

## Underlying event na 13 TeV



Andy Buckley, Deepak Kar, Oldřich Kepka, Roman Lysák, Matouš Vozák

*Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská FJFI*

24.5. 2016

7. Česko-Slovenská studentská vědecká konference ve fyzice (ČSSVK7),

- pp srážky na LHC
- Underlying event
- ATLAS analýza underlying eventu na 13 TeV
- Výsledkové distribuce
- Závěr

# Proton-protonové srážky

- LHC pp srážky
- Kompozitní struktura protonu → **partony**.

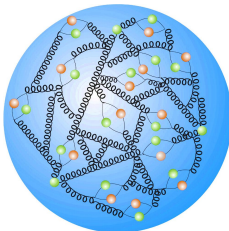


Figure: Vnitřní struktura protonu [3]

- Tvrdé interakce (velký přenos hybnosti)  
2→2 produkce zajímavých částic W,Z,  
H
- Mnohem rušnější prostředí

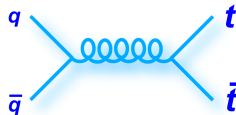


Figure: Diagram  $qq \rightarrow qq$  [2]

# Underlying event

- Tvrký proces
- Partonové spršky (počáteční/finální)
- Multi-partonové interakce
- Pozůstatky protonu
- $PS + MPI + PP = UE$

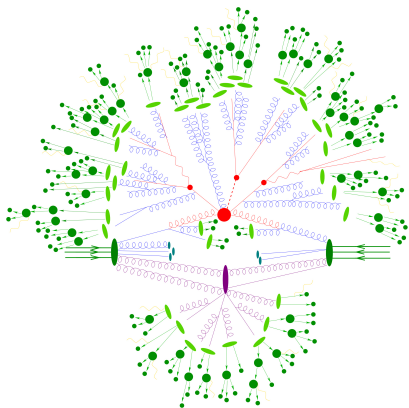


Figure: Typický průběh události při pp srážce [1]

# Underlying event

- Přítomnost UE způsobuje zvýšení aktivity a tedy možnou kontaminaci jistých měření (nízkoenergetické jety, ...) → nutnost studie okolní aktivity.
- UE obsahuje příspěvky tvrdých i měkkých interakcí → použití MC generátorů (volné parametry - ladění).

## MOTIVACE?

- Pochopení chování UE v pp srážkách.
- UE měření zpracováno na 900 GeV a 7 TeV [5] jak to vypadá na nové těžišťové energii 13 TeV?
- Kontrola nastavení volných parametrů.

# Analýza UE

- Zavedení regionů v rovině kolmé k svazkové trubici.
- Využití "čelní" částice.
- **Regiony**  $\Delta\phi = \phi - \phi_{wrtlead}$

① Dopředný region

$$|\Delta\phi| < \pi/3$$

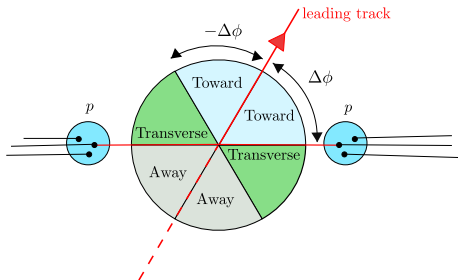
② Odvrácený region

$$2\pi/3 < |\Delta\phi|$$

③ Kolmý region

$$\pi/3 < |\Delta\phi| < 2\pi/3$$

④ Kolmý max/min/diff



- Studium pozorovatelných citlivých na UE.
  - 1  $\langle d^2 N_{ch}/d\eta d\phi \rangle$  jako funkce  $p_T^{lead}$ ,  $\Delta\phi$
  - 2  $\langle d^2 \Sigma p_T/d\eta d\phi \rangle$  jako funkce  $p_T^{lead}$ ,  $\Delta\phi$
  - 3  $\langle p_T \rangle$  jako funkce  $p_T^{lead}$ ,  $N_{ch}$
- Celkově přibližně 30 distribucí.
- Selektce
  - 1 **Události:**  $p_T^{lead} > 1 \text{ GeV}$ , ...
  - 2 **Částicové stopy:** kinematika, zásahy ve vrstvách detektoru, ...
  - 3 ...
- Korekce
  - 1 **Effektivita rekonstrukce:** částicových stop, vrcholů, ...
  - 2 **HBOM:** Snaha opravit pozorovatelné na efekty spojené s reorientací.

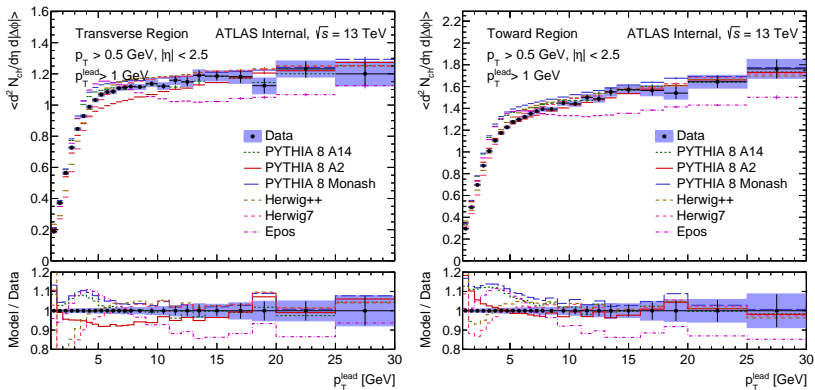
# VÝSLEDKY



(pouze malá ochutnávka)

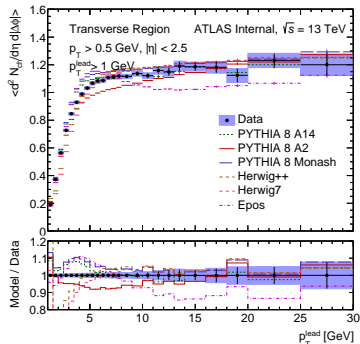
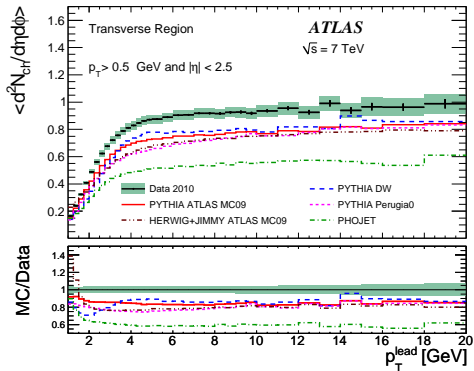


# Výsledky částicových hustot



- Oproti dopřednému regionu je hustota částic v kolmém regionu téměř konstantní ( $p_T^{lead} > 5$  GeV). → UE plošina.
- Lepší popis dat pomocí MC až zhruba od 7 GeV.

# Porovnání se 7 TeV analýzou



- Nárůst aktivity o přibližně 20 % .
- Mnohem lepší porovnání s MC.

## Závěr

- Analýza UE, který leží na pozadí tvrdých srážek.
- Znalost jeho chování napomáhá k porozumění procesům na pozadí (MPI, PS, PP) při pp srážkách.
- Studium pomocí pozorovatelných citlivých na UE v definovaných regionech.
- Korekce na efekty detektoru a využití HBOM metody.
- S rostoucím  $p_T^{lead}$  je příspěvek hustoty částic v kolmém regionu konstantní.
- Relativně dobrý popis dat až na nižší hodnoty  $p_T^{lead}$ .
- Zhruba 20% nárůst aktivity oproti měření ze 7 TeV.

# Reference



John Baez, *October diary 2015* [http://math.ucr.edu/home/baez/diary/october\\_2015.html](http://math.ucr.edu/home/baez/diary/october_2015.html)



Ann Heinson, *Useful diagrams of Top signals and backgrounds*

[http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top\\_public\\_web\\_pages/top\\_feynman\\_diagrams.html](http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_feynman_diagrams.html)



Hoche, Stefan *Introduction to parton-shower event generators, (2014), SLAC-PUB-16160*



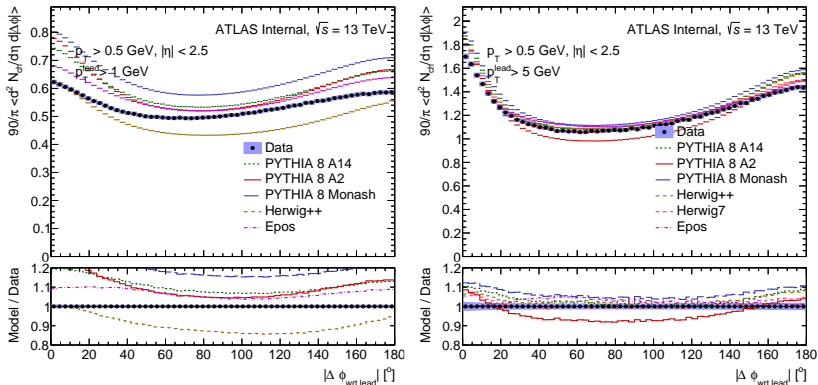
ATLAS collaboration, *Measurement of underlying event characteristics using charged particles in  $pp$  collisions at  $\sqrt{s} = 900$  GeV and 7 TeV with the ATLAS detector*, PhysRevD.83.112001



Oldřich Kepka, Deepak Kar, Matouš Vozák, *Leading Track Underlying Event at 13 TeV*, (2015), <https://cds.cern.ch/record/2030164>

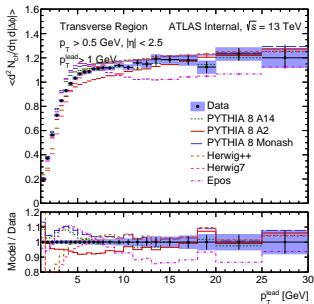
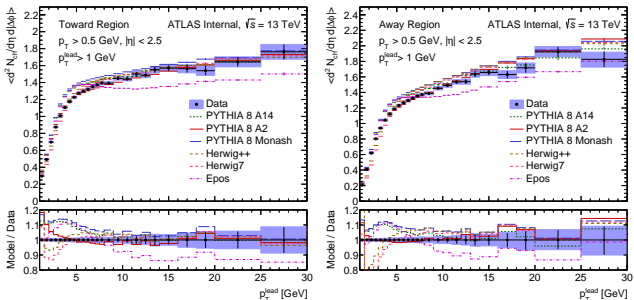
BACKUP

# Výsledky $|\Delta\phi|$ distribucí

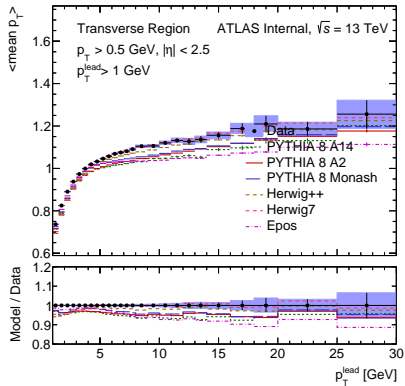
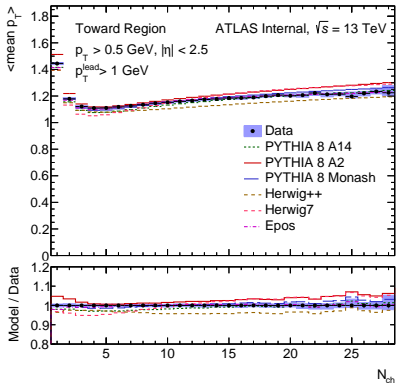


- Náhled na topologii eventů.
- Dopředný a odvrácený region zvýšenou aktivitu oproti kolmému, která se ještě více projevuje pro vyšší transversální hybnosti čelní částice  $p_T^{\text{lead}}$ .
- Popis dat MC generátory se zlepšuje také s rostoucím  $p_T^{\text{lead}}$  (UE generátory).

# Results



# Results





# Selection

## Data selection

- Using low PU runs 267358-9 ( after GRL and Trigger 10855221 events) with  $L = 170\mu b^{-1}$
- Trigger HLT\_noalg\_MBT5\_1 (one hit on either sides of MBTS)

## Event selection

- Primary vertex (no additional with  $n_{tracks} \geq 4$ )
- Leading track with  $p_T^{lead} > 1$  GeV ( 60.88 %)

## Track selection

- $p_T > 500$  MeV,  $|\eta| < 2.5$
- $\geq 1$  pixel hit, hit in IBL if expected, or otherwise hit in next layer if expected
- $\geq 6$  SCT hits
- cut on impact parameters:  $|d_0| < 1.5$  mm,  $|z_0| \cdot \sin \theta < 1.5$  mm
- $\chi^2$  probability  $> 0.01$  for tracks with  $p_T > 10$  GeV

# Correction to particle level

- Two step correction
  - ① Weighting  $\rightarrow$  account for vertex, trigger (negligible) and track efficiency of reconstruction
  - ② HBOM  $\rightarrow$  account for change of event topology due to loss of leading track

## Weighting

- $\epsilon_{trk}$  effectivity of track reconstruction
- $f_{okr}$  fraction of tracks out of kinematic region
- $f_{npr}$  fraction of non-primary tracks
- $f_{strangebar}$  fraction of strange baryons

$$w_{ev} = \frac{1}{\epsilon_{trig}(N_{sel}^{BL})} \frac{1}{\epsilon_{vtx}(N_{sel}^{BL}, \eta)} \quad (1)$$

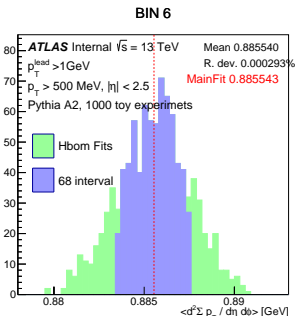
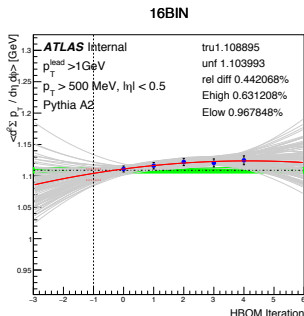
$$w_{trk} = \frac{1}{\epsilon_{trk}(p_T, \eta)} \cdot (1 - f_{okr}(p_T, \eta) - f_{npr}(p_T, \eta) - f_{strangebar}(p_T)) \quad (2)$$

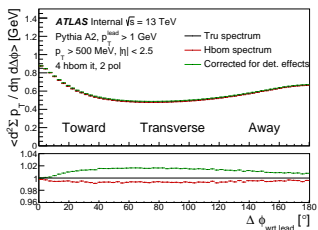
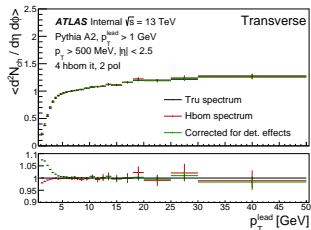
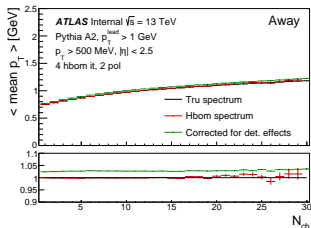
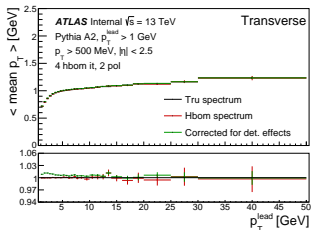
- Applied to  $\Sigma p_T, N_{ch}$  and  $\langle p_T \rangle$  wrt  $p_T^{lead}$  distribution
- $\Sigma p_T \rightarrow \Sigma_l p_{T_l} w_l, N_{ch} \rightarrow \Sigma_l w_l, \langle p_T \rangle \rightarrow \Sigma_l p_{T_l} w_l / \Sigma_l w_l, w_l = w_{ev} w_{trk_l}$
- Correction of particle multiplicity  $n_{sel} \rightarrow N_{ch}$  using track weights is not sufficient due to large fluctuations in multiplicity

# Correction to particle level

## Reorientation correction

- Hit backspace once more (HBOM) → In this case randomly losing tracks according to the track reconstruction efficiency (parametrized by  $\eta$ ,  $p_T$ )
- Parametrization of k-th iteration by polynom of n degree (default 6 iteration and pol. of 2nd degree )
- Extrapolation to -1
- Reweighting of survived tracks by  $1/\epsilon_{trk}$  in each iteration
- Different seed for each iteration (uncorrelated iteration)
- Error of the method determined as 68% interval of unfolded values from toy experiments

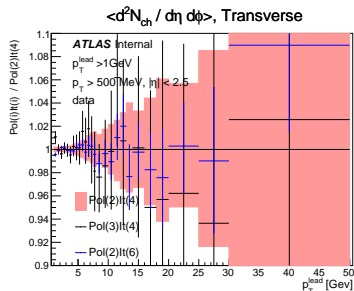
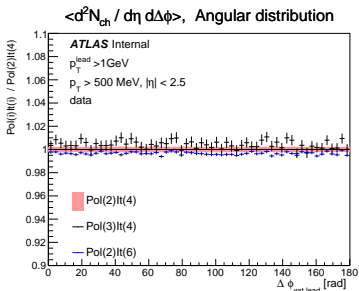




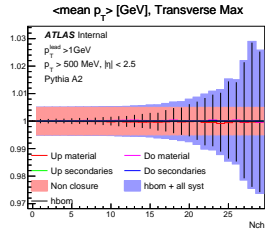
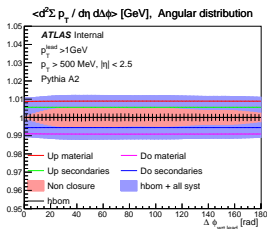
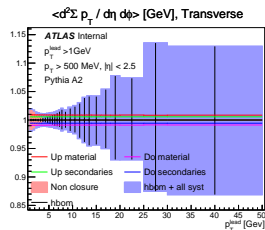
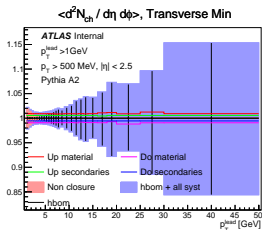
- Non-closure around 2 % in first bins for  $\Sigma p_T$  and  $N_{ch}$  wrt  $p_T^{\text{lead}}$
- 1 % Non closure in  $\Delta\phi$
- TrDiff around 10 % in first bins → Possible exclusion from final results.
- Application non closure (from Pythia 8) as correction for data ( mainly only in first bins and max 2.5 %)

# Systematic uncertainties

- Dominant systematics from material modeling and contribution of non-primaries ( **applied** )
- Non closure systematic ( **applied** )
- Data-driven correction of tracking efficiency (small effect) ( **applied** )
- Number of iteration  $k$  and polynomial degree  $n$  ( **applied for some** )



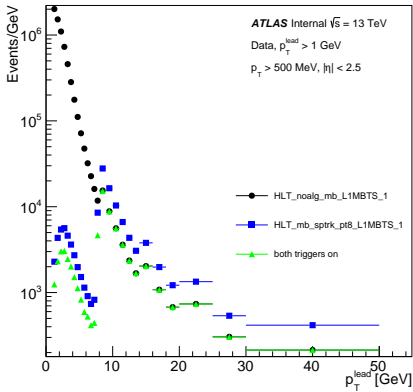
# Statistic and systematic uncertainties

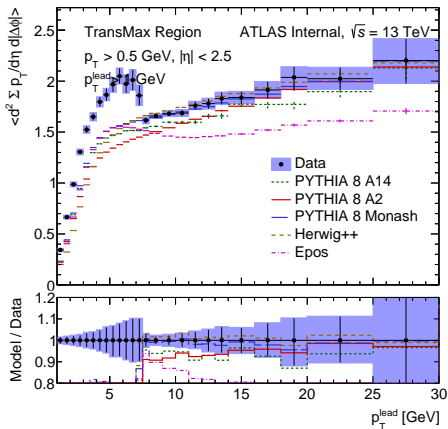
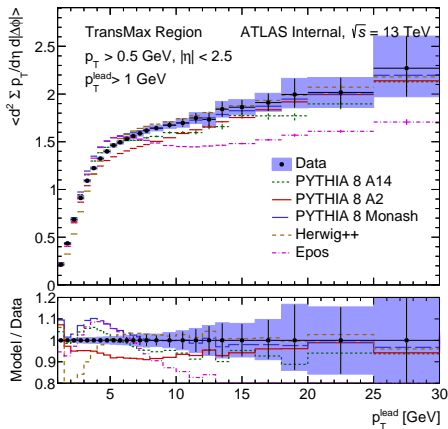


- Uncertainty of h\_bom method is taken as statistic uncertainty (blow up  $\rightarrow$  6 iteration)
- Smoothing of  $\Delta\phi$

# Trigger

- For now HLT mb noalg L1 MBTS1
- Leading track trigger  $\rightarrow$  HLT mb sprtk pt8 L1MBTS1

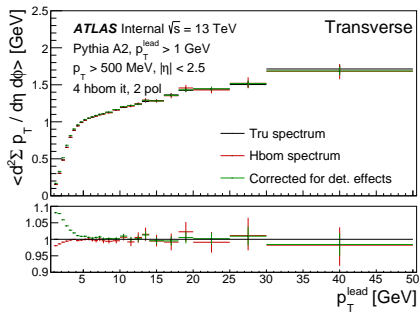
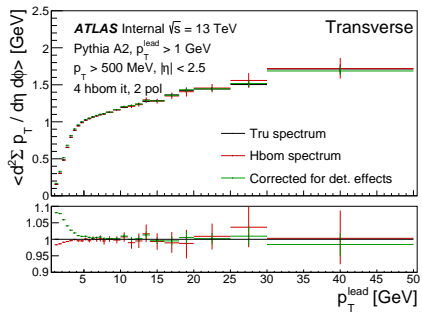




- Reduction of statistic uncertainty in higher  $p_T^{\text{lead}}$  by 20-30 %



# 4 vs 6 hbom iteration



# Statistic and systematic errors

