

Załącznik 1

Autoreferat

System wyzwalań wysokiego poziomu eksperymentu  
ATLAS

Dr inż. Tomasz Bołd

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Kraków, 4 kwietnia 2017



## Spis treści

<b>1</b>	<b>Dane osobowe</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Posiadane dyplomy, stopnie naukowe</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego</b>	<b>6</b>
4.1	Wprowadzenie . . . . .	6
4.2	Akcelerator LHC i eksperyment ATLAS . . . . .	6
4.3	Rola systemu wyzwiania w eksperymencie ATLAS . . . . .	7
4.4	System HLT eksperymentu ATLAS . . . . .	9
4.4.1	Główne założenia projektowe . . . . .	9
4.4.2	Architektura . . . . .	10
4.4.3	Wdrożenie i ewolucja systemu HLT . . . . .	12
4.4.4	Przegląd filtrów . . . . .	15
4.4.5	Modernizacja . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Publikacje</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Udział w projektach badawczych</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Omówienie osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki</b>	<b>27</b>

## 1 Dane osobowe

Imię i nazwisko: Tomasz Bołd

Miejsce zatrudnienia: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Telefon: +48 12 617 44 19

Email: tomasz.bold@fis.agh.edu.pl

## 2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- 2005 Doktor nauk fizycznych:  
AGH, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
“Common Data Acquisition System for the ZEUS Luminosity Monitor”  
promotor prof. dr hab. Danuta Kisielewska  
Monografia wydana w 2010 przez LAP LAMBERT Academic Publishing, pod tytułem: “Common Data Acquisition System for the ZEUS Luminosity Monitor: Data Acquisition System for small detector for High Energy Physics” ISBN: 978-3838397818
- 2000 Magister inżynier fizyki technicznej:  
AGH, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej  
praca pt. “Reakcje chemiczne w symulacjach dynamiki molekularnej”  
promotor dr inż. Witold Alda

## 3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2007-teraz Adiunkt na WFiIS, AGH
- 2006-2011 Assistant Project Scientist na Stanowym Uniwersytecie Kalifornijskim, oddział w Irvine oddelegowany do CERN do prac przy rozwoju systemu filtra online eksperymentu ATLAS
- 2002-2005 Asystent na WFiIS, AGH

2000-2002 Asystent, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH oddelegowany do DESY Hamburg do prac przy rozwoju systemu pomiaru światłości eksperymentu ZEUS

## 4 Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

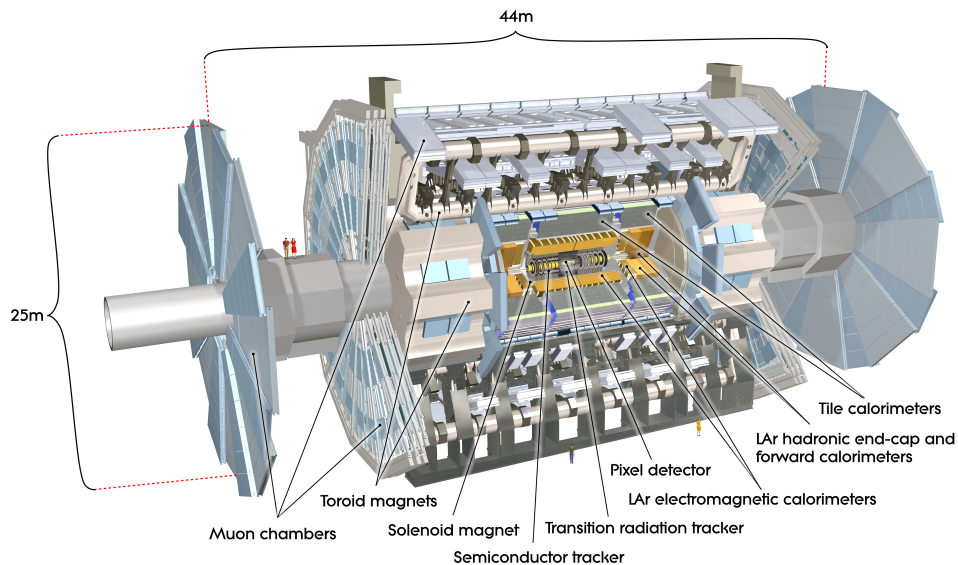
Osiągnięciem naukowym na podstawie art. 16 ust. 4 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym jest monografia “High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC - system design and performance” [1]. Praca została wydana nakładem Wydawnictwa Expol o numerze ISBN 978-83-65256-07-2.

### 4.1 Wprowadzenie

Eksperymenty na zderzaczach hadronów są konstruowane w celu poszukiwania bardzo rzadkich procesów w warunkach wysokiego tła. Dla przykładu, zmierzony, całkowity przekrój czynny na produkcję bozonu Higgsa  $pp \rightarrow H$  wynosi  $33.0 \pm 5.3(stat) \pm 1.6(sys)pb$  [2]. Biorąc pod uwagę eksperymentalną dogodność kanałów rozpadu, częstość obserwacji jest dodatkowo pomniejszona o współczynnik rozgałęzień i akceptację systemu detekcyjnego. Aby móc dokonać statystycznie znaczącej obserwacji konieczne jest więc dostarczenie przez akcelerator wysokiej świetlności i wysokich energii. Te z kolei, ze względu na występowanie procesów tła o 9 rzędów wielkości wyższym przekroju czynnym ( $\sigma_{pp}^{tot} = 98.3 \pm 0.2(stat) + 2.8(sys)mb$  [3]), wymuszają wyposażenie eksperymentów w zaawansowane systemy filtracji przypadków nazywane też systemami wyzwalania bądź trygerami (od ang. *trigger* - spust, wyzwalacz). Ich celem jest wskazanie rzadkich, ale interesujących sygnatur z dużą efektywnością przy prawie pełnej skuteczności usuwania przypadków tła.

### 4.2 Akcelerator LHC i eksperyment ATLAS

Wielki Zderzacz Hadronów (Large Hadron Collider, LHC) zlokalizowany jest w europejskim ośrodku badań jądrowych CERN pod Genewą. Zderzane są w nim przeciwbieżne wiązki protonów o energiach w centrum masy wynoszących docelowo 14 TeV i z nominalną świetlnością wynoszącą  $10^{34}cm^{-2}s^{-1}$ . Protony zgrupowane są w 3564 pęczki i doprowadzane do zderzeń co 25ns. Przy nominalnej świetlności oznacza to, że podczas jednego zderzenia pęczków dochodzi do nakładania się wielokrotnych, do  $\sim 50$ , zderzeń elementarnych (ang *pile-up*). Przy niższych świetlnościach zderzane są również wiązki jąder ołowiu, bądź ołowiu z protonami. W punktach interakcji zlokalizowane są cztery eksperymenty, LHCb [4] dedykowany badaniom łamania symetrii CP, ALICE [5] przystosowany do pomiarów zderzeń ciężkich jonów i dwa



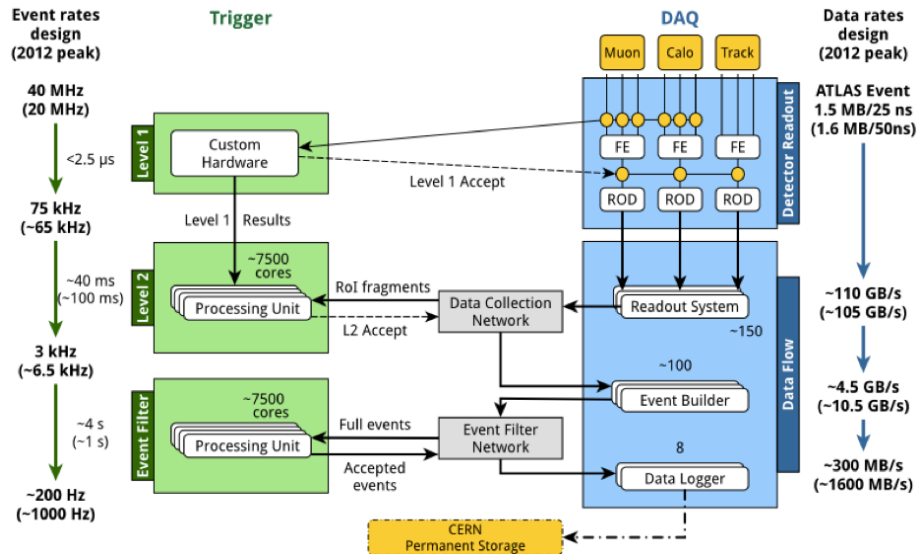
Rysunek 1: Szkic budowy detektora ATLAS.

większe eksperymenty ogólnego zastosowania, CMS [6] i ATLAS [7].

Wewnętrzna część eksperymentu ATLAS jest złożona z krzemowych detektorów pikselowych (PIXEL), paskowych (SCT) i detektora promieniowania przejścia (TRT). Te trzy komponenty stanowią detektor wewnętrzny zanurzony w polu magnetycznym o indukcji 2 Tesli generowanym przez nadprzewodzący magnes solenoidalny. Celem detektora wewnętrznego jest pomiar pędów cząstek naładowanych i pośrednio dostarczenie informacji na temat lokalizacji poszczególnych zderzeń, tzw. wierzchołków interakcji. Energia cząstek jest mierzona w próbującym, ołów-ciekły argon, kalorymetrze elektromagnetycznym (LAr). Energie hadronów mierzone są w znajdującym się w dalszej odległości od punktu interakcji płytkowym kalorymetrze próbującym, stal-plastik i stal-ciekły argon (Tile). Miony, przenikające przez warstwy kalorymetrów mierzone są za pomocą spektrometru (MS) zanurzonego w toroidalnym polu magnesu nadprzewodzącego. Szkic detektora jest pokazany na rysunku 1.

### 4.3 Rola systemu wyzwalania w eksperymencie ATLAS

Elektronicznie odczytywane kanały detektorów eksperymentu ATLAS w nominalnych warunkach generują strumień danych o rozmiarze rzędu peta baj-



Rysunek 2: Schemat budowy systemu akwizycji danych i filtrów on-line eksperymentu ATLAS podczas zbierania danych w latach 2010-2013 (tzw. Run 1) [8].

tów na sekundę. Obecne możliwości technologiczne nie pozwalają na zapis, a następnie analizę tak dużych wolumenów danych. Jednocześnie, interesujące procesy charakteryzują się bardzo małym przekrojem czynnym co pozwala na odrzucenie większości przypadków (tła) bez umniejszenia potencjału badawczego eksperymentu. Podczas filtracji, wykonywanej w trakcie zbierania danych (on-line), ilość przypadków zredukowana jest z 40 MHz do setek Hz (przykładowo 200 Hz w 2011 oraz 1 kHz w 2016). Schemat systemu filtracji eksperymentu ATLAS, pokazany na rysunku 2 wraz z systemem akwizycji danych, złożony jest z dwóch podsystemów, pierwszego, sprzętowego filtra niskiego poziomu (L1) i precyzyjnego filtra wysokiego poziomu (ang. HLT od *High Level Trigger*).

Na filtr L1 składają się podsystemy poszukujące sygnałów w kalorymetrach i w spektrometrze mionów. Czas podjęcia decyzji przez filtr L1 zdeteminowany jest przez głębokość buforów odczytu danych w elektronice front-end i wynosi  $2.5 \mu\text{s}$ . Z tego względu L1 dokonuje bardzo zgrubej selekcji. Depozyty w celach kalorymetru sumowane są w tak zwane wieże kalorymetryczne o rozmiarze  $\eta \times \phi = 0.1 \times 0.1$  i wyszukiwane jest lokalne maksimum



w grupach  $2 \times 2$  dla obiektów elektromagnetycznych lub większych dla skolimowanych pęczków hadronów (tzw. dżetów od ang. *jet*). Dla maksimum obliczana jest suma depozytów, energia poprzeczna, a także suma depozytów w obszarze sąsiadującym, która służy do określenia poziomu izolacji. Miony w systemie L1 znajdowane są poprzez koincydencje sygnałów z komór detektora połączonych tak aby formowały hipotetyczne ślady mionów pochodzących z punktu interakcji. Kontrolując te połączenia i ilość sygnałów wymaganych w koincydencji system pozwala na zgrubną estymację pędów. Informacje o ilości obiektów przekraczających progi energetyczne i pędowe kombinowane są w wyrażenia logiczne (256 w latach 2010-2013, 512 obecnie). Logiczna suma tych wyrażeń stanowi o akceptacji przypadku do dalszej selekcji. Do HLT przekazywane są również informacje o geometrycznych pozycjach rejonów, w których aktywności zostały zaobserwowane (RoI z ang. *Region of Interest*).

Dla przypadków zaakceptowanych przez system L1, do 100 kHz, informacja z elektroniki odczytu na detektorze przenoszona jest do systemu odczytu (RoS z ang. *Readout System*) o dużej głębokości bufora, a informacja z L1 przesyłana jest do HLT. System HLT jest farmą o rozmiarze  $\sim 40000$  rdzeni procesorowych (w 2015-2016), która odpowiada za precyzyjną filtrację przypadków o częstotliwości ok. 1 kHz. W latach 2005-2010 oprogramowanie filtra HLT zostało zaprojektowane, zaimplementowane i wdrożone z moim znaczącym udziałem.

## 4.4 System HLT eksperymentu ATLAS

### 4.4.1 Główne założenia projektowe

Zadanie filtra HLT polega na wyborze 1% przypadków, które zaakceptowane zostaną do zapisu i dalszej analizy a tym samym na odrzuceniu 99% przypadków zaakceptowanych przez system L1. Każdy z przypadków jest testowany na okoliczność wielu (obecnie ok. 2000) różnorodnych hipotez sygnału, a mimo to przetwarzanie danych musi być wystarczająco wydajne, aby zapobiec przepelnieniu systemu odczytu, a co za tym idzie utracie danych.

Z powyższych względów dwa podstawowe założenia zostały wbudowane w system na etapie jego projektowania. Testowanie hipotez sygnału zostało podzielone na kroki, które uszeregowane od “elementarnych” do zaawansowanych umożliwia przerwanie procesu weryfikacji na wczesnych jego etapach, a przez to, na zmniejszenie kosztu obliczeniowego dla większości przypadków (około 99%). W dużym uproszczeniu w filtrze HLT działa wiele algorytmów rekonstruujących i weryfikujących hipotezy uszeregowanych w sekwen-

cje. Kolejne sekwencje są pomijane w przypadku odrzucenia hipotez sygnału. Podejście to nazywane jest wczesnym odrzucaniem.

Architektura systemu akwizycji eksperymentu ATLAS zakłada częstotliwość akceptacji przypadków przez system L1 na poziomie 100 kHz. Jednocześnie ze względu na możliwości technologiczne i finansowe system RoS nie pozwala na odczyt danych z częstością ok. 30 kHz<sup>1</sup>. Proces filtracji w HLT odbywać się musi więc z użyciem małej części informacji z detektorów. W związku z tym, dla większości sygnatur rekonstrukcja odbywa się tylko w RoI wskazanych jako interesujące przez L1, bazując, średnio, na 2-5% danych z detektorów. Rekonstrukcja w RoI jest drugim filarem, na którym jest oparty projekt HLT.

#### 4.4.2 Architektura

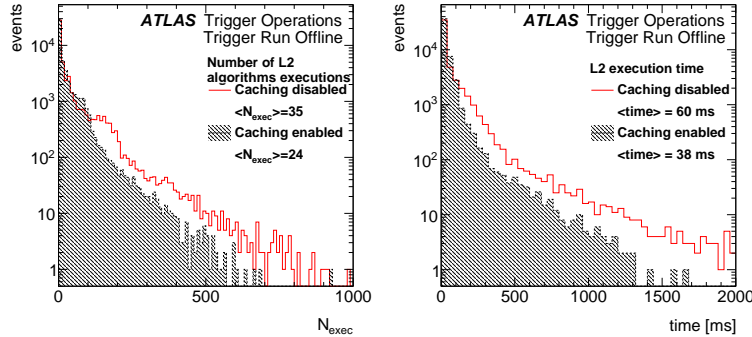
W latach 2010-2013 system HLT składał się z wydzielonych: filtra poziomu drugiego (L2), gdzie rekonstrukcja odbywała się tylko w rejonach zainteresowań i tak zwanego filtra przypadków (EF - z ang. *Event Filter*), w którym informacje z całego detektora wykorzystywane były do obliczenia globalnych parametrów, a dłuższy dostępny czas przetwarzania pozwalał na użycie dokładniejszych algorytmów rekonstrukcji. W czasie przerwy technicznej w działaniu LHC w 2013-2015 architektura systemu HLT, pokazana na rysunku 2 została uproszczona poprzez połączenie funkcji L2 i EF w jednolity filtr HLT. Funkcjonalnie system pozostał niezmienny. W pierwszych krokach, wykonywane są szybkie algorytmy po czym następuje budowa przypadku i dalsza selekcja z precyzyjnymi algorytmami często z użyciem pełnej informacji z detektora.

Architektura HLT składa się z nadrzędnego algorytmu sterującego kontrolującego wiele specyficznych dla sygnatur algorytmów rekonstrukcyjnych i weryfikujących hipotezy sygnału. Wyżej opisane założenia, to jest wczesne odrzucanie i rekonstrukcja w RoI, implementowane są przez algorytm nadrzędny. Dzięki temu szczegółowe algorytmy izolowane są od całej złożoności procesu filtracji. Zapewniony został wydajny, bazujący na grafie skierowanym, system przekazywania częściowych informacji między sterowanymi algorytmami, który jednocześnie zapewnia zapis informacji o procesie selekcji. Zgromadzenie rozbudowanej funkcjonalności w algorytmie sterującym pozwala na szereg optymalizacji, w szczególności na unikanie wielokrotnej rekonstrukcji w RoI na potrzeby wielu hipotez testowanych jednocześnie. Przykład jednej z takich optymalizacji, polegającej na zastąpieniu po-

---

<sup>1</sup>System RoS jest stopniowo modernizowany i w chwili obecnej część informacji można odczytywać z częstością bliską częstości akceptacji L1.

nownego wykonania algorytmów rekonstrukcji przez wynik otrzymany przy uprzednim wykonaniu (z ang. *caching*), pokazany jest na rysunku 3. Optymalizacja ta skutkowała blisko 30% skróceniem czasu wykonania algorytmów a należy dodać iż nie jest to najważniejsza z nich, aczkolwiek najbardziej zaawansowana technicznie.



Rysunek 3: (Po lewej) Ilość wykonań algorytmów rekonstrukcji na jeden filtrowany przypadek przed i po optymalizacji. (Po prawej) Całkowity czas wykonania wszystkich algorytmów filtra przed i po zastosowaniu optymalizacji [1].

Ważnym aspektem systemu filtracji online jest jego niezawodność. W odróżnieniu do rekonstrukcji offline, filtracja nie może być powtórzona a błędne działanie czy też brak odporności na zmienne warunki zbierania danych skutkuje utratą danych. Dlatego system HLT został wyposażony w infrastrukturę detekcji błędów poczynając od dekodowania danych z systemu L1 i detektorów aż do możliwości reagowania na błędy w algorytmach. W takich sytuacjach filtrowanie jest przerywane, a przypadki kierowane do odrębnego strumienia danych. Najczęściej występującą przyczyną przerwania selekcji online jest niespodziewanie długotrwałe wykonanie algorytmów rekonstrukcji w odpowiedzi na wystąpienie szumu w detektorach. Dla takich przypadków w przetwarzaniu offline proces filtracji HLT jest ponawiany bez ograniczeń czasowych czy z ulepszonymi algorytmami aż do uzyskania decyzji, po czym przypadki są integrowane z pozostałymi danymi do analizy offline. Infrastruktura reagowania na błędy czyni system HLT teoretycznie i praktycznie bezstratnym.

HLT pozwala na monitorowanie w czasie rzeczywistym wszystkich ważnych aspektów jego działania. Są to parametry techniczne takie jak czasy wykonania, ilości pobieranych danych czy częstości występowania usterek.

Monitorowane są także parametry fizyczne, np.: częstości akceptacji dla całego systemu i dla poszczególnych sygnatur, położenia RoI czy dowolne parametry rekonstruowanych obiektów fizycznych [1] (więcej na ten temat w rozdziale 4).

Komponenty wyżej opisanego systemu powstały w latach 2006-2010 przy moim znacznym współudziale i pod moim kierownictwem.

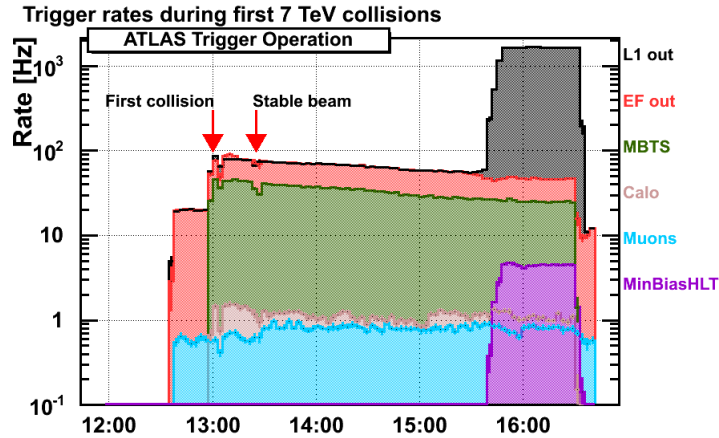
#### 4.4.3 Wdrożenie i ewolucja systemu HLT

Pierwsze cykle zbierania danych na LHC rozpoczęły się w 2010 przy energii 7 TeV w centrum masy pary protonów. Przygotowywany od kilku lat system filtracji został wdrożony w kilku krokach, od rejestracji wszystkich zderzeń do aktywnego użycia algorytmów HLT do filtracji. W najwcześniejszym etapie do selekcji używany był tylko system L1, a HLT odpowiadała za rozdzielenie strumienia danych na części zawierające sygnatury kalorymetryczne i mionowe. Pozwoliły na to niskie częstotliwości zderzeń, które w początkowym okresie pracy LHC zmieniały się od kilku do kilkuset Hz. Pierwszym uruchomionym filtrem bazującym na HLT był zespół algorytmów odpowiadający za rekonstrukcję śladów w detektorze wewnętrznym. Na rysunku 4 pokazana jest chwila włączenia wyżej wspomnianego filtra HLT, w której podniesiono częstość akceptacji systemu L1, a jednocześnie włączono aktywną filtrację w algorytmach HLT akceptującą  $\sim 1\%$  przypadków.

Kolejne algorytmy wdrażane były w trzystopniowej procedurze: i) uruchamiania algorytmów HLT na uprzednio zebranych danych i weryfikacji stabilności przetwarzania i poprawności wyników, ii) aktywacji algorytmów podczas zbierania danych z jednoczesnym przełączeniem algorytmów weryfikacji hipotez w tryb wymuszonej akceptacji, oraz iii) włączenia aktywnej filtracji. W połowie roku 2010 przy świetlności  $\mathcal{L} \simeq 1 \cdot 10^{30} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  wstępna konfiguracja systemów wyzwalań, pomocna przy wdrożeniu, została zastąpiona pierwszą wersją konfiguracji "fizycznej". W jej skład wchodziły trygery mionowe, elektronowe, fotonowe, tauonowe i dżetowe, filtr brakującego pędu poprzecznego (neutrino), a także filtry specyficzne dla rezonansów rozpadających się na dwa leptony. Wraz ze zwiększaniem świetlności podniesiono progi i zaostrożono warunki akceptacji co zilustrowano w tabeli 1.

W czasie tych pierwszych zbierań danych, będąc w ośrodku CERN, uczestniczyłem we wdrażaniu systemu HLT będąc odpowiedzialnym za jego poprawne działanie i ewolucję. W szczególności jestem autorem infrastruktury, która pozwoliła na konstrukcję dużych konfiguracji filtra, tak zwanego menu trygera.

Dalsza ewolucja systemu przebiegła pod znakiem ciągle rosnącej świetl-



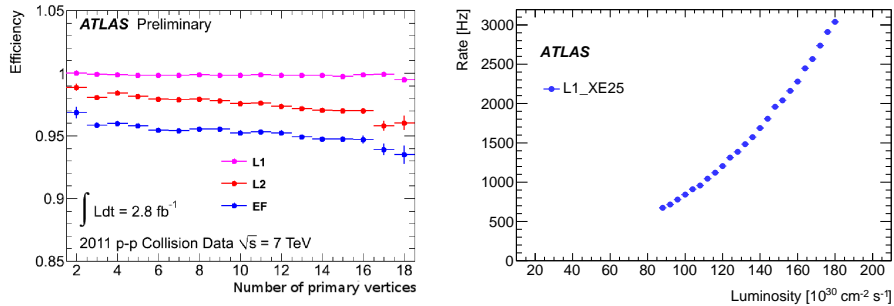
Rysunek 4: Wybrane częstości rejestracji grup filtrów w funkcji czasu podczas pierwszego nabierania danych w 2010 gdy aktywowano pierwszy filtr HLT (zmiana częstości  $\sim 15:30$ ). Częstości oznaczone L1 i EF są odpowiednio całkowitymi częstościami akceptacji przez system L1 i cały system HLT. Częstości oznaczone Muons i Calo są częstościami dla grup filtrów natomiast MinBiasHLT oznacza częstość akceptacji aktywnego filtra HLT [1](rozdział 5).

ności, która stopniowo osiągnęła wartość  $\mathcal{L} \sim 8 \cdot 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pod koniec 2012 (w porównaniu do planowanej  $\mathcal{L} = 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) i zmianą energii protonów na 8 TeV, a co z tym związane zwiększającym się efektem nakładania zderzeń. Niekorzystne efekty dotknęły głównie sygnatury, w których sumowany jest sygnał z dużego obszaru kalorymetrów, jak dżety hadronowe i taonowe, czy brakująca energia poprzeczna a w mniejszym stopniu sygnatury, w których warunkiem akceptacji zderzenia jest obecność śladu cząstki naładowanej. W tym ostatnim przypadku jednakże, algorytmy poszukujące śladów musiały pracować w obecności dużego tła kombinatorycznego na wczesnym etapie formowania śladów, a co za tym idzie miały obniżoną wydajność pokazaną na rysunku 5, a ich nieliniowa złożoność obliczeniowa prowadziła do trudności w wykonaniu procesu filtracji w ramach budżetu czasowego. Silniejszy wpływ efektów nakładania pokazano w przykładzie z filtrem brakującej energii poprzecznej na rysunku 5.

W międzyczasie, w 2010 roku w LHC do zderzeń doprowadzono jony ołowiu przy energii w centrum masy 2.76 TeV na parę nukleonów. Niska świetlność (do  $\mathcal{L} \simeq 3 \cdot 10^{25} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), pozwoliła na filtrację z użyciem systemu L1

Światłość [ $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$3 \cdot 10^{30}$	$2 \cdot 10^{31}$	$2 \cdot 10^{32}$
Kategoria	próg pędowy [GeV],selekcja		
Inkluzywne			
mion	4	10	13,tight
elektron	10,medium	15, medium	15, medium
foton	15,loose	30,loose	40,loose
tauon	20,loose	50,loose	84,loose
jet	30	75,loose	95,loose
Inne			
dwa-miony	4	6	6,loose
dwa-elektrony	3,loose	5,medium	10,loose
dwa-fotony	5,loose	15,loose	15,loose

Tablica 1: Główne filtry używane w 2010 roku. W tabeli pokazano najniższe progi, dla których zapisywane były wszystkie przypadki. W oznaczeniu filtrów użyto oryginalnego nazewnictwa selekcji rozróżniającego wydajność odrzucania tła. I tak “loose” oznacza filtr, w którym poza sygnałem zapisywana jest duża ilość przypadków tła, a “tight” gdy selekcja jest wysoce zoptymalizowana [1] (rozdział 5).



Rysunek 5: (Po lewej) Wpływ wzrostu liczby nakładających się zderzeń p-p na efektywność filtra elektronowego. (Po prawej) Wpływ wzrostu liczby nakładających się zderzeń, wyrażonej przez światłość, na częstość akceptacji filtra neutrinowego (z brakującą energią poprzeczną). Dla filtra o parametrach stabilnych z ilością nakładających się zderzeń spodziewana jest zależność liniowa.

bez potrzeby aktywacji HLT. Jednakże już w roku 2011 i podczas kolejnych cykli zbierania danych ze zderzeń z jonów aktywna filtracja w HLT była konieczna ze względu na zwiększoną światłość ( $\mathcal{L} \simeq 5 \cdot 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a co za

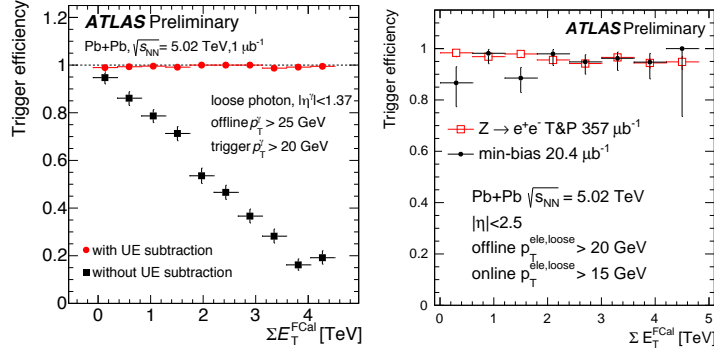
tym idzie częstości zderzeń przekraczające te które, pozwalają na zapisanie całego strumienia danych bez filtracji w HLT. Także podczas cyklu zderzeń proton-olów pod koniec roku 2012, HLT był aktywnie używany do selekcji danych. Podczas zderzeń ciężkich jonów, nawet przy małej świetlności, w przypadkach, w których parametr zderzenia jest mały (zderzenia centralne), krotność produkowanych cząstek osiąga wartości wielokrotnie większe niż przy zderzeniach p-p o wysokiej świetlności. W odróżnieniu od efektu pile-up uśredniona poprawka na dodatkową aktywność w detektorach nie może być zastosowana a w zamian korekcje muszą być wyznaczane dla każdego przypadku niezależnie. I tak, już w 2011 roku rekonstrukcja w HLT zawierała krok korygujący wysoko-krotne tło relatywnie nisko-pędowych cząstek w dziedzinie hadronowym. Pominięcie tych poprawek skutkowałoby zależnością progów dyskryminacji energii dżetów od centralności i w efekcie niejednorodną próbkę z inklinacją w kierunku bardziej centralnych przypadków. W czasie cyklu zderzeń Pb-Pb w 2015 roku ( $\mathcal{L} \simeq 1.5 \cdot 10^{27} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) przy energii  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV w centrum masy na parę nukleonów nieodzowna stała się filtracja w HLT także dla sygnatur elektromagnetycznych. Podobnie jak w latach uprzednich poprawki usuwające wpływ depozytów od cząstek niskopędowych zostały uwzględnione, dzięki czemu parametry kaskad elektromagnetycznych, używane w filtrach fotonowych i elektronowych pozostały niezależne od średniej krotności, co pozwoliło na efektywne odrzucanie tła hadronowego przy bardzo wysokiej efektywności selekcji sygnału. Otrzymane efektywności pokazano na rysunku 6 dla elektronów i fotonów.

Poczynając od pierwszego cyklu zbierania danych ze zderzeń ciężkich jonów w roku 2010 byłem odpowiedzialny za przygotowanie konfiguracji, nowych algorytmów, a także obsługę systemu trygera.

#### 4.4.4 Przegląd filtrów

Z punktu widzenia sposobu wykonania rekonstrukcji filtry w HLT można podzielić na te bazujące na rejonach zainteresowań, na informacji z całego detektora lub hybrydowe.

Bardzo ważne z punktu widzenia programu fizycznego eksperymentu ATLAS są filtry leptonowe: elektronowy, mionowy i taonowy pochłaniające większość przepustowości systemu akwizycji danych. Ich celem jest dostarczenie próbek przypadków z rozpadów bozonów  $W^\pm$  i  $Z^0$  o kluczowym znaczeniu w pomiarach Modelu Standardowego, w tym w odkryciu bozonu Higgsa. Algorytmy w filtrach leptonowych działają w RoI wskazanych przez system L1 wykonując wielostopniową rekonstrukcję i filtrację. W przypadku elektronów w pierwszej kolejności dokonuje się rekonstrukcji klastra

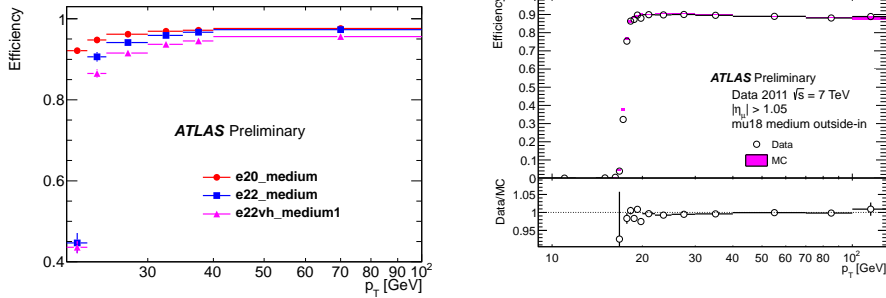


Rysunek 6: (Po lewej) Wydajność trygera fotonowego w cyklu zbierania danych ze zderzeń Pb-Pb w 2015 roku w funkcji centralności zderzenia wyrażonej poprzez rosnący depozyt energii poprzecznej w przedniej części kalorymetru,  $\Sigma E_T^{FCal}$ . Pokazano wydajność implementacji filtra p-p w tych warunkach (czarne punkty) i filtra dostosowanego do warunków zderzeń Pb-Pb (punkty czerwone). (Po prawej) Efektywność dla filtra elektronowego dedykowanego dla zderzeń Pb-Pb wyznaczona dwoma metodami [1](rozdział 5).

elektromagnetycznego. Wraz z sumarycznym depozytem energii poprzecznej wyznaczane są inne parametry klastra pomocne w selekcji. Podobna procedura, z włączeniem informacji z kalorymetru hadronowego, wykonywana jest dla leptonów tau. Dla mionów w pierwszym kroku następuje rekonstrukcja śladu w spektrometrze mionowym i jego ekstrapolacja do punktu interakcji. W kolejnym filtra leptonowego etapie wykonywana jest rekonstrukcja śladów w detektorze wewnętrznym. Powyższa kolejność optymalizuje proces filtracji, mianowicie wstępne kroki wykonywane są w znacznie krótszym czasie i kosztowną operację znajdowania śladów można wykonywać na mniejszym obszarze detektora bądź ją pominąć w przypadku braku potwierdzenia dla żadnej hipotezy sygnałowej. Takie same kroki jak w L2 powtarza się w części EF z użyciem precyzyjnych algorytmów używanych do rekonstrukcji offline. Na rysunku 7 pokazano przykładowe efektywności filtrów elektronowego i mionowego.

Ewolucja trygerów leptonowych w eksperymencie ATLAS jest głównie zdefiniowana potrzebą osiągnięcia wysokiej wydajności dla procesów z bozonami pośredniczącymi oddziaływań słabych  $W^\pm$  i  $Z^0$ . Wstępnie wraz ze wzrostem świetlności ewoluował próg pędowy głównych filtrów by zatrzymać się po osiągnięciu wartości  $\sim 25$  GeV. Przy wyższych świetlnościach stosowana jest ostrzejsza selekcja z użyciem zmiennych dyskryminujących,





Rysunek 7: (Po lewej) Wydajność wybranych filtrów elektronowych używanych w roku 2011 wyznaczona z danych. (Po prawej) Porównanie efektywności dla filtra mionowego dla danych i MC. Wydajności pokazano dla przypadków z mionami w akceptancji systemu detekcyjnego TGC, która jest wyższa niż w części centralnej o  $\sim 15\%$  [1](rozdział 5).

takich jak na przykład wymaganie izolacji od dżetu hadronowego. Powyższa strategia nie jest implementowana w przypadku inkluzywnego filtra taonowego ze względu na jego małą rozróżnialność z tłem hadronowym o znacząco wyższym przekroju czynnym. Ważną grupę filtrów leptonowych stanowią kombinacje dwóch obiektów, które pozwalają na obniżenie wartości progów pędowych i poluzowanie selekcji w porównaniu do trygerów inkluzywnych.

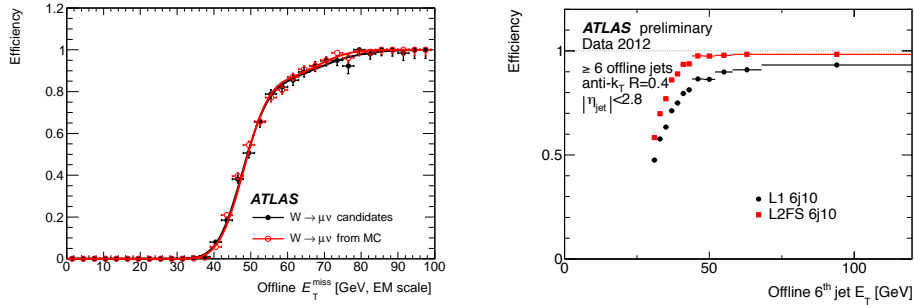
W obszarach RoI wykonywana jest także rekonstrukcja i filtracja sygnałów z fotonami. Inkluzywne filtry fotonowe używane są w poszukiwaniach nowej fizyki, a w przypadkach ze stowarzyszoną produkcją dżetów pozwalają na precyzyjne testy QCD i użycie ich w procedurze kalibracyjnej dżetów. Filtr dwufotonowy dostarcza cennej próbki z bezpośredniego rozpadu bozonu Higgsa,  $h \rightarrow \gamma\gamma$ , która była kluczowa przy jego odkryciu. W filtracji używa się tych samych algorytmów rekonstrukcji klastrów elektromagnetycznych jak w przypadku elektronów lecz z dostosowanymi algorytmami weryfikacji hipotez [1](rozdział 5).

Druga ważna grupa filtrów bazuje na informacji z jednego z pod-detektorów ATLASa. Do tej grupy należą trygery neutrinowe (i innych cząstek słabo oddziałujących), w których sygnaturą jest brakujący całkowity pęd poprzeczny. Ta sygnatura, z racji dużego kosztu obliczeniowego rekonstrukcji śladów zastąpiona jest brakującą energią poprzeczną. Rekonstrukcja brakującej energii polega na obliczeniu sumy wektorowej wszystkich depozytów kalorymetrycznych i przez to jest podatna na efekt nakładania wielu zderzeń. Jak wcześniej wspomniano już przy świetlnościach

$\mathcal{L} \simeq 1 \cdot 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  częstości trygerów brakującej energii nie skalowały się ze świetlnością (nie były proporcjonalne do przekroju czynnego). W związku z tym rozwinięto szeroki program, ciągle kontynuowany, poszukiwania zastępnika prostej sumy wektorowej depozytów w kalorymetrze na parametr mniej czuły na efekt nakładania zderzeń, na przykład zastąpienie tej sumy sumą po zrekonstruowanych klastrach hadronowych i tym podobnymi technikami. Poza inkluzywnym filtrem, w konfiguracji systemu trygera występuje wiele złożonych trygerów, w których dodatkowym warunkiem jest na przykład wymagana obecność leptonów. Przykładową krzywą efektywności dla filtra brakującej energii poprzecznej pokazano na rysunku 8.

Ważnym filtrem, szczególnie podczas wczesnych etapów zbierania danych, są trygery oddziaływań (tzw. *min-bias*). Ich celem jest rejestracja każdego nieelastycznego oddziaływania protonu, które są konieczne w pomiarach inkluzywnych. Filtry te odgrywają zasadniczą rolę w programie ciężkionowym eksperymencie, gdyż pozwalają na rejestrację całego spektrum parametru zderzenia a ich blisko 100% wydajność pozwala na kalibrację pomiaru centralności. Trygery oddziaływań bazują na sygnałach z dedykowanego detektora scyntylicyjnego MBTS (Minimum Bias Trigger Scintillator) umieszczonego w przednich częściach detektora. Jego wydajność jest weryfikowana poprzez sprawdzenie koincydencji między jego decyzją, a obecnością śladów cząstek naładowanych w detektorze wewnętrznym. W przypadku małej świetlności próbkę taką otrzymuje się poprzez dodatkową filtrację w HLT, gdzie wykonywana jest rekonstrukcja śladów w całym detektorze wewnętrznym, a akceptacja przypadku zależy od całkowitej krotności.

W HLT możliwa jest także hybrydowa rekonstrukcja przypadku polegająca na kombinowaniu dwóch wyżej wspomnianych technik. Głównym filtrem w tej kategorii są filtry na dżety hadronowe pozwalające na rejestrację próbek z hadronowymi rozpadami kwarku górnego, dolnego lub lekkimi dżetami o dużej krotności. Celowane próbki z dżetami używane są do estymacji tła dla analiz używających wszelkich sygnatur z depozytami w kalorymetrach. Rekonstrukcja i filtrowanie dżetów hadronowych w HLT może się odbywać w pierwszych krokach bazując na RoI, aby w końcowym etapie, po osiągnięciu odpowiedniej redukcji częstości przejść do odczytania informacji z całego kalorymetru i precyzyjnej rekonstrukcji wszystkich dżetów. Obecnie dżety hadronowe znajdowane są w RoI w systemie L1, a pełna rekonstrukcja z całego kalorymetru jest stosowana w HLT od pierwszego etapu. Dla filtrów inkluzywnych oba podejścia są podobnie wydajne lecz dla trygerów z wymaganiami wielu dżetów odczytanie informacji z całego detektora i wykonanie ponownej pełnej rekonstrukcji w HLT skutkuje na ogół lepszą wydajnością, jak pokazano na rysunku 8.



Rysunek 8: (Po lewej) Wydajność wybranego filtra brakującej energii poprzecznej używanego w roku 2011 wyznaczona z danych i MC. (Po prawej) Porównanie efektywności filtra wielo-dżetowego przy rekonstrukcji opartej o mechanizm RoI i algorytm przesuwającego się okna (punkty czarne) i rekonstrukcją w HLT z algorytmem anti- $k_T$  (punkty czerwone) [1](rozdział 5).

Odwrotne podejście jest stosowane w filtrach dżetów z kwarkiem- $b$ . Zasadniczym wyzwaniem w tym przypadku jest precyzyjna rekonstrukcja wtórnego wierzchołka oddziaływania, w którym hadrony z kwarkiem  $b$  rozpadają się zapoczątkowując generację kaskady hadronowej. Należy zauważyć, że w przeciwieństwie do rekonstrukcji offline w HLT precyzyjna rekonstrukcja pierwotnego wierzchołka oddziaływania nie jest dostępna przed rozpoczęciem rekonstrukcji dżetów- $b$ . W obecnie działających trygerach na dżety- $b$  w pierwszym etapie rekonstruowane są wszystkie dżety hadronowe po czym wokół tych rejonów wykonywana jest szybka rekonstrukcja śladów o wysokim pędzie poprzecznym, a z nich budowany wierzchołek pierwotny. Na etapie kolejnym dla dżetów kandydatów na pochodzące z rozpadu hadronów- $b$  wykonywana jest precyzyjna rekonstrukcja śladów i wyznaczany jest wierzchołek wtórny, który wraz z wierzchołkiem pierwotnym stanowi informację wejściową w procedurach znakujących dżety- $b$ .

Wymienione wyżej filtry są jedynie przykładami możliwości HLT, a jego funkcjonalność jest pełniej opisana w monografii “High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC”.

Należy także dodać, że projektowanie, implementacja, wdrożenie, a w szczególności utrzymanie możliwe są dzięki wysiłkowi dużej liczby osób ze współpracy ATLAS. Niemniej w uznaniu wkładu w budowę filtra HLT współpraca ATLAS przyznała moim dwóm współpracownikom i mnie wyróżnienie “ATLAS Outstanding Achievement Award” z uzasadnieniem “*For their exceptional work as the chief architects responsible for the design, implementation,*

*commissioning and tireless support of the ATLAS Trigger Core Software.”*

#### 4.4.5 Modernizacja

Aby sprostać wyzwaniom filtrowania przy świetlnościach HL-LHC (High Lumi - LHC)  $\mathcal{L} \simeq 5 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  po modernizacji w roku 2026 niektóre detektory eksperymentu ATLAS zostaną wymienione. Zmodernizowany musi być także cały system wyzwalania poczynając od części sprzętowej, a na HLT kończąc. Zasadniczym celem jest utrzymanie wysokiej akceptancji inkluzywnych trygerów leptonowych w skali pędów zapewniającą wysoką akceptancję dla bozonów oddziaływań słabych, to jest  $\sim 25$  GeV dla mionów i elektronów, a  $\sim 30\text{-}40$  GeV dla filtra z dwoma taonami. Podobnie w przypadku filtrów fotonowych, wielodżetowych czy b-dżetów tak wysoka świetlnność przy ograniczonej częstości wynikowej oznacza konieczność podniesienia progów, a co za tym idzie ograniczenie akceptancji sygnałów.

W chwili obecnej rozważanych jest kilka wariantów architektury całego systemu, w których częstość akceptacji przypadków przez filtr sprzętowy wynosi 400 kHz lub nawet 1 MHz, a przez filtr HLT 10kHz [9]. Efektywna filtracja przy tak zwiększonych częstościach i większej ilości nakładających się zderzeń (do 200) jest wyzwaniem, przede wszystkim obliczeniowym. Osiągnięcie wysokiej czystości zapisywanych danych możliwe jest z użyciem dokładnych algorytmów rekonstrukcji używanych offline. Zwiększenie przepustowości filtra HLT idzie w parze z podobnymi staraniami dla rekonstrukcji offline. Modernizacja oprogramowania trygera polega na przystosowaniu go do pełniejszego wykorzystania nowoczesnego sprzętu poprzez implementację filtra w środowisku identycznym z używanym do rekonstrukcji online. W rezultacie, ułatwione będzie użycie algorytmów offline w systemie HLT, a co za tym idzie podniesiona czystość selekcji. Skala czasowa tej modernizacji określona jest przez przerwy modernizacyjne LHC i eksperymentu ATLAS. W pierwszej kolejności planowana jest zmiana środowiska wykonawczego algorytmów HLT, tak aby można było je integrować z rekonstrukcją offline a także usunięcie specyficznego sterowania algorytmami z zachowaniem optymalizacji [10]. Ukończenie tego zadanie jest planowane na 2020 rok. Do roku 2026 planowane jest znaczne ulepszenie i przyspieszenie algorytmów, aby sprostać warunkom eksperymentalnym HL-LHC. Jedną z rozważanych możliwości jest użycie zewnętrznych koprocesorów dedykowanych specyficznym obliczeniom takim jak rekonstrukcja śladów.

Prace nad unowocześnieniem oprogramowania systemu HLT wykonywane są pod moim współkierownictwem.

## Literatura

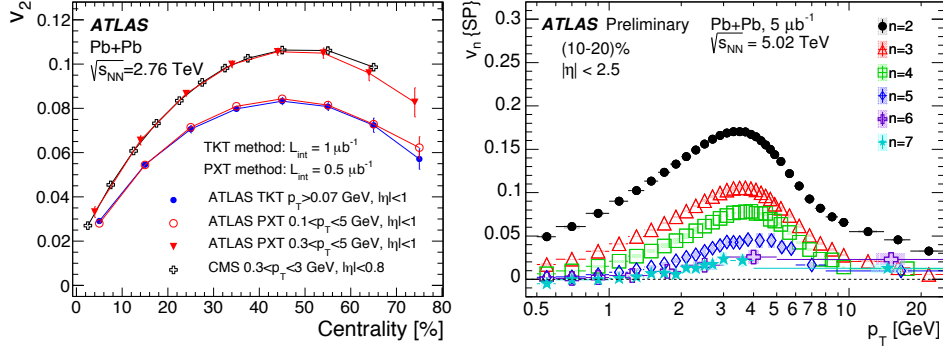
- [1] T. Bold. *High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC*. Number 978-83-65256-07-2. EXPOL, 2016.
- [2] ATLAS Collaboration. Measurements of the Total and Differential Higgs Boson Production Cross Sections Combining the  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$  Decay Channels at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS Detector. *Phys. Rev. Lett.*, 115(9):091801, 2015.
- [3] G. Antchev, P. Aspell, I. Atanassov, V. Avati, J. Baechler, et al. First measurement of the total proton-proton cross section at the LHC energy of  $\sqrt{s}=7$  TeV. *Europhys. Lett.*, 96:21002, 2011.
- [4] Jr. Alves, A. Augusto et al. The LHCb Detector at the LHC. *JINST*, 3:S08005, 2008.
- [5] ALICE Collaboration. Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC. *Int.J.Mod.Phys.*, A29:1430044, 2014.
- [6] CMS Collaboration. The CMS Experiment at the CERN LHC. *JINST*, 3:S08004, 2008.
- [7] ATLAS Collaboration. The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider. *JINST*, 3:S08003, 2008.
- [8] R. Bartoldus et al. Technical Design Report for the Phase-I Upgrade of the ATLAS TDAQ System. Technical Report CERN-LHCC-2013-018. ATLAS-TDR-023, CERN, 2013.
- [9] S. George, B. Petersen, E. Lipeles, M. Ishino, N. Konstantinidis, J. Adelman, D. Sankey, T. Pauly, J. Zhang, J. Baines, T. Bold, G. Lehmann Miotto, N. Gee, C. Bee, D. Francis, and D. Strom. Initial Design Review for the Phase-II Upgrade of the ATLAS TDAQ System. Technical Report ATL-COM-DAQ-2016-028, CERN, 2016. (ATLAS internal documentation).
- [10] J. Baines, T. Bold, P. Calafiura, S. Kama, C. Leggett, D. Malon, G. A. Stewart, and Wynne B. M. ATLAS Future Framework Requirements Group Report. Technical Report ATL-SOFT-PUB-2016-001, CERN, 2016.

## 5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Według hipotezy sformułowanej przez J.D. Bjorkena w latach osiemdziesiątych 20go wieku przy odpowiednio wysokiej temperaturze ( $\sim 10^{12}K$ ), powstałej w zderzeniach ciężkich jonów przy ultra-relatywistycznych prędkościach miało dojść do wytworzenia tak zwanej plazmy kwarkowo-gluonowej (QGP z ang. *Quark Gluon Plasma*). Badanie materii w takim stanie ma wiele aspektów poznawczych. Jednym z nich jest potwierdzenie asymptotycznej swobody w oddziaływaniach kwarków i gluonów, co z kolei jest przyczynkiem do eksperymentalnej weryfikacji chromodynamiki kwantowej, a nawet stanowi wkład w weryfikację teorii strun [1]. Warunki wytwarzane w laboratoriach podczas zderzeń odtwarzają warunki, które panowały podczas ewolucji Wszechświata kilka milisekund po Wielkim Wybuchu. Wstępnie spekulowana natura QGP zakładała jej podobieństwo do gazu idealnego, tymczasem już eksperymenty na RHIC wykazały, że jest ona bardziej podobna do idealnej cieczy [2]. Spośród wielu sygnatur fizycznych powstania QGP jest występowanie długo-zasięgowych korelacji w obserwowanych stanach końcowych. Poprawnych przewidywań tych obserwacji dostarcza model, w którym układ od pierwszych binarnych zderzeń do stanu końcowego przechodzi przez etap opisany modelem hydrodynamicznym cieczy o małej lepkości. Badania korelacji długo-zasięgowych prowadzone są na LHC w eksperymencie ATLAS, między innymi przeze mnie. Obserwowana jest azymutalna korelacja krotności zwyczajowo dekomponowana w rozwinięciu Fourierowskim

$$\frac{dN}{d\phi} \propto 1 + \sum_n v_n \cos n(\phi - \Psi_n),$$

gdzie  $N$  jest liczbą cząstek,  $\phi$  kątem azymutalnym cząstki,  $\Psi_n$  kątem płaszczyzny symetrii rozkładu, a  $v_n$  amplitudą korelacji. Odpowiednio, dla  $n=2,3$ , itd.  $v_n$  nazywamy współczynnikami wpływu eliptycznego, trójkątnego, itd. Drugi współczynnik,  $v_2$ , związany jest z początkową geometrią zderzenia, a kolejne harmoniczne z fluktuacjami tej geometrii wyższych rzędów. Współczynnik  $v_n$  jest w ogólności funkcją pędu, centralności zderzenia, a także w mniejszym stopniu funkcją kąta polarnego lub pseudorapidity. W ogólności metody wyznaczania  $v_n$  opierają się na badaniu korelacji wielocząstkowych. Taką jest metoda korelacji z aproksymowaną płaszczyzną reakcji [3, 4]. Dokonuje się w niej aproksymacji kąta płaszczyzny reakcji z użyciem detektora oddalonego w kącie polarnym od cząstki będącej przedmiotem zainteresowania (robi się to aby zredukować wpływ korelacji krótko-zasięgowych), po czym



Rysunek 9: (Po lewej) Wartość całkowitego współczynnika wpływu eliptycznego,  $v_2$  w funkcji centralności zderzenia uzyskana przez eksperyment ATLAS dla pełnego zakresu pędów w porównaniu do wyniku CMS przy energii zderzeń Pb-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV w centrum masy na parę nukleonów. Pionowymi odcinkami oznaczono sumaryczne niepewności statystyczne i systematyczne [5]. (Po prawej) Wartości współczynników korelacji  $v_n$  w funkcji pędów dla jednego przedziału centralności (10-20%) w zderzeniach Pb-Pb przy energii  $\sqrt{s_{NN}} = 5.12$  TeV na parę nukleonów [6].

koreluje się pozostałe cząstki z tym kątem. Z wykorzystaniem tych metod eksperyment ATLAS w danych z 2011 roku przy energii w centrum masy na parę nukleonów,  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, zmierzył współczynnik  $v_2$  scałkowany po przestrzeni pędów, ułatwiając tym samym porównania z modelami teoretycznymi, [5]. Główny wynik tego pomiaru pokazany jest na lewym panelu rysunku 9, gdzie prezentowana jest zależność  $v_2$  od centralności. Należy zaznaczyć, że trudniejszy eksperymentalnie pomiar eksperymentu ATLAS, w którym pokryte jest całe spektrum pędów cząstek, jest znacząco różny od wyników uzyskanych przez pozostałe eksperymenty na LHC. Uczestniczyłem również w przygotowaniu różniczkowego pomiaru  $v_n$  przy energii  $\sqrt{s_{NN}} = 5.12$  TeV [6]. Zależność  $v_n$  dla 7 harmonicznych pokazana jest na prawym panelu rysunku 9.

W ramach grupy studiów nad zderzeniami ciężkich jonów, poza wspomnianą koordynacją przygotowania system filtrów do zbierania danych i ich analizą jestem członkiem bądź kierownikiem zespołów redakcyjnych przygotowujących wyniki eksperymentu ATLAS do publikacji, w tym dwóch not konferencyjnych [7, 8] i kolejnych dwóch w trakcie przygotowania. Zaznaczam, że w przypadku współpracy ATLAS, noty te przechodzą restrykcyjny

proces weryfikacji w takich właśnie zespołach redakcyjnych. Wyniki prac grupy badawczej prezentowałem na kilku konferencjach międzynarodowych w tym renomowanej konferencji Recontres de Moriond <sup>2</sup> oraz Quark Matter [9, 10, 11, 12].

## Literatura

- [1] Kovtun, P. et al. *Phys. Rev. Lett.*, 94:111601, 2005.
- [2] RHIC Collaborations. *Nuclear Physics A (Special Issue)*, 757(1-2):1–283, 2005.
- [3] A. M. Poskanzer and S. A. Voloshin. *Phys. Rev.*, C58:1671–1678, 1998.
- [4] M. Luzum and J-Y. Ollitrault. *Phys. Rev.*, C87(4):044907, 2013.
- [5] ATLAS Collaboration. Measurement of the centrality and pseudorapidity dependence of the integrated elliptic flow in lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with the ATLAS detector. *Eur. Phys. J.*, C74(8):2982, 2014.
- [6] ATLAS Collaboration. Measurement of the azimuthal anisotropy of charged particles produced in 5.02 TeV Pb+Pb collisions with the ATLAS detector. Technical Report ATLAS-CONF-2016-105, CERN, Geneva, Sep 2016.
- [7] ATLAS Collaboration. Measurement of charged particle spectra in pp collisions and nuclear modification factor  $R_{pPb}$  at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV with the ATLAS detector at the LHC. Technical Report ATLAS-CONF-2016-108, CERN, Geneva, Sep 2016.
- [8] ATLAS Collaboration. Azimuthal femtoscopy in central  $p$ +Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV with ATLAS. Technical Report ATLAS-CONF-2017-008, CERN, Geneva, Feb 2017.
- [9] T. Bold. Results from lead-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with ATLAS at the LHC. In G. M. Bilei, S. Ciprini, and L. Fanò, editors, *Proceedings of the Physics at LHC 2011, Perugia, Italy, 2011*, volume eConf/C1106061, pages 59–62, 2012.

---

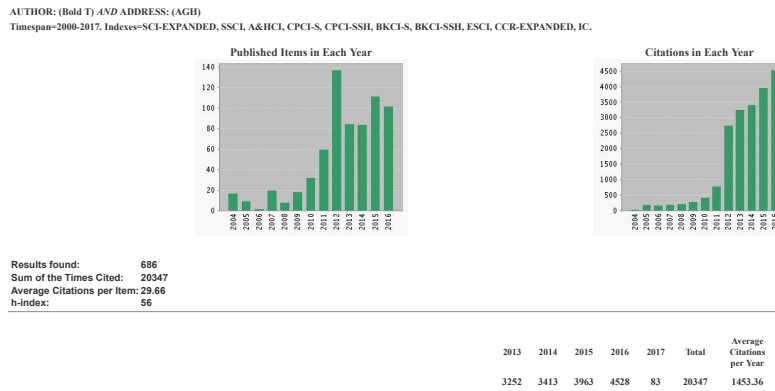
<sup>2</sup>Refereat zaproszony.



- [10] T. Bold. Measurements of Elliptic Flow with the ATLAS Detector. *Nuclear Physics A*, 904:491c – 494c, 2013. Proceedings of Quark Matter Conference 2012.
- [11] T. Bold. Soft Physics of p+Pb and Pb+Pb Collisions from the ATLAS Experiment at the LHC. *Acta. Phys. Pol. B*, 45(7):1331–1324, 2014.
- [12] T. Bold. Heavy-ion measurements at ATLAS. In *Proceedings of the 51st Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Interactions, La Thuile, Italy, 2016 (in preparation)*, 2016. Also available as tech. report ATL-PHYS-PROC-2016-043.

## 6 Publikacje

Wskaźniki publikacyjne według bazy Web of Science z dnia 06.03.2017 pokazane są na rysunku 10. I tak całkowita ilość publikacji to 686 a h-index wynosi 56. W załączniku 2 znajduje się pełniejszy spis publikacji z bazy SPIRES



Rysunek 10: Wskaźniki publikacyjne według Web Of Science

gdzie całkowita ilość publikacji to 725. Na podstawie tego zestawienia obliczono *impact factor* autora według następującej formuły  $\sum_{\text{czasopisma}} IF \cdot n$ , gdzie *IF* jest współczynnikiem dla czasopisma a *n* liczbą publikacji w czasopiśmie przy czym oba te współczynniki zależą od roku. Według bazy Web of Science współczynniki *IF* znane są do 2015 roku. Zaniedbując wszystkie artykuły po 2015 *impact factor* autora wynosi 3037 a 3715 zakładając że

współczynnik  $IF$  w latach 2016-2017 pozostaje na niezmiennym poziomie jak w 2015.

Większość publikacji jest wieloautorska. We współpracy ATLAS (jak i innych dużych kolaboracjach) ocenienie unikalnej kontrybucji autora jest trudne, a wręcz niewskazane. Wkład części autorów ogranicza się do wykonania specyficznych analiz czy bieżącej obsługi eksperymentu. W innych przypadkach kontrybucja ma wpływ na wszystkie uzyskane wyniki i taki jest rodzaj mojej działalności w eksperymencie. Poświadczeniem wagi tego wkładu niech będą list referencyjny od koordynatora projektu ATLAS TDAQ, wewnętrzna nagroda eksperymentu, nominacje do wygłoszenia referatów w imieniu eksperymentu i w końcu powierzenie funkcji koordynacyjnych w kluczowych dla przyszłości eksperymentu zadaniach. Niemniej jednak, publikacje wyszczególnione w załączniku 5 opisane są zgodnie z wymogami ustawy.

## 7 Udział w projektach badawczych

1. 112/E-356/SPB/DESY/P-03/DZ 116/2003-05 (2003-2005), eksperyment ZEUS, **wykonawca**, *Badanie oddziaływań elektronów z protonami w eksperymencie ZEUS na akceleratorze HERA*, miejsce realizacji: AGH Kraków
2. SPB/CERN/P-03/DZ 108/2003-05 (2003-2005), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Budowa aparatury detekcyjnej i przygotowanie programu fizycznego eksperymentu ATLAS przy LHC*, miejsce realizacji: AGH Kraków
3. SPB nr DESY/252/2006 (2006-2008), eksperyment ZEUS, **wykonawca**, *Badanie oddziaływań elektronów z protonami w eksperymencie ZEUS na akceleratorze HERA*, miejsce realizacji: AGH Kraków
4. SPB nr CERN/85/2006 (2006-2008), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Budowa aparatury detekcyjnej i przygotowanie programu fizycznego eksperymentu ATLAS przy LHC*, miejsce realizacji: AGH Kraków
5. 665/N-CERN-ATLAS/2010/0 (2010-2013), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Eksperyment ATLAS: rejestracja i analiza danych oraz utrzymanie i rozwój detektorów*, miejsce realizacji: AGH Kraków

6. DEC-2011/03/B/ST/02631 (2012-2015), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Badanie zderzeń ciężkich jonów przy najwyższych energiach akceleratorowych*, miejsce realizacji: IFJ PAN Kraków
7. DEC-2013/08/M/ST2/00320 (2013-2015), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Eksperyment ATLAS – doświadczalna weryfikacja Modelu Standardowego i poszukiwania Sygnałów Nowej Fizyki przy energiach LHC*, miejsce realizacji: AGH Kraków
8. DEC-2015/18/M/ST2/00087 (2016-2017), eksperyment ATLAS, **wykonawca**, *Badanie zderzeń ciężkich jonów w eksperymencie ATLAS przy energiach LHC*, miejsce realizacji: AGH Kraków

## 8 Omówienie osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

Dydaktyka: Ćwiczenia audytoryjne z podstaw fizyki i statystyki dla studentów kierunków inżynierskich AGH.

Ćwiczenia laboratoryjne z programowania obiektowego i inżynierii oprogramowania dla studentów fizyki i informatyki stosowanej.

Przygotowanie i prowadzenie nowych przedmiotów: “Języki skryptowe - metodologia pracy” i “Programowanie funkcjonalne w języku Scala” w formie wykładów i ćwiczeń laboratoryjnych.

Organizacja:

ATLAS Zarządzanie pracą międzynarodowej grupy Trigger Core Software eksperymentu ATLAS (2007-2011)

Zarządzanie pracą międzynarodowej grupy Trigger Software Upgrade eksperymentu ATLAS (od 2014)

Organizacja bieżącej działalności grupy oraz warsztatów:

- 2014 - CERN
- 2015 - Lisbona
- 2016 - CERN
- 2017 - Kraków

Udział w pracach grup planistycznych dotyczących przyszłego oprogramowania eksperymentu ATLAS i architektury systemu TDAQ.

Współorganizacja prac międzynarodowej grupy Heavy Ion Trigger Menu Forum przygotowującej system filtra do zbierania danych ze zderzeń ciężkich jonów eksperymencie ATLAS (od 2010)

Reprezentacja klastra UJ/AGH w ciele decyzyjnym ATLAS TDAQ Institutes Board (od 2012).

Członek TDAQ Speakers Committee organizującego wystąpienia konferencyjne zespołu ATLAS TDAQ (2015-2016)

Członek i koordynator zespołów redakcyjnych eksperymentu ATLAS

AGH Praca w komisji rekrutacyjnej wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH (2014-2016)

Obecnie jestem promotorem pomocniczym Pani Klaudii Burki przygotowującej rozprawę doktorską pod tytułem: “Measurement of the azimuthal anisotropy in Pb+Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV with the ATLAS detector at the LHC” realizowanej w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN.

Prace magisterskie wykonane pod moją opieką:

1. Pan Dawid Wawryka: “Zarządzanie obiektami grafiki 2D w środowisku ROOT” (2014)
2. Pani Klaudia Burka: “Pomiar wyższych harmonicznych w rozkładach azymutalnych cząstek naładowanych w zderzeniach jąder ołowiu na LHC w detektorze ATLAS” (2014)
3. Pani Natalia Sechman: “Internetowa aplikacja dla osób starszych z ograniczeniami funkcjonalnymi związanymi z wiekiem” (2014)
4. Pan Mateusz Sak “System do prezentacji kodu programów na stronach www” (2015)
5. Pan Konrad Lalik: “Sieci Bayesowskie w analizie danych” (2016)
6. Pan Paweł Sołtysiak: “Analiza potencjału wykorzystania technologii Nvidia CUDA w poprawie wydajności przetwarzania danych eksperymentu ATLAS na LHC” (spodziewana obrona w 2017)
7. Pan Piotr Sarna: “Równoległe przetwarzanie przypadków w systemie wyzwalania eksperymentu ATLAS” (spodziewana obrona 2017)

Ponadto w latach 2011-2016 byłem opiekunem 20 prac inżynierskich.

Popularyzacja: Udział w krótkim popularyzatorskim filmie “Magazyn Akademicki” pt. “Fizycy z AGH i ich współpraca z CERN” realizowanym przez telewizję regionalną Kraków (2012)

Wykład dla Otwartego Uniwersytetu Technicznego pt. “Eksperyment Fizyki Wysokich Energii - ATLAS - od detekcji do odkrycia” (2013)

*Tomasi Boid*