

Transzverz részecskespekttrumok energiatüggése, nehézion-kölcsönhatásokban

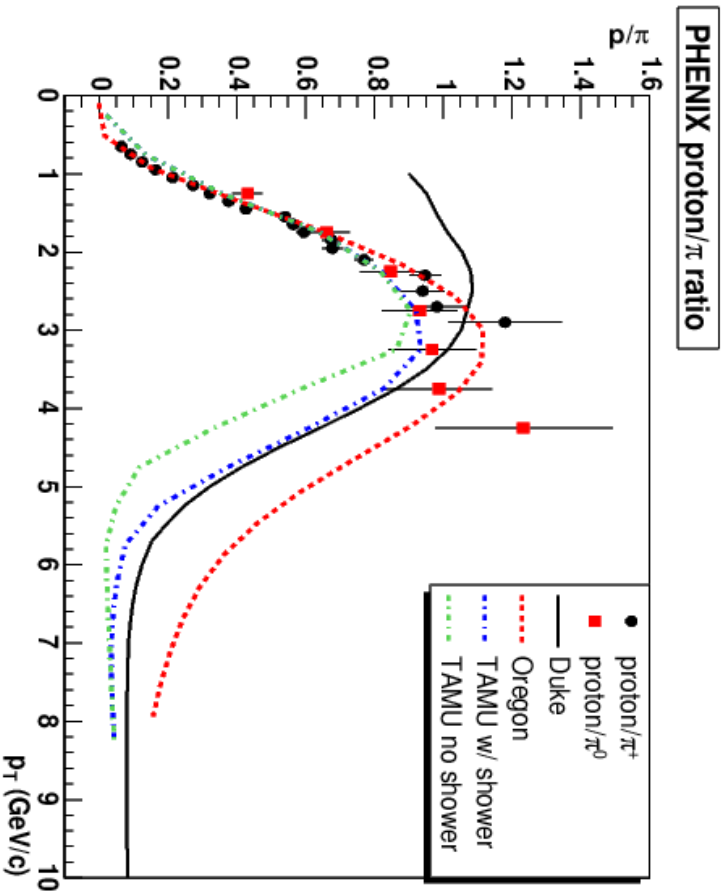
László András¹

¹ MTA KFKI RMKI, Részecskefizika Főosztály, Erős Kölcsönhatás Osztály

laszloa@rmki.kfki.hu

RMKI CMS Szeminárium, 2008 március 25.

- ☞ Fizikai motiváció: energiafüggés.
- ☞ Felhasznált adatok, ütközési centralitás.
- ☞ Töltött-részecske analízis.
- ☞ Hadron hozam arányok.
- ☞ Nukleáris modifikáció azonosított töltött hadronokra.
- ☞ Összegzés.
- ☞ Publikációk.

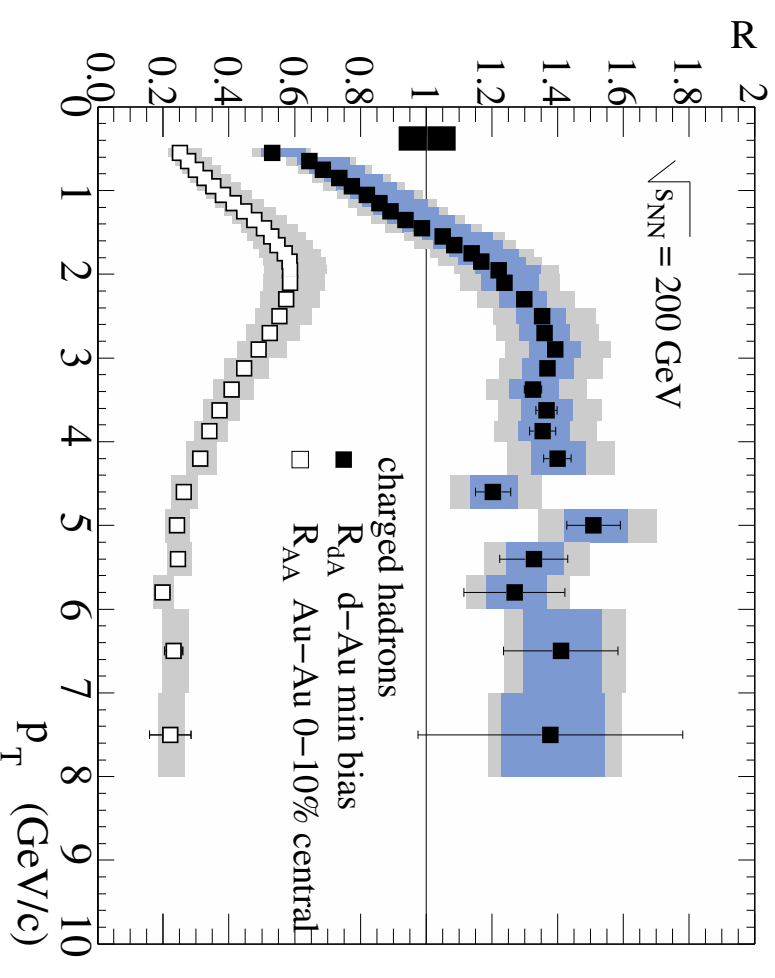


Barion/mezon arányok RHIC energián

p_T -vel növekszik, letörés?

Kvark-aleszcencia modellek leírják

Mi az energiatüggése a fenti jelenségeknek?

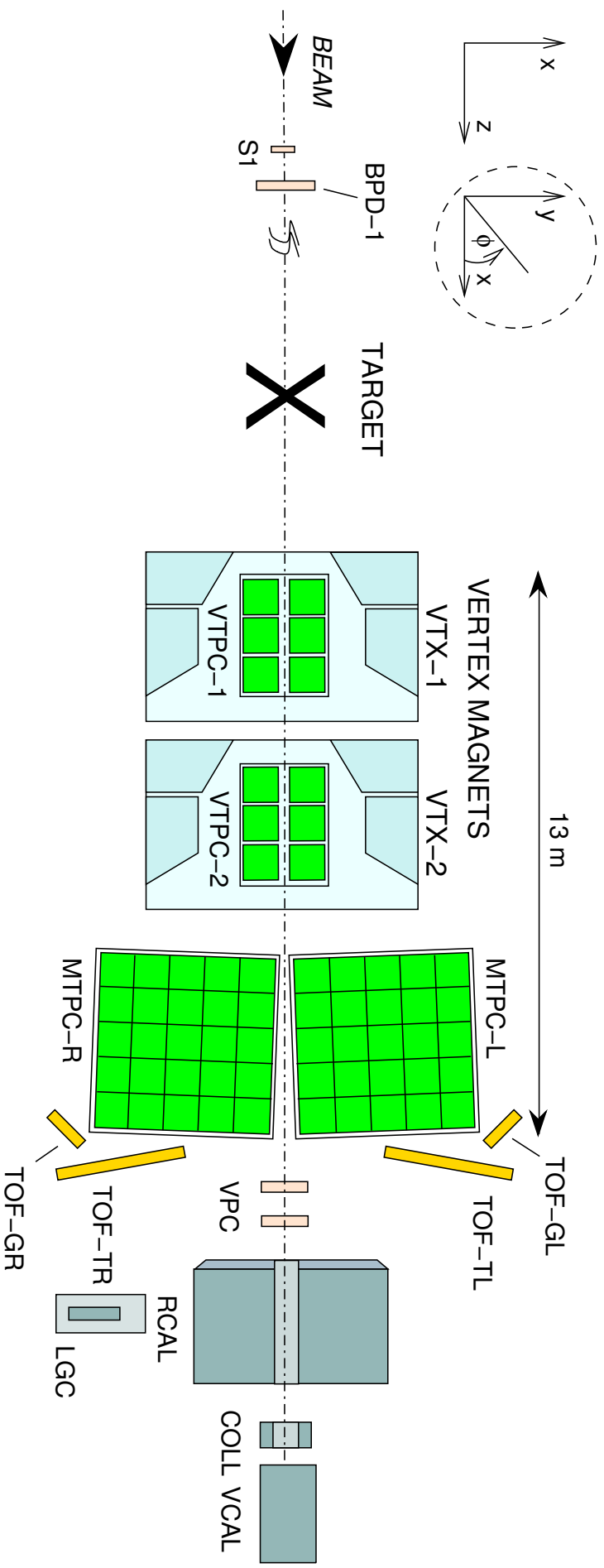


R_{AA} RHIC energián

Nagy p_T -jű részecskék elnyomódása

Pázsma(jet)-elnyomás modellek leírják

Pb+Pb $\sqrt{s_{NN}} = 17.3 \text{ GeV}$ t.k.p. energián, CERN-NA49
 (maximális Pb+Pb SPS energia).



1996-os adatsorok:

minimum-torzítású (406k)

10% legcentrálisabb (930k)

2000-es adatsorok:

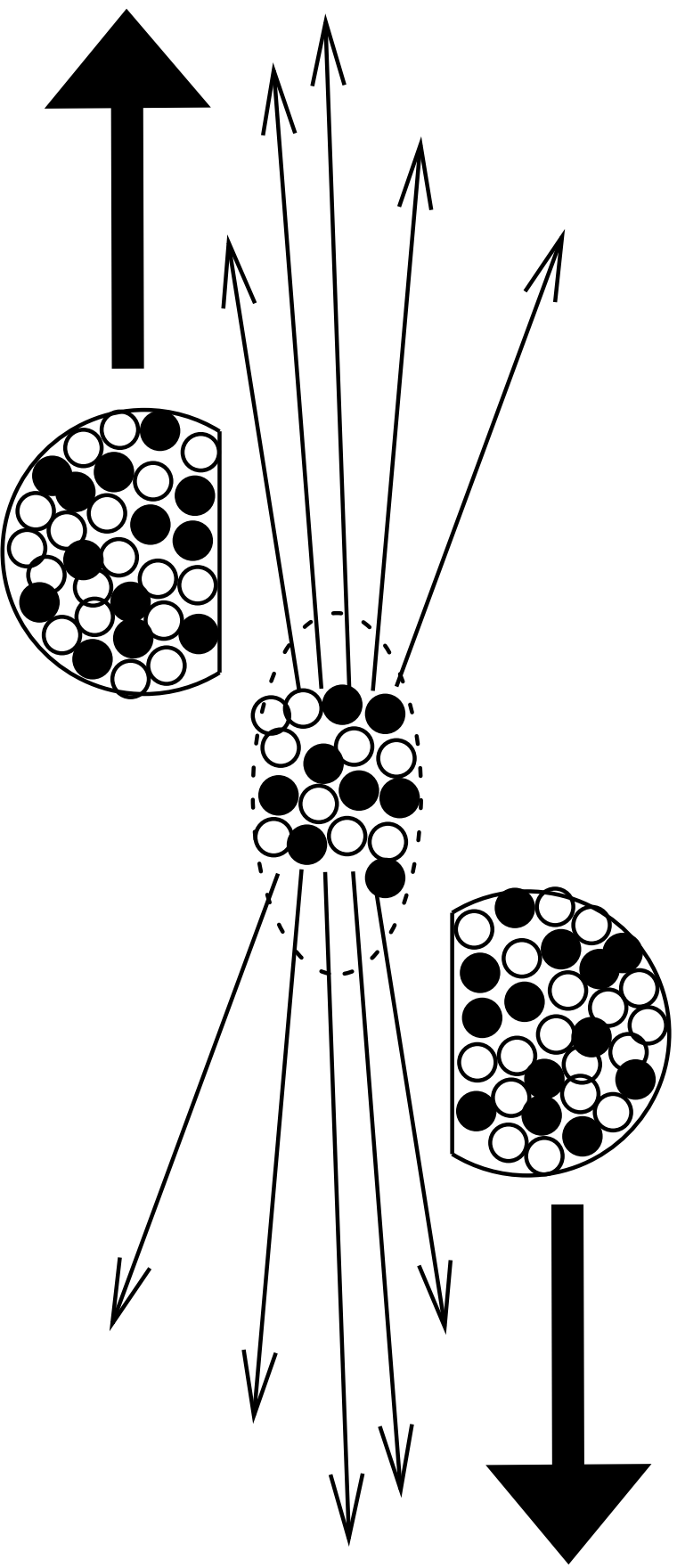
minimum-torzítású (340k)

24% legcentrálisabb (3M)

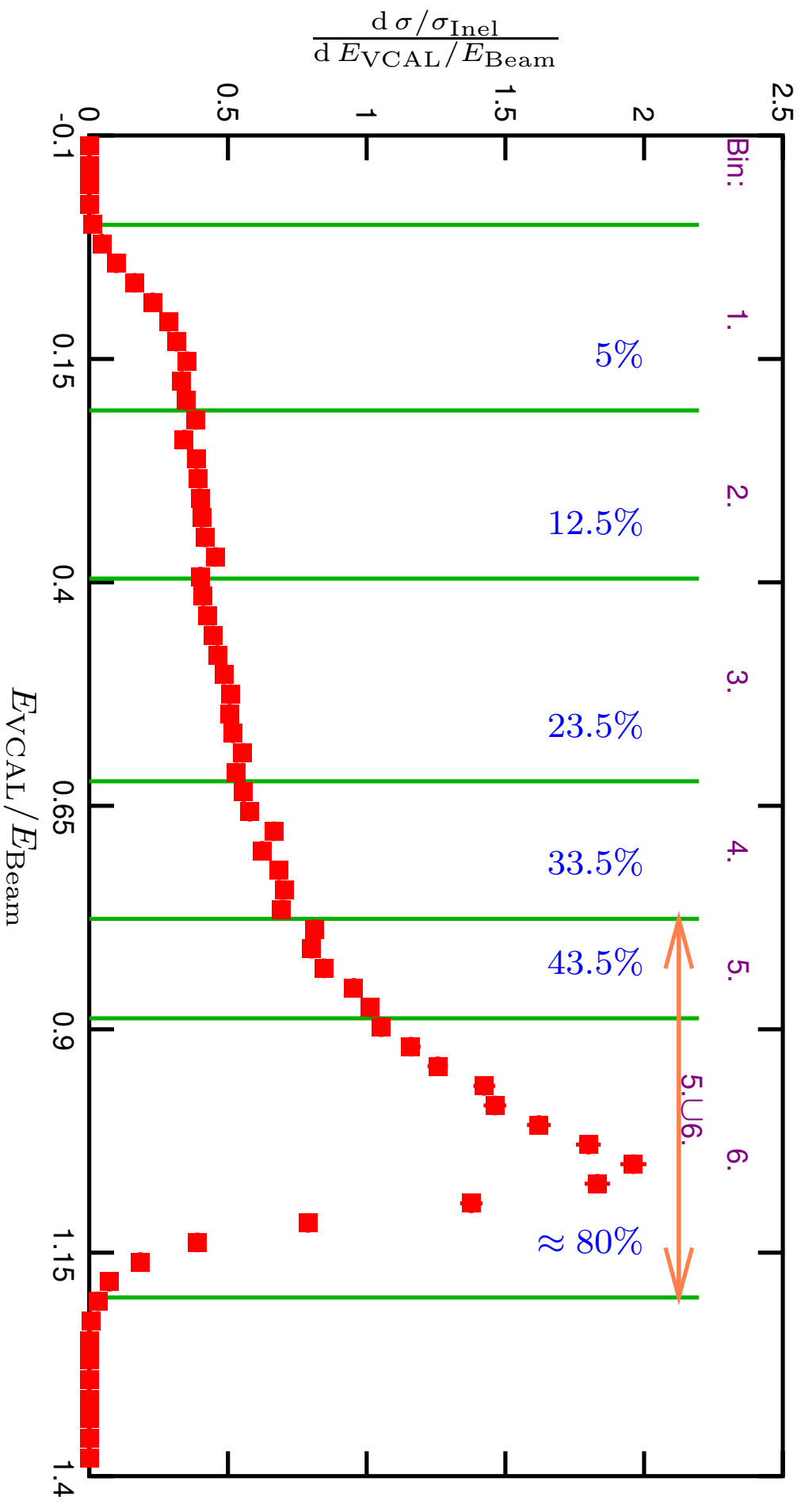
Az ütközési centralitás mérése: lövedék spektátor energia meghatározásával.

T.k.p. rendszerben:

Projectile spectator



Target spectator

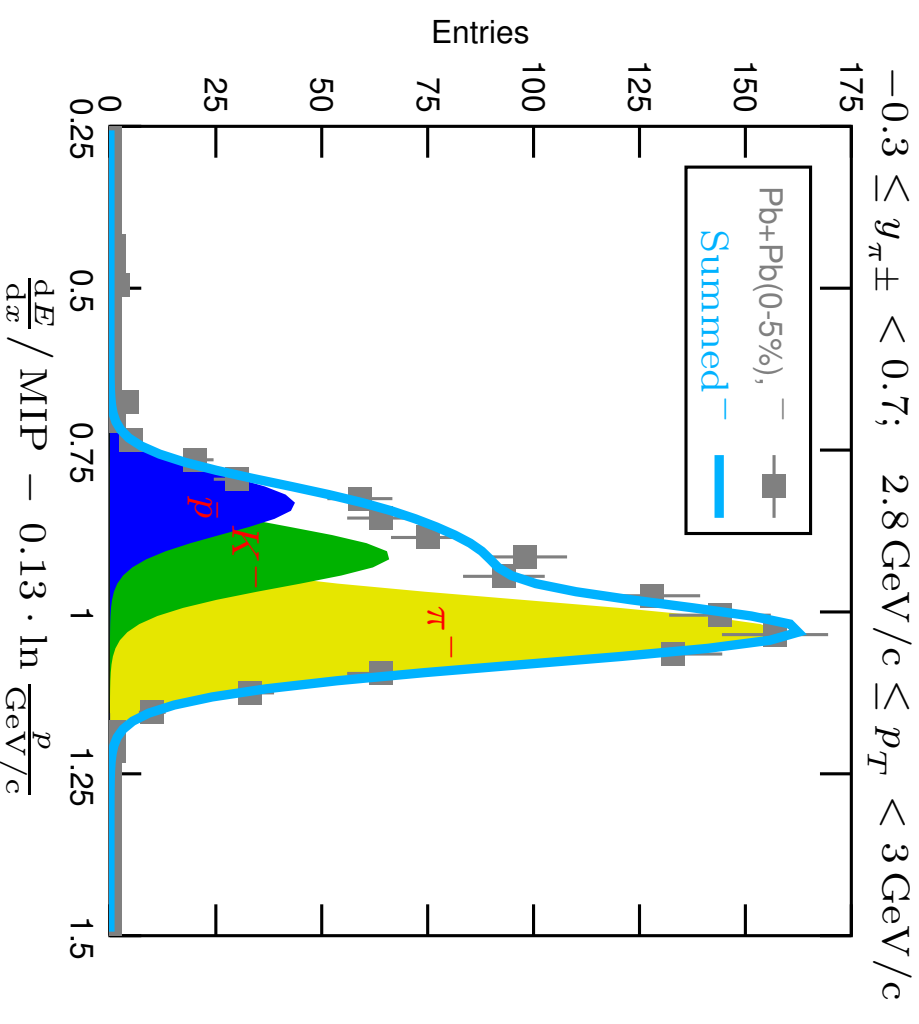
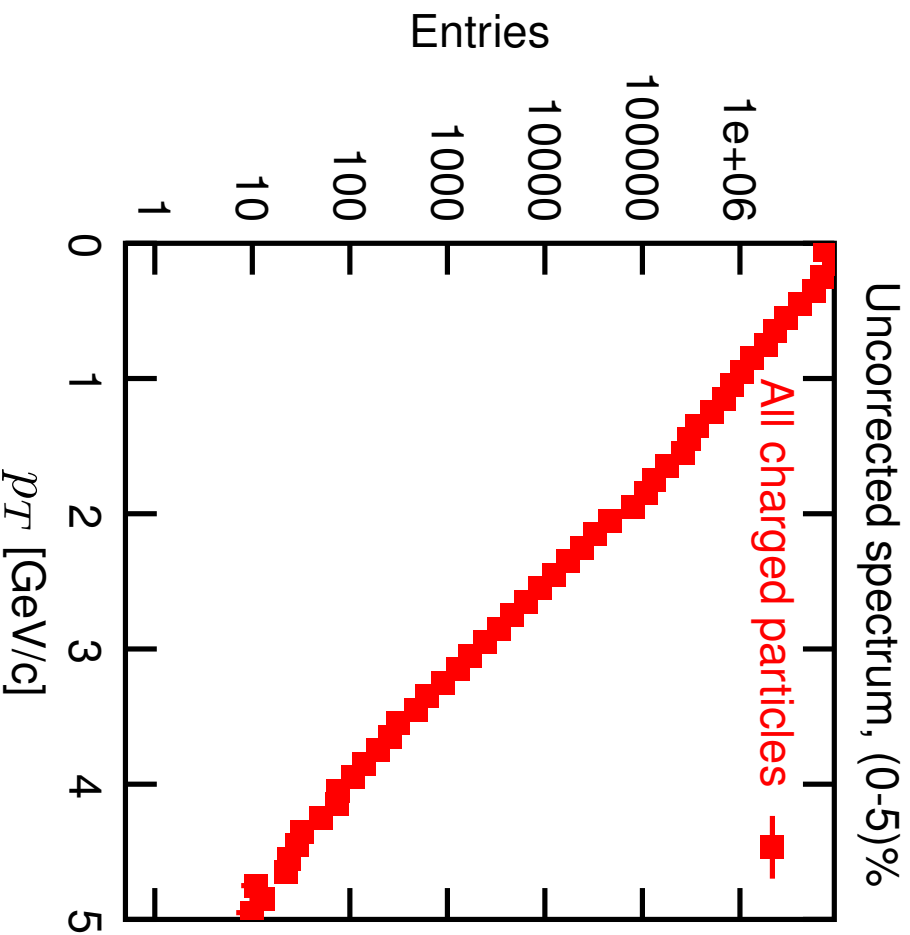


Centralitás ablakok: teljes inelasztikus h.k.m. (7.15mb) %-ában megadva.

N_W (meglökött nukleonok száma), N_{BC} (bináris ütközések száma) VENUS

+ empirius VCAL energia eloszlással számolva az egyes ablakokban.

Rapiditás tartomány: $-0.3 \leq y \leq 0.7$. Centralitás: (0-5)%, (12.5-23.5)%, (33.5-80)%.



Jó statisztika. Rekonstrukciós hatások $> 95\%$.

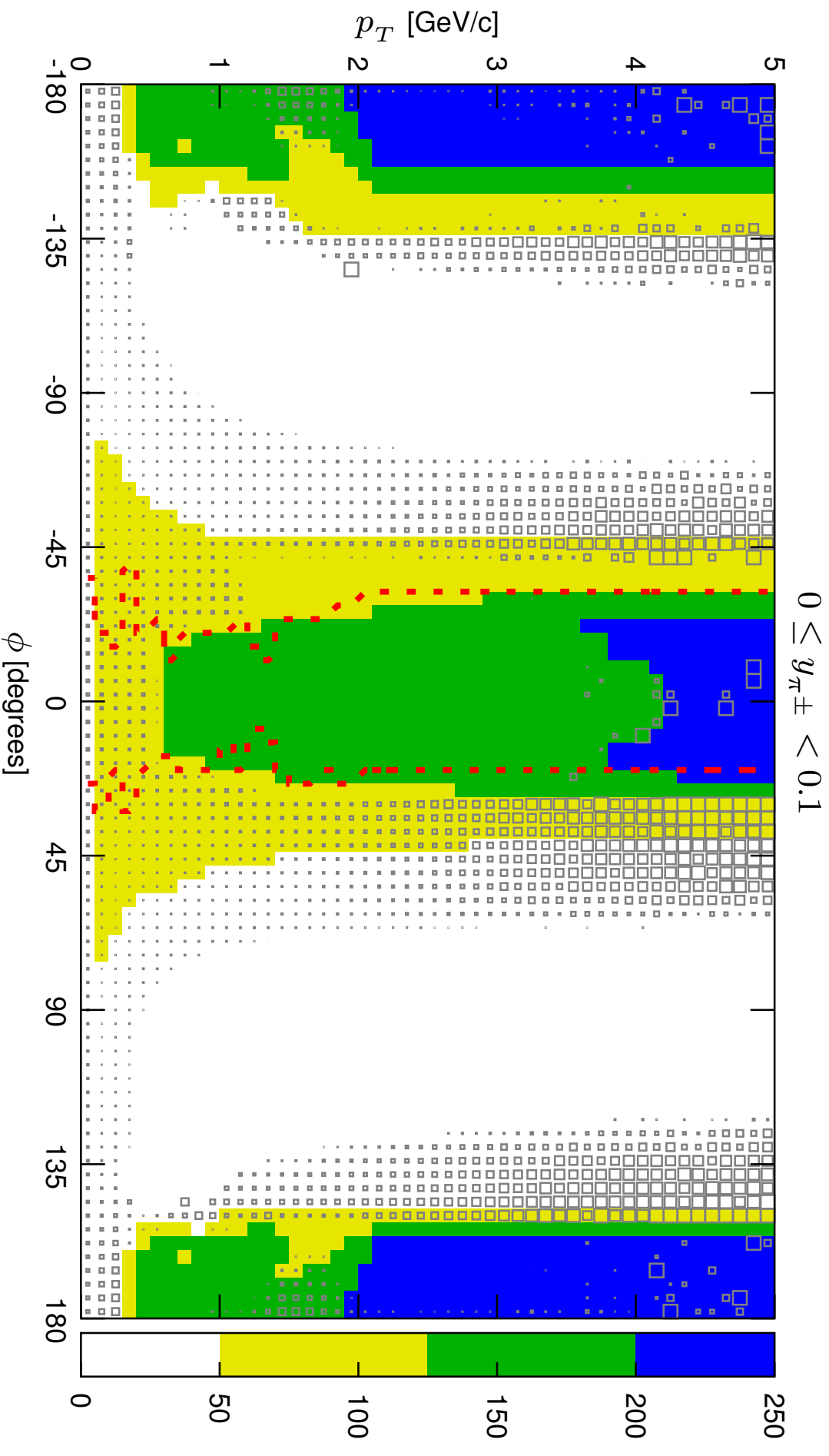
Hatékony hamis-pálya szűrés.

Tip. imp. felbontás: $\frac{\Delta(p)}{p} \approx 10^{-4} \frac{p}{\text{GeV}/c}$

Jó $\frac{dE}{dx}$ felbontás.

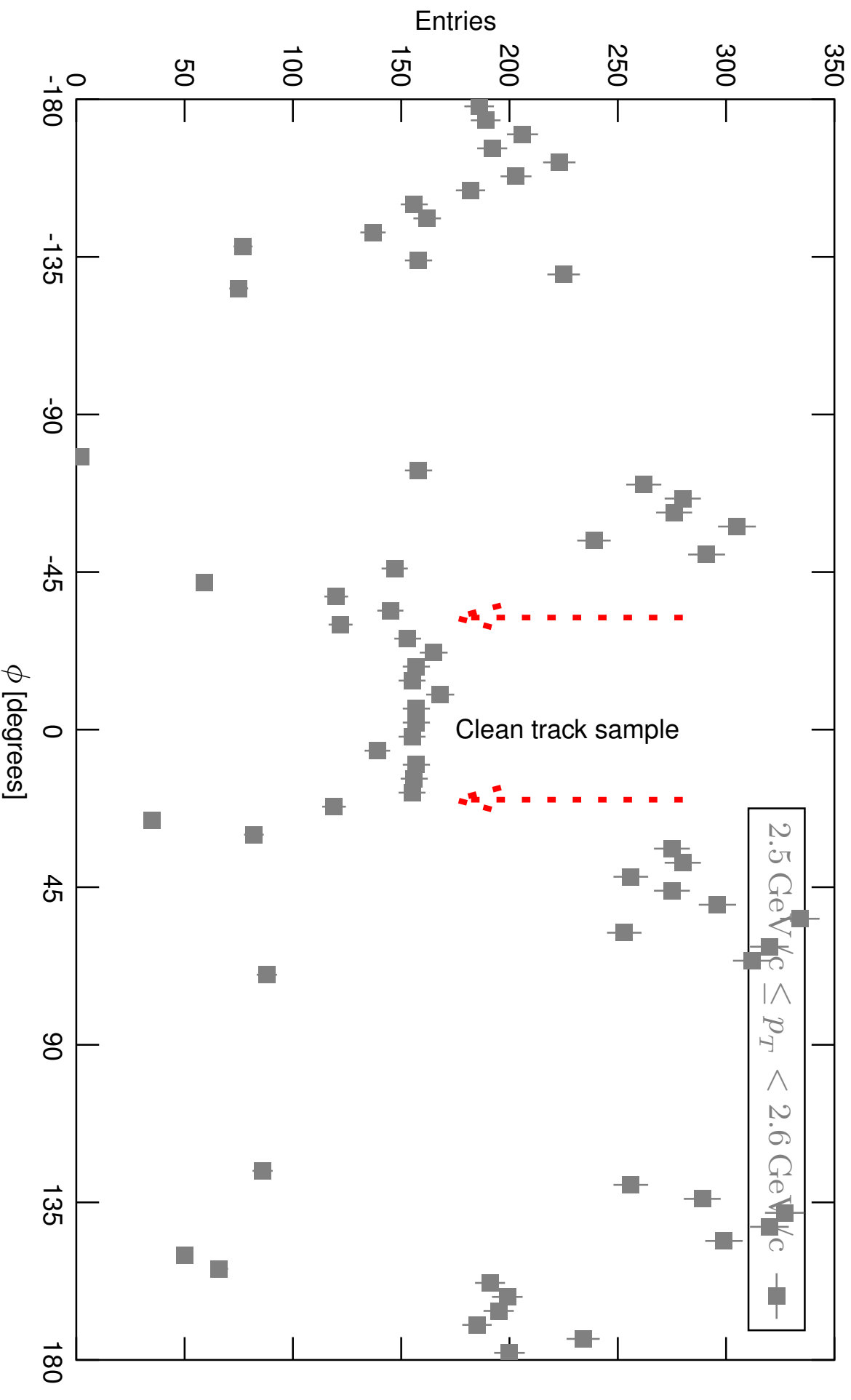
Tip. $\frac{dE}{dx}$ felbontás: $3 - 6\%$

A töltöttrészecske analízis kulcslépései. (1) A megszakított röppályák elhagyása.



(2) Utána egy 3 dimenziós impulzustér vágás, melyet lényegében potpont izovonalak vezetnek.

Az impulzustér vágás konstrukció szerint garantálja a hatásfok-lukak elkerülését is.



Nagy p_T -s eredmények

Gyk. 0% hamis-pálya szennyezés, impulzustér felbontást 1% majorálja, impulzus skála bizonytalanság kisebb 0.1%-nál.

Korrekciónál figyelembe vett effektusok:

- ↳ geometriai akceptancia,
- ↳ rekonstrukciós veszteség (10% alatt),
- ↳ bomlási veszteség (20-tól 0%-ig),
- ↳ bomló részecskékből eredő szennyezés (5 – 30%),
- ↳ céltárgyon kívüli ütözésből eredő szennyezés (5%).

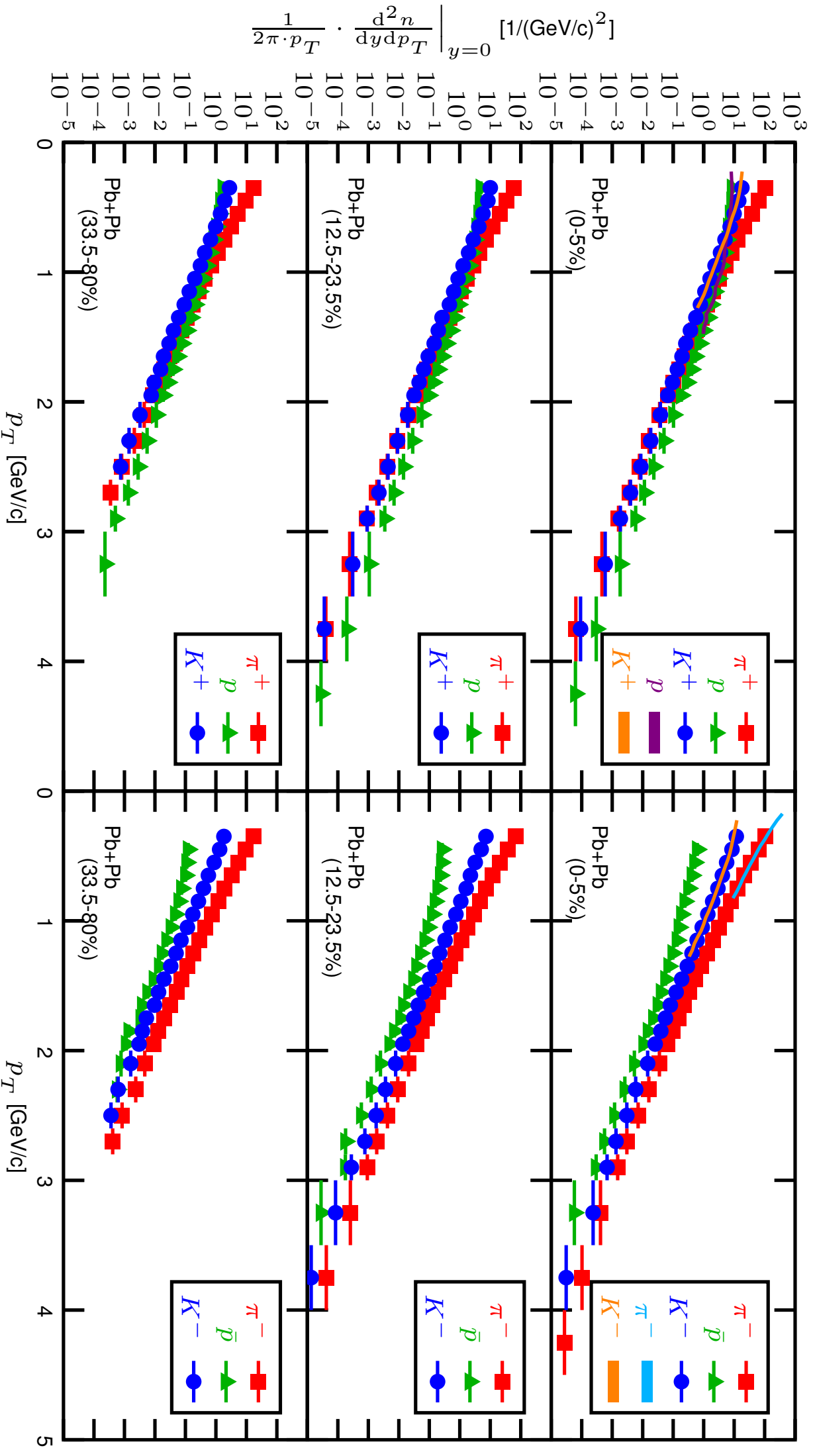
Szisztematikus hibák fősső becslése: 2.2% (π^\pm), 3.7% (p), 4.5% (K^+), 6.5% (\bar{p}).

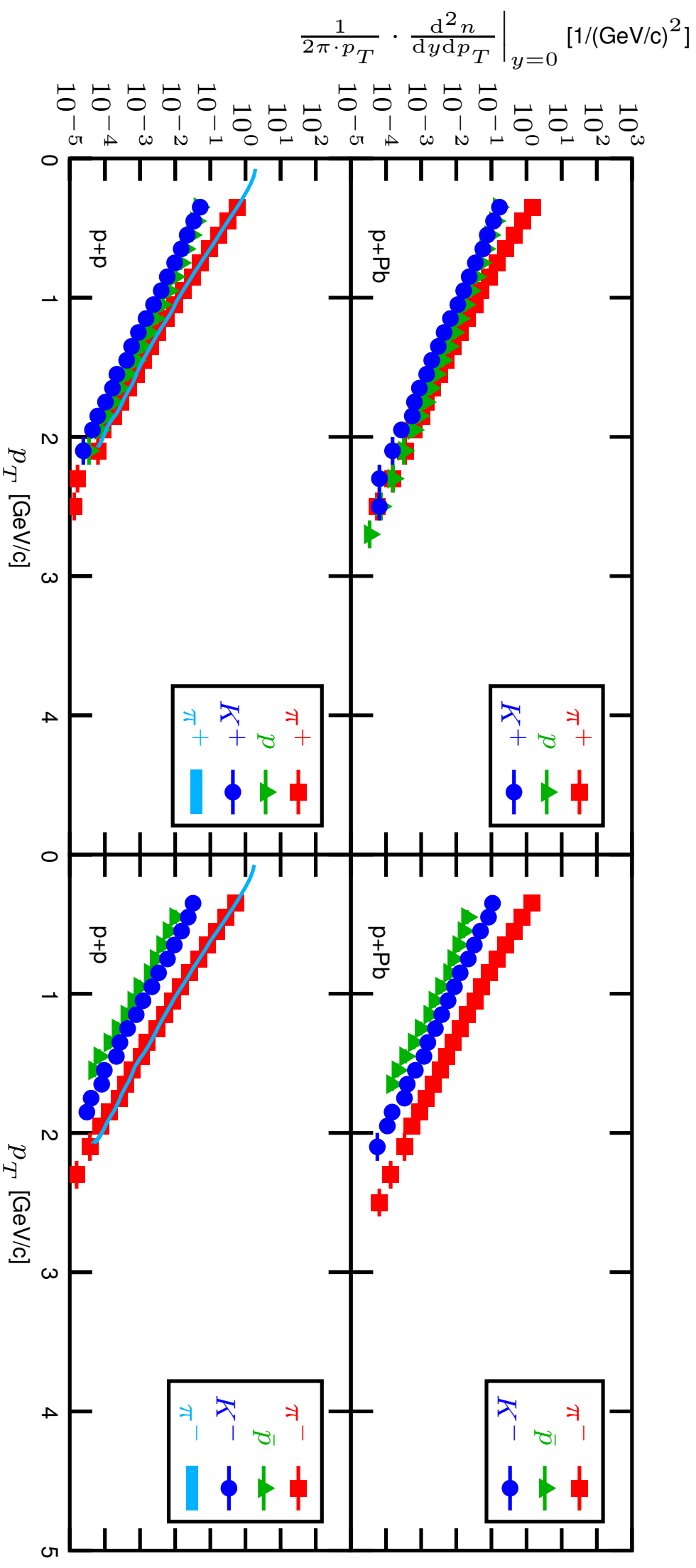
Véglegesen korrigált eredmények publikációja:

C. Alt *et al.* (az NA49 együttműködés):

„High transverse momentum hadron spectra at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in Pb+Pb and p+p collisions”;

Physical Review C (2007) elfogadva [[arXiv:0711.0547](https://arxiv.org/abs/0711.0547)].





A bevezetett módszerekkel ugyancsak előállítottam p+p és p+Pb spektrumokat.

A töltött-részecske spektrumok mellett semleges-részecske spektrumok is érdeklődésre tartanak számot.

Pl π^0 részecskék impulzus eloszlása is.

Sok kísérletben nem lehetséges technikai okokból a direkt kombinatorikai γ párosítással megmérni a π^0 spektrumot.

Lehetséges megoldás: γ spektrumokból a

$$\vec{k} \mapsto \rho_\gamma(\vec{k}) = \int \hat{\rho}_{\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma}(\vec{k}|\vec{p}) \rho_{\pi^0}(\vec{p}) d^3p$$

integráloperátor invertálásával visszanyerjük a $\vec{p} \mapsto \rho_{\pi^0}(\vec{p})$ eloszlást.

Egy ilyen módszer általánosan is érdekes jelfeldolgozási szempontból, mert nincs rá ismert általánosan alkalmazható robusztus módszer.

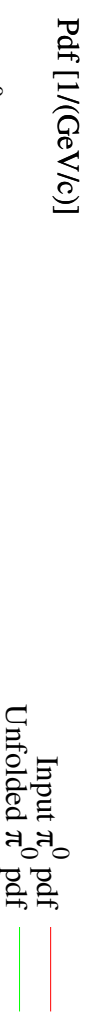
(Spektrum-visszafejtés probléma, a dekonvolúció általánosítása.)

A visszafejtési feladatra egy robusztus iteratív matematikai módszert fejlesztettem ki, melyre konvergencia tételeket is bizonyítottam.

π^0 and γ momentum pdf



π^0 and unfolded π^0 momentum pdf: order=21, error content=3.3%



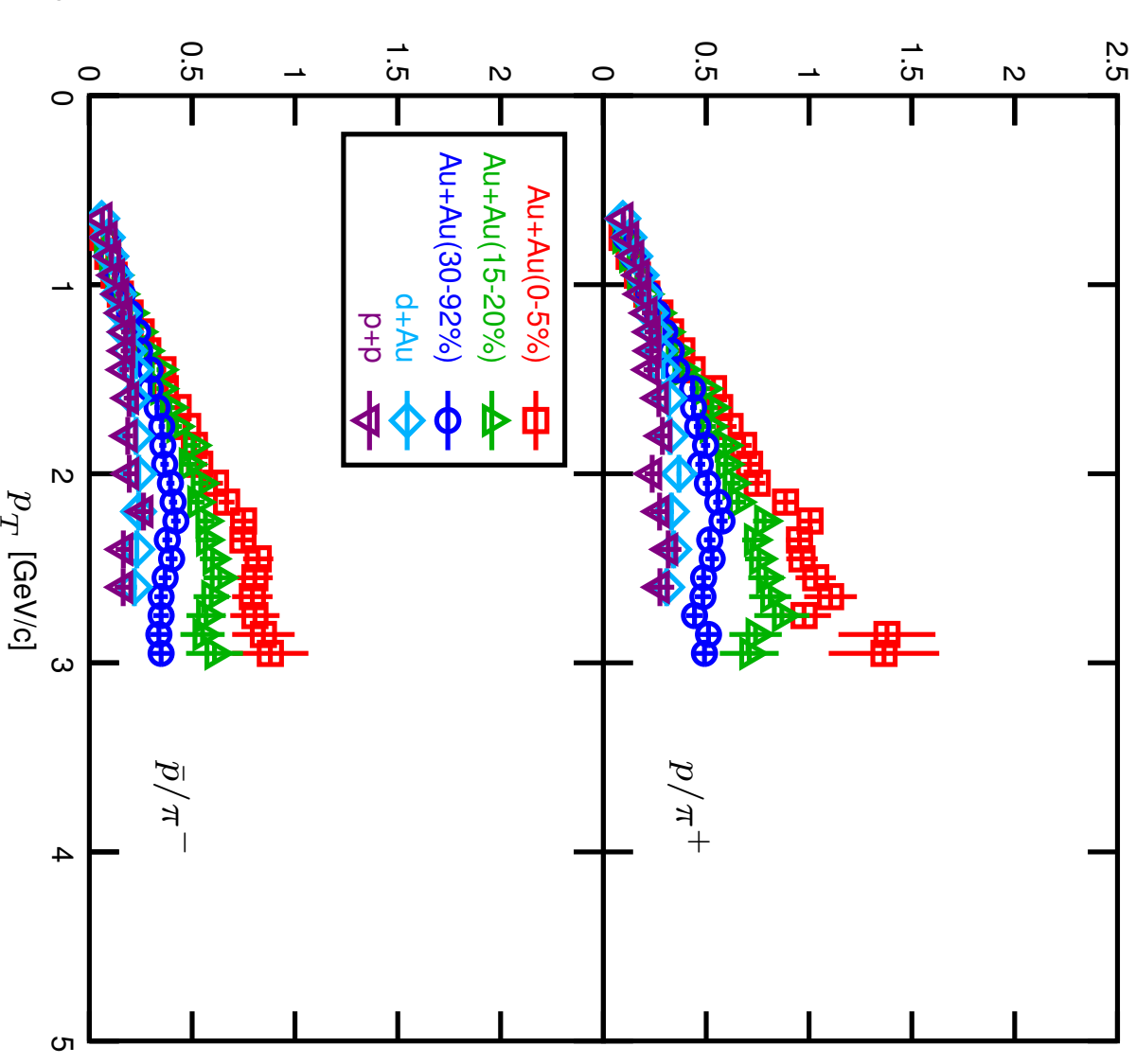
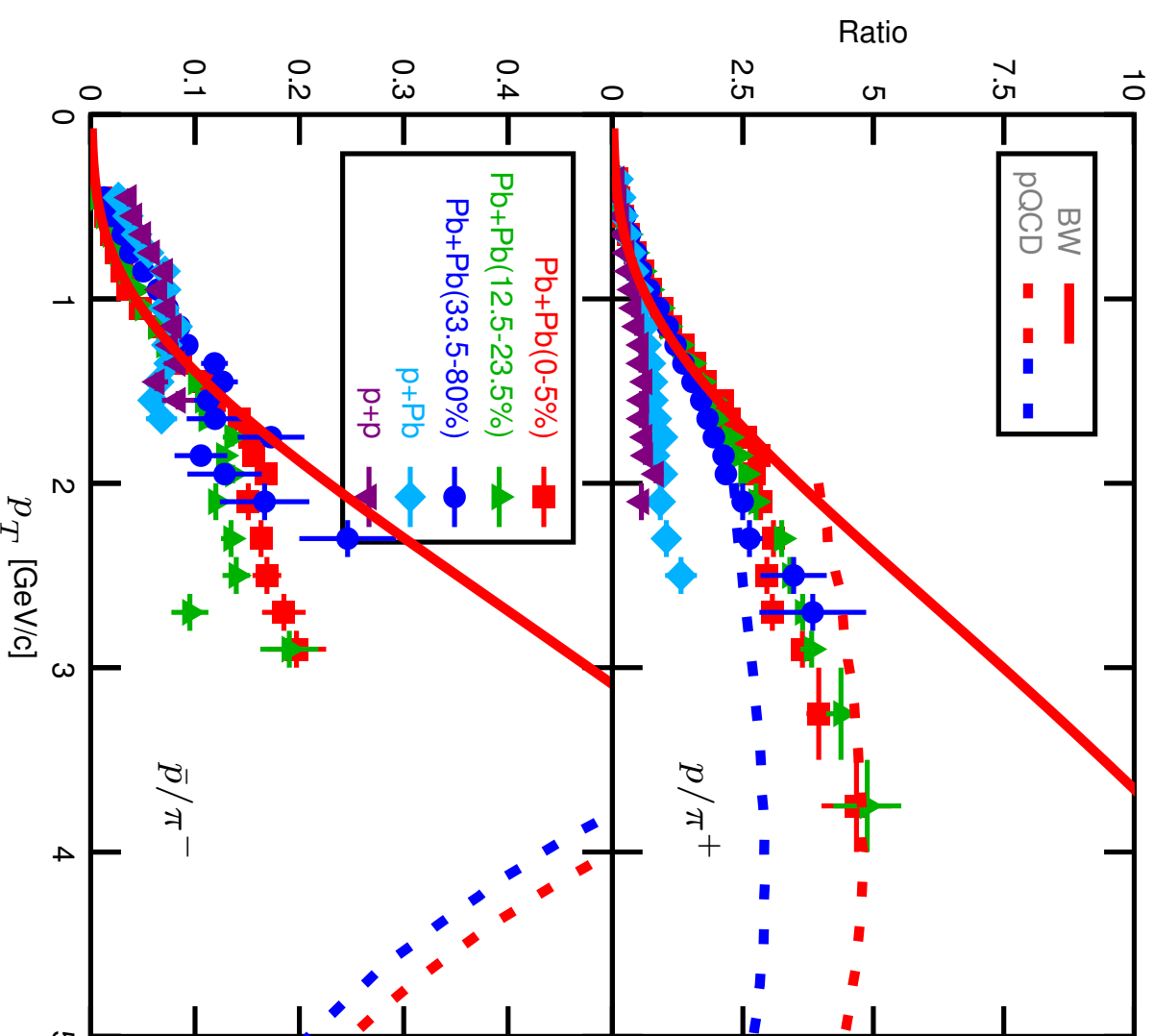
A. László: „A Robust Iterative Unfolding Method for Signal Processing”;
 J. Phys. **A39** (2006) 13621.

Összevetés modellekkel és magasabb energiás adatokkal

- ☞ Lökéshullám (BW) paramerizáció. m_T spektrumokra és HBT sugarakra való illesztés kis p_T -n.
Kis p_T : jó (illesztés). Nagy p_T : nem illik az adatokra mint várható.
(F. Retiere, M. A. Lisa: Phys. Rev. **C70** (2004) 044907.)
- ☞ pQCD-alapú energiaveszteség modellek.
Nem írja le a keltett-baron/mezon arányokat. Még nem perturbatív?
(X.-N. Wang: Phys. Lett. **B595** (2004) 165.)
- ☞ Energiafüggés. A netó-baron keltés csökkent szerepe nagyobb energiákon.
(S. S. Adler *et al.* (PHENIX Coll.): Phys. Rev. **C69** (2004) 034910,
S. S. Adler *et al.* (PHENIX Coll.): Phys. Rev. **C69** (2006) 024904.)

$\sqrt{s_{NN}} = 17.3 \text{ GeV (NA49)}$

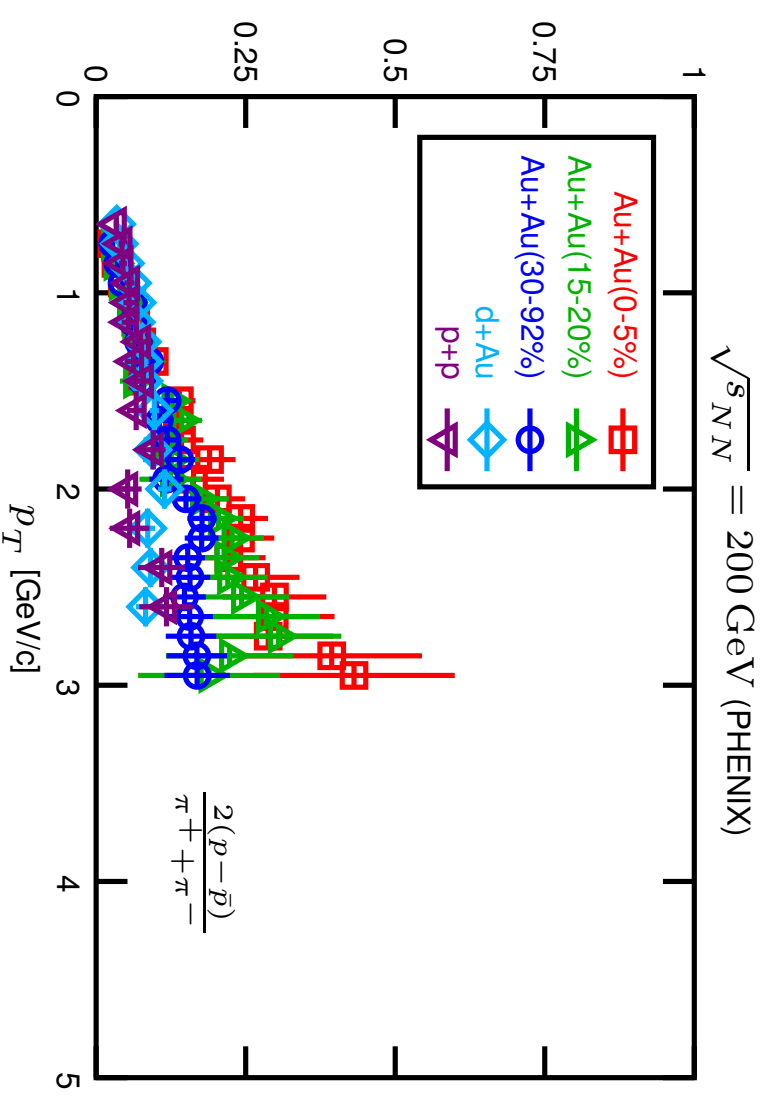
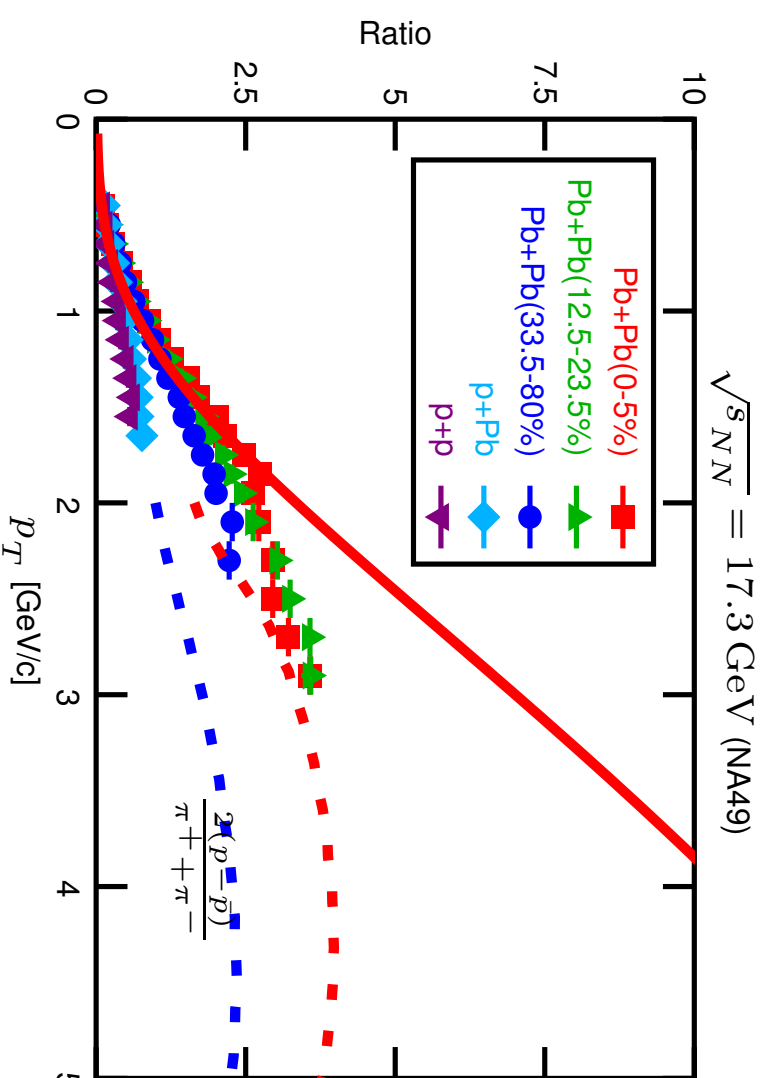
$\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV (PHENIX)}$



Lökéshullám kép kis p_T -n jó, nagy p_T -n nem.

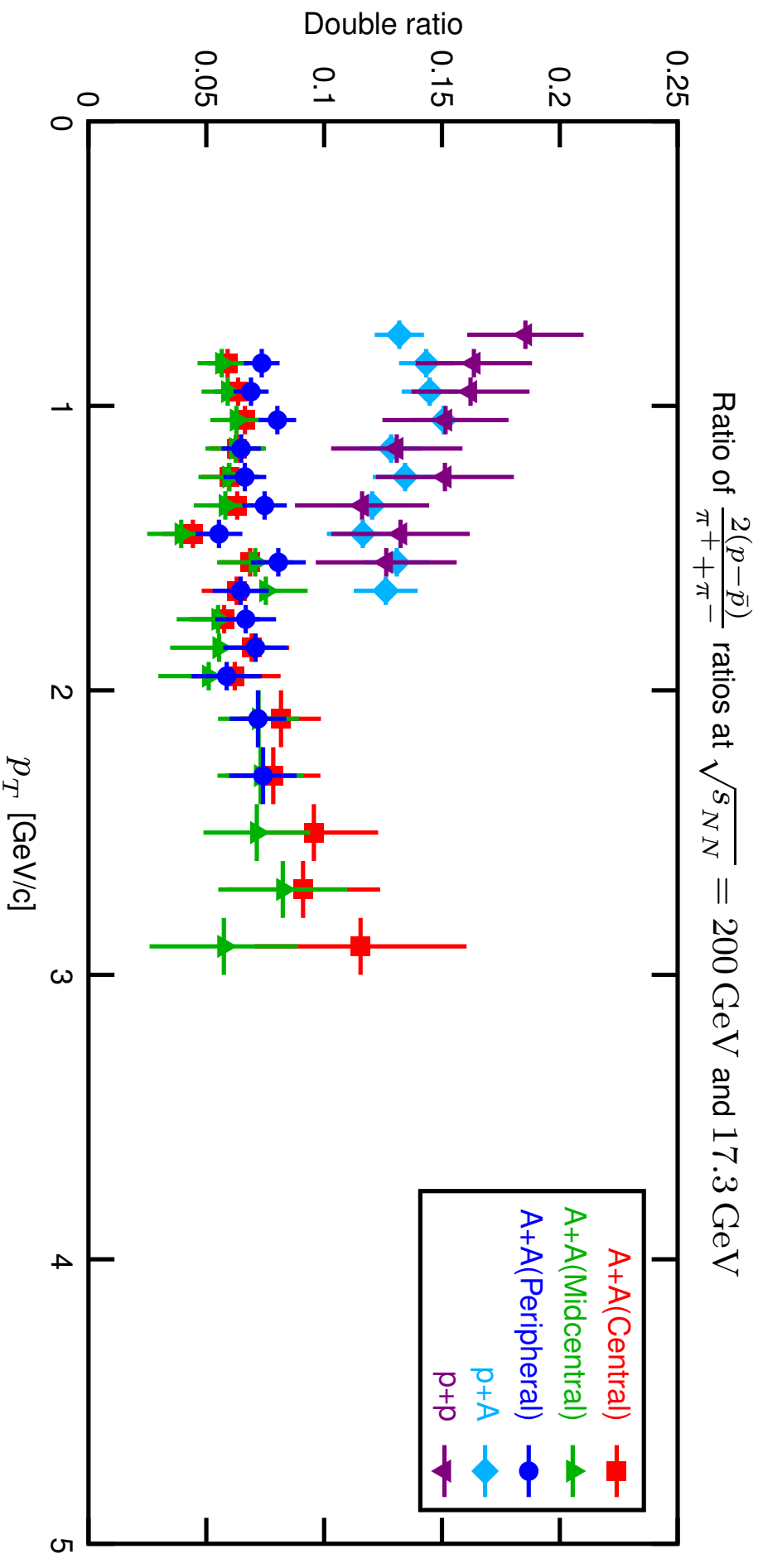
pQCD-alapú energiaveszteség modell nem tűnik jónak \bar{p}/π^- jóslására.

Nettó protonokra:



Kb energia- és centralitásfüggetlen alak.

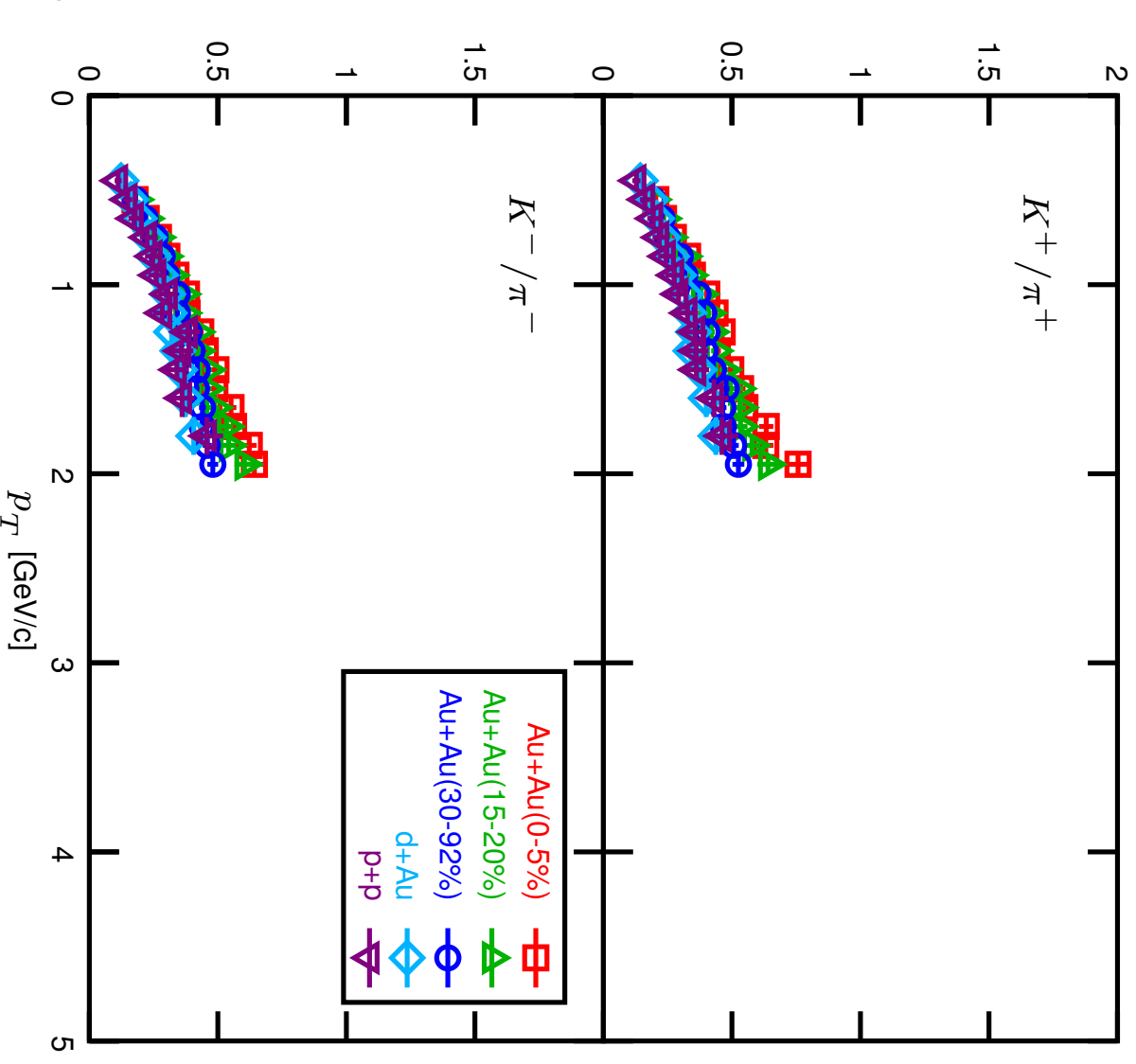
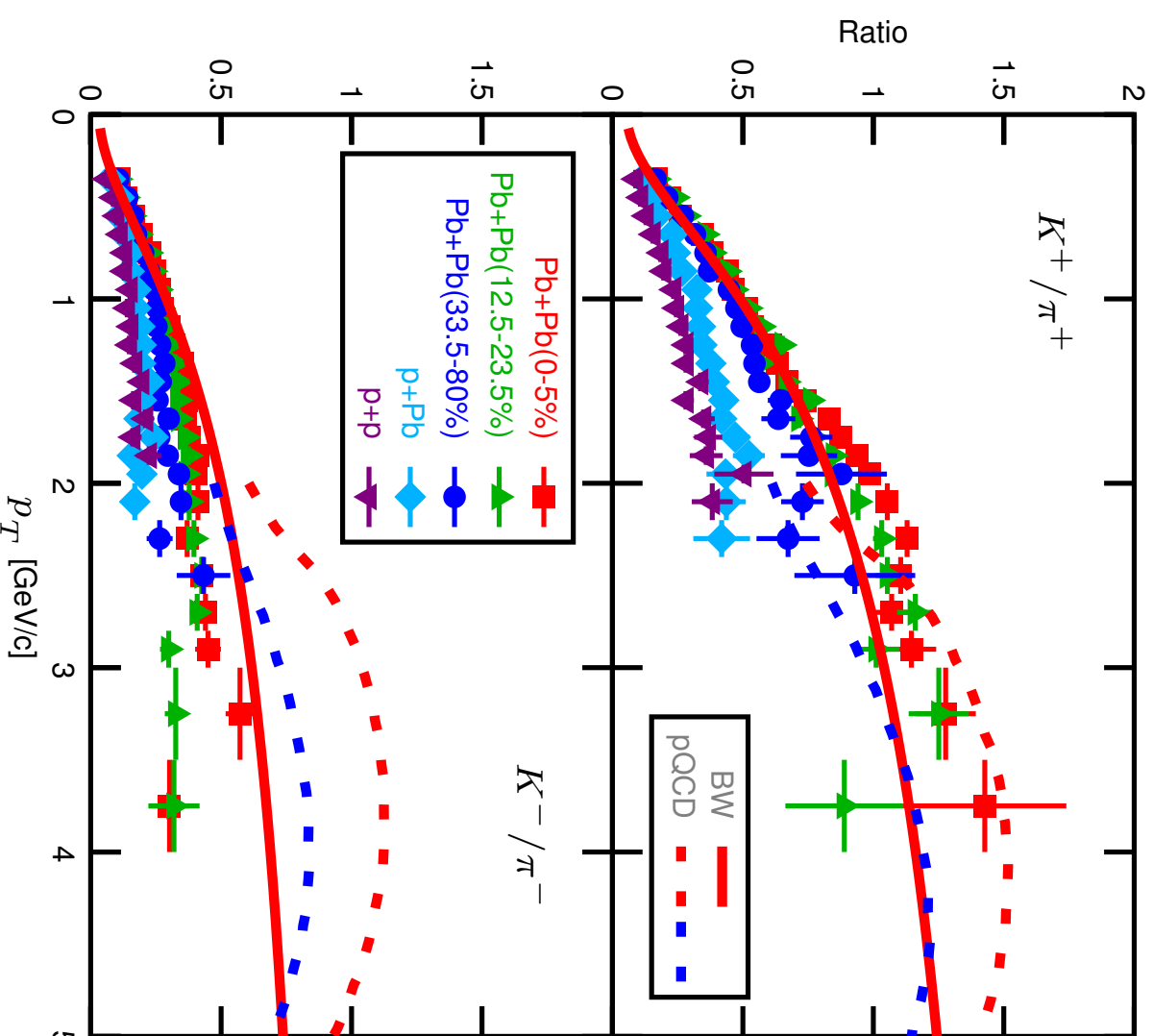
Kettős arányokkal jobban látszik:



Érdekes jelenség; csak véletlen műve?

$\sqrt{s_{NN}} = 17.3 \text{ GeV (NA49)}$

$\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV (PHENIX)}$



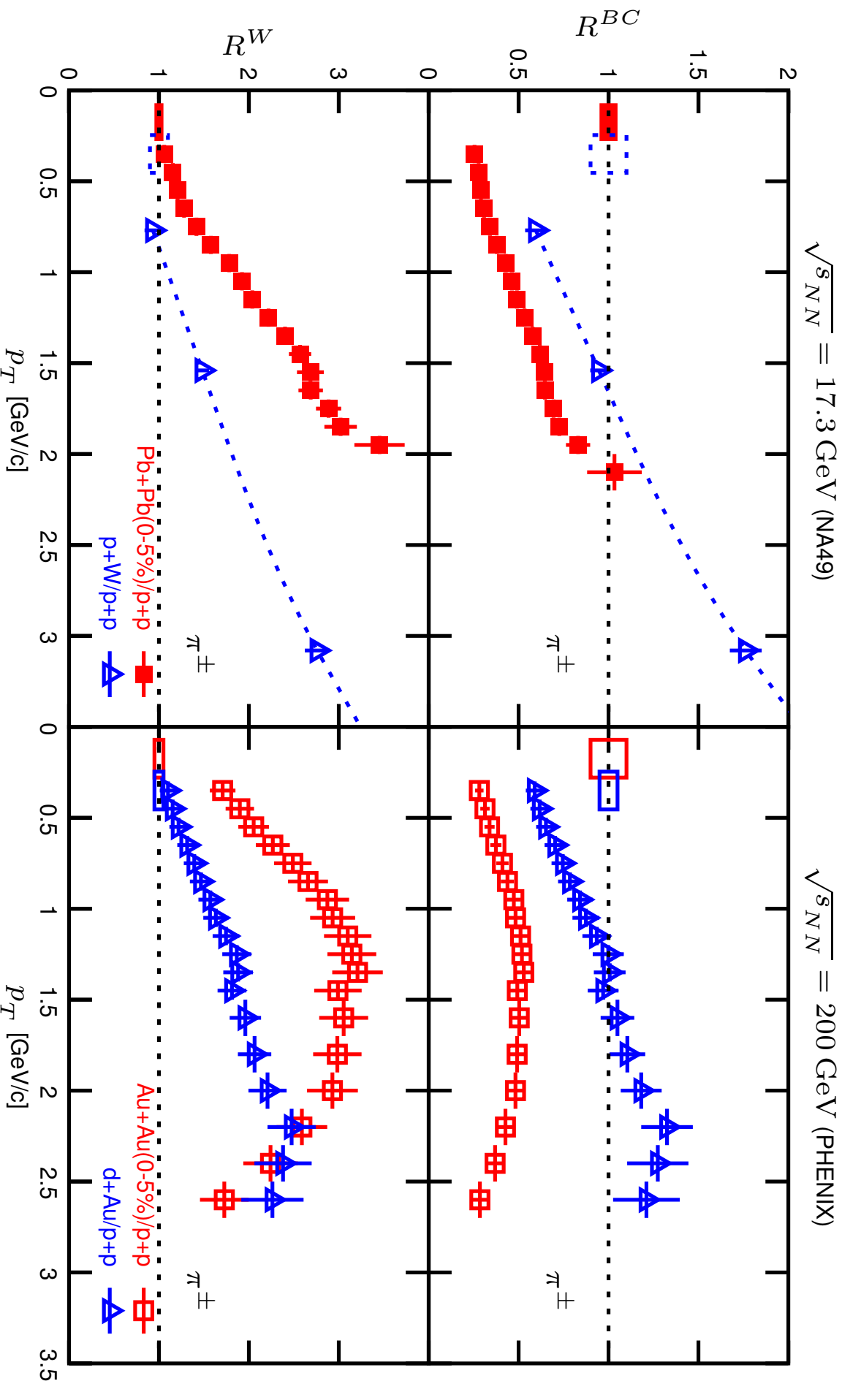
Nukleáris modifikációs faktorok

Definíció:

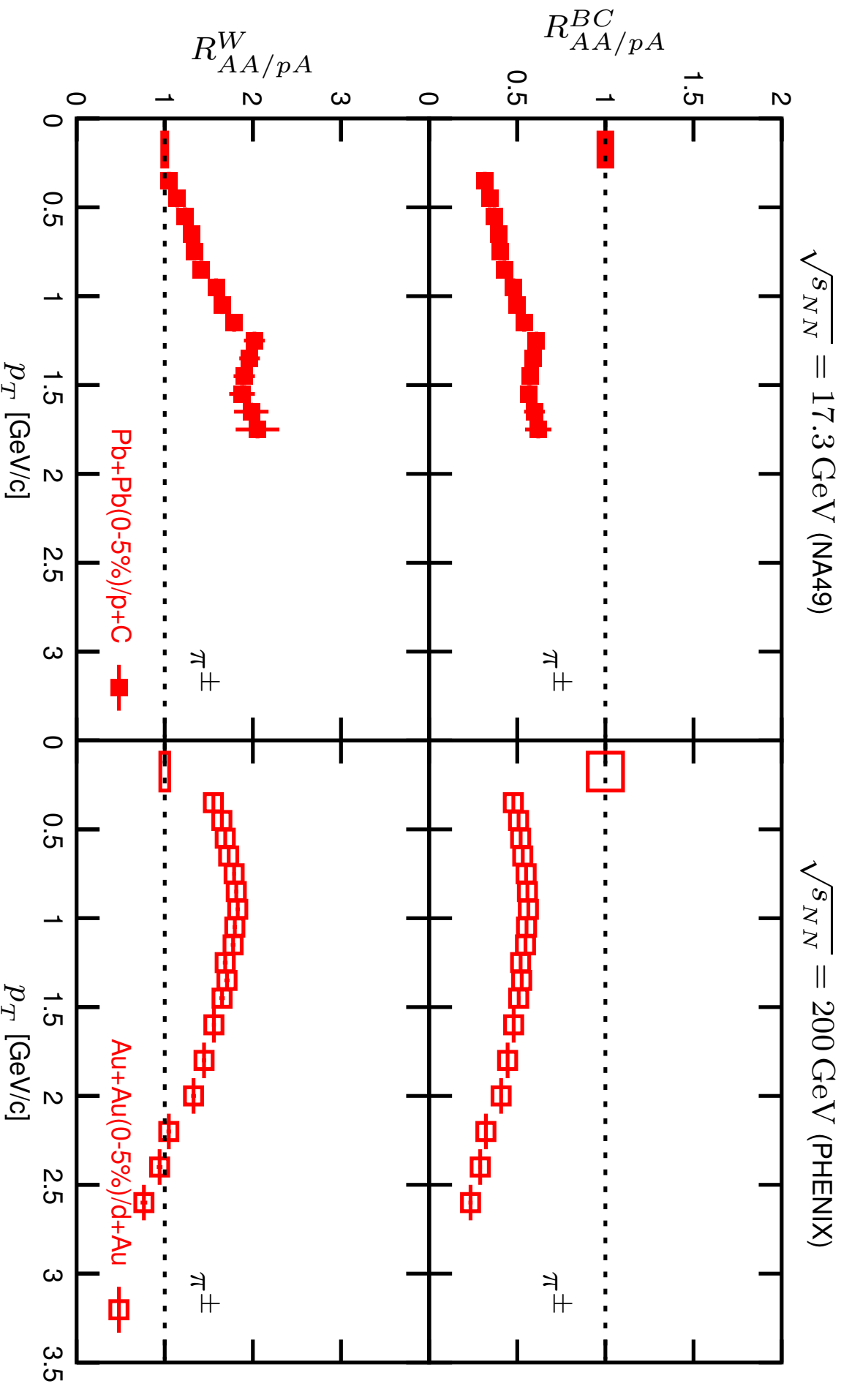
$$R_{A+B/C+D} := \frac{N(C+D)}{N(A+B)} \cdot \frac{\text{Hozam}(A+B)}{\text{Hozam}(C+D)}.$$

Itt N normalizációs faktor, amely a részecskeprodukciónak a rendszermérettel való skálázására jellemző. Szélsőséges esetek: bináris ütközések illetve a meglökött nukleonok átlagos száma a megfelelő centralitás tartományra és $A+B$ illetve $C+D$ reakcióra.

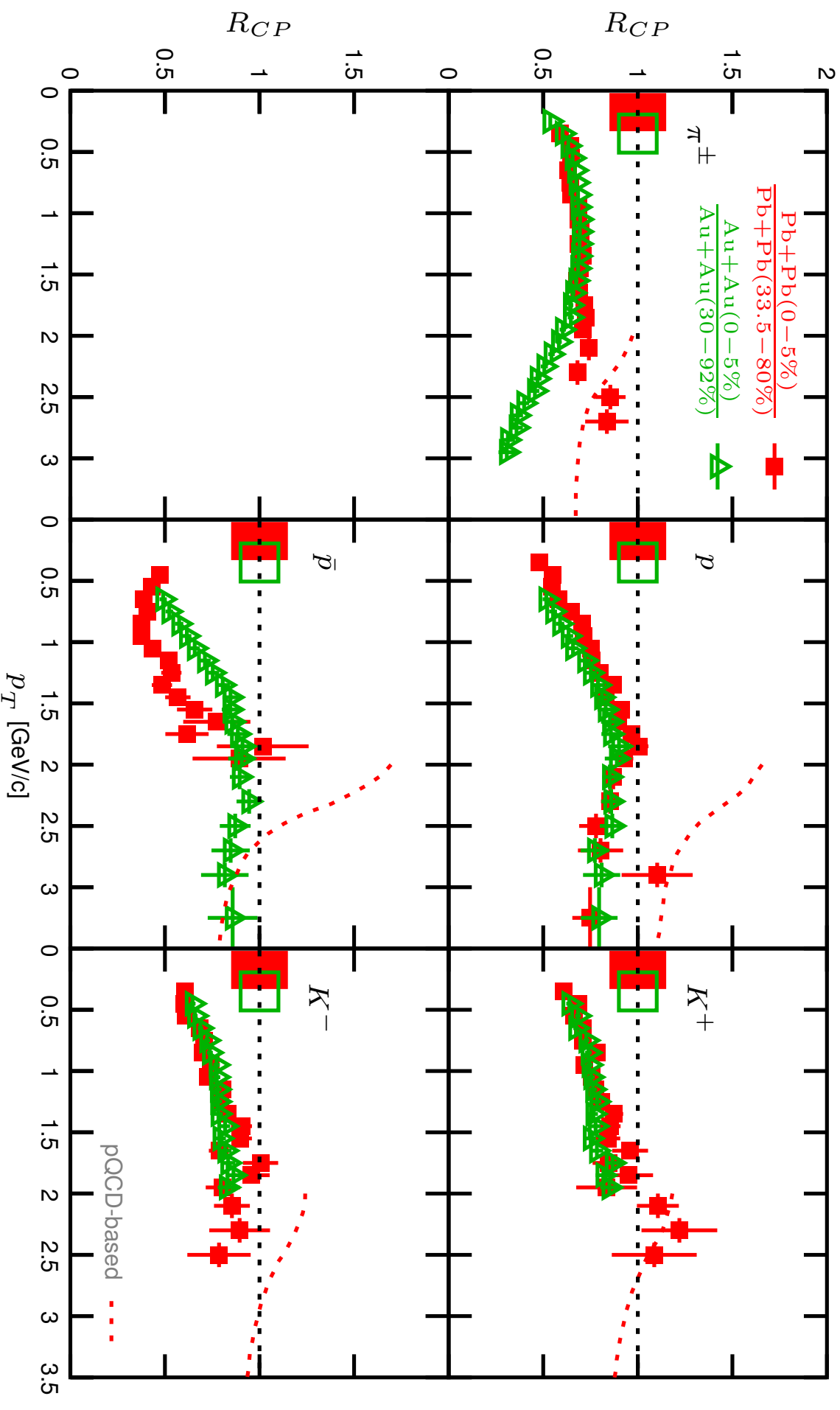
Az R_{AA} energiafüggése. p+W/p+p: D. Antreasyan et al, Phys. Rev. D (1979) 764.



Az $R_{AA/pA}$ energiafüggése. p+C: C. Alt *et al*, Eur. Phys. J. **C49** (2007) 897.



Az R_{CP} energiafüggése.



- ▮ Publikált NA49 hadron-hozamok $0 \text{ GeV}/c \leq p_T < 4.5 \text{ GeV}/c$ tartományban.
- ▮ Publikált eredmények az általános spektrum-visszafejtési probléma megoldására.
- ▮ Barion/mezon és Kaon/pion arányok monoton növekedése centralitással és p_T -vel.
- ▮ A nettó-barion/mezon arányok p_T alakja hibán belül energiafügetlen.
- ▮ A lökéshullám kép nem írja le a barion/mezon arányokat nagy p_T -n, ahogy az várható.
- ▮ A pQCD-alapú energiaveszteség modell nem írja le a keltett-barion/mezon arányokat nagy p_T -n.
- ▮ Az R_{AA}/p_A és R_{CP} görbék nem mutatnak Cronin-növekményt mezonokra, bináris ütközésekkel való skálázás esetén.
- ▮ A pQCD-alapú energiaveszteség modell leírja az R_{CP} görbéket.
- ▮ Erős energiafüggés nagy p_T -n \bar{p} -ra (bár: szisztematikus hibák is nagyobbak).
- ▮ Többi részecskére az R_{CP} görbék nagyon hasonlóak a két extrém energián, de π^\pm -okra van határozott különbség nagy p_T -n.

Referált folyóiratban megjelent kapcsolódó publikációk

- [1] A. László et al. (the NA49 Collaboration):
„*High Transverse Momentum Hadron Spectra at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3\text{GeV}$, in Pb+Pb and p+p Collisions, Measured by CERN-NA49*”;
Physical Review **C** (2007) elfogadva [[arXiv:nucl-ex/0711.0547](https://arxiv.org/abs/nucl-ex/0711.0547)].
- [2] A. László:
„*A Robust Iterative Unfolding Method for Signal Processing*”;
Journal of Physics **A39** (2006) 13621.
- [3] A. László et al. (the NA49 Collaboration):
„*High $p(T)$ Spectra of Identified Particles Produced in Pb Plus Pb Collisions at 158 GeV/nucleon Beam Energy*”;
Nuclear Physics **A774** (2006) 473.

- [4] T. Schuster, A. László *et al.* (the NA49 Collaboration):
„*High $p(T)$ Spectra of Identified Particles Produced in Pb+Pb Collisions at 158 A GeV Beam Energy*”,
Journal of Physics **G32** (2006) S479.
- [5] A. László *et al.* (the NA49 Collaboration):
„*New Results and Perspectives on R_{AA} Measurements Below 20 GeV CM-energy at Fixed Target Machines*”,
International Journal of Modern Physics **E16** (2007) 2516.

További kapcsolódó cikkek

- [6] A. László *et al.* (the NA61 Collaboration):
„*Study of Hadron Production in Collisions of Protons and Nuclei at the CERN SPS*”,
NA49-future Letter of Intent (2006), 2.2 és 4.2. fejezetek
[CDS : CERN-SPSC-2006-001, SPSC-I-235].

- [7] A. László et al. (the NA61 collaboration):
„*Study of Hadron Production in Hadron-Nucleus and Nucleus-Nucleus Collisions at the CERN SPS*”,
NA49-future Proposal (2006), 2.2, 3.5.3 és 4.2. fejezetek
[CDS : CERN-SPSC-2006-034, SPSC-P-330].
- [8] A. László et al. (the NA61 Collaboration):
„*Additional Information Requested in the Proposal Review Process*”,
Addendum to the NA49-future Proposal (2007), 8. fejezet
[CDS : CERN-SPSC-2007-004, SPSC-P-330].
- [9] A. László:
„*High Transverse Momentum Identified Charged Particle Yields in 158 GeV / nucleon Pb+Pb Collisions*”,
NA49 Technical Note (2007) [EDMS : 879787].
- [10] A. László:
„*Calculating Mean Values of Collision Parameters as a Function of Centrality*”,
NA49 Technical Note (2007) [EDMS : 885329].

[11] A. László:

„*Time-dependence Calibration of the Veto Calorimeter*”;

NA49 Technical Note (2006) [EDMS : 815907].