

Kalorimetrický systém experimentu ATLAS

Motivácia

Hľadanie Higgsovho bozónu v rámci SM:

<i>Hmotnostný interval (GeV)</i>	<i>rozpad</i>
$90 < m_H < 100$	$H \rightarrow b\bar{b}$
$90 < m_H < 150$	$H \rightarrow \gamma\gamma$
$130 < m_H < 2m_Z$	$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l^\pm$
$m_H > 2m_Z$	$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l^\pm, 2l^\pm 2\nu$
$m_H \leq 2m_Z$	$H \rightarrow WW, ZZ \rightarrow l^\pm \nu \text{ 2 jets, } 2l^\pm 2 \text{ jets}$

MSSM Higgs

$$A \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow e\mu + 2\nu + 2 \text{ jets}$$

$$H^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu \rightarrow 2 \text{ jets} + l\text{-tag} + b\text{-tag}$$

Je treba identifikovať a rekonštruovať leptony a jety rekonštruovať reťazec invariantných hmotností vedúci k hmotnosti Higgs bozónu .

Fyzikálne požiadavky kalorimetrický systém:

- Presné meranie energie a polohy elektrónov a fotónov
- Meranie energie a smeru jetov
- Meranie chybajúceho priečneho momentu v evente
- Časticová identifikácia (odlíšenie elektrónov a fotónov od hadrónov a jetov, odlíšenie hadronových rozpadov τ -leptónov od jetov).
- Výber eventov na triggerovej úrovni.

Požiadavky diktované luminozi tou:

Pri luminozite $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 20$ mäkkých zrážok / bunch crossing (každých 25 ns) $\Rightarrow$

- Rýchlu odozvu detektora (< 50 ns)
- Vysoká granularita
- Vysoká radiačná odolnosť (resistivity)

Bench mark procesy pre špecifikáciu parametrov EC

- Hľadanie Higgsovho bozónu via $H \rightarrow \gamma\gamma$ a $H \rightarrow 4e$
- Hľadanie ťažkých vektorových bozónov s hmotnosťami až do 5-6 TeV via procesy $W' \rightarrow e\nu$ a $Z' \rightarrow e^+e^-$

Bench mark procesy pre špecifikáciu parametrov HC:

- Rekonštrukcia invariantnej hmotnosti pre $W \rightarrow \text{jet-jet}$ (kritické pre objav Higgsovho bozónu s veľkou hmotnosťou)
- Rekonštrukcia invariantnej hmotnosti pre $H \rightarrow b\bar{b}$ (jetová spektroskopia)
- Identifikácia jetu a jetová spektroskopia je kritická pre fyziku t-kvarku
- V MSSM detekcia rozpadov $A^0 H^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$ vyžaduje rekonštrukciu $\tau\tau$ -hmotnosti, ktorá kriticky závisí od dobrého rozlíšenia po P_T^{miss} .
- Štúdium kompozitnosti kvarkov vyžaduje dobré meranie jetov s veľkým P_T a dobrú linearitu odozvy.
- V SuSy potreba detekovať neinteragujúce častice kladie prísne požiadavky na hermeticitu kalorimetra.

Požiadavky na EM calorimeter

- **Pokrytie intervalu rapidít:** $|\eta| \leq 5$, $\eta = -\ln(\tan \theta/2)$,
pozorovanie procesov $H \rightarrow \gamma\gamma$ a $H \rightarrow 4e$: $|\eta| \leq 2.5$
veľké rapidity ($2.5 \leq |\eta| \leq 5$): rekonštrukcia jetov a meranie E_T^{miss}
- **Rekonštrukcia elektrónov od 1 -2 GeV do 5 TeV:** dolná hranica je daná semileptónovými rozpadmi b, horná hranica: rozpady W' a Z' .
- **Excelentné energetické rozlíšenie v oblasti 10-300 GeV:** žiada sa 1%-rozlíšenie v invariantnej hmotnosti pre $H \rightarrow \gamma\gamma$ a $H \rightarrow 4e \Rightarrow$ Samplingový člen $\leq 10\%/\sqrt{E}$ a konštantný člen $\leq 1\%$.
- **Totálna hĺbka kalorimetra ≥ 24 radiačných dĺžok pri $\eta=0$.**

- **Dynamický rozsah 50 MeV až 3 TeV.** 50 MeV zodpovedá šumu v 1 kanále a horná hranica maximalnej energie uložennej v 1 bunke.
- **Linearita odozvy lepšia než 0.5 % v energetickom rozsahu do 300 GeV.** Je to dané potrebou optimálneho hmotnostného rozlíšenia pre $H \rightarrow \gamma\gamma$ a $H \rightarrow 4e$.
- **Meranie smeru spršky v θ s rozlíšením $\sim 50 \text{ mrad} / \sqrt{E(\text{GeV})}$.** Uhlový príspevok k šírke rekonštruovanej invariantnej hmotnosti $\gamma\gamma$ (rozpad $H \rightarrow \gamma\gamma$) musí byť zanedbateľný.
- **Excelentné fotón/jet odlíšenie.** Je potrebné, aby faktor potlačenia jetov bol 5000 (pri fotónovej efekt. 80%) v intervale $25 \text{ GeV} < p_T < 100 \text{ GeV}$ - len tak je možné potlačiť pozadie γ -jet a jet-jet pre $H \rightarrow \gamma\gamma$.
- **Excelentné elektrón/jet odlíšenie.** Zastúpenie izolovaných elektrónov ($p_T > 20 \text{ GeV}$), od rozpadov W, Z a ťažkých kvarkov, je o 5 rádov menšie ako zastúpenie QCD-jetov (e -jet $\sim 10^{-5}$) pri tých istých p_T .
- **Excelentné τ /jet odlíšenie.** Hlave pre potreby rozpadov $A, H \rightarrow \tau\tau, H^\pm \rightarrow \tau\nu$.

Požiadavky na hadrónový kalorimeter

- **Pokrytie intervalu rapidít:** $|\eta| \leq 5$, Pre rekonštrukciu jetov pre rozpady ťažkých Higgsových bozónov.
- **Granularita.** Najprísnejšie požiadavky: rekonštrukcia jetov z rozpadu $W \rightarrow \text{jet-jet}$ pri veľkých p_T : $\Rightarrow$ granularita : $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$ pri $|\eta| < 3$ a $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.2$ pri $|\eta| \geq 3$.
- **Energetické rozlíšenie.** Je to diktované požiadavkami rozlíšenia energie jetov:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} \oplus 3\% \quad \text{pre } |\eta| < 3 \quad \frac{\Delta E_T}{E_T} = \frac{100\%}{\sqrt{E}} \oplus 10\% \quad \text{pre } 3 < |\eta| < 5$$
- **Energetická linearita.** Potreba ide zo štúdia kvarkovej kompozitnosti : 2% až do priechnej energie 4.TeV.
- **Totálna hrúbka kalorimetra.** 10 interakčných dĺžok sa žiada, aby pohltiť hadrónovú spršku ale tiež potlačiť pozadie v miónovom detektore.

Elektromagnetický kalorimeter

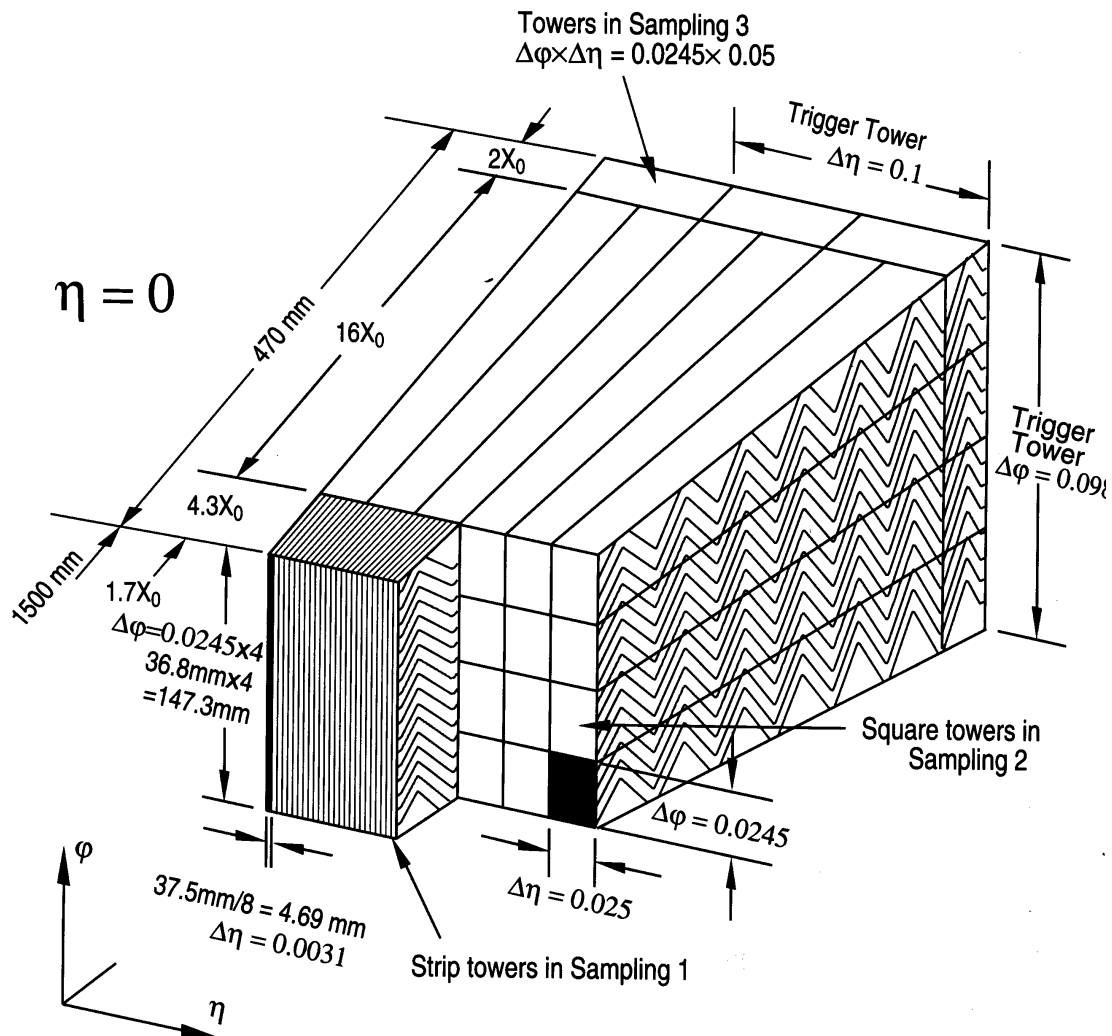
Samplingový kalorimeter – aktívne médium je LAr, pasívnym médium Pb.

Pozostáva z:

1. Barrel calorimeter
2. End-cap calorimeter

Barrel calorimeter. Je umiestnený v kryostate a pozostáva z „half-barrelov“

Kryostat: dĺžka = 6.8 m, vnútorný polomer: **1.15 m**, Vonkajší polomer: **2.25m**



Granularita Elektromagnetického kalorimetra (pseudo-rapidita $\times$ azimut).

η -interval	0 – 1.4	1.4 – 1.8	1.8 – 2.0	2.0 – 2.5	2.5 – 3.2
Presampler	0.025×0.1	0.025×0.1			
Sampling 1	0.003×0.1	0.003×0.1	0.003×0.1	0.003×0.1	0.1×0.1
Sampling 2	0.025×0.025	0.025×0.025	0.025×0.025	0.025×0.025	0.1×0.1
Sampling 3	0.050×0.025	0.050×0.025	0.050×0.025	0.050×0.025	
Trigger	0.1×0.1	0.1×0.1	0.1×0.1	0.1×0.1	0.1×0.1
Readout ch.	110208	25 600	12 228	24 064	1792

Energetické rozlíšenie

Parametrizácia energetického rozlíšenia:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b \oplus \frac{c}{E} = \sqrt{\frac{a^2}{E} + b^2 + \frac{c^2}{E^2}} \quad [E] = \text{GeV}$$

Uvedená formula odráža 2 základné zdroje fluktuácií:

1. Fluktuácie spôsobené tým, že len časť energie incidentnej častice sa uloží v aktívnom médiu (samplingové fluktuácie) – popisuje ich prvý (**samplingový**) člen v (1).
2. Fluktuácie spôsobené nehomogenitami kalorimetra (včítane zberu signálu), unikom časti energie a pod. – sú popísané druhým (**konštantným**) členom v (1).
3. Fluktuácie spôsobené šumom elektroniky – tretí (**elektronický**) člen v (1).

Samplingové fluktuácie majú poissonovský charakter ($\sim 1/\sqrt{E}$) – v čom je príčina?

Rozdeľme energiu E pohltenu kalorimetrom na „kvantá“ veľkosti ε . Celkový počet kvánt

bude $N = E/\varepsilon$ a stredný počet „kvánt“ pohltенých v aktívnom médiu je: $N_a = S_f \frac{E}{\varepsilon}$.

Počet kvánt pohltенých v aktívnom médiu je náhodná veličina s Poissonovým rozdelením:

$\delta N_a = \sqrt{N_a}$ a pre rozlíšenie ideálneho kalorimetra (bez nehomogenít):

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\delta N_a}{N_a} = \sqrt{\frac{\varepsilon/S_f}{E}} \quad (2)$$

Odozva kalorimetra a jeho energetické rozlíšenie – výsledky modelovania

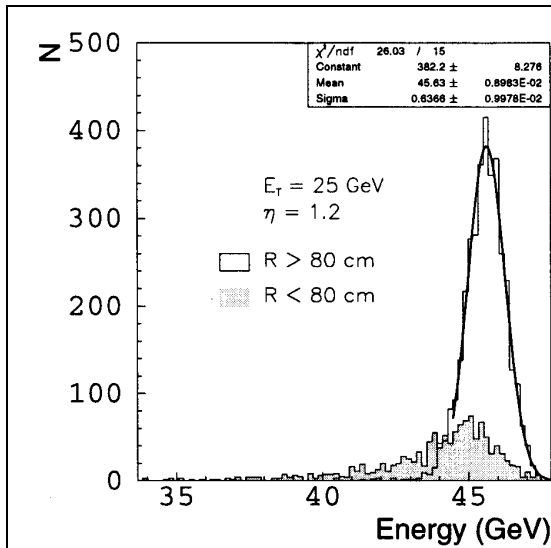


Fig. 1: Rekonštruovaná energia s (biely histogram) a bez (tieňovaný histogram) presamplera

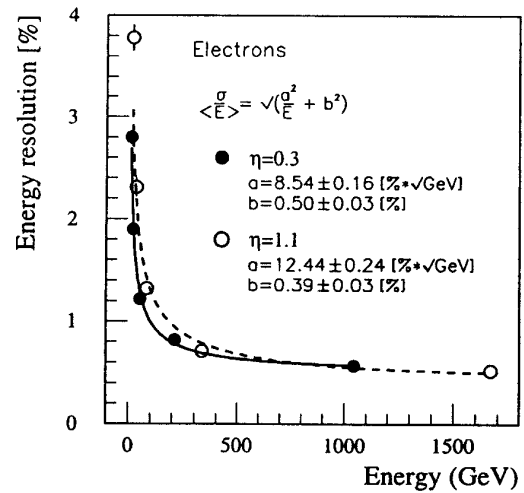


Fig. 2: Energetické rozlíšenie pre elektróny s $\eta=0.3$ a 1.1 ako funkcia incidentnej energie

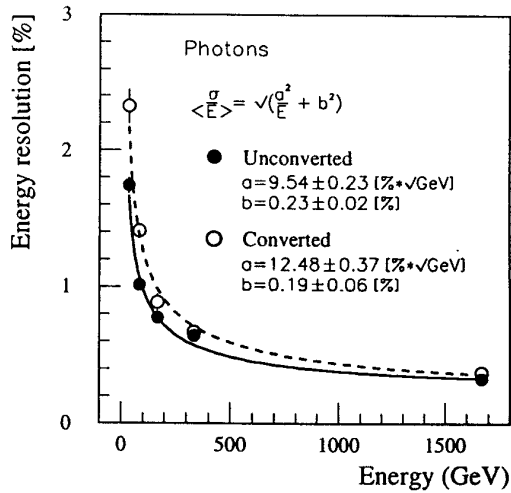


Fig. 3: Energetické rozlíšenie pre konvertované a nekonvertované fotóny s $\eta=1.1$ ako funkcia incidentnej energie

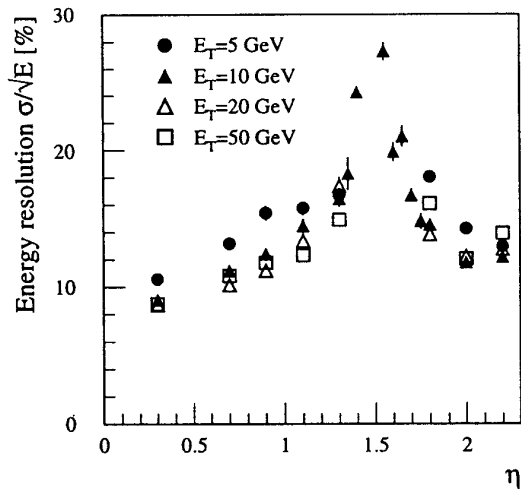


Fig. 4: Energetické rozlíšenie pre elektróny s rôznymi priečnymi energiami ako funkcia pseudo-rapidity.

Experimentálne merania:

Nehomogenity v EC

Pri vysokých energiách (>200 GeV) z hľadiska renergetického rozlíšnia rozhodujúcu úlohu hrá konštantný člen (**b**) spôsobený nehomogenitami kalorimetra.

Potreba je : $b \leq 0.7\%$

Fig. 5: Odozva kalorimetra na fotóny s $E_T=50$ GeV ako funkcia ϕ v rámci jednej bunky získaná pri rôznych pseudorapiditách: $\eta=1.1, 1.9, 2.2$ a 2.4 . Kaptonová jednotka $\frac{1}{4}$ bunky. Body súpreložené korekčnou funkciou.

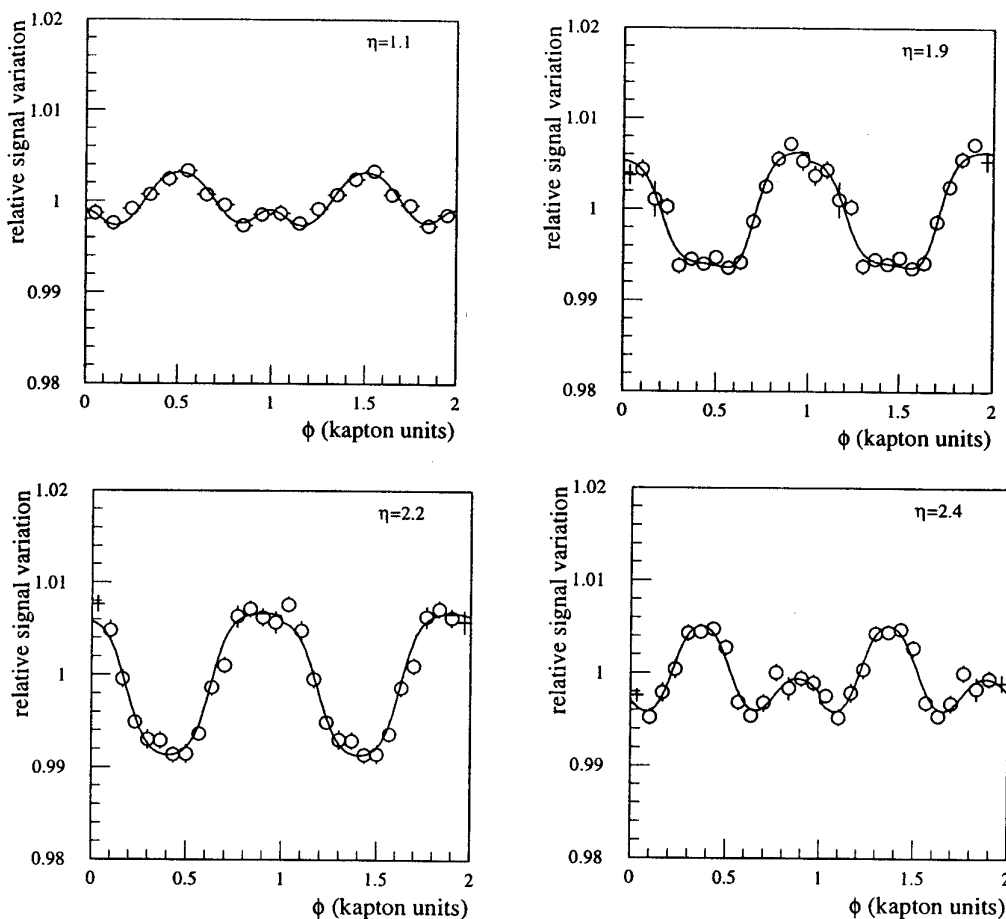


Fig. 6: Odozva EC kalorimetra na fotóny s $E_T=50$ GeV ako funkcia ϕ pre $\eta = 1.1, 1.8, 2.2$ a 2.4 . Kaptonová jednotka jwe 1-4 bunky.

Aplikácia korekčných funkcií umožňuje znížiť konštantný člen!

Hadrónový kalorimeter

Komponenty:

- Hadrónový scintilačný tile kalorimeter**

1. Barrel $|\eta| \leq 1.0$
2. Extended barrel $0.9 \leq |\eta| \leq 1.6$

- Hadrónový LAr kalorimeter**

1. End-cap $1.5 \leq |\eta| \leq 3.2$
2. Forward $3.1 \leq |\eta| \leq 4.9$

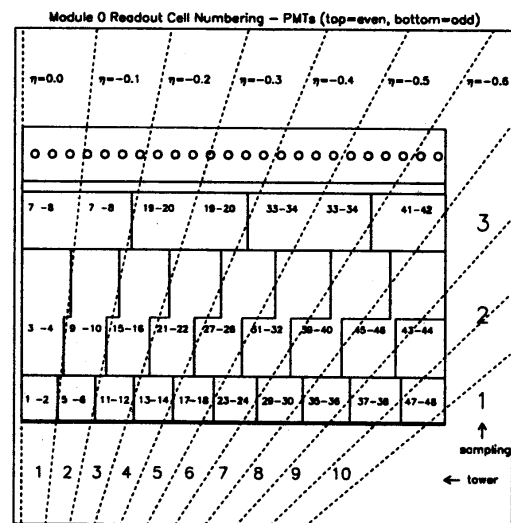
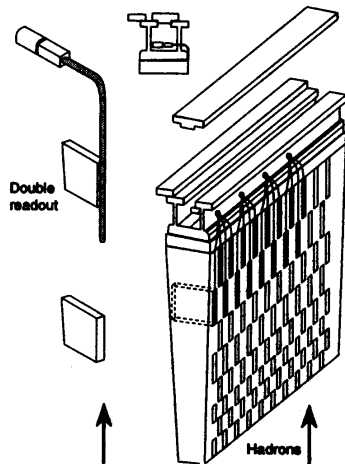


Fig. 7: Princíp návrhu tile kalorimetra. Aktívne médium (scint. Tile) sa strieda s pasívnym médium (železo). Svetelný signál sa odvádza prostredníctvom vlákien

Fig. 8: Rozpoloženie buniek v jednej polovine barrela, vlákna sú zgrupované tak, že sa kalorimeter delí na 3 samplingy.

- Granularita: $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$ 1. a 2. sampling
 $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.1$ 3. Sampling
- Na každú bunku sa dívajú 2 fotonásobiče,
- Celkové $\approx 10\,000$ kanálov (fotonásobičov)
- Hĺbka kalorimetra (spolu s LAr) : **9.2 λ** pri $\eta=0$.

Rekonštrukcia energie z hadrónového a kombinovaného kalorimetra

Energia v hadrónovom kalorimetre : $E = a \sum_i S_i$

Kde S_i je signál z i -tej bunky v pC a a je konverzný koeficient $pC \rightarrow GeV$.

Energetické rozlíšenie: $\frac{\sigma}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b \quad [E] = GeV$

Nekompenzovanosť: Odozva na elektromagnetické častice ($e^\pm, \gamma$) je iná ako na hadróny.

Mierou nekompenzovanosti je pomer e/π

$$e/\pi = \frac{e/h}{1 + (e/h - 1)F_{\pi^0}}$$

Kde

F_{π^0} je podiel energie π^0 na celkovej energii hadrónovej kaskády,

$e(h)$ je konverzný koeficient pohltenej energie na signál prčistú elektromagnetickú (hadrónovú) kaskádu.

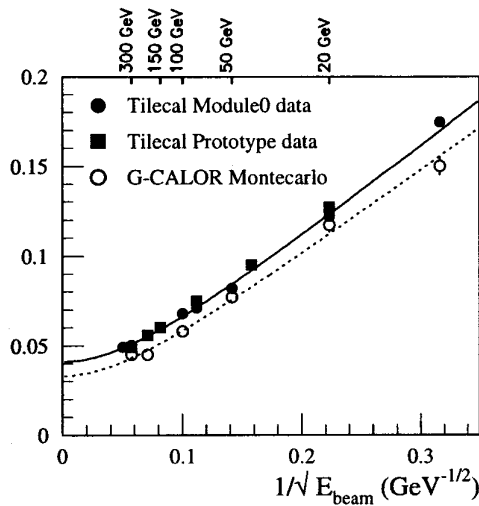


Fig. 9: Energetické rozlíšenie Tile kalorimetra pre pióny (test beam experiment 10-400 GeV).

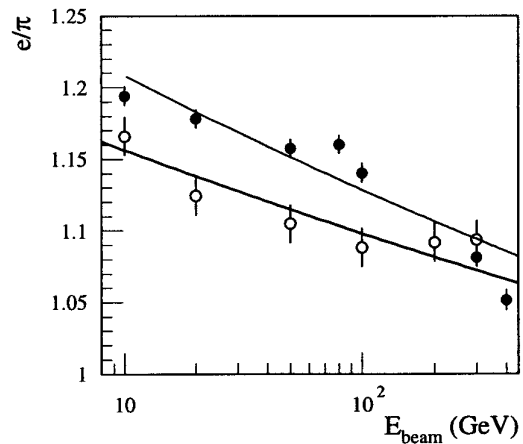


Fig. 10: e/p pomermeraný Tile-kalorimetrom pre pióny (10-400) GeV.

Kombinovaný kalorimeter

Energia v kombinovanom kalorimetre:

- $E = aE_{had} + E_{em} + bE_{em}^2 + c\sqrt{aE_{had}^{(1)} + E_{em}^{(3)}}$ (benchmark approach)
- $E = \sum_{em-cells} (W_{em}(E_{cell}) \cdot E_{cell}) + \sum_{had-cells} (W_{had}(E_{cell}) \cdot E_{cell}) + E_{cryo}$ (H1 metóda)

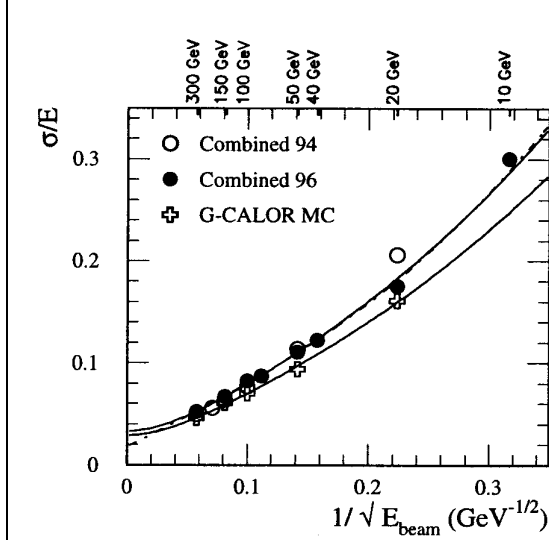


Fig. 11: Energetické rozlíšenie pre pióny (benchmarková metóda)

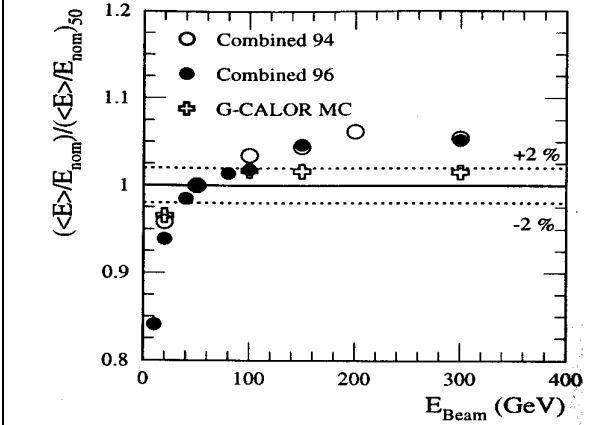


Fig. 12: Relatívna nelinearita ako funkcia incidentnej energie (benchmarková metóda).

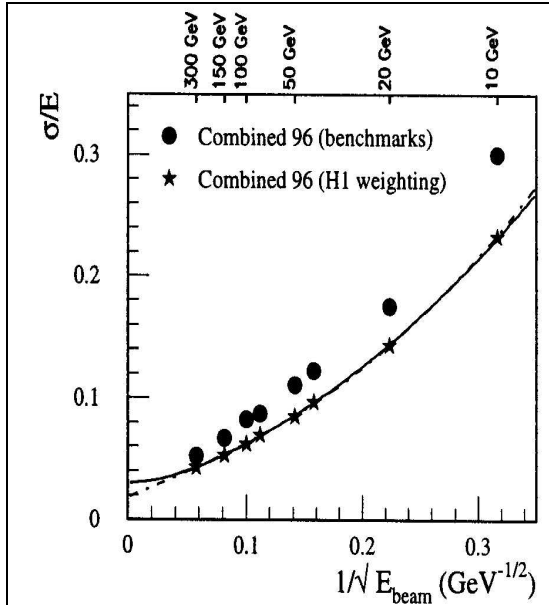


Fig. 13: Energetické rozlíšenie pre pióny (H1 váhová metóda)

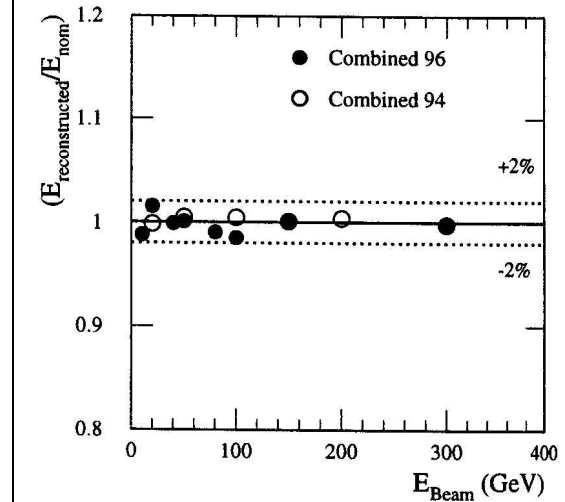


Fig. 14: Relatívna nelinearita ako funkcia incidentnej energie (H1 váhová metóda).

Bratislava v ATLASE

- **Rekonštrukcia experimentálnej informácie z hadrónového kalorimetra**

Rozvíjame metódu umožňujúcu potlačiť efekt neskompensovanosti
hadrónového kalorimetra

Nekompenzovanosť kalorimetra: odozva kalorimetra na hadrón sa líši od
odozvy na $e^\pm \gamma$.

Pritom

podiel energie π^0 v interakciách hadrónov rastie ako **$\log E$** ,
fluktuácie energie π^0 sú veľké.

Dôsledok:

- a) **zhoršenie rozlíšenia kalorimetra**
- b) nelineárnosť odozvy s rastúcou energiou

Kto:

R. Garabík, P. Šťavina, S. Tokár, T. Ženiš

- **Testovanie fotonásobčícov metódou jedno-fotoelektrónovej analýzy**

Rozvíjame metódu umožňujúcu nájsť a kontrolovať základné parametre spektrometrického kanála založeného na fotonásobiči.

Kto:

I.Fedorko, I. Sýkora, S. Tokár

- ***Top fyzika***

Preštudovať možnosť priamej rekonštrukcie náboja t-kvarku pomocou experimentu ATLAS