

Underlying event na 13 TeV



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

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská FJFI

24.6. 2016

Obhajoba výzkumného úkolu

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

Proton-protonové srážky

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

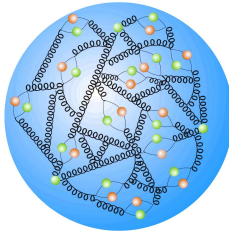


Figure: Vnitřní struktura protonu [1]

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

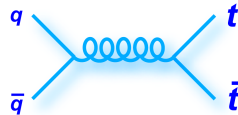


Figure: Diagram $q\bar{q} \rightarrow q\bar{q}$ [2]

Underlying event

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

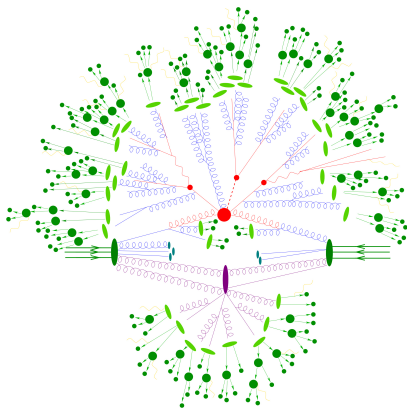


Figure: Typický průběh události při pp srážce [3]

Underlying event

- Přítomnost UE způsobuje zvýšení aktivity a tedy možnou kontaminaci měření (např. nízkoenergetické jety, ...) → 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 [4] 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

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

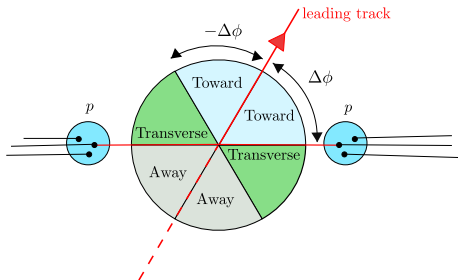
② Odvrácený region

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

③ Kolmý region

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

④ Kolmý max/min/diff



- Studium pozorovatelných citlivých na UE.
 - 1 $\langle d^2 N_{\text{ch}} / d\eta d\phi \rangle$ jako funkce $p_{\text{T}}^{\text{lead}}$, $\Delta\phi$
 - 2 $\langle d^2 \Sigma p_{\text{T}} / d\eta d\phi \rangle$ jako funkce $p_{\text{T}}^{\text{lead}}$, $\Delta\phi$
 - 3 $\langle p_{\text{T}} \rangle$ jako funkce $p_{\text{T}}^{\text{lead}}$, n_{ch}
- Studium přibližně 30 distribucí.
- Tvořeny z primárně nabitých částic.
- Selekce
 - 1 **Události**
 - 2 **Částicové stopy (tracky)**
- Korekce
 - 1 **Váhování** oprava na efekty detektoru.
 - 2 **HBOM**: snaha opravit pozorovatelné na efekty spojené s reorientací.

Selekce

Data

- Runy s malým μ , celková luminozita $1618.4 \mu\text{b}^{-1}$
- GRL
- Trigger HLT_noalg_MBTSS_1 (na jedné ze dvou stran MBTS).

Event selekce

- Primární vrcholek (bez přidavných vcholeků s $n_{\text{trk}} \geq 4$).
- Čelní částice s $p_{\text{T}}^{\text{lead}} > 1 \text{ GeV}$ ($\approx 60\%$).

Track selekce

- $p_{\text{T}} > 500 \text{ MeV}$, $|\eta| < 2.5$.
- Hit v IBL.
- ≥ 1 pixel hit.
- ≥ 6 SCT hitů, v případě mrtvého modulu se automaticky berou hity.
- Cut na srážkové parametry: $|d_0| < 1.5 \text{ mm}$, $|z_0| \cdot \sin \theta < 1.5 \text{ mm}$.
- Pravděpodobnost $\chi^2 > 0.01$ pro tracky s $p_{\text{T}} > 10 \text{ GeV}$.

Korekce

Váhování

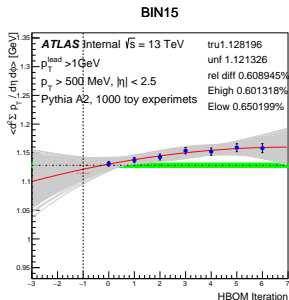
- Oprava na efekty detektoru pomocí efektivit rekonstrukce získaných ze simulací.

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

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

Hit backspace once more

- Náhodné zahazování tracků podle jejich efektivit rekonstrukce (parametrizována η , p_T) v několika iteracích a následná extrapolace.

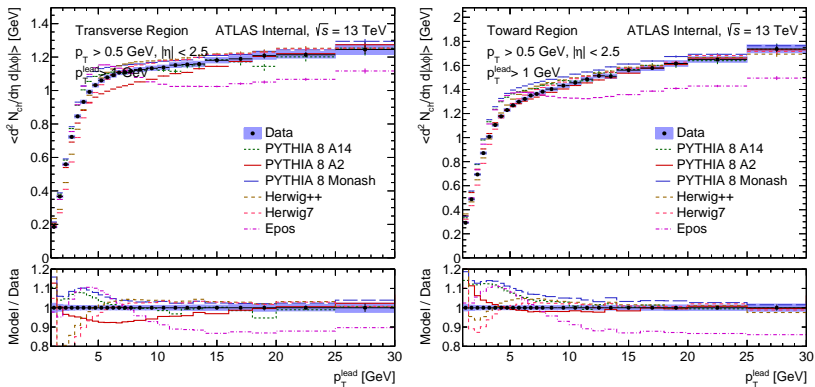


VÝSLEDKY



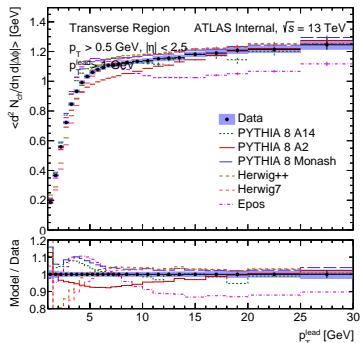
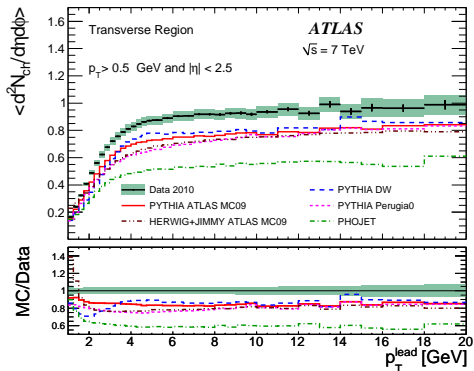
(pouze malá ochutnávka)

Výsledky částicových hustot



- Oproti dopřednému regionu je hustota částic v kolmém regionu téměř konstantní ($p_T^{lead} > 5 \text{ GeV}$). \rightarrow 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, IFR, FSR) 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.
- ATLAS paper [9] support note [8].

Reference



John Baez, *October diary 2015* 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



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



Marchesini, G. and Webber, B. R., *Associated Transverse Energy in Hadronic Jet Production*, PhysRevD.38.3419



Monk, James W. and Oropeza-Barrera, *The HBOM Method for Unfolding Detector Effects*, Monk, j.nima.2012.09.045
<http://arxiv.org/pdf/1111.4896.pdf>



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



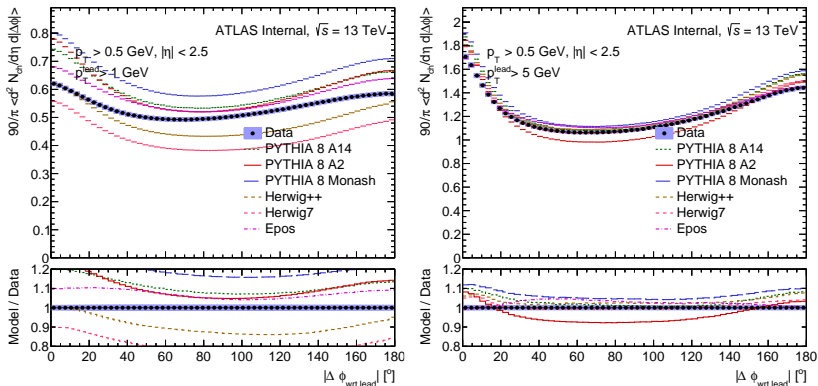
Andy Buckley, Deepak Kar, Oldřich Kepka, Matouš Vozák, Roman Lysak, *Measurement of charged-particle distributions sensitive to underlying event in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector at the LHC*, ATL-COM-PHYS-2016-405 <https://cds.cern.ch/record/2149432/>



Andy Buckley, Deepak Kar, Oldřich Kepka, Matouš Vozák, Roman Lysak, *Measurement of charged-particle distributions sensitive to underlying event in $\sqrt{s} = 13$ TeV proton proton collisions with the ATLAS detector at the LHC*, ATL-COM-PHYS-2016-709
<https://cds.cern.ch/record/2158909/>

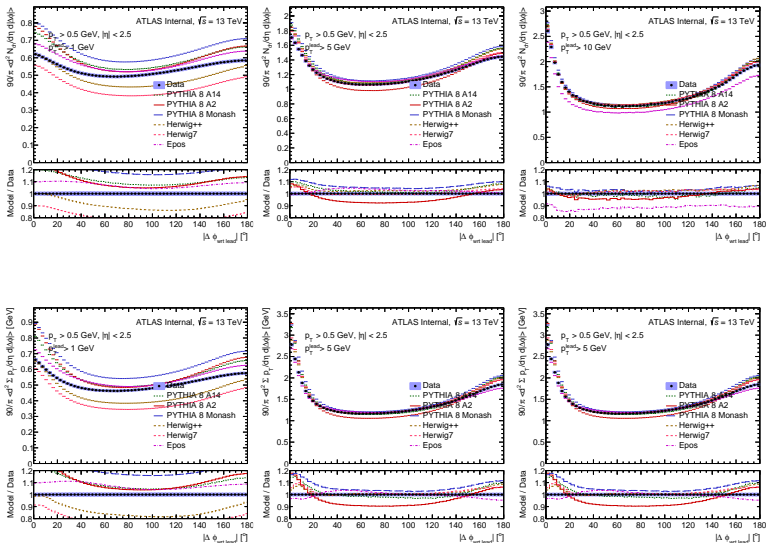
BACKUP

Výsledky částicových a momentových hustot

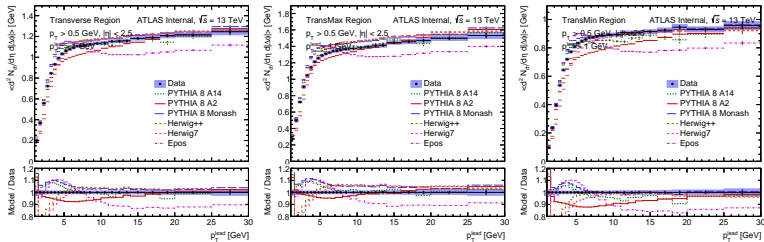


- Náhled na topologii eventů.
- Dopředný a odvrácený region zvýšenou aktivitu oproti kolmému, která se ještě více projevuje pro vyšší transversální hybnosti čelní částice p_T^{lead} .
- Popis dat MC generátory se zlepšuje také s rostoucím p_T^{lead} (UE generátory).

Σp_T a N_{ch} wrt $|\Delta\phi|$

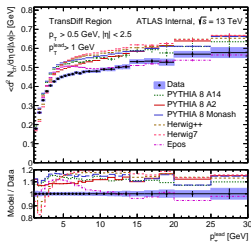
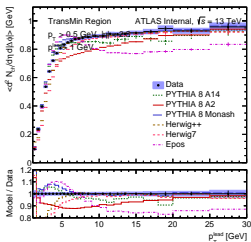
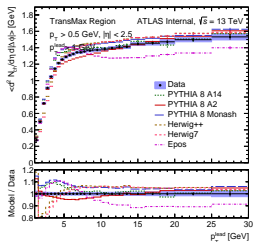
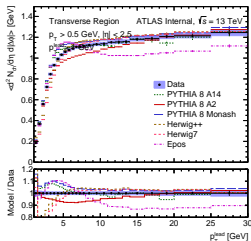
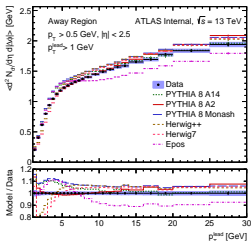
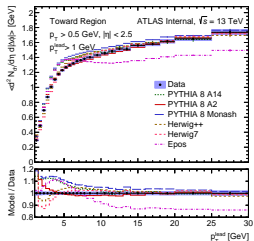


N_{ch} wrt p_T^{lead}

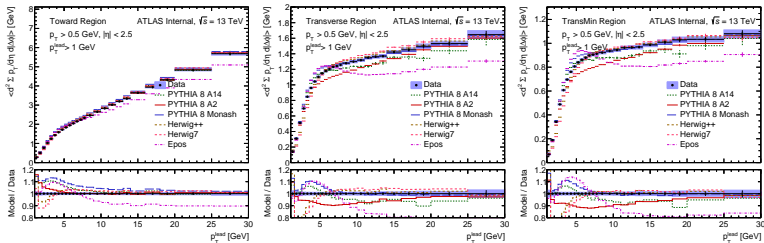


- Konstantní hustota zhruba od $p_T^{lead} > 5$ GeV \rightarrow UE plošina.
- Zhruba 12 částic v kolmém regionu.
- Zlepšení predikcí s rostoucím p_T^{lead} pro UE tuny.

N_{ch} wrt p_T^{lead}

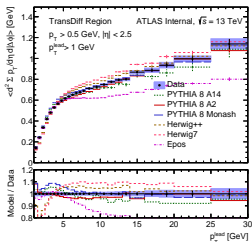
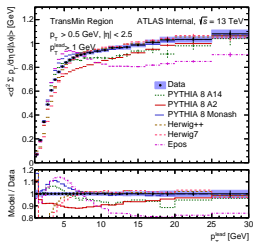
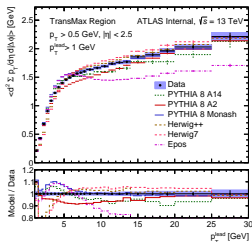
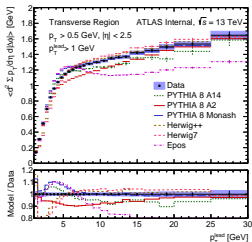
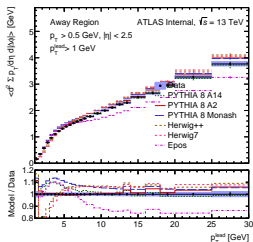
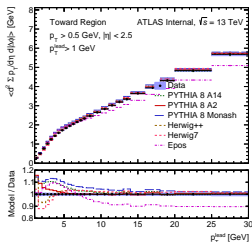


Σp_T wrt p_T^{lead}

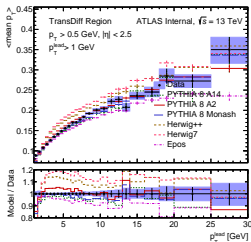
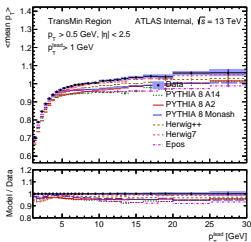
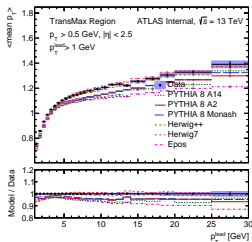
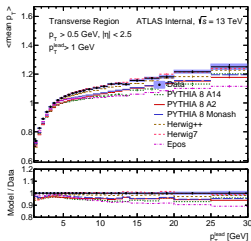
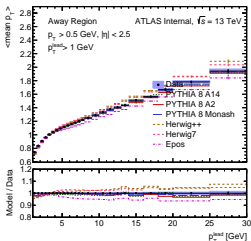
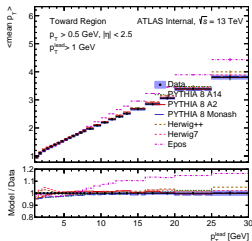


- Dominantní dopředný region díky výskytu čelní částice.
- Pozvolný nárůst v kolmém regionu, min region více flat (MPI) → vzrůst v max (ISR/FSR, MPI)
- Zlepšení predikcí s rostoucím p_T^{lead} pro UE tuny.

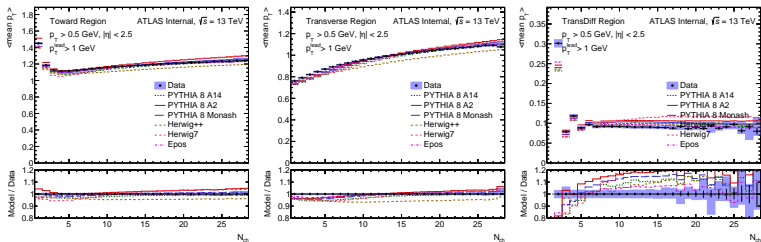
Σp_T wrt p_T^{lead}



$\langle p_T \rangle$ wrt p_T^{lead}

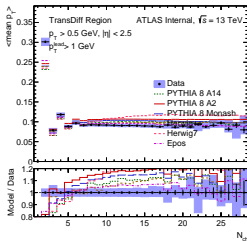
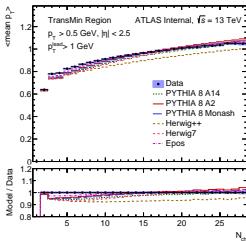
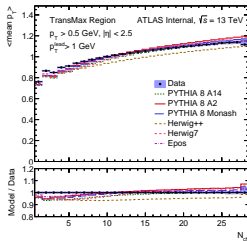
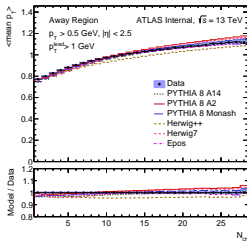
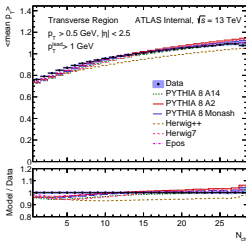
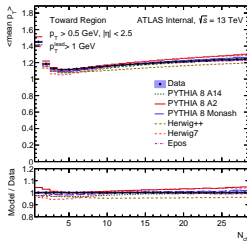


$\langle p_T \rangle$ wrt n_{ch}



- Strmý pokles v dopředném regionu díky výskytu čelní částice, následný pozvolný růst ve zbytku rozsahu $\langle p_T \rangle$.
- Tento růst platí pro všechny regiony kromě diff

$\langle p_T \rangle$ wrt n_{ch}



Data

- GRL
- Trigger HLT_noalg_MBTS_1 (na jedné ze dvou stran MBTS).

Event selekce

- Primární vrcholek (bez přidavných vcholeků s $n_{\text{trk}} \geq 4$).
- Čelní částice s $p_{\text{T}}^{\text{lead}} > 1 \text{ GeV}$ ($\approx 60 \%$).

Track selekce

- $p_{\text{T}} > 500 \text{ MeV}$, $|\eta| < 2.5$.
- ≥ 1 pixel hit.
- Hit v IBL pokud se očekává.
- ≥ 6 SCT hitů, v případě mrtvého modulu se automaticky berou hity.
- Cut na srážkové parametry: $|d_0| < 1.5 \text{ mm}$, $|z_0| \cdot \sin \theta < 1.5 \text{ mm}$.
- Pravděpodobnost $\chi^2 > 0.01$ pro tracky s $p_{\text{T}} > 10 \text{ GeV}$.

Cutflow

Run	All	GRL	Trigger	Vtx	L [μb^{-1}]	μ
267358	8665704	7272839	4545977	3775181	62.0	0.3%
267359	12292491	10504126	6309244	5387438	89.1	0.7%
267360	12558421	8309283	5178427	4487985	74.1	3%
267367	17111228	16469031	8438677	7237217	120.8	3%
267385	71217242	71095463	48021030	41001542	690.4	3%
267599	105611891	105610048	41221102	34963098	582.3	1%-3%
Total	227456977	219260790	113714457	96852461	1618.4	-

Cutflow

	Simulation		Data	
	Events	% passing	Events	% passing
před cuty	10000000		10855221	
primární vrcholek a pile up	9946359	99.46%	9137943	84.18%
1 trk $p_T > 500$ MeV	9543913	95.44%	8863268	81.64%
1 trk $p_T > 1$ GeV	7024167	70.24%	6605861	60.85 %
1 trk $p_T > 3$ GeV	1632390	16.32%	1272417	11.72%
1 trk $p_T > 5$ GeV	350672	3.51%	243966	2.24%
1 trk $p_T > 10$ GeV	28311	0.28%	17913	0.16%

Cutflow

	Simulation Tracks	% passing	Data Tracks	% passing
All Tracks	383347948		348184417	
$p_T > 500$ MeV	176287238	45.98%	156564908	44.96%
$ \eta < 2.5$	172502488	44.99%	153371861	44.04%
Innermost hit requirement	160072434	41.75%	142237089	40.85%
Pixel Hit > 1	138319599	36.08%	121358755	34.85%
SCT Hits > 6	127912396	33.36%	112042699	32.17%
$ d_0 < 1.5$ mm	123473650	32.20%	107548913	30.88%
$z \sin \theta < 1.5$ mm	122392824	31.92%	106342692	30.54%
χ^2 probability	122391969	31.92%	106342115	30.54%

Korekce

- Dvě fáze
 - 1 Váhované \rightarrow vertex, trigger (zanedbatelné) a track efektivity rekonstrukce
 - 2 HBOM \rightarrow korekce na změnu topologie díky ztrátě čelní částice

Váhování

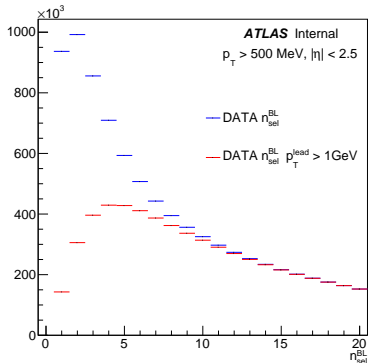
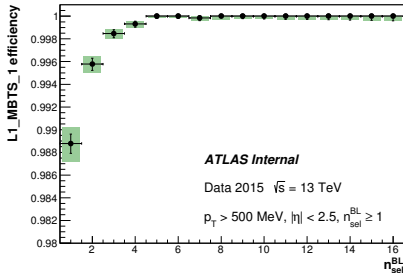
- ϵ_{trk} efektivity track rekonstrukce.
- f_{okr} frakce tracků mimo kinematický region.
- f_{npr} frakce sekundárních částic.
- f_{sb} frakce podivných baryonů.

$$w_{\text{ev}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{trig}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}})} \frac{1}{\epsilon_{\text{vtx}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}}, \eta)} \quad (3)$$

$$w_{\text{trk}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{trk}}(\mathbf{p}_T, \eta)} \cdot (1 - f_{\text{okr}}(\mathbf{p}_T, \eta) - f_{\text{npr}}(\mathbf{p}_T, \eta) - f_{\text{sb}}(\mathbf{p}_T)) \quad (4)$$

- $\Sigma \mathbf{p}_T \rightarrow \Sigma_l \mathbf{p}_{T_l} w_l, \quad w_l = w_{\text{ev}} w_{\text{trk}_l}$
- $N_{\text{ch}} \rightarrow \Sigma_l w_l$
- $\langle \mathbf{p}_T \rangle \rightarrow \Sigma_l \mathbf{p}_{T_l} w_l / \Sigma_l w_l$

Event



- **Event korekce:** efektivita rekonstrukce vertexu $\epsilon_{\text{vtx}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}}, \eta)$ a triggeru $\epsilon_{\text{trig}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}})$

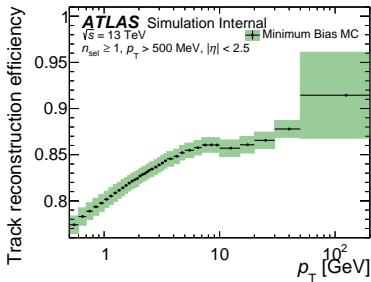
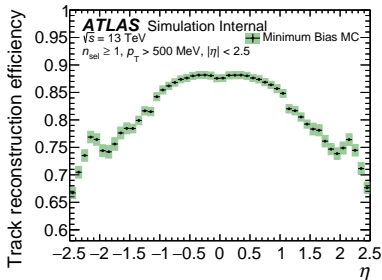
$$w_{\text{ev}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{trig}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}})} \frac{1}{\epsilon_{\text{vtx}}(n_{\text{sel}}^{\text{BL}}, \eta)} \quad (5)$$

- Pouze 2% eventů s $w_{\text{ev}} \neq 1$ for $p_{\text{T}}^{\text{lead}} > 1 \text{ GeV}$.

Track

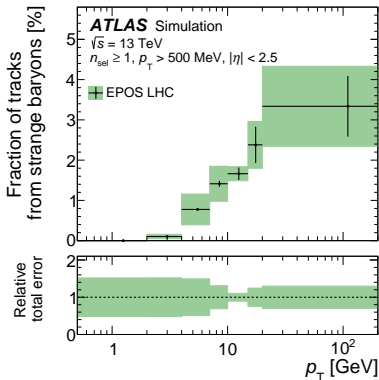
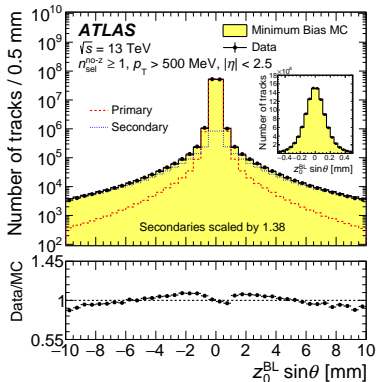
- **Track korekce:** efektivita rekonstrukce tracku ϵ_{trk}

$$\epsilon_{\text{trk}} = \frac{n_{\text{rec}}^{\text{matched}}(p_{\text{T}}, \eta)}{n_{\text{gen}}(p_{\text{T}}, \eta)} \quad (6)$$



Track

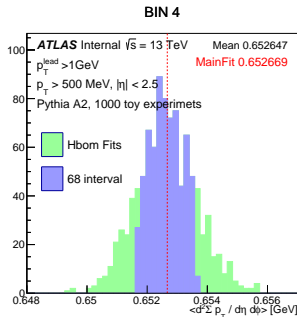
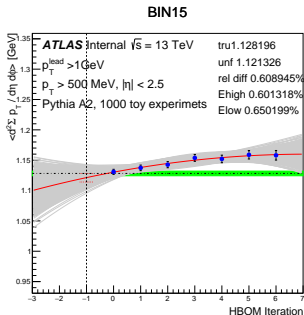
- 1 f_{okr} frakce tracků mimo kinematický region (zanedbatelné)
- 2 f_{np} frakce sekundárních částic (2 % p_T na 500 MeV)
- 3 f_{sb} frakce podivných baryonů

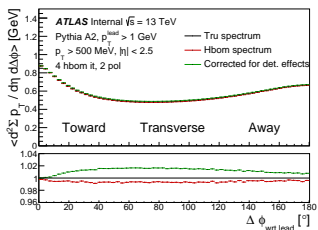
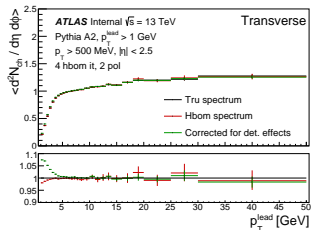
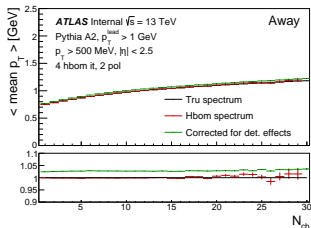
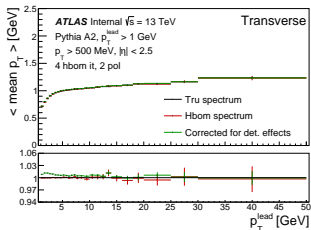


$$w_{\text{trk}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{trk}}(p_T, \eta)} \cdot (1 - f_{\text{okr}}(p_T, \eta) - f_{\text{np}}(p_T, \eta) - f_{\text{sb}}(p_T)) \quad (7)$$

HBOM

- Hit backspace once more (HBOM) \rightarrow náhodné zahazování tracků podle jejich efektivity rekonstrukce (parametrizována η , p_T).
- Parametrizace k-té iterace polynomem n-tého stupně (defaultně 6 iterací a pol 2 stupně).
- Extrapolace do -1.
- Převáhování $1/\epsilon_{trk}$ v každé iteraci.
- Nekorelované iterace.
- Systematická chyba jako 68% interval z toy experimentů.





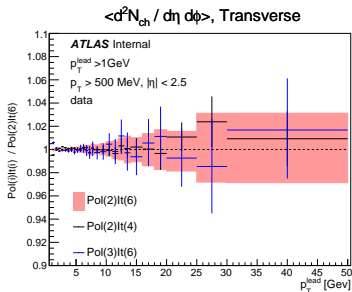
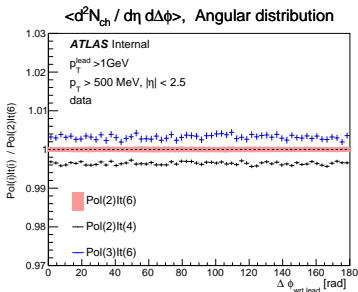
- Odchylka od truth okolo 2 % v prvých binech Σp_T a N_{ch} vs p_T^{lead} .
- 1 % odchylka u $\Delta\phi$.
- TrDiff okolo 20 % v prvých binech.
- Aplikace odchylky od truth (z Pythia 8 A2 ND) jako korekce na data.

Non closure

Observable	HBOM Correction Size	Non-closure
N_{ch} or Σp_{T} vs. $ \Delta\phi $	2%	<0.5%
N_{ch} or Σp_{T} vs. p_{Tlead} Aw/Tr/To	0-15%	<2%
N_{ch} or Σp_{T} vs. p_{Tlead} Max/Min/Diff	0-15%	<2%
$\langle p_{\text{T}} \rangle >$ vs n_{ch} or p_{Tlead} Aw/Tr/To	0-25%	<1%
$\langle p_{\text{T}} \rangle >$ vs n_{ch} or p_{Tlead} Max/Min	0-4%	<0.5%
$\langle p_{\text{T}} \rangle >$ vs n_{ch} or p_{Tlead} Diff	0-20%	<20%

Systematická nejistota uncertainties

- Dominantní systematická - modelování materiálu a příspěvek sekundárních částic.
- Odchyly od truth v MC.
- Data-driven korekce k tracking efektivitě (malý efekt).
- Počet HBOM iterací.



Statistic and systematic uncertainties

