

Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki

Mieszko Maciej Maćkowski
Nr albumu: 264349

Analiza pierwszych danych trygera RPC w eksperymentach CMS przy Wielkim Zderzaczu Hadronów

Praca Licencjacka
na kierunku Fizyka

Praca wykonana pod kierunkiem
dr Marcina Koneckiego
w Zakładzie Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

Warszawa, Czerwiec 2012

Oświadczenie kierującego pracą

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data

Podpis kierującego pracą

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data

Podpis autora pracy

Streszczenie

Obszarem zainteresowania tej pracy jest analiza pierwszych danych trygera mionowego opartego o komory RPC w eksperymencie CMS. Analizowane dane zostały zebrane dnia 30 marca 2010 podczas pierwszego uruchomienia akceleratora LHC przy energii 7 TeV.

Pierwsze rozdziały zawierają podstawowe informacje na temat budowy i działania LHC, CMS-u i Trygera RPC, dalszą część tego dokumentu stanowią wyniki analizy wyżej wymienionych danych, w szczególności znalezienie pierwszego mionu i oszacowanie wpływu mionów kosmicznych.

W analizowanych danych znaleziono 61 przypadków powstania mionu w zderzeniu p-p, w jednym ze zderzeń powstały dwa miony.

Słowa kluczowe

LHC, RPC, CMS, Tryger, Analiza

Dziedzina pracy (kody wg programu Socrates-Erasmus)

13.2 Fizyka

Analysis of the first data recorded by the RPC trigger of the CMS experiment at the Large Hadron Collider.

Spis treści

1	Wstęp	5
2	LHC	5
3	CMS: Compact Muon Solenoid	5
3.1	Budowa	6
3.2	Detektor śladowy	6
3.3	Kalorymetr Elektromagnetyczny	6
3.4	Kalorymetr Hadronowy	7
3.5	Detektor Mionowy	7
4	System wyzwalania (tryger)	8
4.1	Tryger Kalorymetryczny	9
4.2	Mionowy Tryger L1	9
4.3	Tryger RPC i PAC	10
5	Program rekonstrukcji zdarzeń CMS	10
5.1	CMSSW	10
5.2	Zdarzenie	10
6	Analiza	11
6.1	Dane	11
6.2	Selekcja torów	11
6.3	Pierwsze miony	12
6.4	Miony kosmiczne	13
7	Podsumowanie	14

1 Wstęp

Obszarem zainteresowania tej pracy jest analiza pierwszych danych trygera mionowego opartego o komory RPC w eksperymencie CMS. Analizowane dane zostały zebrane dnia 30 marca 2010 podczas pierwszego uruchomienia akceleratora LHC przy energii 7 TeV. Przypadająca na to uruchomienie sesja zbierania danych (ang.: run) ma numer 132440. Pierwsze rozdziały zawierają podstawowe informacje na temat budowy i działania LHC, CMS-u i Trygera RPC, dalszą część tego dokumentu stanowią wyniki analizy wyżej wymienionych danych, w szczególności znalezienie pierwszego mionu i oszacowanie wpływu mionów kosmicznych.

2 LHC

Large Hadron Collider czyli Wielki Zderzacz Hadronów jest największym na Ziemi akceleratorem cząstek, przyspiesza on dwie przeciwbieżne wiązki protonów (albo ciężkich jonów, konkretnie ołowiu), których zderzenia będą analizowane przez cztery główne detektory: ATLAS, CMS, ALICE i LHCb. Docelowa energia zderzeń wynosi 14 TeV w układzie środka masy, protony przyspieszane są w „paczkach” (ang.: bunch) po $\sim 10^{11}$ sztuk. Paczki znajdują się w odległości 7,5 m od siebie co przy prędkości protonów wynoszącej 0,999999991 c oznacza że zderzenia będą zachodzić co 24,95 ns, który to okres czasu (nazywany „Bunch crossing” - BX) staje się naturalną podstawą do synchronizacji urządzeń, w szczególności, odczytujących dane. W zderzeniu paczek (nazywanym „zdarzeniem”, ang.: event), zachodzącym z częstotliwością ≈ 40 MHz, następuje około 10 zderzeń proton-proton. Na całym 27 km obwodzie akceleratora zmieściłyby się 3564 paczki, jednak ze względu na sposób ich podawania i usuwania, używane będzie 2808 paczek. Takie tempo zderzeń jest konieczne, ponieważ interesujące efekty mają bardzo niskie prawdopodobieństwo wystąpienia.

Obecna energia akceleratora to 7 TeV przy świetlności $\sim 10^{33} \frac{1}{cm^2 s}$.

3 CMS: Compact Muon Solenoid

Compact Muon Solenoid jest jednym z czterech głównych eksperymentów pracujących przy LHC. Zgodnie z nazwą głównym założeniem projektowym CMS-u było zbudowanie skutecznego detektora mionowego z dobrym kalorymetrem elektromagnetycznym i śledzeniem cząstek w pobliżu zderzenia. Przewiduje się, że CMS umożliwi zrozumienie łamania symetrii elektroslabej, zarejestrowanie produktów rozpadu bozonu Higgsa, jeśli ten istnieje, precyzyjniejsze zbadanie Modelu Standardowego, poszukiwanie cząstek supersymetrycznych, być może nawet odkrycie nieprzewidywanych aktualnie zjawisk.

3.1 Budowa

Detektor kształtem przypomina walec o promieniu podstawy 7,3m i wysokości 21,6m, przez oś którego przebiega wiązka akceleratora. Sam detektor składa się z czterech głównych podsystemów z których każdy został zoptymalizowany do mierzenia innych cząstek lub własności. Podsystemy te w kolejności od położonych najbliżej wiązki to:

- detektor śladowy
- kalorymetr elektromagnetyczny
- kalorymetr hadronowy
- detektor mionowy

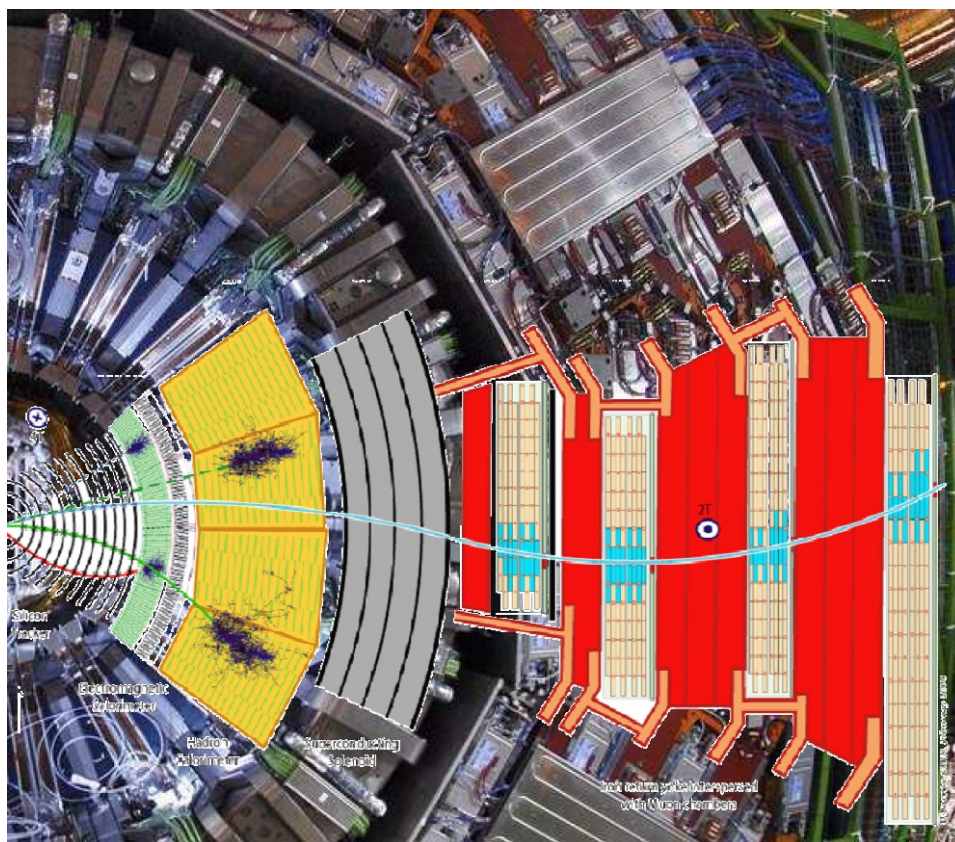
Obszary podsystemów odpowiadające podstawie walca nazywane są "pokrywa"(endcap) a obszary odpowiadające krawędzi bocznej walca nazywane są "beczka"(barrel). Rysunek 1 przedstawia przekrój detektora w poprzek osi wiązek akceleratora, na tym rysunku dookoła kalorymetru hadronowego widać jeszcze cewkę nadprzewodzącą generującą pole magnetyczne. Kolorowe linie pokazują przykładowe toru cząstek w układzie.

3.2 Detektor śladowy

Detektor śladowy (ang.: tracker) jest zbudowany z elementów półprzewodnikowych i wykrywa przejścia cząstek naładowanych w bezpośrednim pobliżu miejsca zderzenia (promień od 4 cm do 110 cm od osi wiązki) umożliwiając rekonstrukcję torów cząstek, a dzięki obecności pola magnetycznego, określenie pędu i ładunku, a także w połączeniu z danymi z pozostałych poddetektorów, umożliwia skuteczniejszą eliminację mionów kosmicznych z końcowych danych. Łącznie w beczce umieszczono 14 a w pokrywach 11 warstw detektorów półprzewodnikowych zapewniających rozdzielczość pojedynczego pomiaru do 10 μm .

3.3 Kalorymetr Elektromagnetyczny

Kalorymetr elektromagnetyczny detektora CMS oparty jest na scyntylatorze wykonanym z wolframu ołowiu ($PbWO_4$) i fotodiodach lawinowych (w beczce) lub fototriodach próżniowych (w pokrywach). Własnościami które zdecydowały o wyborze wolframu ołowiu są: szybka emisja światła (większość energii jest oddawana w ciągu 25 ns) pozwalająca przypisać kaskadę do zderzenia, odporność na promieniowanie, a także niewielki promień Molieré'a i droga radiacyjna. Kalorymetr elektromagnetyczny jest kalorymetrem jednorodnym.



Rysunek 1: Przekrój detektora, prostopadle do osi wiązki. Na zdjęcie detektora nałożony jest schemat podsystemów CMS-u i przykładowe torry cząstek.

3.4 Kalorymetr Hadronowy

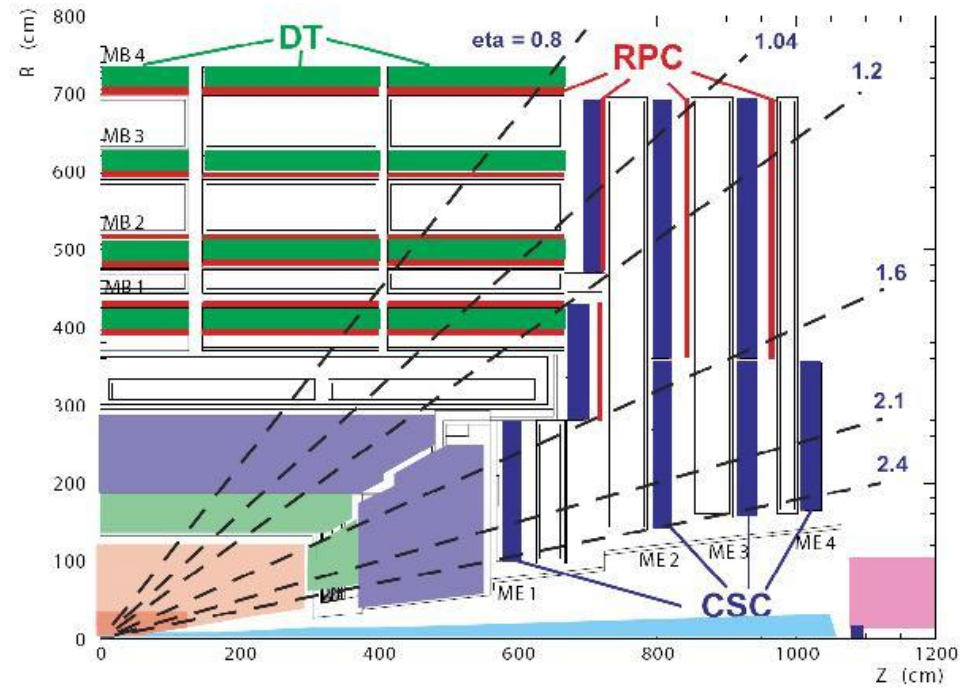
Kalorymetr hadronowy jest kalorymetrem próbkującym. Płytki plastikowego scyntylatora są ułożone na przemian z miedzianymi płytami w kilkunastu warstwach (z czego większość jest wewnątrz cewki stanowiąc główny kalorymetr, reszta tworzy zewnętrzny kalorymetr). Duża gęstość i krótka droga swobodna cząstek w miedzi oznacza że niemal całość energii zostanie zatrzymana w kalorymetrze, podczas gdy świecenie scyntylatora umożliwia zmierzenie energii zdeponowanej na danej warstwie i poprzez sumowanie kolejnych warstw określenie całej energii.

3.5 Detektor Mionowy

Detektor mionowy zbudowany jest z 3 różnych typów detektorów: Drift Tubes, Cathode Strip Chambers i Resistive Plate Chambers. Rysunek 2 pokazuje rozmieszczenie detektorów mionowych.

Działanie wszystkich trzech typów wykorzystuje to samo zjawisko, umiesz-

czony w nich elektrody wytwarzają pole elektryczne, gdy naładowana cząstka przelatuje przez gaz, jonizuje go a pole elektryczne powoduje jednocześnie dryf i wzmocnienie kaskady uwolnionych elektronów do przewodów odczytujących. Różnica tkwi w sposobie odczytu, w RPC (zastosowane w całym detektorze, łącznie 1236 elementów) mierzy się przepływ ładunku indukowanego przez kaskadę na przewodach uzyskując w ten sposób rozdzielczość czasową rzędu 2 ns ale przestrzenną rzędu centymetrów, podczas gdy DT (zastosowane w beczce, 250 elementów) i CSC (zastosowane w pokrywach, 468 elementów) odczytują ładunek jaki dociera do elektrod i zapewniają rozdzielczość przestrzenną rzędu μm i czasową rzędu dziesiątek ns . W tym układzie DT/CSC zapewniają dokładne parametry toru, podczas gdy RPC pozwala szybko uzyskać ogólny obraz i podjąć decyzję, dodatkowo RPC pomagają eliminować niejednoznaczności w przypisaniu cząstki do zdarzenia, które mogą się pojawić w elementach DT/CSC.



Rysunek 2: Przekrój detektora w płaszczyźnie zawierającej oś wiązki, widoczna jest jedna czwarta części detektora. Elementy systemu mionowego (RPC/DT/CSC) zostały wyróżnione.

4 System wyzwalania (tryger)

Szacowana ilość danych generowanych przez systemy CMSu wynosi 1MB na zdarzenie, przy częstotliwości zderzeń równej 40MHz CMS produkowałby 40

TB/s danych. Zapisanie i późniejsze przetworzenie takiej ilości informacji w praktyce nie jest możliwe. Tak się jednak składa że olbrzymia większość z tych danych nie będzie zawierać śladów nowych zjawisk nie jest więc użyteczna.

Wyżej wymienione ograniczenia powołały do życia stosowne układy selekcyjonujące obiecujące przypadki, które zostaną zapisane i poddane dalszej analizie. Zarezerwowana dla CMS-u moc obliczeniowa pozwala na tempo przetwarzania rzędu 100 MB/s czyli z 40 milionów potencjalnych zdarzeń należy wybrać kilkaset.

„System wyzwalania pierwszego stopnia” (ang.: Level-1 Trigger) jest pierwszym etapem selekcji, decyduje o tym które przypadki zostaną natychmiast odrzucone, a które odczytane i przekazane do trygera następnego stopnia. Decyzję wydaje Globalny Trigger na podstawie ocen Trygerów Mionowego i Kalorymetrycznego (dane z detektora śladowego nie są używane).

Ponieważ nie jest możliwe wypracowanie decyzji trygera w czasie pomiędzy zderzeniami zaimplementowano bufor typu first-in-first-out, które przechowują dane z poszczególnych podsystemów detektora do czasu uzyskania werdyktu. Sam algorytm decydujący o przyjęciu/odrzuconiu jest podzielony na wykonywane sekwencyjnie kroki zajmujące po 25 ns.

4.1 Tryger Kalorymetryczny

Ta część układu wyszukuje izolowane i nieizolowane elektrony, fotony, dżety hadronowe, oblicza sumaryczną i brakującą energię a następnie wysyła po cztery najlepsze obiekty z każdej kategorii do Globalnego Trygera.

4.2 Mionowy Tryger L1

Tryger mionowy składa się z 3 sekcji, odpowiadających za poszczególne elementy detektora mionowego (DT - beczka, CSC - pokrywy, RPC - całość). Każda z sekcji autonomicznie bada dane z podlegającej jej części systemu mionowego (wyjątkiem jest granica beczka-pokrywa gdzie następuje wymiana między systemami DT-CSC i pokrywa gdzie CSC posiłkuje się danymi z RPC) i dostarcza 4 najbardziej obiecujące miony z beczki i 4 z pokrywy. Globalny Tryger Mionowy (Global Muon Trigger - GMT) porównuje otrzymane dane, w szczególności łącząc parametry (i w ten sposób zwiększając precyzję ich pomiaru) które pochodzą od tego samego mionu wykrytego w różnych systemach po czym przekazuje cztery miony do Globalnego Trygera. GMT na podstawie jakości (zależnej od liczby warstw RPC w których wykryto dany mion) i poprzecznej składowej pędu (przekazywanej jako „kod pędowy” ang.: ptCode - informacja do którego przedziału pędów należy pęd mionu) wybiera miony które zostaną przekazane do Globalnego trygera.

4.3 Tryger RPC i PAC

Mion przechodzący przez detektory RPC aktywuje je pozostawiając w ten sposób informację o swoim przejściu. Aktywowane przez dany mion segmenty układają się w pewien „wzór” (ang.: pattern) zależny od jego toru. Dzięki obecności pola magnetycznego krzywizna toru zależy od poprzecznego pędu co oznacza, że miony o różnych pędach będą pozostawiać inny wzór aktywnych segmentów. Znając budowę detektora można przewidzieć jaki wzór aktywacji pozostawi mion o parametrach z danego przedziału i to właśnie wykorzystuje system PAC czyli PAttern ComparatOr stanowiący serce trygera RPC. PAC zbudowany w oparciu o FPGA (Field Programmable Gate Array - pol.: bezpośrednio programowalna macierz bramek) automatycznie porównuje przewidziane wcześniej wzory z śladem przejścia cząstki, w ten sposób bardzo szybko i z wystarczającą (na potrzeby trygera) dokładnością określając jej parametry.

5 Program rekonstrukcji zdarzeń CMS

5.1 CMSSW

Compact Muon Solenoid SoftWare jest opartym na C++ środowiskiem zawierającym olbrzymią ilość narzędzi (modułów) obsługujących i analizujących zawarte w zdarzeniach dane. Korzystając z już istniejących elementów [2] można skonstruować całe spektrum programów analizujących przypadki.

5.2 Zdarzenie

Jeśli przypadek zostanie zaakceptowany przez Tryger L1 to dane z detektorów zostają przejęte przez Data Acquisition System (DAQ). Dalej ze zdarzenia jako zderzenia paczek zostaje skonstruowane zderzenie czyli logiczna jednostka informacji na temat dango przypadku (zaimplementowana jako klasa w języku C++).

Z surowych (RAW) danych zebranych z detektorów gazowych w procesie konstruowania zdarzenia budowane są dane typu RECO, czyli zrekonstruowane tory, dżety, miony, fotony i inne obiekty. Dane typu RECO (RECO-nstructed) służą do konstrukcji danych AOD (Analysis Object Data), które zajmują znacznie mniej miejsca niż surowe dane a zawierają wszystkie informacje potrzebne przy analizie zjawisk fizycznych. Oba typy danych mają za zadanie zachować na tyle dużo informacji żeby pełna analiza zjawisk fizycznych była możliwa, a jednocześnie na tyle mało żeby kopia zdarzenia nie zajmowała zbyt dużo miejsca i jako taka mogła być łatwo kopiowana i rozprowadzana do poszczególnych centrów obliczeniowych (przypominam że mówimy o zdarzeniach na sekundę, każde generujące około 1 MB danych typu RAW).

6 Analiza

6.1 Dane

Dane które analizowałem zostały zebrane 30 marca 2010 roku w czasie pierwszego uruchomienia LHC o energii 7 TeV w układzie środka masy. W czasie tego uruchomienia przyspieszane były tylko dwie paczki protonów (po jednej na każdy kieuunek obiegu). W opracowywanych przeze mnie danych Tryger RPCs wykrył 65 mionów.

Moim celem było przejrzanie tych danych w poszukiwaniu potencjalnie interesujących informacji, m.in. znalezienie pierwszego Mionu wykrytego w tym uruchomieniu akceleratora. W tym celu (korzystając z możliwości CMSSW) napisałem program przeglądający zebrane dane i porównujący miony zwrócone przez Tryger L1 z torami zrekonstruowanymi na podstawie innych źródeł (detektora śladowego).

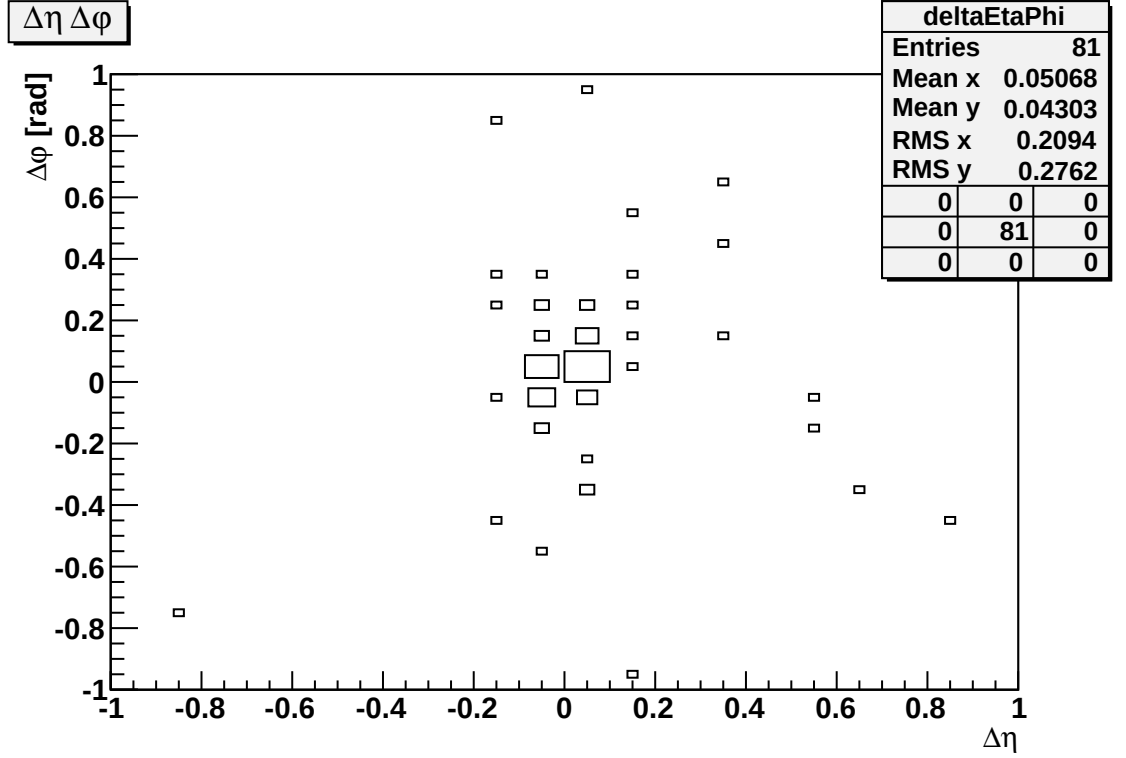
Z technicznego punktu widzenia porównanie to polega na wzięciu toru zrekonstruowanego przez detektor śladowy i, znając rozkład pola magnetycznego w detektorze, przedłużenie (ang.: propagation) go do obszaru w którym pracują elementy RPC, z założeniem że dana cząstka jest mionem o takim pędzie jaki zmierzył detektor śladowy. W ten sposób można najpierw określić co wykryłyby tryger RPC gdyby to miony pozostawiły te tory, po czym sprawdzić o ile tak przedłużony tor odbiega od znalezionych przez tryger obiektów.

6.2 Selekcja torów

Różnice parametrów propagowanych torów z danymi trygera można przedstawić w postaci histogramu (Rysunek 3). W razie przyjęcia luźnych kryteriów dopasowania (w tym przypadku $\Delta\varphi = 1$ i $\Delta\eta = 1$) okazuje się że zrekonstruowanych obiektów jest więcej niż potencjalnie wykrytych mionów. Nie ma w tym nic dziwnego, w wyniku zderzenia powstaje więcej cząstek niż jeden mion, niektóre mogą zostawić tory które po propagacji trafiają w odpowiedni obszar trygera.

Oczywiście przyjęcie odpowiednio szerokich dozwolonych zakresów różnic sprawiłoby, że każdy obiekt znaleziony przez tryger zostanie dopasowany do jakiegoś toru detektora śladowego, dlatego konieczne jest nałożenie pewnych ograniczeń. Najlepiej byłoby, gdyby możliwe było przypisanie jednego toru do jednego obiektu L1, nie jest to jednak konieczne, obszarem zainteresowania tej pracy jest tryger RPC i jego własności, nie algorytmy rekonstruujące. Jednowymiarowe rozkłady jednego parametru przy związaniu drugiego (pozostawieniu niewielkiego dopuszczalnego zakresu różnic) dają pewną podstawę do określenia sensownych granic na $\Delta\varphi$ (Rysunek 4) i $\Delta\eta$ (Rysunek 5).

W ten sposób ograniczyłem rozpiętość parametrów do wartości $\Delta\varphi = 0.6$

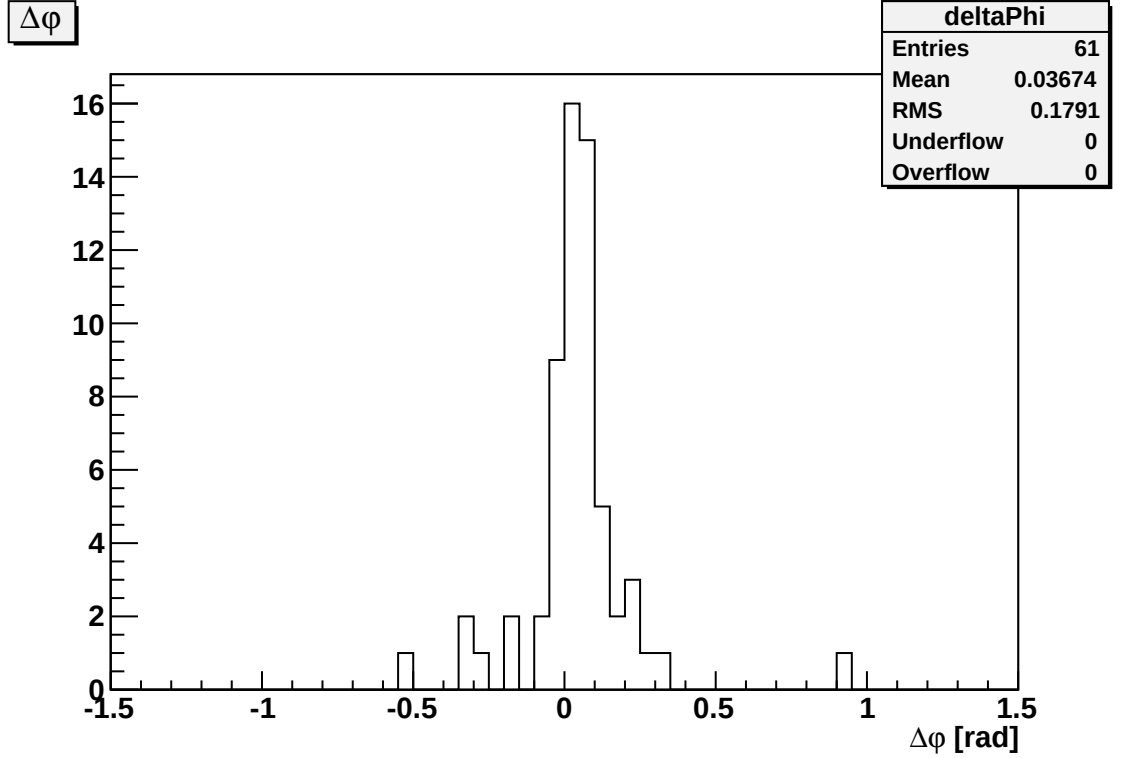


Rysunek 3: Rozkład odchylek parametrów L1 od parametrów zrekonstruowanych torów

$\Delta\eta = 0.2$. Rozkład różnic parametrów po zastosowaniu takich cięć przedstawiony jest na rysunku 6, rozkład ten zawiera odchylki parametrów wszystkich torów które według ww. cięć mogą pasować do wykrytych mionów, rysunek 7 zawiera $\Delta\eta$ $\Delta\varphi$ torów najbliższych wykrytym mionom. Parametry obiektów L1, którym odpowiada jakiś zrekonstruowany tor umieszczone są na histogramach 8 (pęd), 9 (η), 10 (φ). Taką selekcję przetrwało 62 miony znalezione przez RPC co oznacza, że z początkowej liczby 65-u trzy zostały uznane za miony kosmiczne. W prawie wszystkich przypadkach były wykrywane pojedyncze miony, jedno zdarzenie było podwójne.

6.3 Pierwsze miony

Pierwszy wykryty przez tryger RPC mion jest zwizualizowany na rysunku 12, jego parametry według trygera RPC to: pęd do $3 \frac{GeV}{c}$, η : 1.545, $\Delta\eta$: 0.017413, φ : 6.23955, $\Delta\varphi$: 0.0233241 numer zdarzenia: 3391445 (Lumisection 150) i pęd w wierzchołku: $3.13853 \frac{GeV}{c}$, a został wykryty przez pokrywę. Mion ten pojawił się w czasie kiedy napięcie w komorach RPC ciągle było podnoszone.



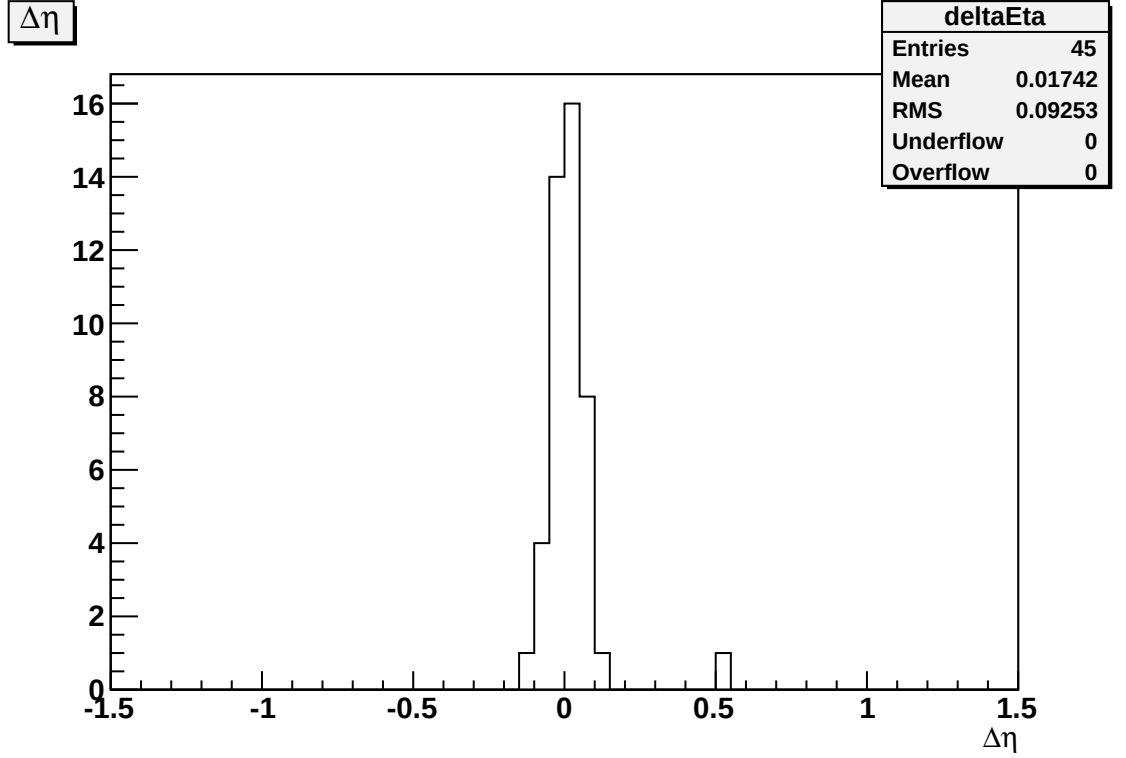
Rysunek 4: Histogram rozkładu $\Delta \varphi$, przy przyjęciu maksymalnego dopuszczalnego $\Delta \eta = 0.1$, z tego rozkładu przyjąłem że $\Delta \varphi$ między propagowanym torom a mionem RPC nie powinno przekraczać 0.6. Zbieżność liczby zaakceptowanych torów z liczbą zweryfikowanych zdarzeń jest przypadkowa.

Pierwszy podwójny przypadek składał się z mionów o następujących parametrach (pierwszy mion) pęd do $7 \frac{GeV}{c}$, η : 0.355, $\Delta\eta$: -0.00255573, φ : 0.0872665, $\Delta\varphi$: -0.0328139, pęd w wierchołku: $7.35531 \frac{GeV}{c}$, (drugi mion) pęd do $4 \frac{GeV}{c}$, η : -0.88, $\Delta\eta$: 0.0533848, φ : 4.84329, $\Delta\varphi$: 0.0802248, pęd w wierchołku: $3.4107 \frac{GeV}{c}$, numer zdarzenia: 7157758 (Lumisection 303).

6.4 Miony kosmiczne

W zderzeniach p-p cząstki będą produkowane w sposób nie wyróżniający żadnej z wartości φ , dlatego też jeśli Tryger L1 potrafi eliminować miony kosmiczne to rozkład φ znalezionych mionów powinien być rozkładem płaskim.

Według danych z wykresu 10 wartości zbliżone do $\frac{\pi}{2}$ i $\frac{3*\pi}{2}$ wydają się występować nieco częściej. Jednak rysunek 11, przedstawiający skumulowaną statystykę w funkcji φ pokazuje że odstępstwo od prostej jest nieznaczne. W układzie współrzędnych CMS-u właśnie $\frac{\pi}{2}$ i $\frac{3*\pi}{2}$ oznaczałoby cząstki o torach

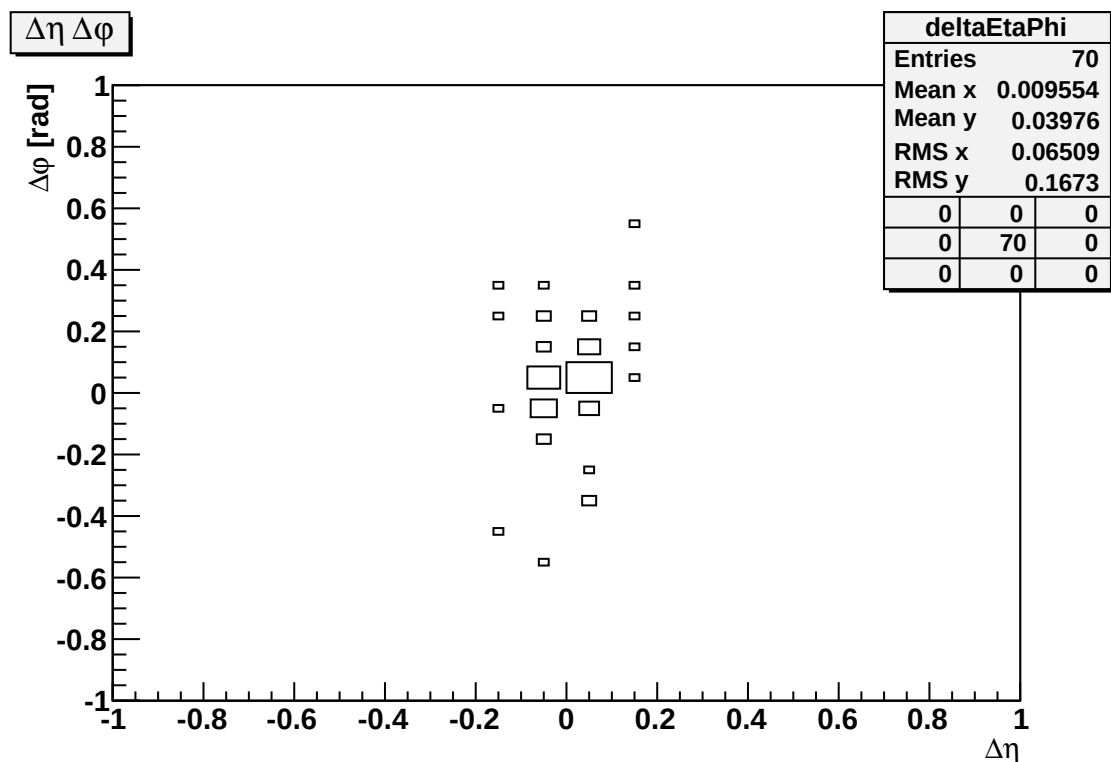


Rysunek 5: Histogram rozkładu $\Delta \eta$, przy przyjęciu maksymalnego dopuszczalnego $\Delta \varphi = 0.1$, z tego rozkładu przyjąłem że $\Delta \eta$ między propagowanym torem a mionem RPC nie powinno przekraczać 0.2

pionowych. Oczywiście miony kosmiczne nie muszą poruszać się wzdłuż promienia ziemi, jednak droga właśnie takich (lub zbliżonych) mionów miałaby najkrótszy odcinek przechodzący przez głębię i skały przykrywające CMS, dodatkowo część z nich mogłaby trafić na pionowy kanał konstrukcyjny (obecnie serwisowy), mają więc znacznie większe szanse dotarcia do detektora. Analiza rozkładu parametru φ przy pomocy testu Kołmogorowa-Smirnowa [4] (wykorzystałem ten test ze względu na jego przydatność przy porównywaniu mierzonych rozkładów z dowolnymi rozkładami o ciągłej dystrybucji) sugeruje że tryger RPC nie jest w istotny sposób czuły na miony kosmiczne.

7 Podsumowanie

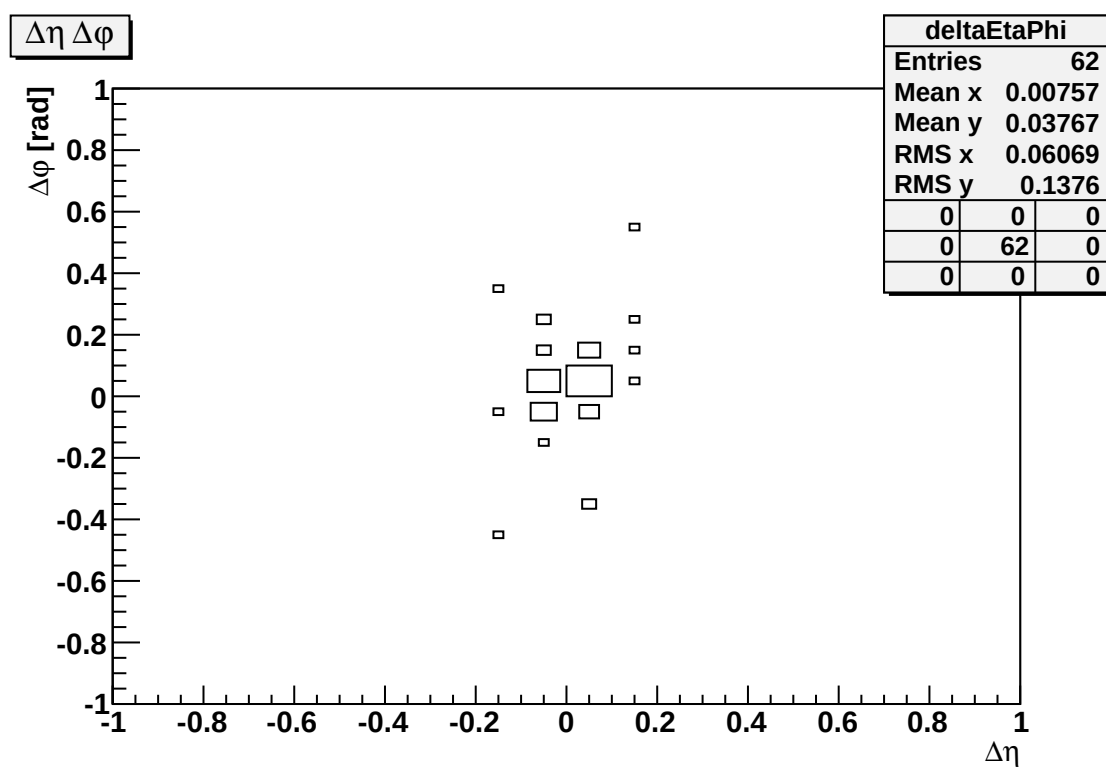
Pierwszy mion powstały w zderzeniach 7 TeV z dnia 30 marca 2010 roku i został zwizualizowany na rysunku 12. W danych znaleziono 61 przypadków (w tym jeden przypadek dwumionowy) w których wykryto miony zakwalifikowane jako pochodzące z LHC. Z analizowanych danych nie wynika żeby miony kosmiczne miały duży wpływ na pracę trygera RPC.



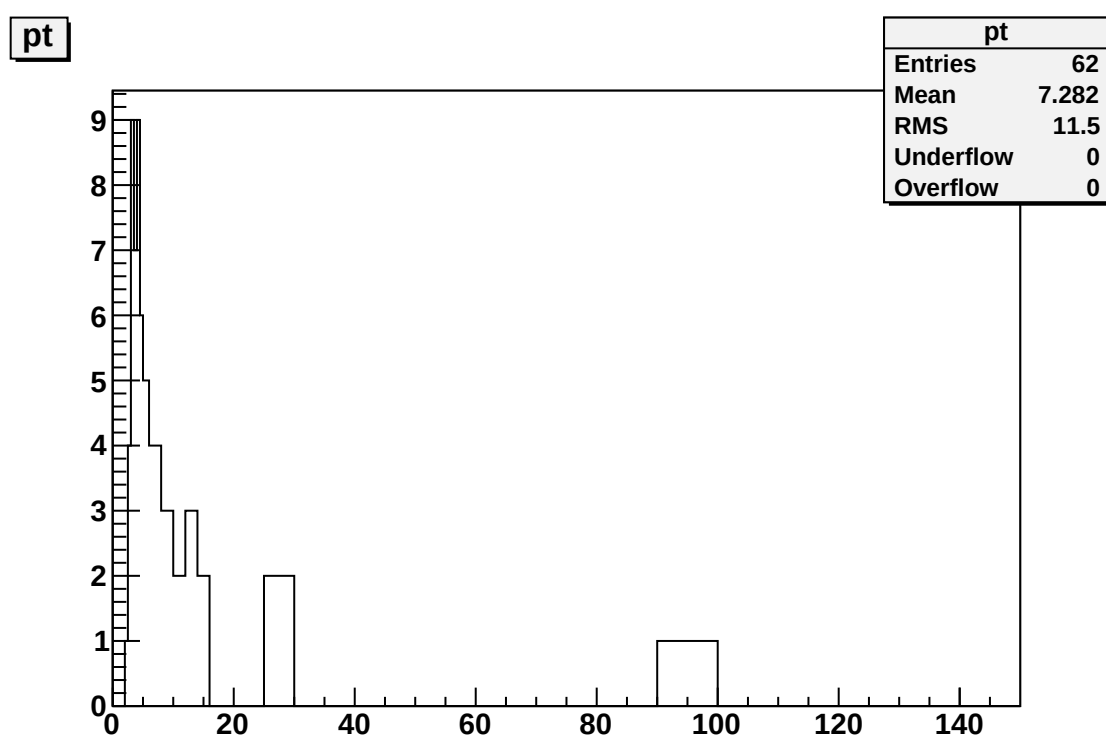
Rysunek 6: Rozkład odchylek parametrów obiektów L1 od parametrów zrekonstruowanych, stan po zastosowaniu ograniczeń.

Literatura

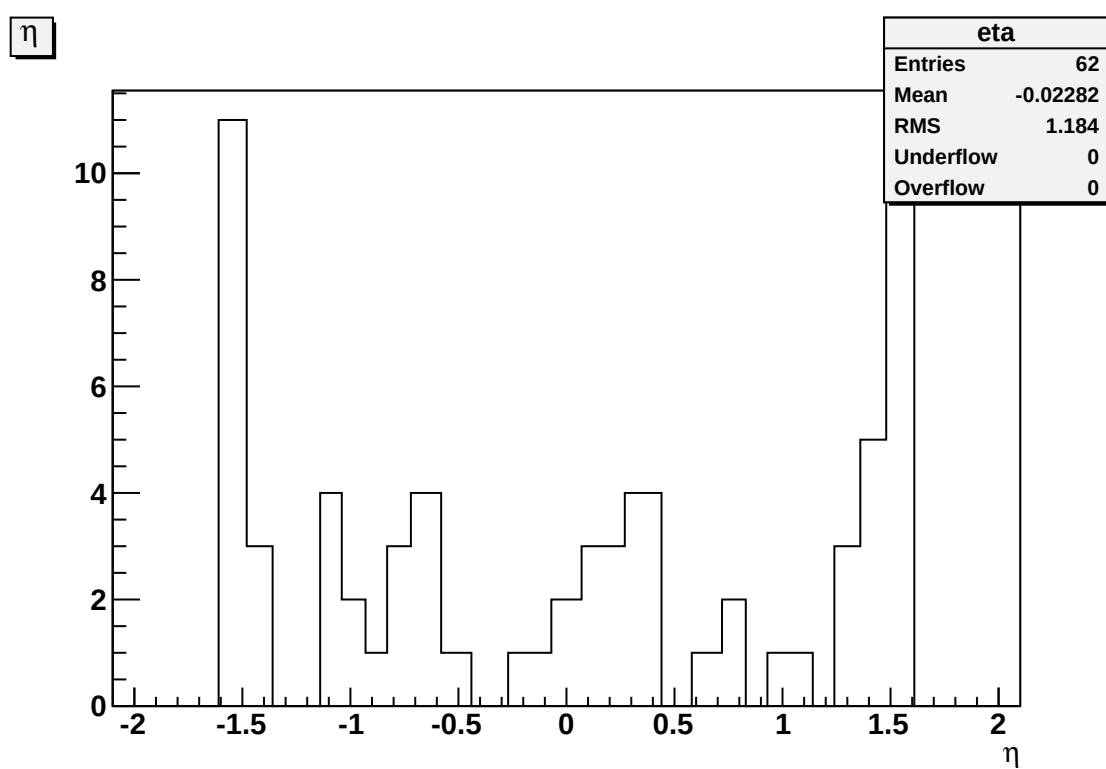
- [1] Karol Buńkowski. Optimization, Synchronization, Calibration and Diagnostic of the RPC PAC Muon Trigger System for the CMS detector.
- [2] <http://cmssw.cvs.cern.ch/cgi-bin/cmssw.cgi/>
- [3] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/SWGuideRecoDataTable>
- [4] <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>



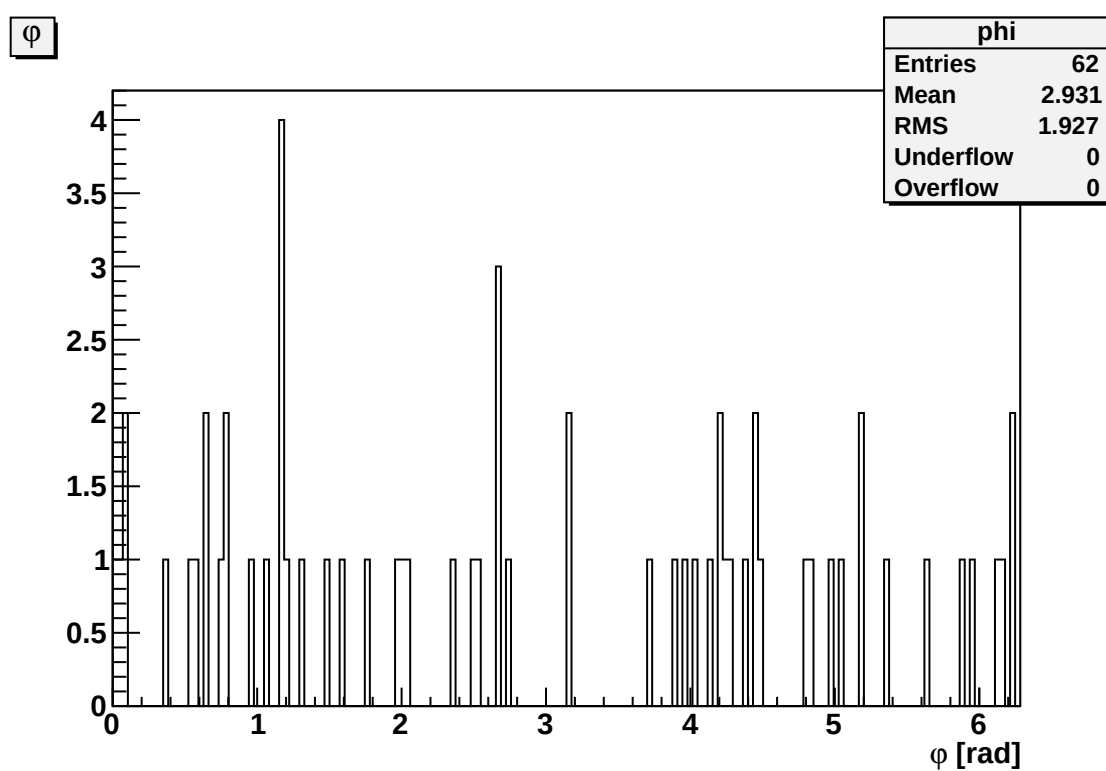
Rysunek 7: Rozkład odchylek parametrów obiektów L1 od parametrów zrekonstruowanych, stan po zastosowaniu ograniczeń.



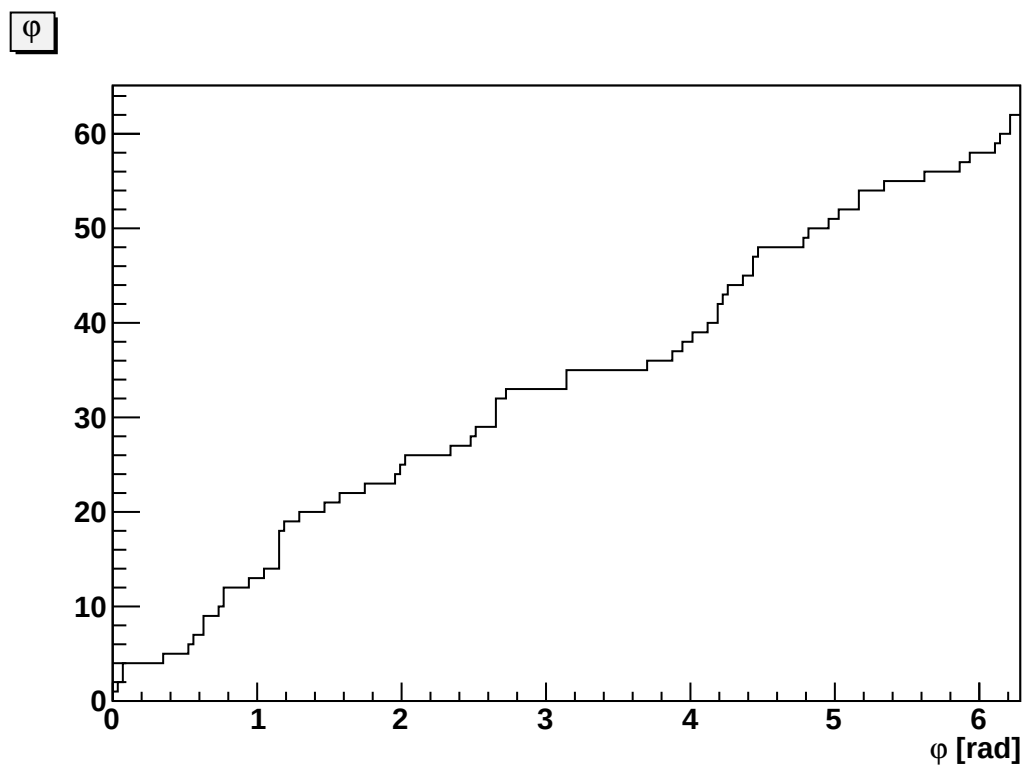
Rysunek 8: Rozkład pędów zrekonstruowanych mionów



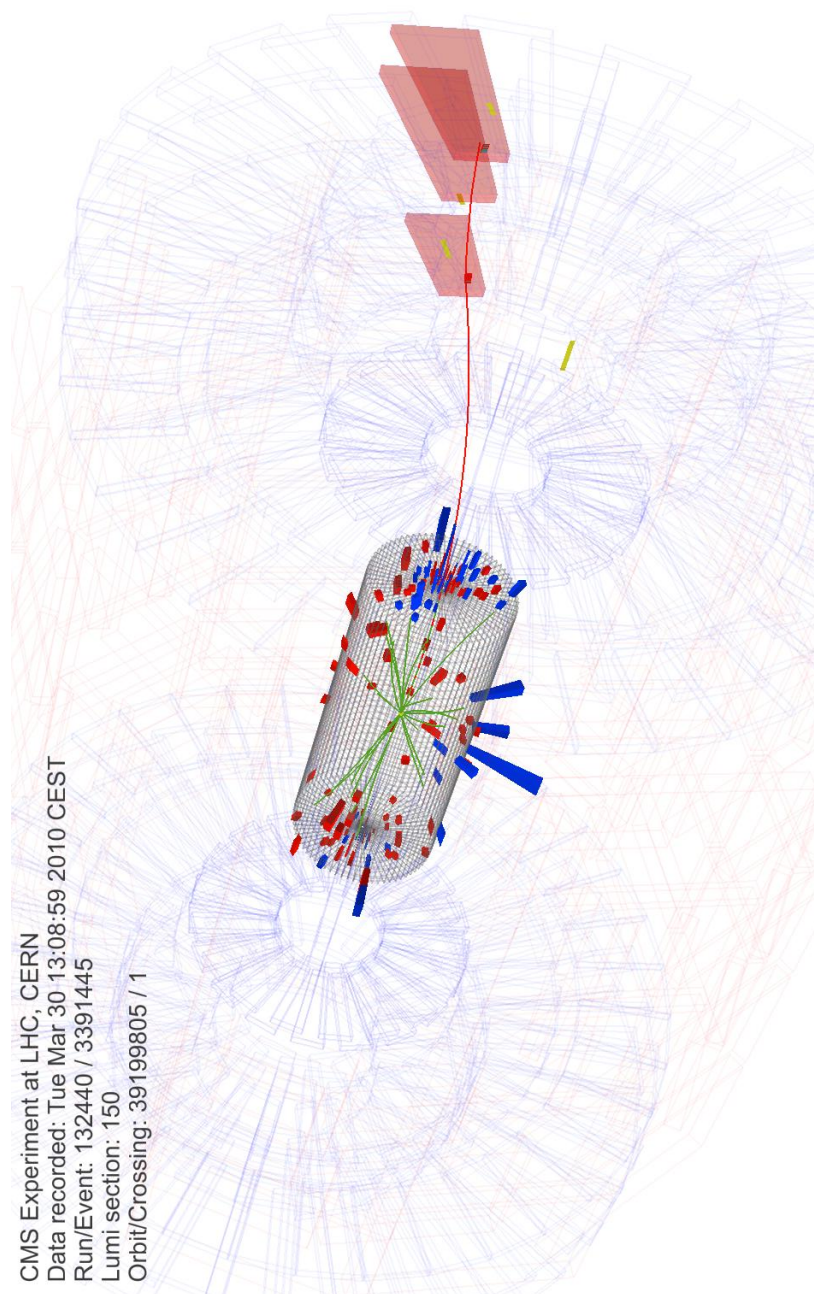
Rysunek 9: Rozkład η zrekonstruowanych mionów



Rysunek 10: Rozkład ϕ zrekonstruowanych mionów



Rysunek 11: Rozkład φ , dane z histogramu 10 przedstawione w postaci skumulowanej funkcji rozkładu.



Rysunek 12: Wizualizacja pierwszego mionu występującego w opracowywanych danych.