



ALICE



Új típusú eseményklasszifikáción alapuló részecskehozamok mérése a CERN ALICE kísérletben

ARXIV:2407.20037, ARXIV:2407.07724

Bencédi Gyula (HUN-REN Wigner FK)

Magyar Magfizikus Találkozó 2024
ATOMKI, Debrecen, Szept. 3-5

Az ALICE detektor (Run 2-ben)

Inner Tracking System

- trigger, vertex, nyomkövetés

Time Projection Chamber

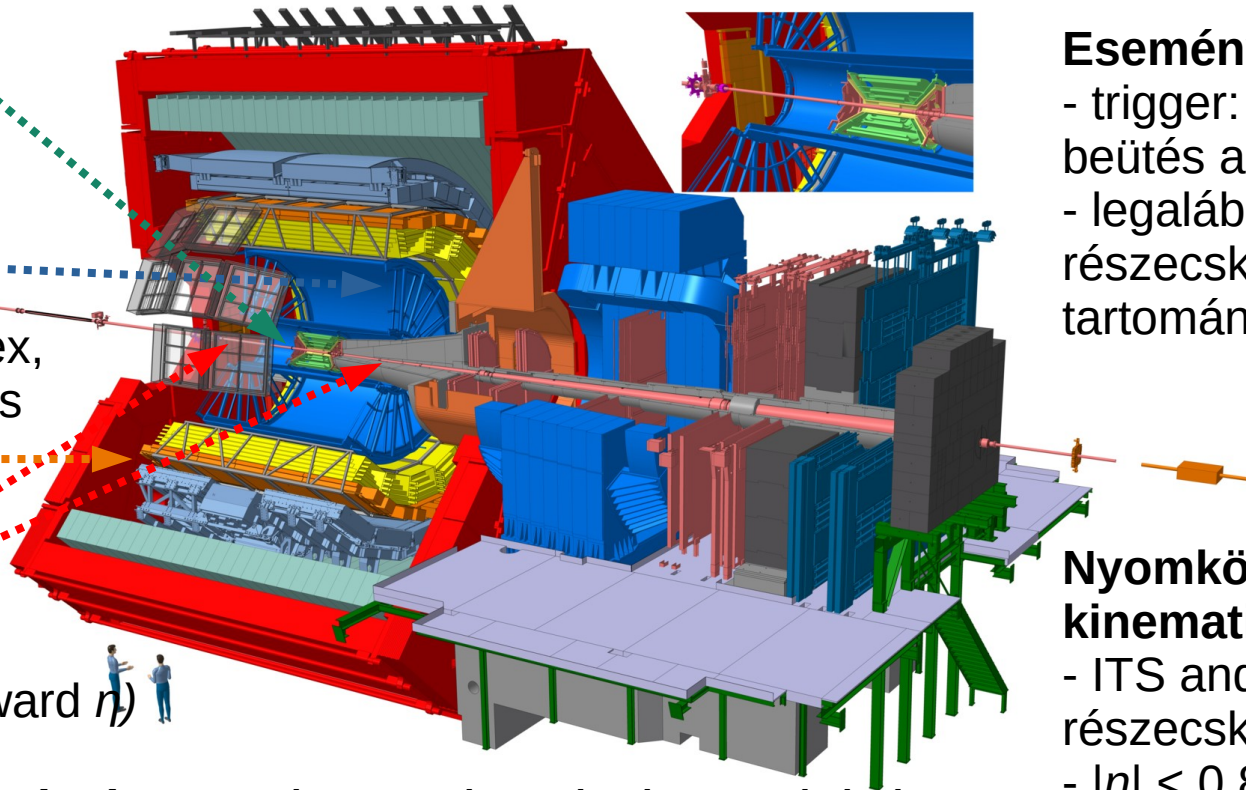
- nyomkövetés, vertex, részecskeazonosítás

Time of Flight

- részecske-azonosítás

V0 detektorok (forward η)

- trigger
- **eseményklasszifikáció** töltött részecskék számának mérésén keresztül → jel amplitúdók a V0A és V0C detektorokban: **VOM**



Eseményszelekció:

- trigger: legalább egy beütés a V0 detektorokban
- legalább egy detektált részecske a $|\eta| < 1$ tartományban

Nyomkövetés, kinematikai tartomány:

- ITS and TPC részecskepályák
- $|\eta| < 0.8$ ($|y| < 0.5$), $0.15 < p_T < 20$ GeV/c

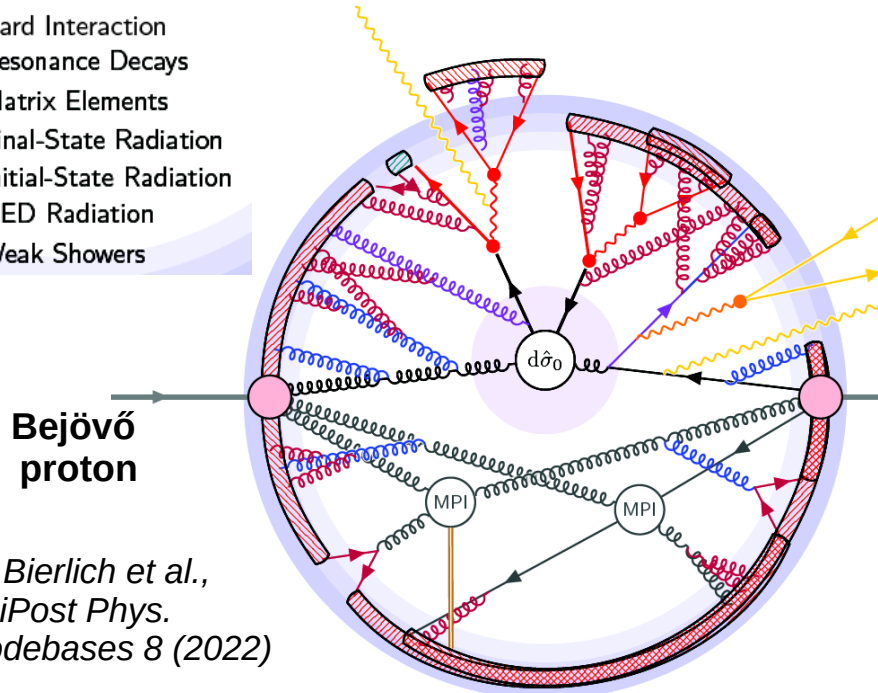
Bevezető – I.

Nagyenergiás proton-proton ütközés:

kemény parton-parton kölcsönhatás és háttéreseemény (UE) PYTHIA 8-ben modellezve

- Hard Interaction
- Resonance Decays
- Matrix Elements
- Final-State Radiation
- Initial-State Radiation
- QED Radiation
- Weak Showers

- Multiparton Interactions *PYTHIA 8 - Comp.Phys.Com. 191 (2015) 159-177*
- Beam Remnants*
- Strings
- Ministring / Clusters
- Colour Reconnections
- String Interactions



C. Bierlich et al.,
SciPost Phys.
Codebases 8 (2022)

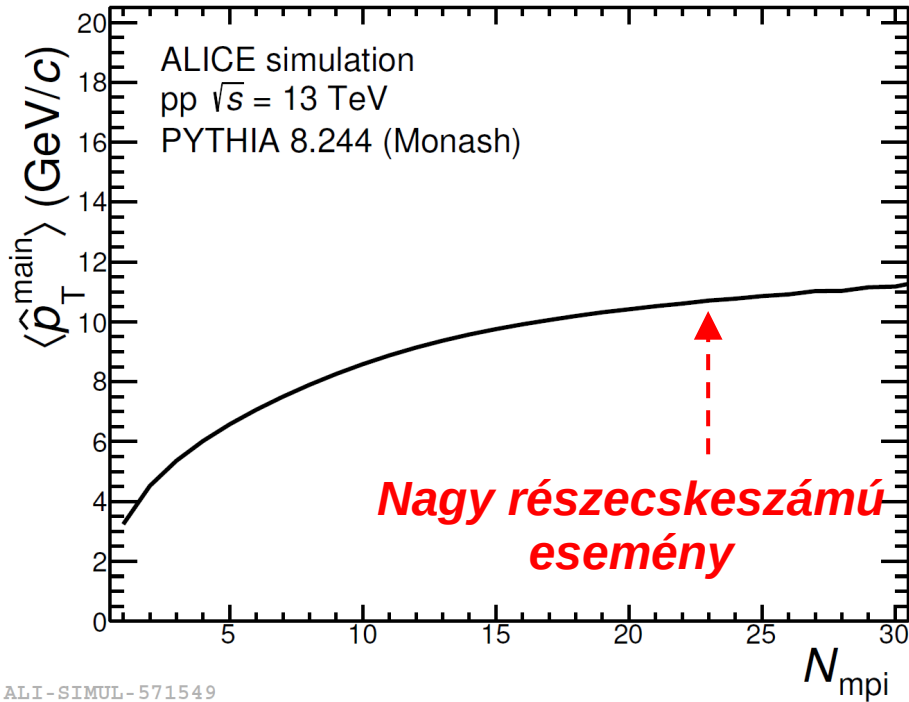
Egy proton-proton ütközés modellezése
a PYTHIA 8 eseménygenerátorral
(hadronizáció nélkül).

(1) UE sokparton kölcsönhatást (MPI)
tartalmaz → mérések az LHC-nál

(2) Végállapotú hadronok tulajdonságai
érzékenyek az MPI és más nem
perturbatív végállapotú effektusokra:
szín újrendeződés (Color Reconnection, CR)

Bevezető – II.

(3) **Nagy részecskeszámú ütközések:**
nagy számú sokparton kölcsönhatás
(N_{MPI})

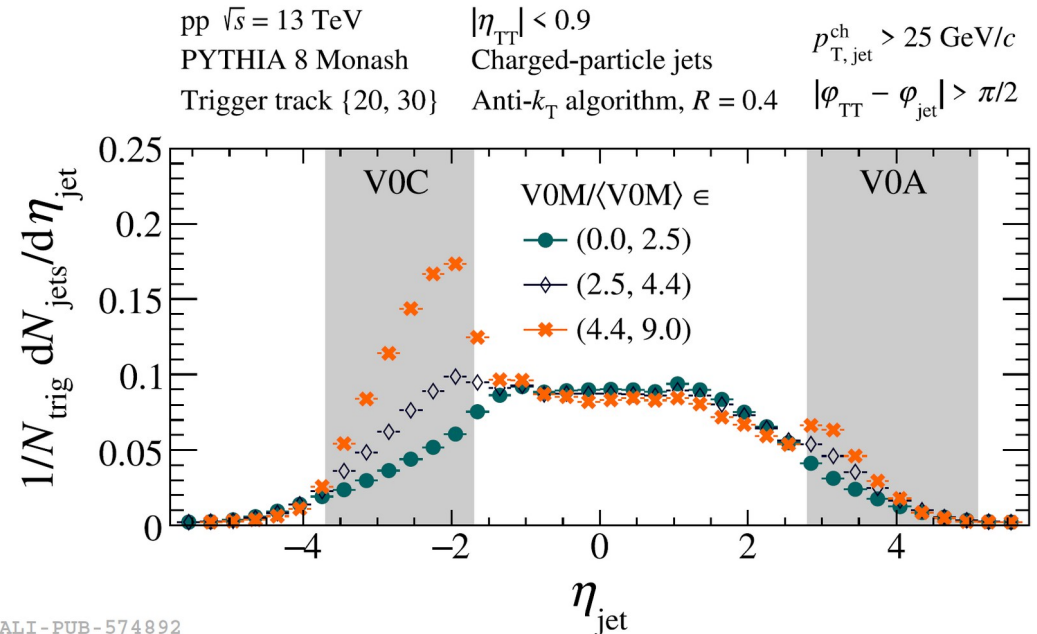


ALI-SIMUL-571549

(4) **Nagy részecskeszámú esemény**

→ jet-ek hozamának megnövekedése a forward η régióban

→ **“jet elnyomás”** a lokális részecskeszám fluktuációk miatt

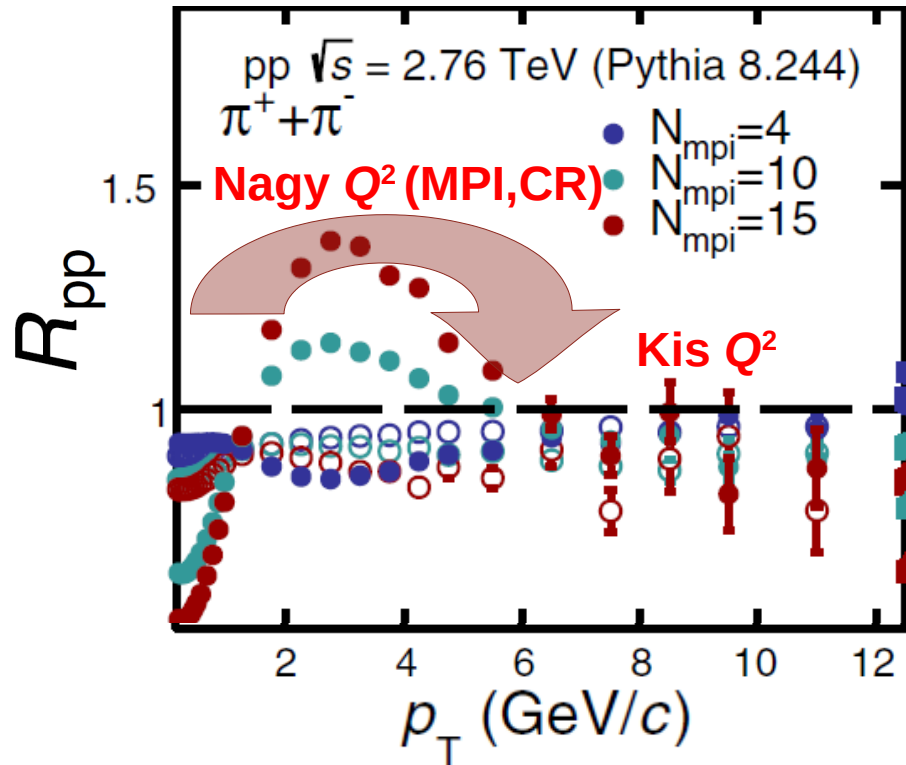


ALI-PUB-574892

Motiváció

Cél: részecskehozamok tanulmányozása olyan eseményekben, melyek érzékenyek az MPI, CR és lokális részecskeszám fluktuációkra

A. Ortiz et al., PRD 102 (2020) 7, 076014

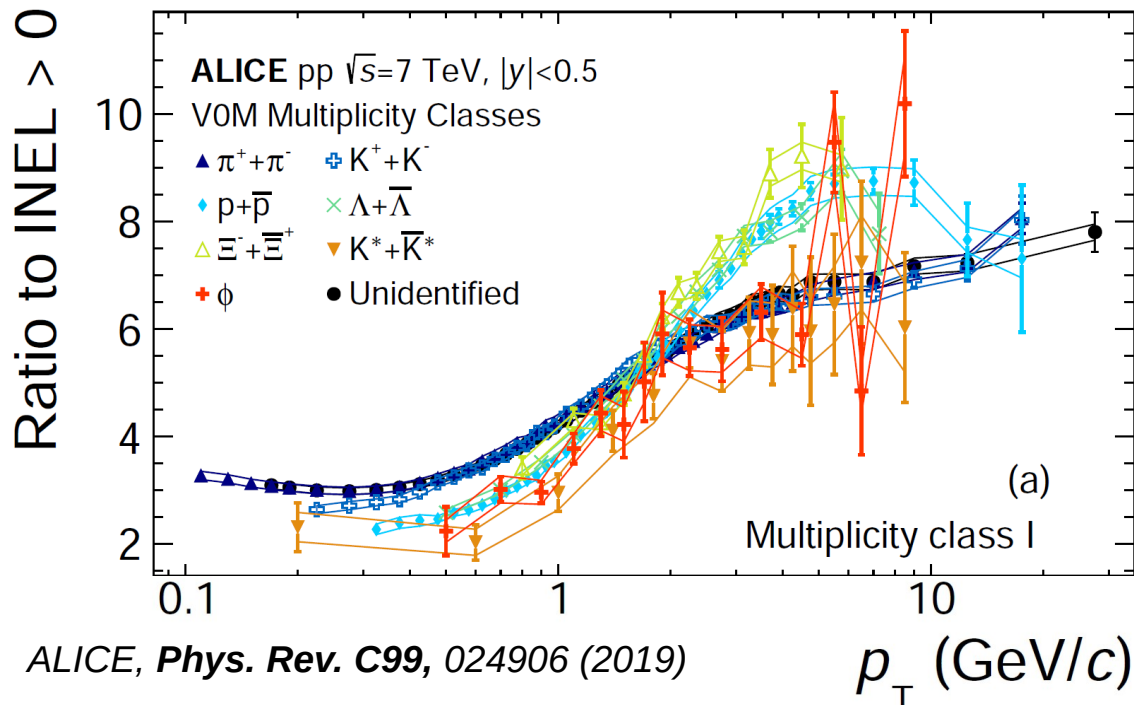
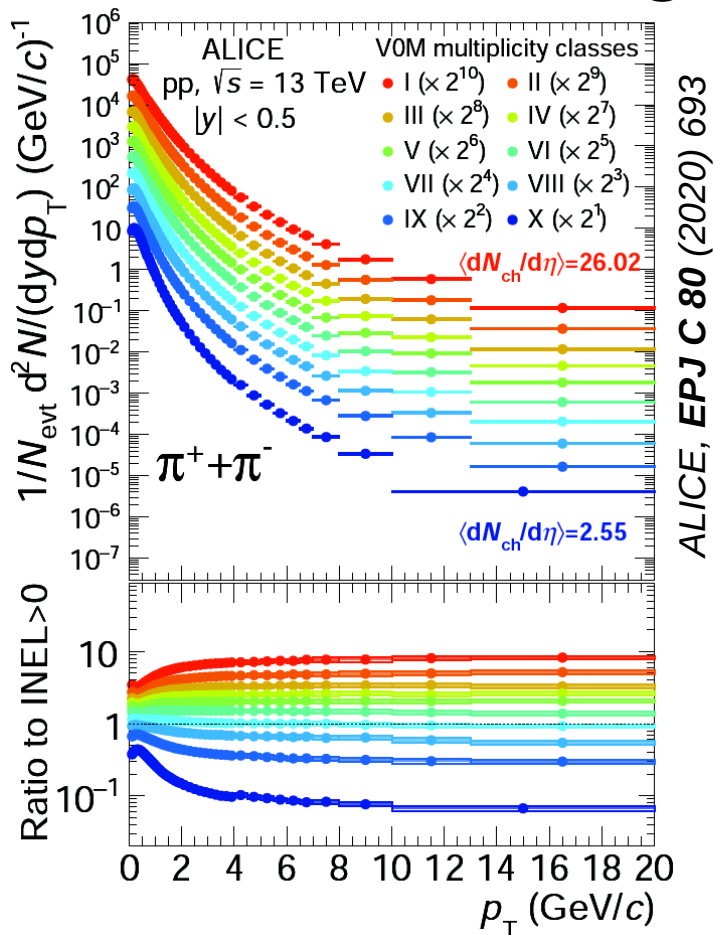


$$R_{pp} = \frac{d^2 N_{\text{ch}}^{\text{MPI selection}} / \langle N_{\text{MPI selection}} \rangle d\eta dp_T}{d^2 N_{\text{ch}}^{\text{min. bias}} / \langle N_{\text{min. bias}} \rangle d\eta dp_T}$$

Arány: “nagy MPI” pp ütközések hozama az “átlagos” (minimum bias, MB) ütközések hozamához képest

- $1 < p_T < 6$ GeV/c régióban az $R_{pp} \sim 1.4$ (CR effektus esetében)
- Nagy p_T régióban: R_{pp} független a folyamatok MPI szerinti válogatásától

Eddig mért ALICE eredmények

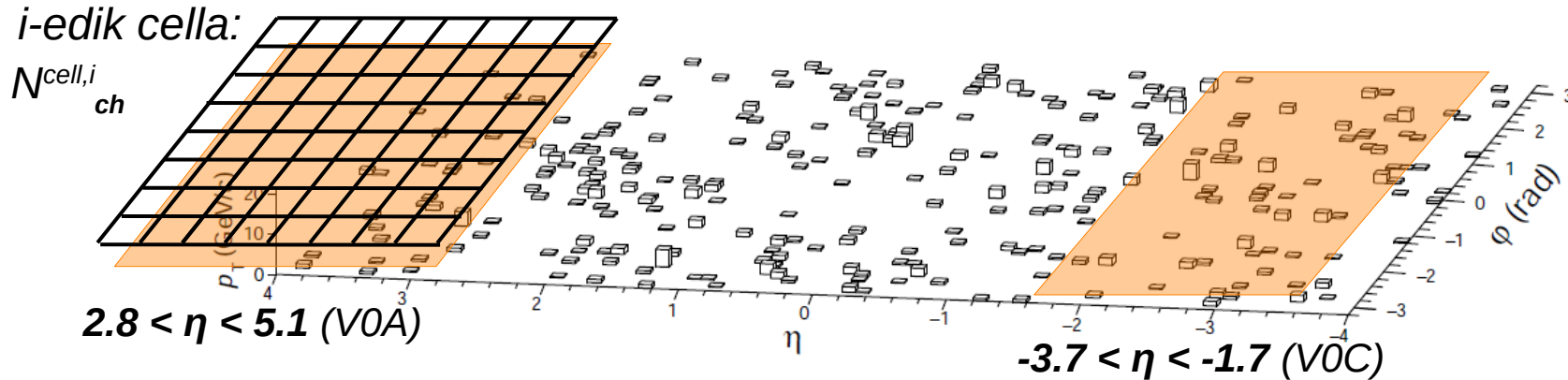


- Eddig: torzítás az alkalmazott eseményválogatás miatt nagy p_T értékeknél
- Új típusú eseményválogatás szükséges, mely mérsékli a torzítást

Új típusú eseményklasszifikáció

- **Részecskeszám mérése $\eta - \varphi$ információ felhasználásával**
 $2.8 < \eta < 5.1$ (VOA), $-3.7 < \eta < -1.7$ (VOC) és φ azimutális irányban (8x8 cella)

PYTHIA 8.303 (Monash 2013), pp $\sqrt{s} = 13$ TeV, $N_{\text{mpi}}=24$, $N_{\text{ch}}=325$, $\rho=0.58$

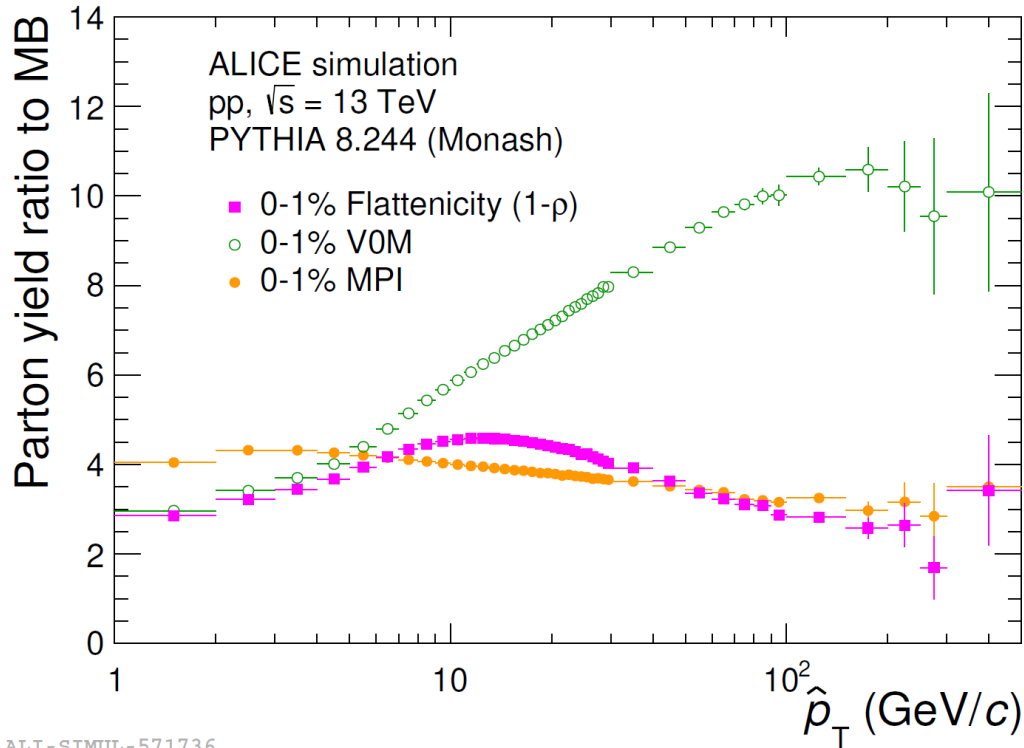


A. Ortiz et. al,
Rev.Mex.Fis.Suppl. 3 (2022) 4, 040911

- $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$: **töltött részecskék száma az i -edik cellában**
- $\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle$: **esemény szerinti átlagos részecskeszám $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$**
- **Ütközési eseményenként megmérjük a köv. arányt:**
- ezt a klasszifikációt **“Flattenicity”-nek** nevezzük

$$\rho = \frac{\sqrt{\sum_i (N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

Szimulált részecskehozamok nagy p_T -n: V0M és flattenicity szelekció esete



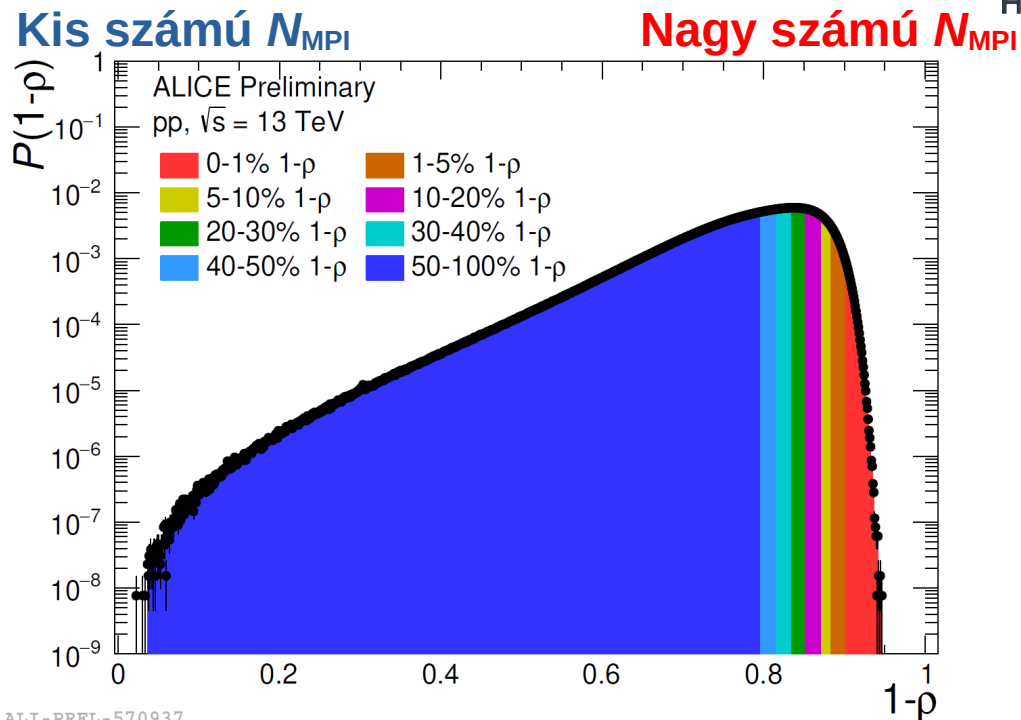
- Arány:** partonok hozama a “legaktívabb” (0-1% hatáskeresztmetszetű) eseményben az “átlagos” (MB) eseménybeli hozamhoz képest

$$\text{ratio}(\hat{p}_T) = \frac{\frac{1}{N_{\text{ev}}} \frac{dN_{\text{parton}}}{d\hat{p}_T} \Big|_{1\% \text{ xsec}}}{\frac{1}{N_{\text{ev}}} \frac{dN_{\text{parton}}}{d\hat{p}_T} \Big|_{\text{MB}}}$$

- V0M szelekció** (korábbi mérésekben): nagy p_T értékeknél torzítás (jet bias)
- Flattenicity szelekció:** nagy p_T értékeknél hasonló viselkedést mutat **a sokparton kölcsönhatáson** alapuló szelekcióval

- Adathalmaz:
2016–18 LHC pp ütközések 13 TeV tkp. energián, 1.6×10^9 esemény (integrált luminozitás: 21 nb^{-1})
- A továbbiakban a $1 - \rho$ definíciót alkalmazzuk: más, eseményt mérő mennyiségekkel direkt összehasonlítható
- Szisztematikus bizonytalanságok $\sim 10\%$

$$\rho = \frac{\sqrt{\sum_i (N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$



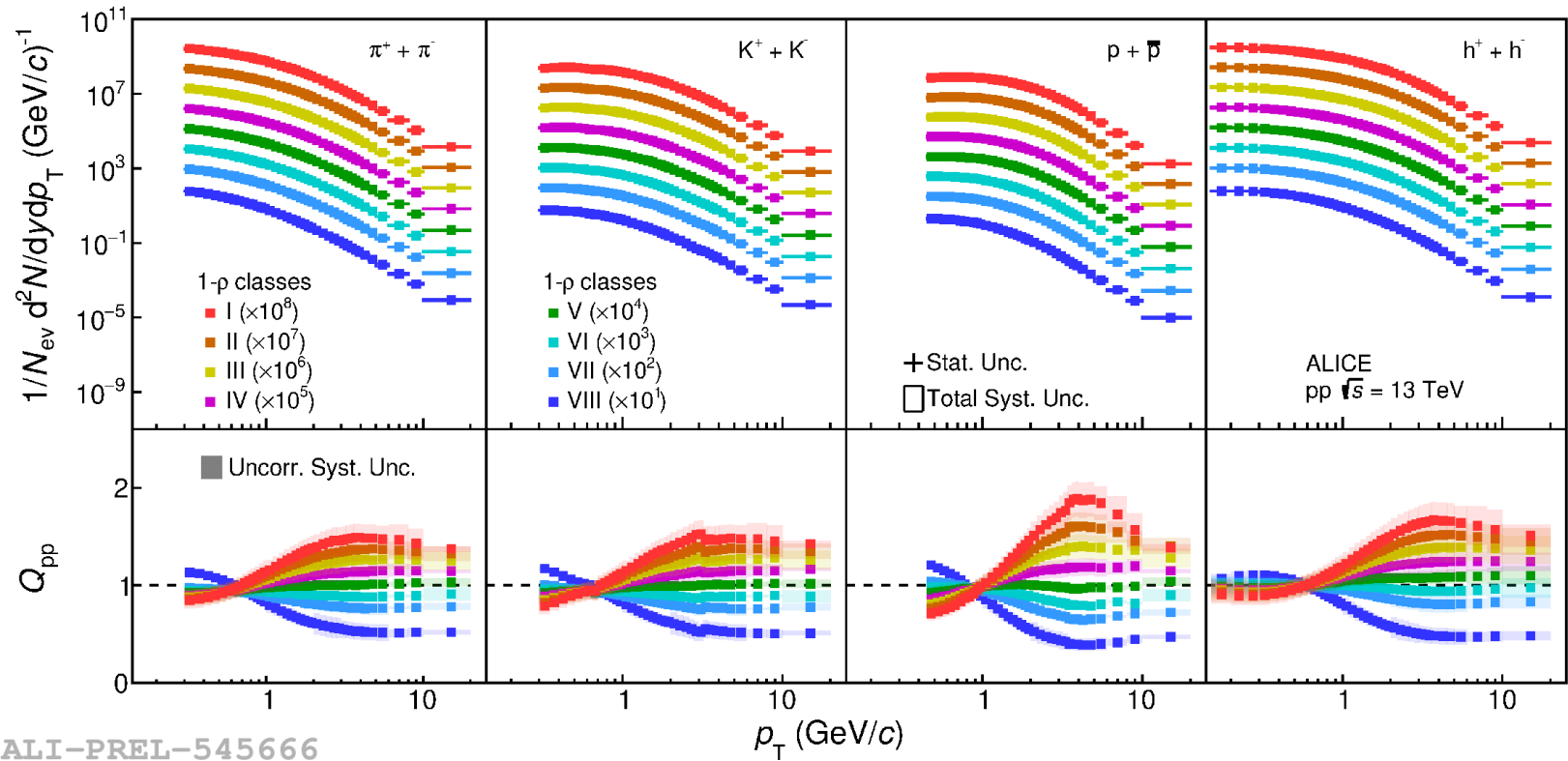
ALI-PREL-570937
 $1 - \rho \rightarrow 0$

- **nagy lokális** $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$ **fluktuációk** (V0 régió)
- Jeteket (is) tartalmazó események

$1 - \rho \rightarrow 1$

- **kis lokális** $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$ **fluktuációk** (V0 régió)
- Izotróp részecskeeloszlás

Eredmények: p_T spektrumok és Q_{pp} arányok



ALICE

$\langle dN_{ch}/d\eta \rangle_{|\eta| < 0.8}$
 $\approx 3.2 \times \langle N_{ch} \rangle^{MB}$

↑

Események "alakja":
 izotróp
 Jet-szerű

$\langle dN_{ch}/d\eta \rangle_{|\eta| < 0.8}$
 $\approx 0.5 \times \langle N_{ch} \rangle^{MB}$

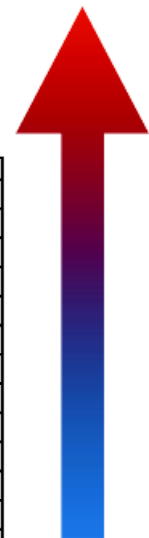
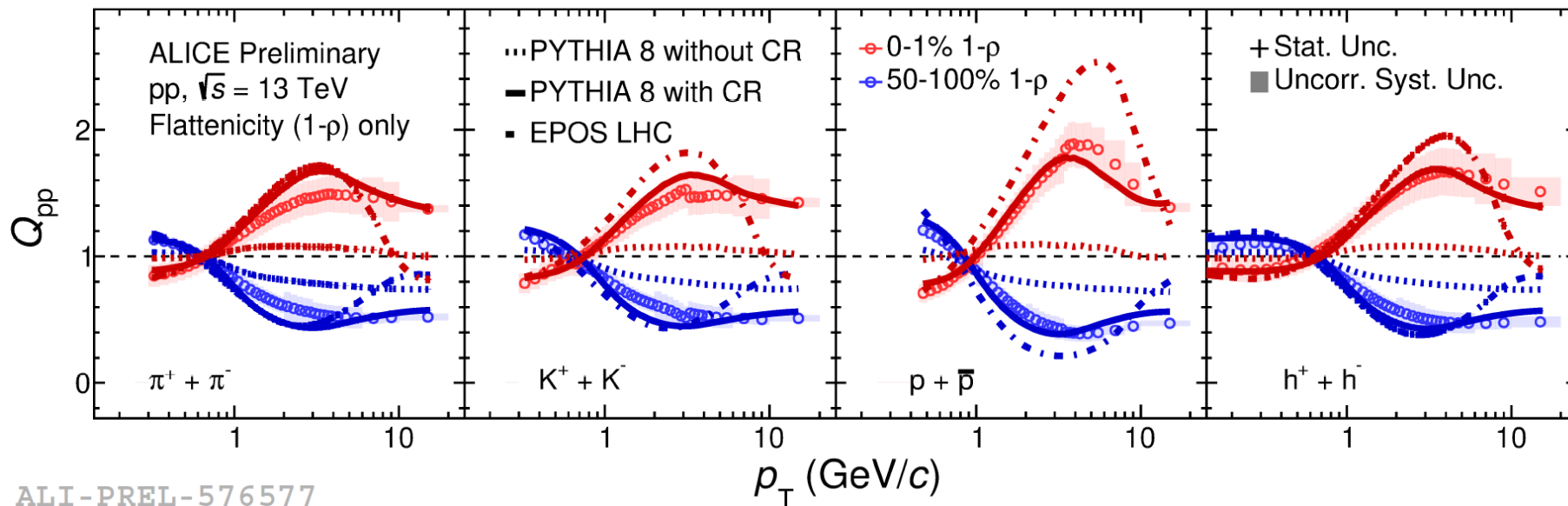
ALI-PREL-545666

Hozam arányok: $Q_{pp} = (d^2 N / \langle dN_{ch}/d\eta \rangle / d\eta dp_T)^{1-\rho_{class}} / (d^2 N / \langle dN_{ch}/d\eta \rangle / d\eta dp_T)^{Minimum\ bias}$

- 1) $p_T < 10$ GeV/c: részecskeszám növekedésével markáns csúcs (0–1% 1-p, I. eseményosztály)
- 2) $p_T > 10$ GeV/c: $Q_{pp} \sim 1$, a nagy p_T -s folyamatok gyengén érzékenyek a szelekcióra (korábban nem láttuk!)

A Q_{pp} arány összehasonlítása modellel

$$Q_{pp} = \frac{\left(\frac{d^2N/d\eta dp_T}{\langle dN_{ch}/d\eta \rangle}\right)^{1-\rho} \text{ class}}{\left(\frac{d^2N/d\eta dp_T}{\langle dN_{ch}/d\eta \rangle}\right)^{\text{Min. bias}}}$$



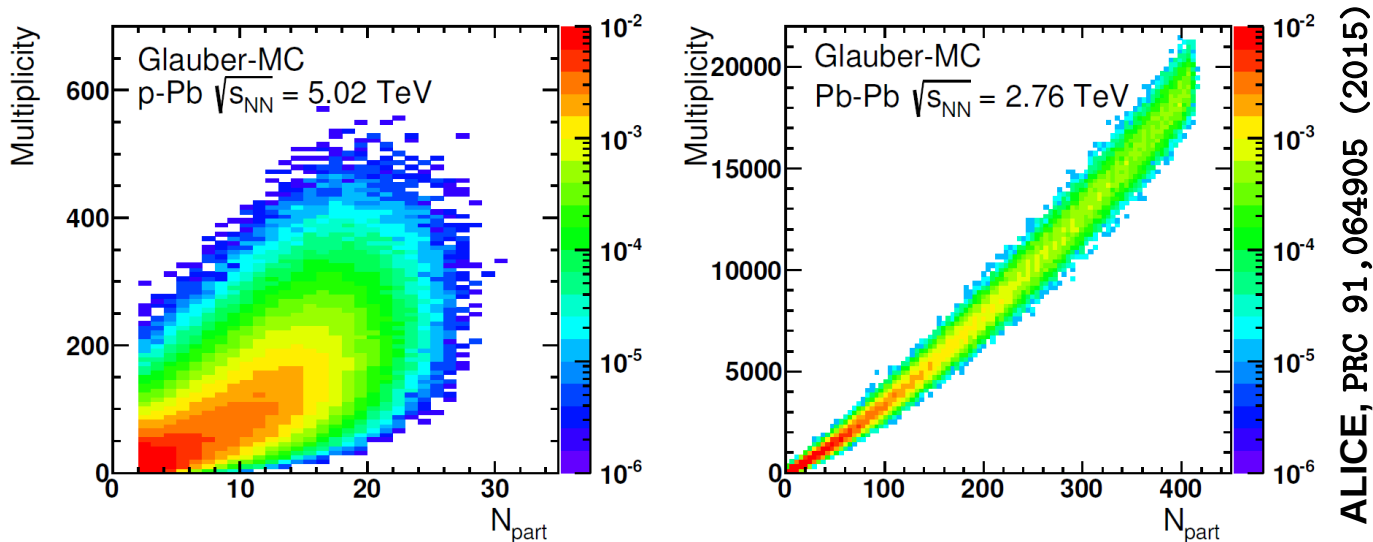
Események “alakja”:
izotróp
Jet-szerű

ALI-PREL-576577

- **PYTHIA 8** Monash 2013 (MPI és CR effektusokkal) jó leírja az adatokat
- **EPOS LHC** (parametrizált kollektív hidrodinamikával) részben írja csak le az adatokat

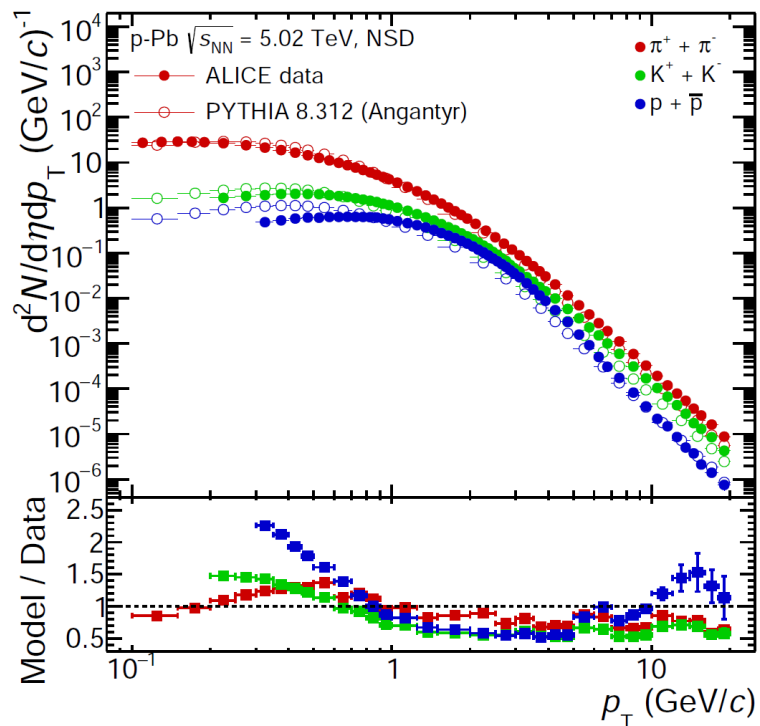
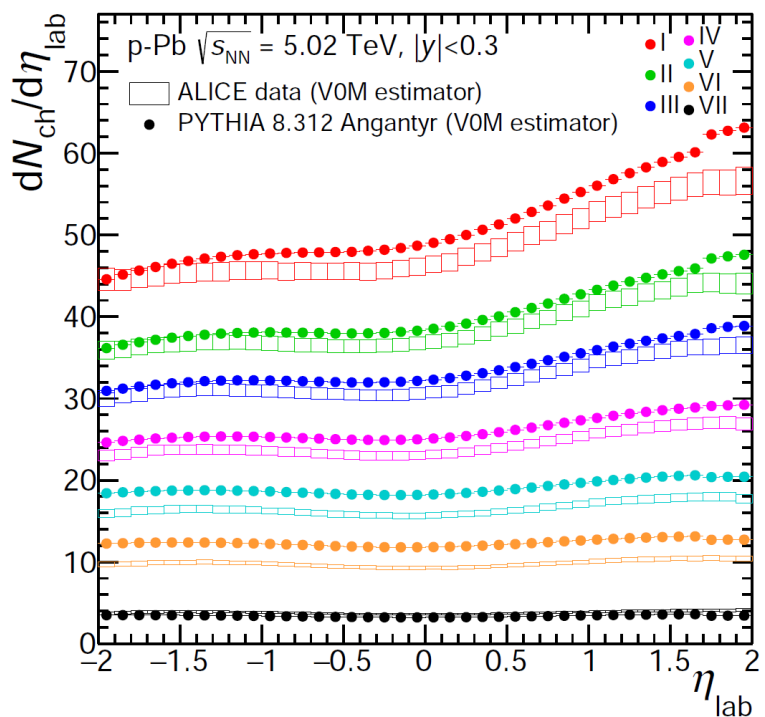
PYTHIA 8 - *Comput.Phys.Commun.* 191 (2015) 159-177; EPOS LHC - *Phys. Rev. C* 92, 034906

- **Proton-ólom ütközések:** N_{part} eloszlások szélességéhez képest **jelentős részecskeszám fluktuációk**
- **Fluktuációk** különböző típusú ütközésekből: nagy Q^2 “kemény” folyamatok vagy N-N ütközés sok MPI



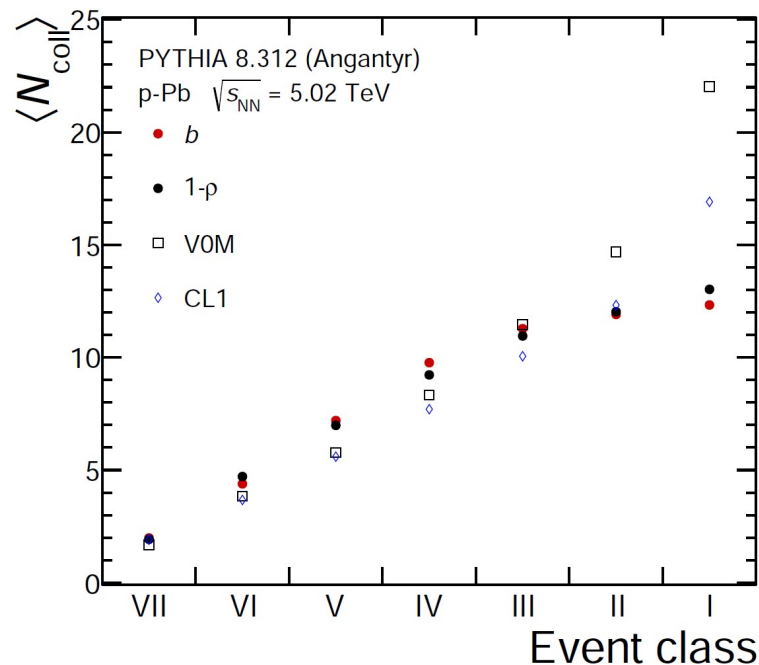
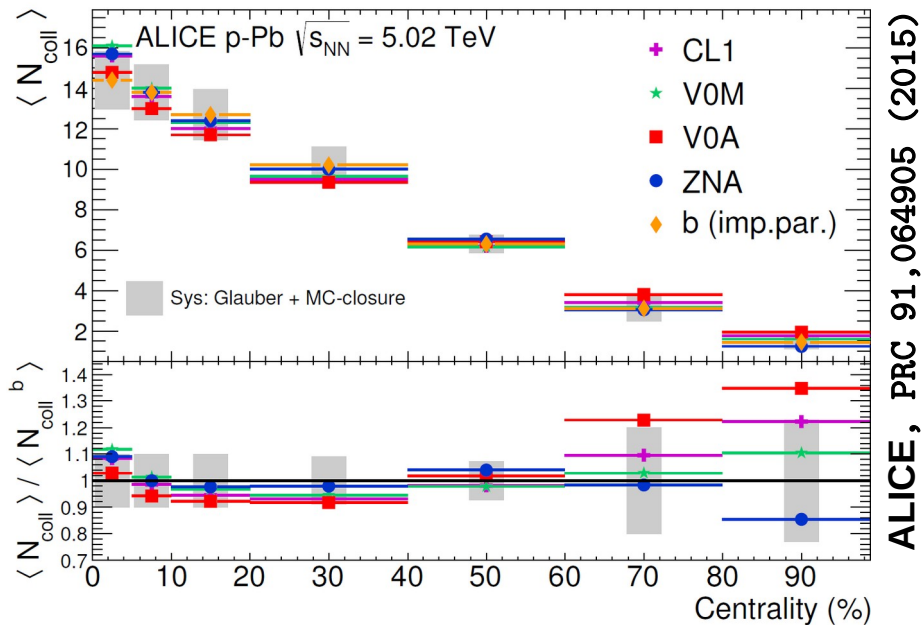
- Gyenge korreláció az ütközési geometria (N_{part}) és az esemény aktivitása (rész.szám) között
- A “kemény” p-N folyamatok torzítottak \rightarrow nem teljesül az N_{coll} skálázás $\rightarrow R_{\text{pA}} \neq 1$ ($p_{\text{T}} > 10$ GeV/c)
- **Megoldás:**
 - lassú nukleonok mérése (ZDC) “forward η ” régióban (ALICE, PRC 91, 064905 (2015))
 - **Új eseményszelekció (Flattenicity) alkalmazása?**

- **PYTHIA 8.312 Angantyr modell** a p-Pb ütközések leírására:
 (1) *Glauber modell* + Gribov korrekció, (2) *Szín úrarendezés (CR)* csak egy adott N-N ütközésre
- Flattenicity érzékenységének tesztelése az ütközés impakt-paraméterétől



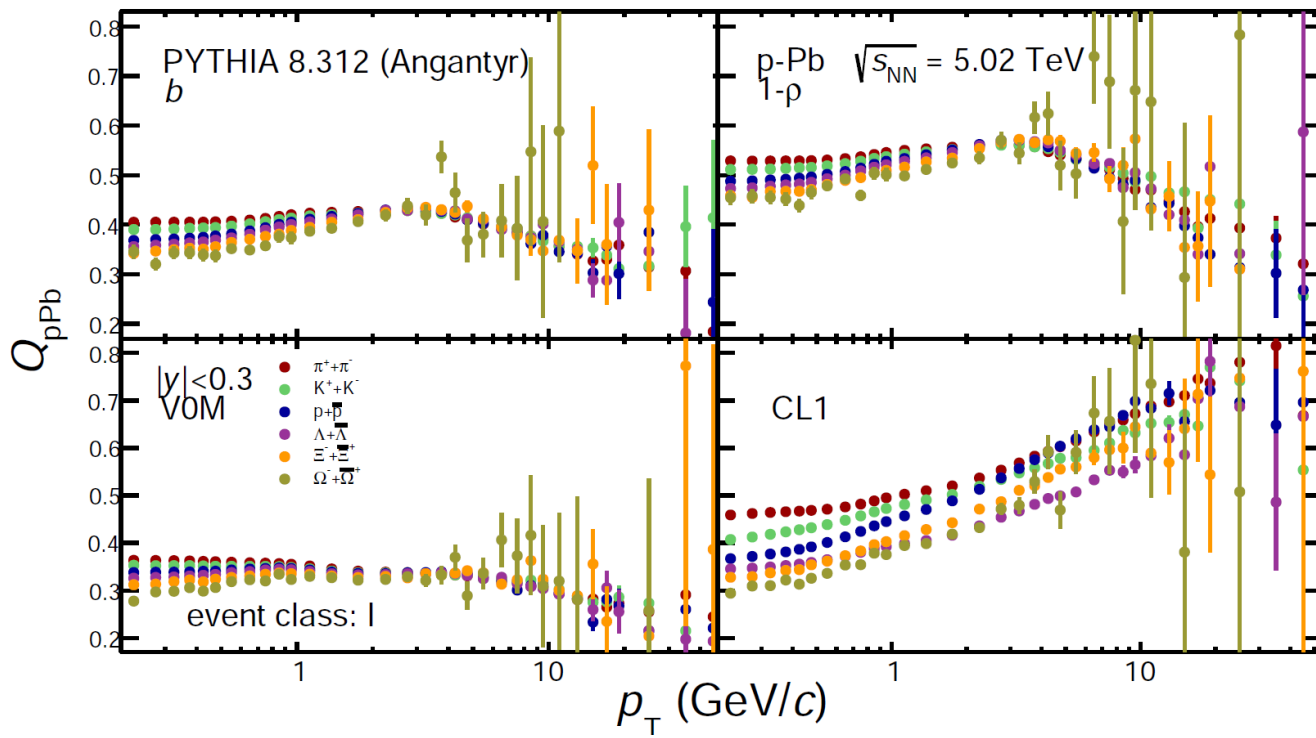
- **Korábbi eseményklasszifikációk** (VOM, CL1, ... stb.) érzékenyek a résztvevő nukleonok (N_{part}) számának fluktuációira

- **Flattenicity alkalmazása:** jobb klasszifikáció az p-Pb ütközés centralitására



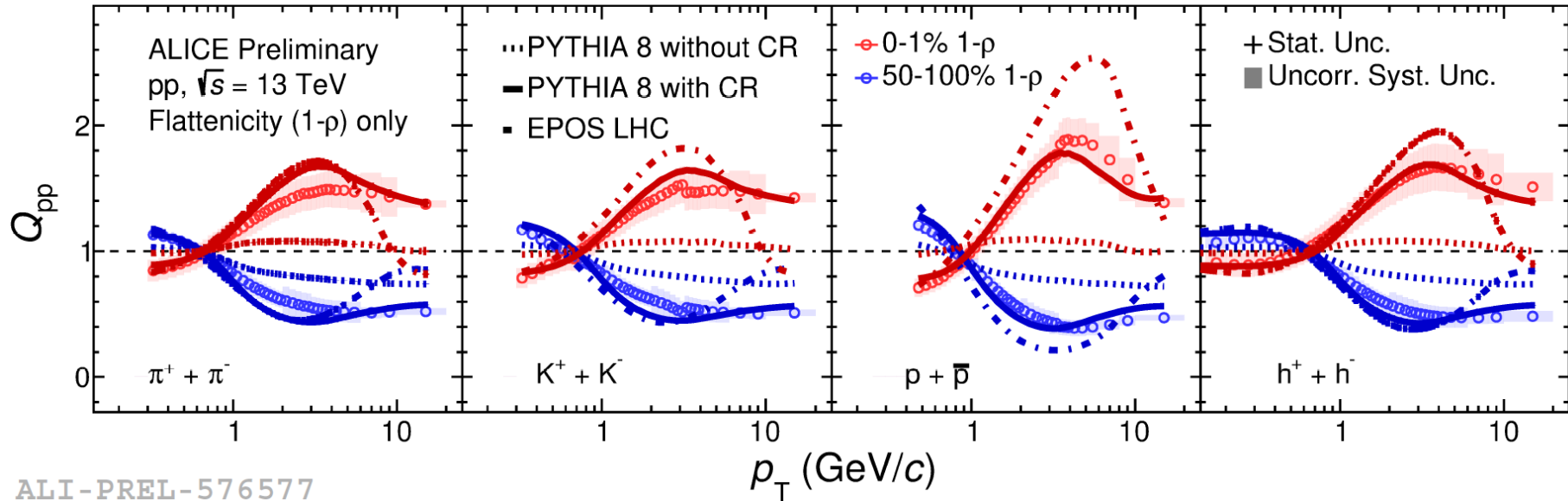
“Flattenicity” proton-ólom ütközésekben

- Flattenicity tesztelése a nukleáris módosulási faktoron: $Q_{pPb}(p_T) = \frac{dN^{pPb}/dp_T}{\langle N_{coll} \rangle dN^{PP}/dp_T}$
- Centrális eseményben:
 - (1) impakt-paraméter és Flattenicity szelekció: Q_{pPb} hasonló p_T terjedés
 - (2) középrapiditás szelekció (CL1): nem-fizikai effektus, kemény folyamatok torzítása miatt



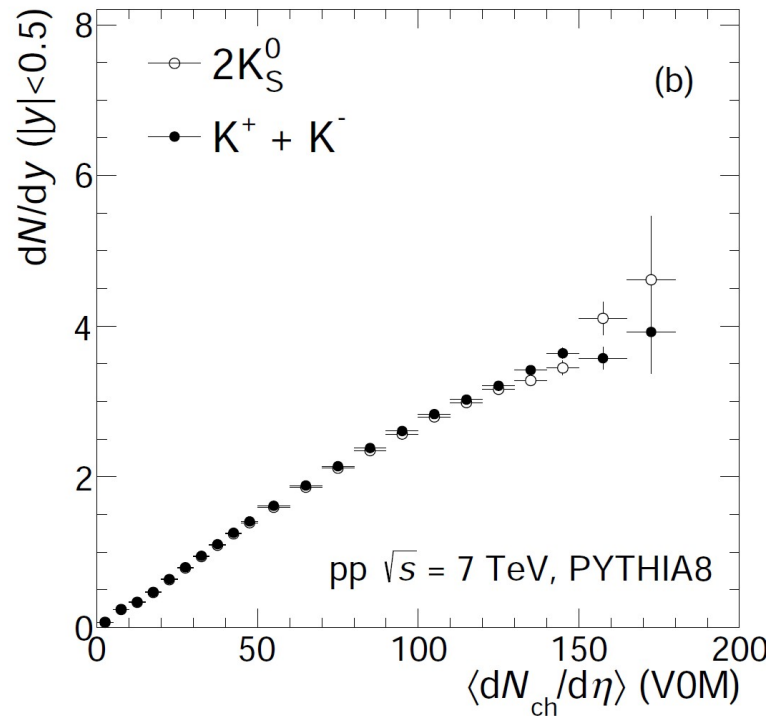
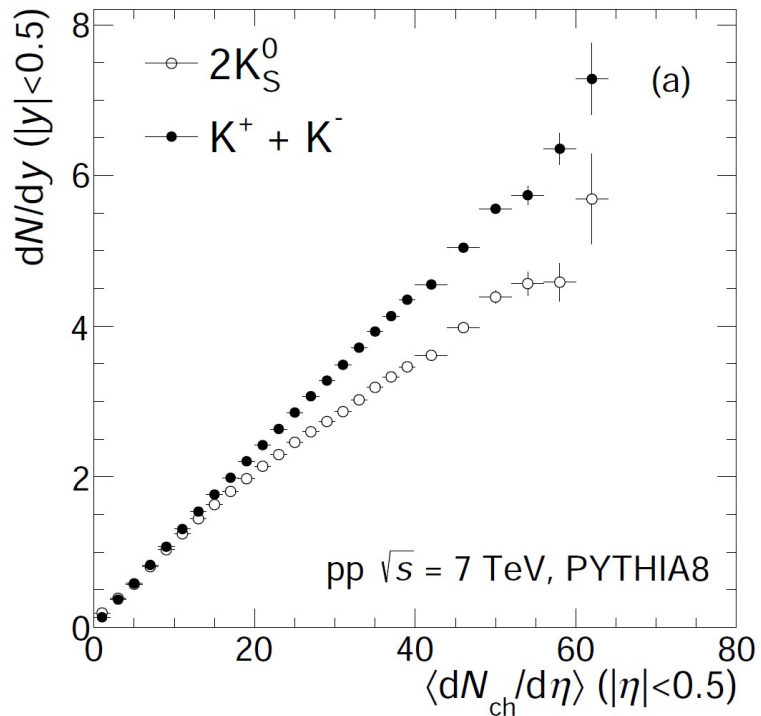
Összefoglalás

- Az ALICE elsőként mérte meg új típusú eseményklasszifikációval (“Flattenicity”) a töltött részecskehozamokat proton-proton ütközésekben 13 TeV tkp. energián



- Megmutattuk, hogy a sokparton kölcsönhatásokra érzékeny, új eseményszelekció jelentősen csökkenti a korábbi eseményválogatás miatti (kemény folyamatok miatti) torzítást
- A PYTHIA mikroszkópikus modell (színhurok és sokparton kölcsönhatás figyelembevételével) jó kvalitatív leírását adja a mérési adatoknak

Tartalék diák



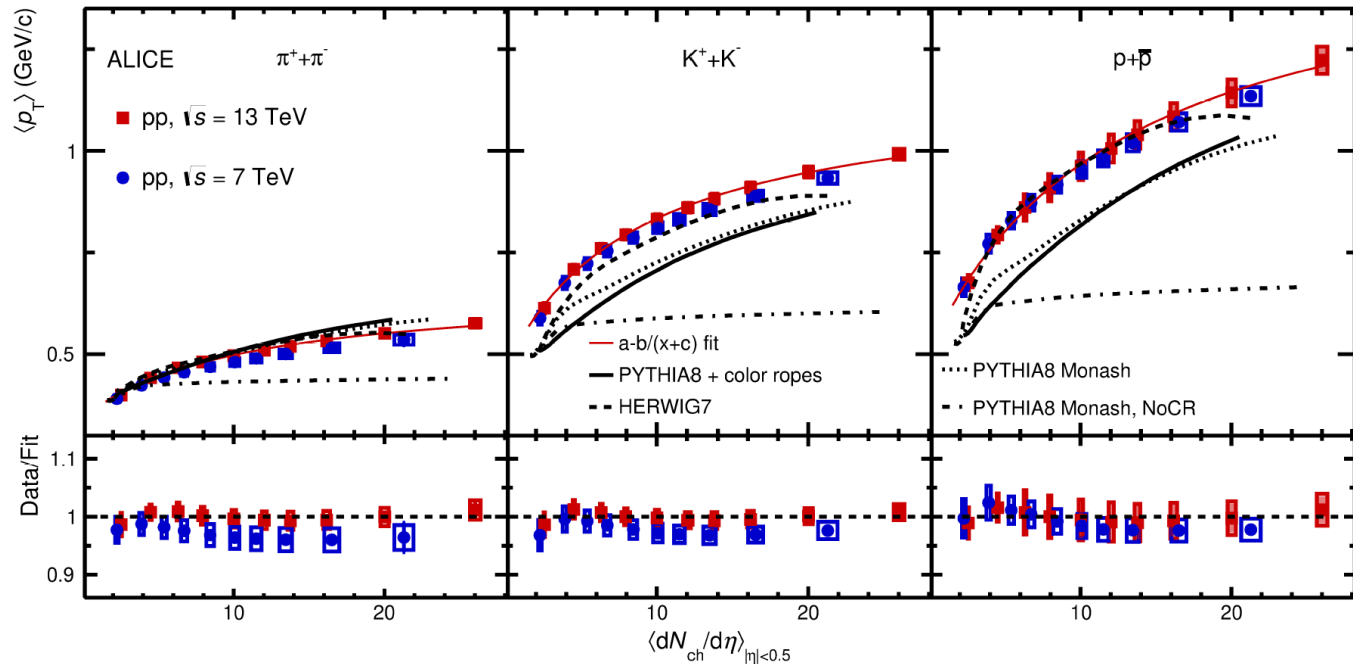
*Multiplicity dependence of charged and neutral kaon yields obtained using
 (a) mid-pseudorapidity charged particle multiplicities ($|\eta|<0.5$) and
 (b) the charged particle multiplicities within the pseudorapidity range corresponding to the VOA and V0C detectors (denoted by VOM, corresponding to $-3.7<\eta<-1.7$ and $2.8<\eta<5.1$) in PYTHIA8 simulations of inelastic pp collisions at 7 TeV*

Average transverse momenta of π , K , and p as a function of charged-particle multiplicity density

CR in pp collisions with large number of MPI is particularly pronounced:

→ correlation between the average transverse momentum and charged-particle multiplicity

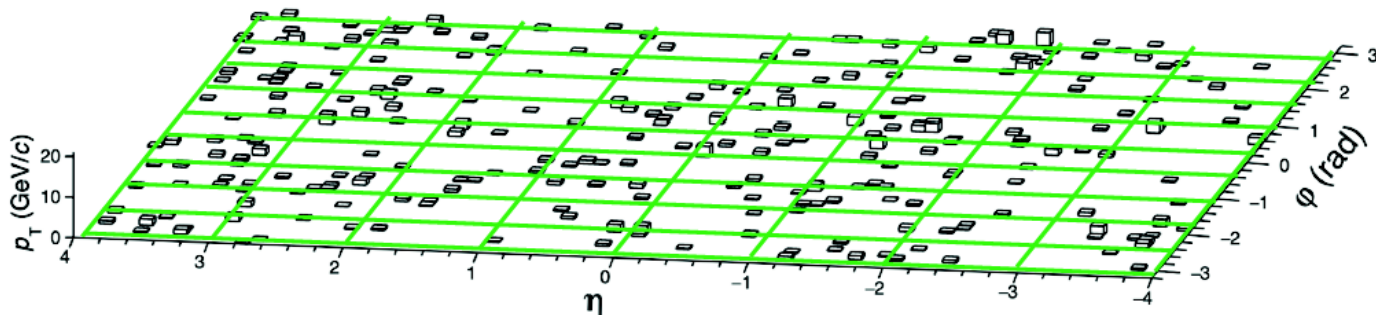
→ mass dependent and reminiscent of radial flow effects in heavy-ion collisions



MC studies on Flattenicity

Define a grid in the $\eta - \varphi$ plane: $N_{\text{cell}} = 10 \times 8$

Phys. Rev. D 107, 076012



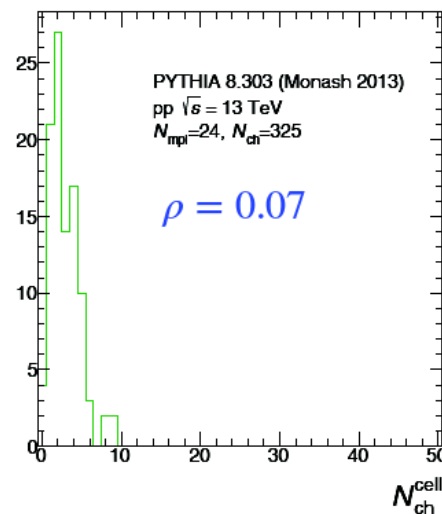
The $N_{\text{ch}}^{\text{cell}}$ distribution is obtained (EbE)

Measure the charged-particle multiplicity in the i -th cell: $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$

For each event Flattenicity is computed:

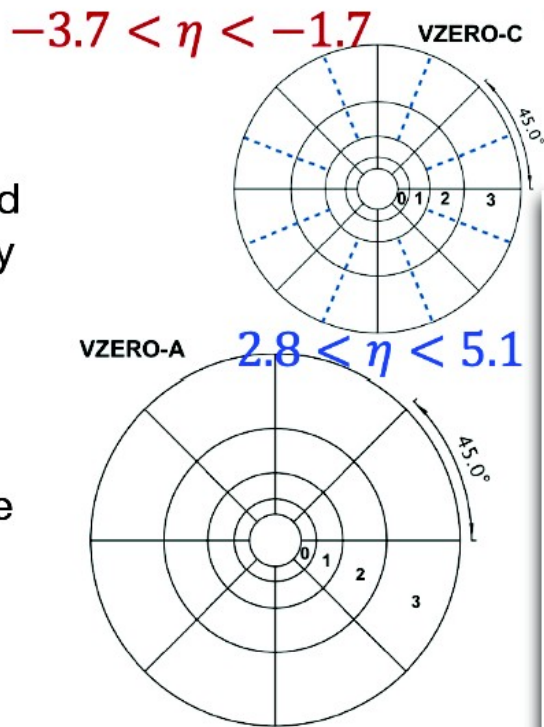
$$\rho = \frac{\sqrt{\left(N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle\right)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

Events with isotropic distribution of particles are expected to have small ρ ($\rho \rightarrow 0$)



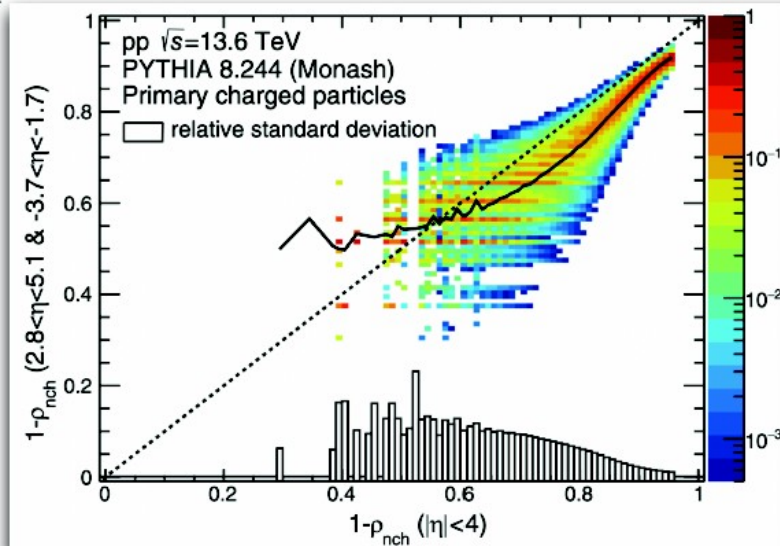
MC studies on Flattenicity

Based on MC simulations, Flattenicity measured in the pseudorapidity interval covered by the ALICE V0A and V0C detectors is strongly correlated with the shape of the events measured in eight units of pseudorapidity



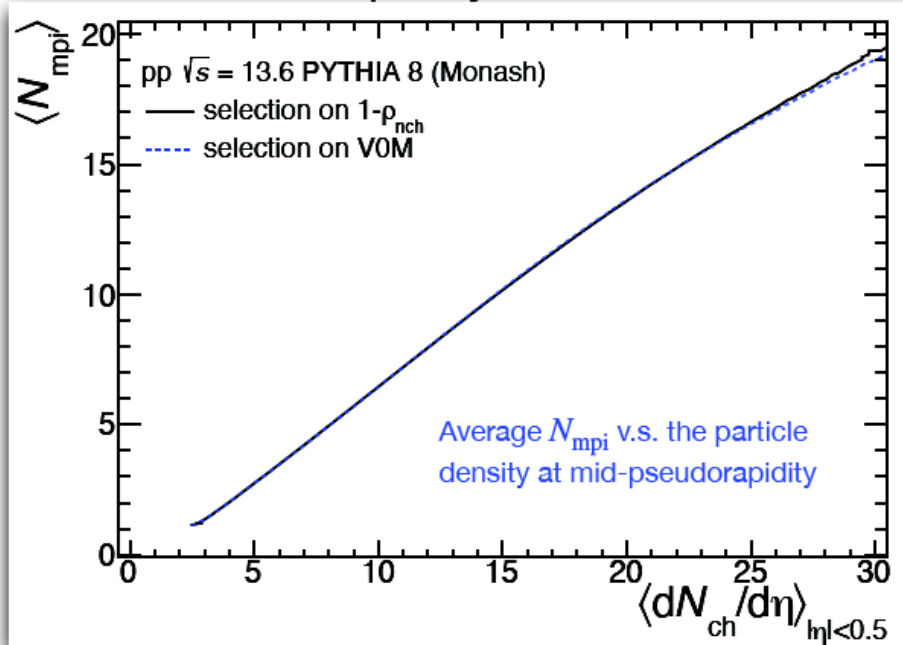
$$\rho = \frac{\sqrt{(N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

Phys. Rev. D 107, 076012

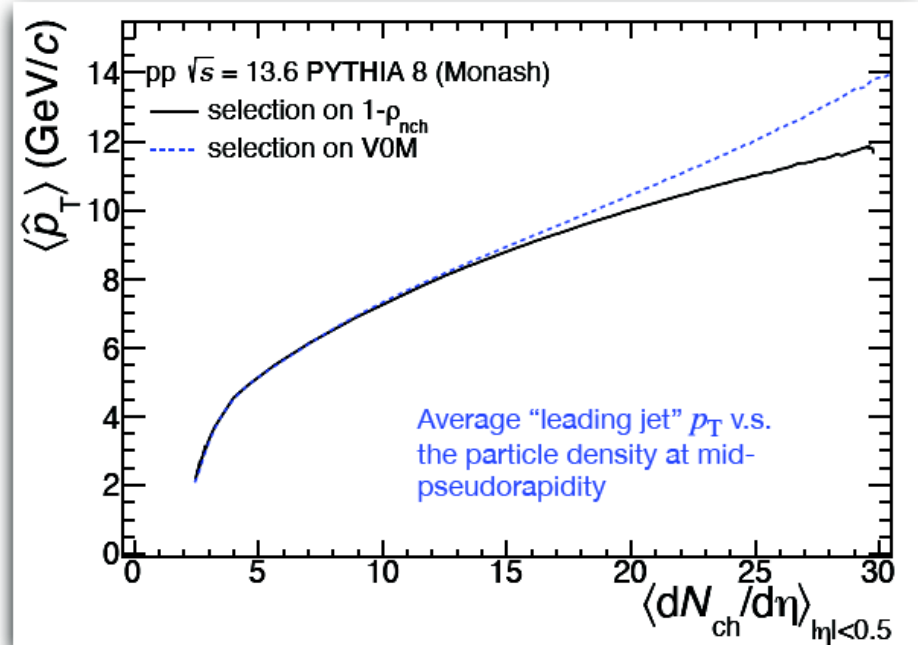


MC studies on Flattenicity

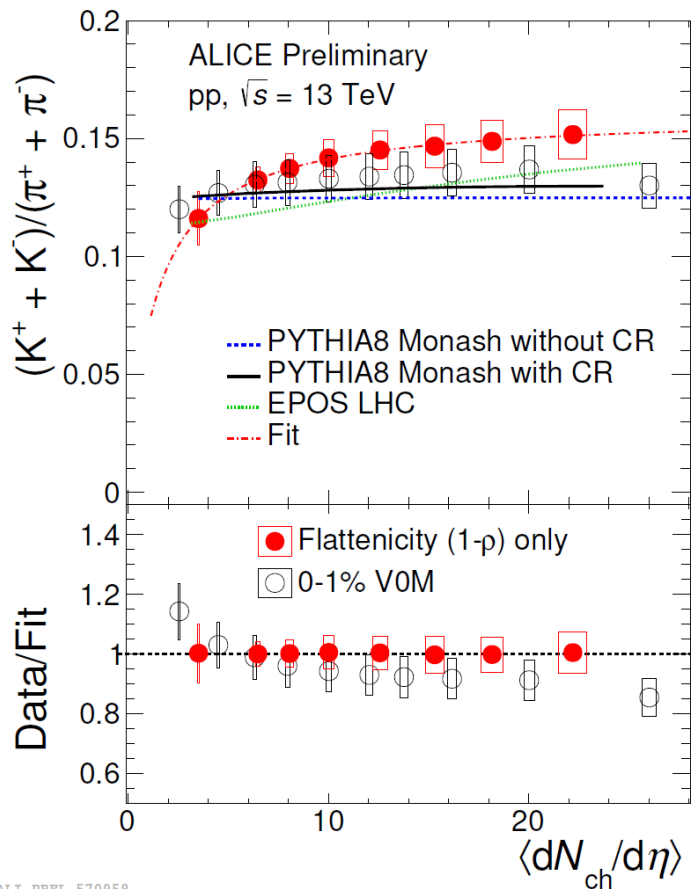
Same sensitivity to MPI as the
VOM multiplicity estimator



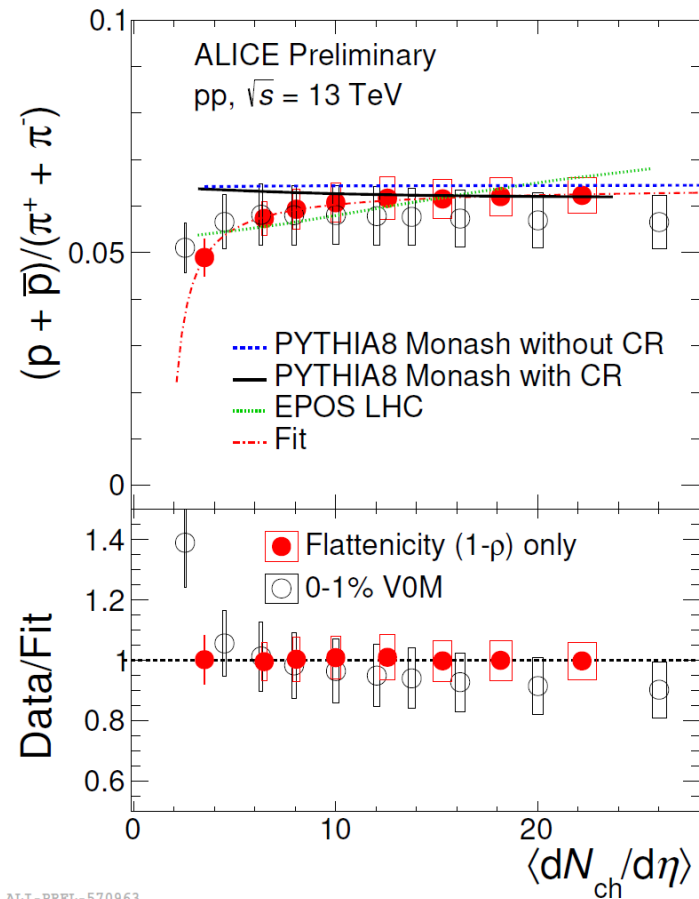
Flattenicity selects “softer” pp
collisions than the VOM estimator



K/ π and ρ/π particle ratios



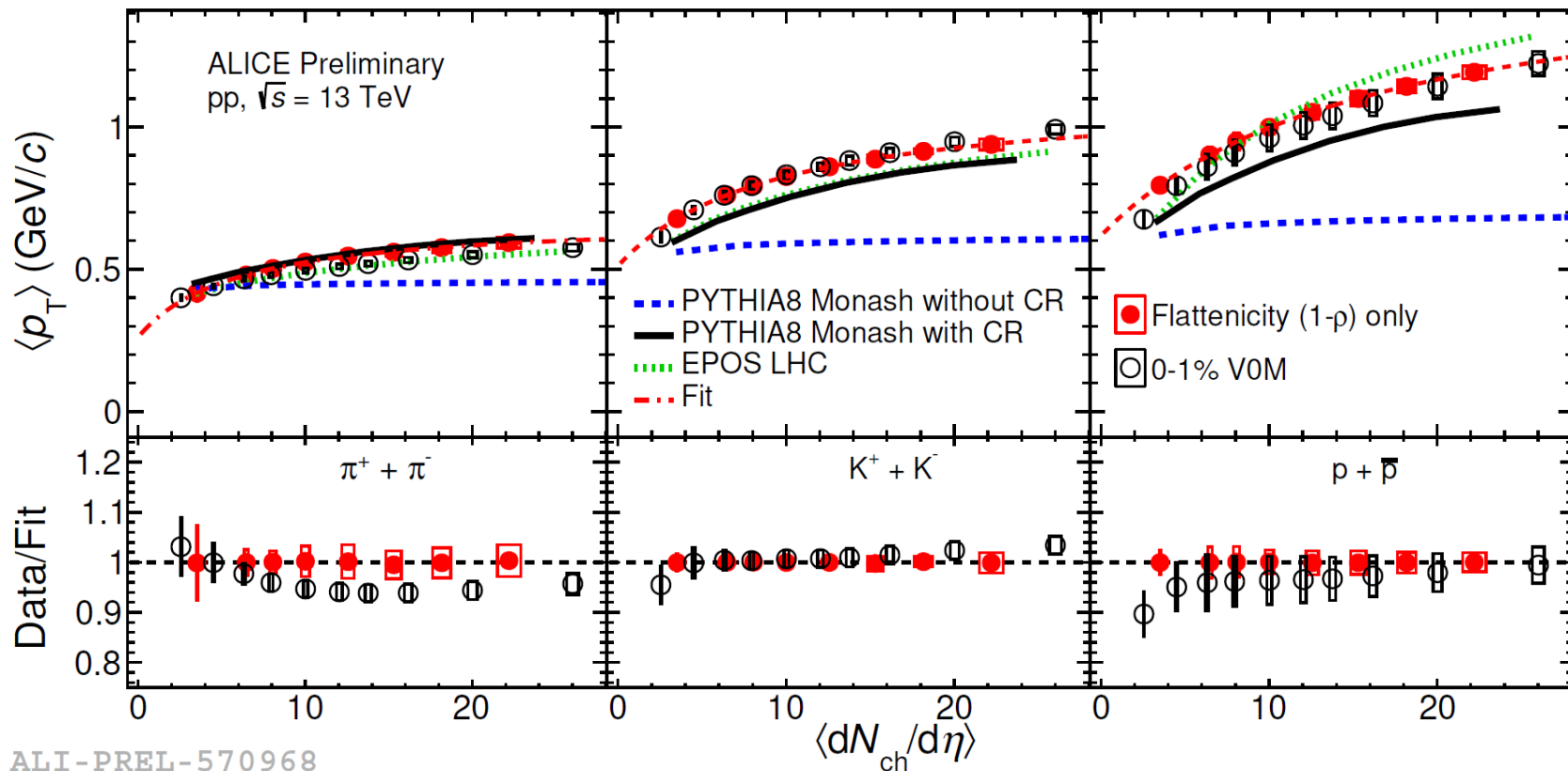
ALI-PREL-570958



ALI-PREL-570963

- **K/ π : Flattenicity selection** → **hint of a steeper increase** w.r.t. the V0M selection
 - PYTHIA 8 and EPOS LHC describe the data

Average transverse momentum



Flattenicity selection:

- **Pions indicate a hint of a steeper increase** w.r.t. the V0M selection
- Kaons and protons agree with results from V0M within uncertainties
- PYTHIA with CR and EPOS LHC describe the data qualitatively