

# Štúdium produkcie jetov v Au+Au zrážkach na experimente STAR

Obhajoba výskumného úkolu 2016

Bc. Martin Kocmánek

Vedúci práce: RNDr. Jana Bielčíková, Ph.D.

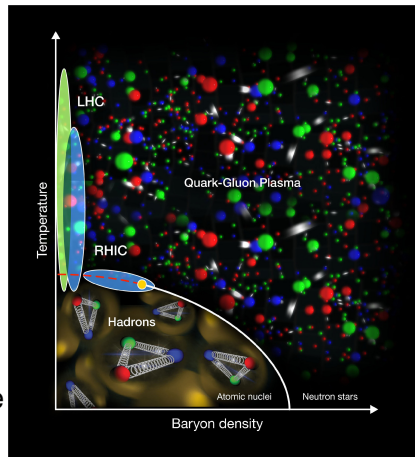
Konzultant: Ing. Jan Rusňák

24.6.2016

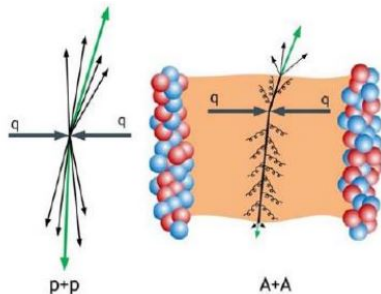


# Kvark-gluónová plazma (QGP)

- Stav horúcej a hustej jadrovej hmoty
- Pozostáva z voľných partónov - kvarkov a gluónov, ktoré sú v normálnej hmote pevne viazané.
- Prítomnosť QGP predpokladáme v ultra-relativistických ťažko-iónových zrážkach.
- Počas počiatkových štádií zrážky partóny podstupia proces fragmentácie a hadronizácie, čo vedie k vytvoreniu jetov.



- Kolimované spříšky částic, produkované v prvotných štádiách protónových alebo ťažko-iónových zrážkach.
- Dôležitá sonda QGP: zhášanie jetov
- Rekonštrukcia jetov v:  
p+p zrážkach - overenie výpočtov kvantovej chromodynamiky  
A+A zrážkach - zisťovanie vlastností QGP, náročná z dôvodu veľkého a fluktujúceho pozadia (underlying event, pileup)



# Experiment STAR

Brookhaven National Laboratory: RHIC-Relativistic Heavy Ion Collider  
STAR Experiment:

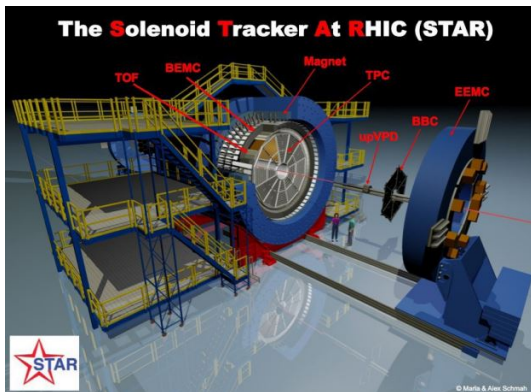
- **BEMC** - Barrel ElectroMagnetic Calorimeter
- **TPC** - Time Projection Chamber
- ToF, MTD, HFT, magnet...

Pokrytie:

azimutálny uhol:  $2\pi$ ,

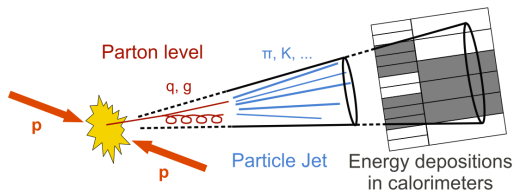
pseudorapidita:

$$-1 < \eta < 1$$



# Jetové algoritmy

- Hlavný cieľ: spojiť súbor nabitých dráh a neutrálnych energetických veží meraných detektorom do jetu.
- Proces selekcie - výber objektov (častíc), obyčajne blízko sa nachádzajúcich v priestore  $\eta - \phi$
- Rekombinačná schéma - skladanie hybnosti častíc do jetu
- Požiadavky:
  - infračervená a kolineárna bezpečnosť, rýchlosť spracovania, nezávislosť na použítom detektore, nezávislosť na použití v experimente alebo v simulácii



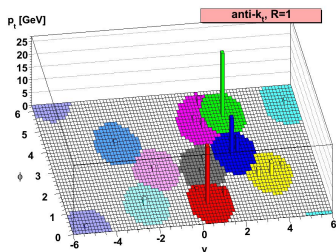
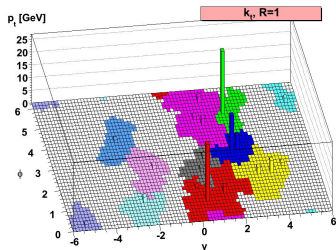
# Jetové algoritmy

- **Kuželové:** Cone, SIScone  
- aproximácia jetu pomocou kužeľa
- **Sekvenčne rekombinačné:**  
 $k_T$ , anti- $k_T$ ,  
Cambridge-Aachen  
- sekvenčná rekombinácia častíc do jetov na základe merania váženej vzdialenosti medzi časticami.

$$d_i = p_{Ti}^{2n}$$

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^{2n}, p_{Tj}^{2n}) \frac{\Delta_{ij}^2}{R^2}$$

$$\Delta_{ij}^2 = (\eta_i - \eta_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2$$



M. Cacciari, G. P. Salam and G. Soyez,  
JHEP 0804 (2008)

- **Plocha jetu** je miera citlivosti jetu k nízkoenergetickým signálom.  
- aktívna a pasívna

## Odčítanie pozadia

- Hustota pozadia  $\rho = \text{median}\left(\frac{p_{T,i}}{A_i}\right)$
- Korekcia  $p_{T,corr} = p_{T,measured} - A\rho$
- $p_T$ -hybnosť jetu rekonštruovaného  $k_T$  algoritmom,  $A$  - plocha jetu

## FastJet:

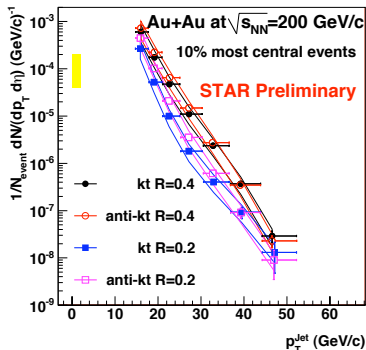
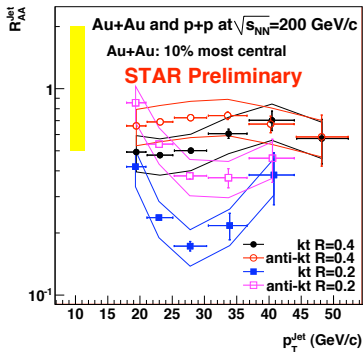
- softvérový balíček pre analýzu jetov
- implementácia najviac používaných sekvenčne rekombinačných a kužeľových algoritmov
- výpočty plôch jetov, odhadov pozadia, odpočet pozadia

# Prvá plná rekonštrukcia jetov na experimente STAR z Au+Au zrážok pri energii $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, Run 07.

Jetové  $R_{AA}$ :

$$R_{AA}(b, y, p_T) = \frac{1}{\langle T_{AA}(b) \rangle} \frac{d^2 N_{AA}/dydp_T}{d^2 N_{pp}/dydp_T}$$

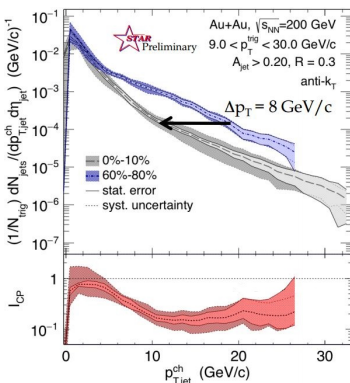
Účinný prierez pre inkluzívnu produkciu jetov.





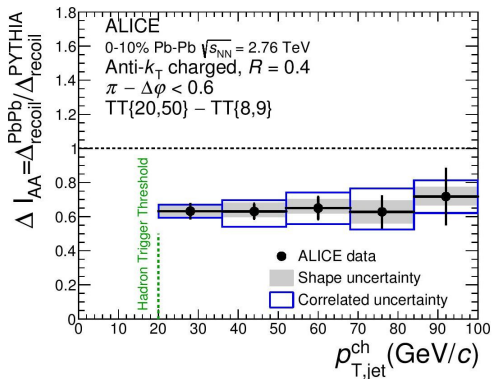
# Inkluzívne spektrá protiahlých jetov

Nabité prvotné spektrum protiahlých nabitých jetov pre centrálnu a periférnu Au+Au zrážku namerané experimentom STAR pri  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV v porovnaní s výsledkami z experimentu ALICE pri  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV



A.Schmah (STAR), Hard Probes 2015

$$I_{CP} = Y_{central} / Y_{peripheral}$$



J. Adam et al. [ALICE], arXiv:1506.03984

# Analyza a rekonštrukcia plných jetov



## Výber eventov:

15.6M Minimum Bias zrážky Au+Au pri energii  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV,  
Run 11.

## Rekonštrukcia plných jetov:

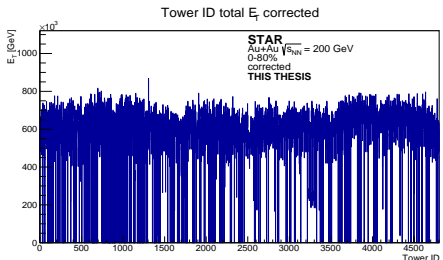
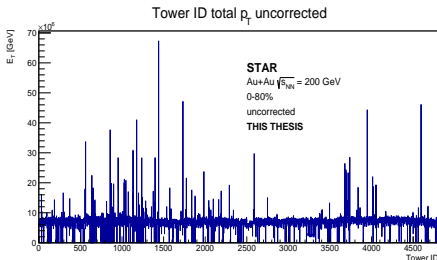
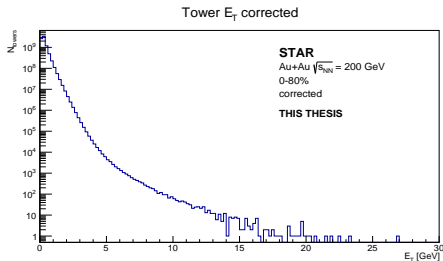
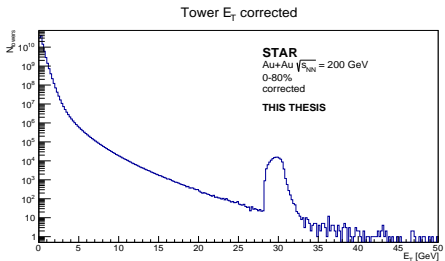
- Jetové konštituenty: nabité dráhy - TPC, neutrálna zložka - BEMC
- Obmedzenie na  $p_T$  konštituentov jetu:  
 $0.2 \text{ GeV}/c < p_{T,const} < 30 \text{ GeV}/c$
- Fiduciálne selekčné kritérium:  $|\eta| < 1 - R$
- Rozlišovacie parametre  $R = 0.2, 0.3, 0.4$
- Centralitné triedy: 0-10%, 10-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80%.

## Výber nabitých dráh:

- vzdialenosť najbližšieho priblíženia dráhy k primárnemu vertexu:  $DCA < 1 \text{ cm}$ ,
- minimálny počet fitovaných bodov v TPC: 14
- pomer bodov dráh v TPC k ich maximálnemu počtu: 0.55

# Korekcia veží BEMC

## Energetické spektrum veží BEMC pred a po korekcií



# Korekcia veží BEMC

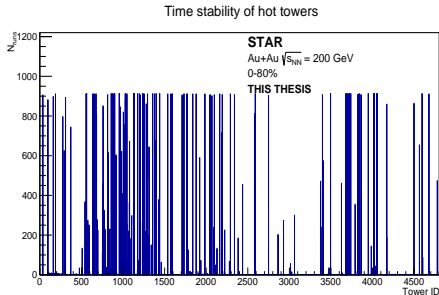
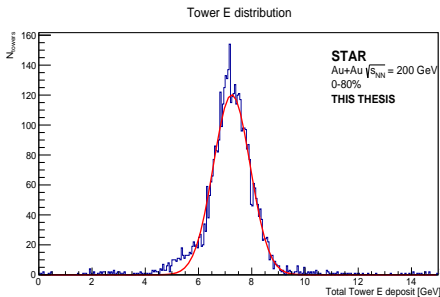
Počet veží BEMC: 4800 (120 v  $\phi$  x 40 v  $\eta$ )

Počet nefunkčných veží: 2-3% v každom evente

Počet veží s nadmernou energiou: 140

Distribúcia veží s celkovou deponovanou energiou:

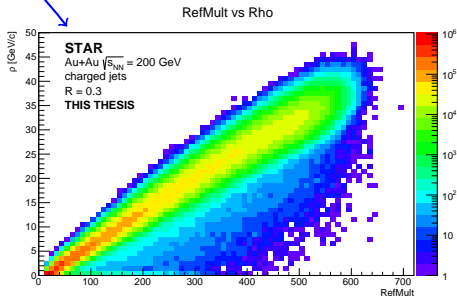
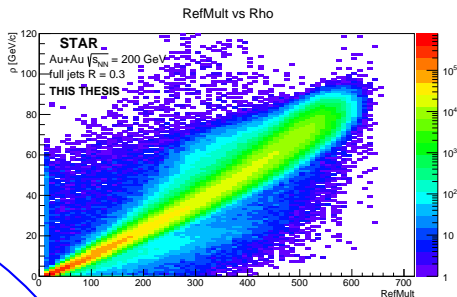
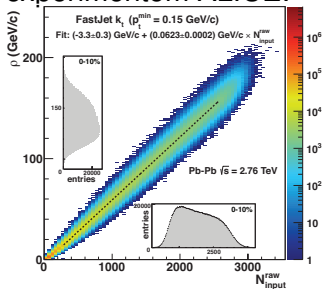
Počet fyzikálnych behov, v ktorých bola konkrétna veža označená za horúcu:



# Hustota pozadia $\rho$

Energia hustoty pozadia  $\rho$   
vzhľadom na referenčnú  
multiplicitu nabitých častíc pre:

- Plné jety →
- Nabité jety →
- Nabité jety namerané  
experimentom ALICE:

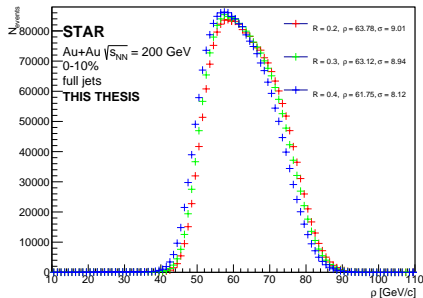


B. Abelev *et al.* ALICE, JHEP **1203** (2012) 053

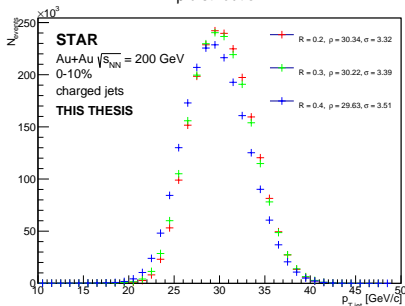
# Hustota pozadia $\rho$

Energia hustoty pozadia  $\rho$  pre centrálne Au+Au zrážky 0-10%.

**PLNÉ JETY**  
 $\rho \approx 63 \text{ GeV}/c$   
 $\rho$  distribution



**NABITÉ JETY**  
 $\rho \approx 30 \text{ GeV}/c$   
 $\rho$  distribution



ALICE experiment:  $\rho \approx 138 \text{ GeV}/c$  v Pb+Pb pri  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$

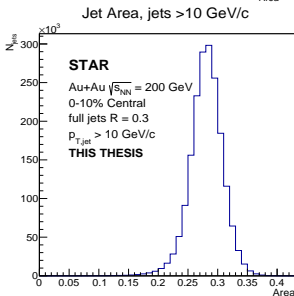
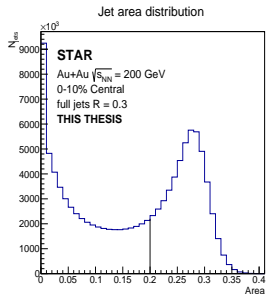
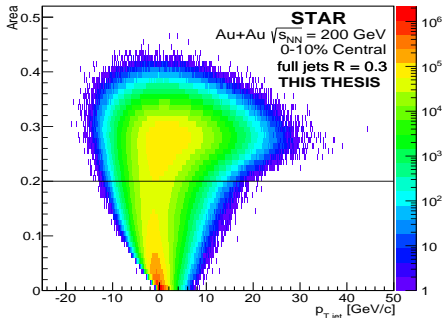
B. Abelev *et al.* [ALICE], JHEP **1203** (2012) 053

# Štúdiá vhodnej plochy jetu

Selekčné kritériá na plochu jetu pri danom rozlišovacom parametri  $R$ :

$R = 0.2$	$A > 0.09$
$R = 0.3$	$A > 0.2$
$R = 0.4$	$A > 0.4$

**PLNÉ JETY  $R = 0.3$**   
Jet area vs jet  $p_T$

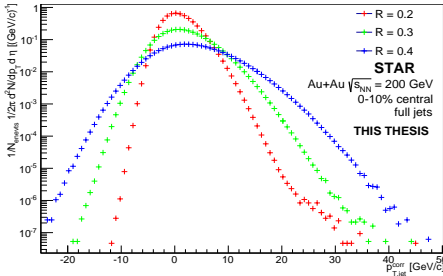




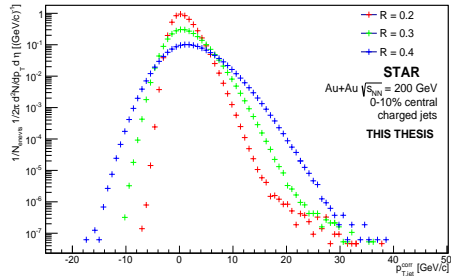
# Spektrum plných a nabitých jetov pre centrálne a periférálne Au+Au zrážky pre rôzne rozlišovacie parametre $R = 0.2, 0.3, 0.4$ :

CENTRÁLNE

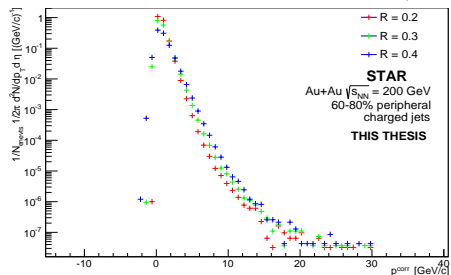
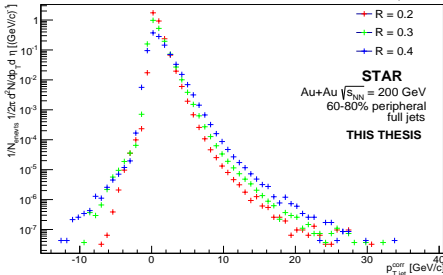
PLNÉ JETY



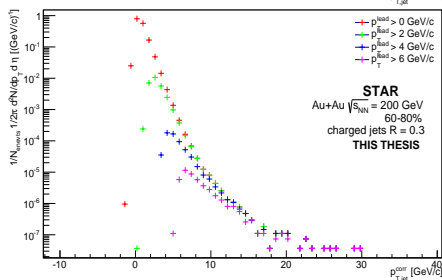
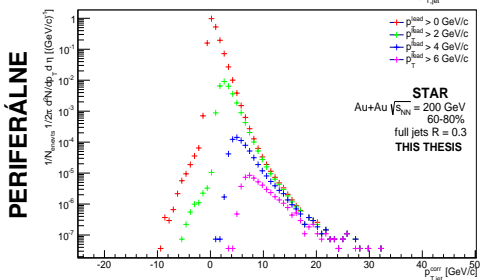
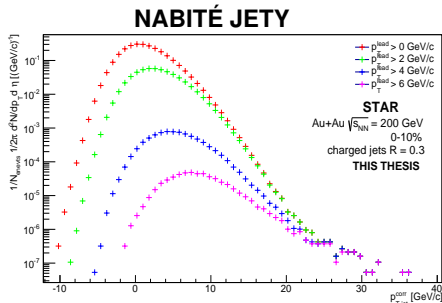
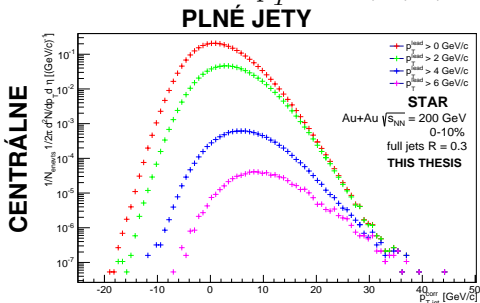
NABITÉ JETY



PERIFÉRÁLNE



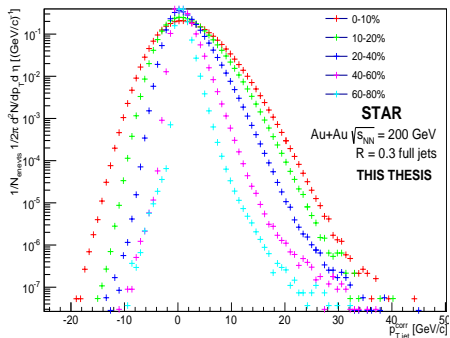
Spektrum plných a nabitých jetov s rozlišovacím parametrom  $R = 0.3$  pre centrálnu a periférálnu Au+Au zrážku s obmedzením na hybnosť vedúceho hadrónu  $p_T^{lead} > 0, 2, 4, 6$  GeV/c:



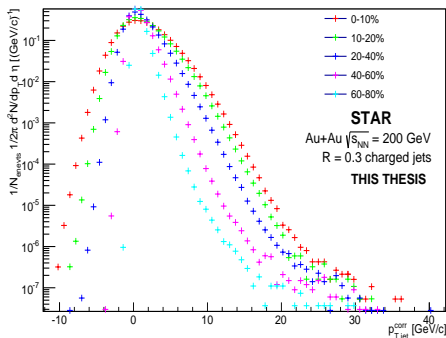
# Jetové spektrum v závislosti na centralite

Spektrum plných a nabitých jetov s rozlišovacím parametrom  $R = 0.3$  v závislosti na centralite zrážky:

## PLNÉ JETY R = 0.3



## NABITÉ JETY R = 0.3



- Uvedenie do problematiky kvark-gluónovej plazmy a jej štúdia pomocou jetov.
- Zoznámenie sa s jetovými algoritmami a ich využitím v analýze jetov.
- Prehľad nedávnych výsledkov experimentu STAR.
- Analýza plne nabitých jetov v Au+Au zrážkach pri energii  $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ .

## Plán:

- Oprava jetových spektier na detektorové efekty:
  - Výpočet  $\delta p_T$
  - Zostavenie matice odozvy
  - Dekonvolúcia spektra
- Systematické chyby
- Jetové  $R_{AA}$
- Použitie dát s vyššou štatistikou z roku 2014

Ďakujem za pozornosť