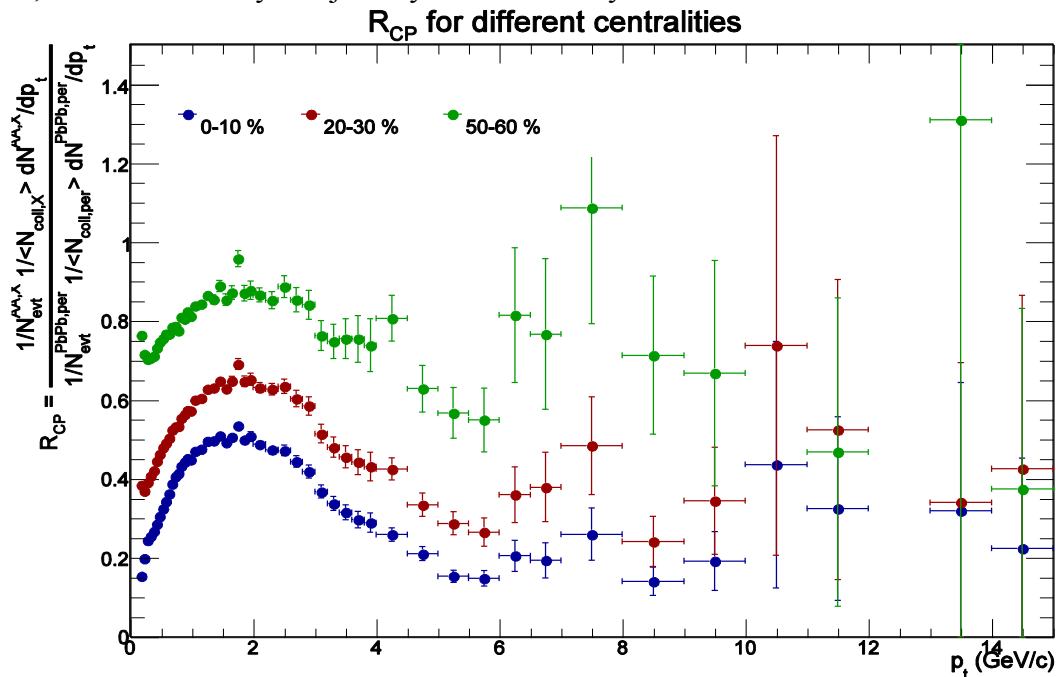
Obrázek 2: Distribuce příčné hybnosti  $p_t$  pro vybrané centrality.

Obr. 3 popisuje výsledný modifikační faktor v závislosti na příčné hybnosti, který vznikne vydělením distribucí na Obr. 2 (podle vzorce 1). Nejvyšších hodnot dosahuje přibližně při hybnosti 2 GeV/c u všech centralit. Jaderný modifikační faktor nenabývá hodnoty 1 a více, což potvrzuje účinek kvark-gluonového plazmatu. Nejnižších hodnot nabývá  $R_{AA}$  při nejnižší centralitě.



Obrázek 3: Závislost jaderného modifikačního faktoru  $R_{AA}$  na příčné hybnosti  $p_t$ .

Na Obr. 4 vidíme závislost  $R_{CP}$  faktoru na příčné hybnosti. Graf vypadá velmi podobně jako Obr. 3, nicméně hodnoty  $R_{CP}$  jsou vyšší než hodnoty  $R_{AA}$ .



## 4 Shrnutí

V našem experimentu jsme vyhodnocovali různé parametry srážek zachycených na detektoru ALICE v CERN. Výsledný jaderný modifikační  $R_{AA}$  faktor vycházel nejnížší pro malé centrality a jeho hodnota byla vždy menší než 1. Při vyhodnocování dat jsme tedy prokázali existenci kvark-gluonového plazmatu, které při srážkách vzniká, a také jsme naměřili jeho tlumící účinky, které se zvyšují se vzrůstající energií.

## Poděkování

Děkujeme našemu supervizoru Bc. Lukáši Kramárikovi za odborný dohled a také Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské při ČVUT, která nám umožnila tento projekt absolvovat.

## Reference:

[1] Averbeck, R. et al.: Measurement of the nuclear modification factor  $R_{AA}$  with ALICE, Citováno: 16. 6. 2015, Dostupné z: <http://www-alice.gsi.de/masterclass/>