

dr hab. inż. Tomasz Szumlak  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Im. Stanisława Staszica w Krakowie

Kraków 08/08/2017

Prof. dr hab. Grzegorz Wrochna  
Przewodniczący Komisji ds. postępowania habilitacyjnego dr inż. Tomasza Bołda

Ocena dorobku naukowo-badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz osiągnięcia naukowego p.t. „High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC - system design and performance” dr inż. Tomasza Bołda w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Praca habilitacyjna dr inż. Tomasza Bołda zatytułowana „**High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC - system design and performance**” jest podsumowaniem działalności naukowej Habilitanta związanej z systemem wyzwalania przypadków eksperymentu ATLAS (ang. A Toroidal LHC ApparatuS) będącego jednym z czterech wielkich eksperymentów pracujących obecnie przy zderzaczach hadronów LHC w CERNie pod Genewą.

Główną częścią pracy habilitacyjnej dr inż. Tomasza Bołda, które jest osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz. U. nr 65 poz. 595, z późniejszymi zmianami), jest monografia wydana w formie książki pod tym samym tytułem oraz obszerny autoreferat zawierający opis jego najważniejszych osiągnięć. Habilitant załączył również list referencyjny potwierdzający jego udział w tworzeniu oraz utrzymaniu i rozwoju systemu wyzwalania przypadku (ang. trigger) eksperymentu ATLAS. List referencyjny napisał dr David Strom, który jest obecnie koordynatorem grupy Trigger and Data Acquisition w eksperymencie ATLAS. Dr Strom potwierdza w nim długoletnią współpracę z habilitantem.

Z uwagi na to, że dr inż. Tomasz Bołd jest członkiem wielkiej Współpracy naukowej, przeważająca liczba jego publikacji podpisana jest przez wszystkich jej członków. W takich przypadkach ocena dorobku musi zostać przygotowana na podstawie specjalnie do tych celów napisanej monografii oraz listów referencyjnych. Z tego powodu nie będę w niniejszej recenzji zajmować się opisem publikacji habilitanta (który, jak należy podkreślić, według bazy danych Web of Science jest imponujący) ale przejdę bezpośrednio do analizy przygotowanej przez niego monografii (streszczonej elegancko w autoreferacie) oraz listu referencyjnego przygotowanego specjalnie dla poparcia procesu habilitacyjnego.

## Ocena merytoryczna rozprawy oraz dorobku naukowego

Detektor ATLAS jest jednym z dwóch wielkich eksperymentów ogólnego przeznaczenia (ang. General Purpose Detector) zbierającym dane fizyczne przy zderzaczach LHC (ang. Large Hadron Collider) w CERN. Rolę i znaczenie systemu wyzwalania oraz akwizycji danych eksperymentalnych można w pełni zrozumieć oraz docenić analizując warunki pracy aparatury detekcyjnej ATLASa. Przy nominalnej świetności zderzacza (podczas okresu zbierania danych wynosi ona około  $\mathcal{L} \approx 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) podczas jednego przecięcia wiązek protonowych ATLAS „widzi” do 50 oddziaływań proton-proton (ang. pile-up) co daje około  $10^9$  oddziaływań w każdej sekundzie zbierania danych. Średni strumień danych generowanych w jednej sekundzie przez wszystkie kanały pomiarowe wynosi w przybliżeniu peta bajt (1 PB). Zapis i analiza tak dużych wolumenów danych nie jest możliwa przy obecnym poziomie technologicznym, poza tym z punktu widzenia planu fizycznego eksperymentu jedynie niewielka część przypadków jest interesująca. Należy więc ten kolosalny strumień danych poddać obróbce wstępnej na etapie rejestracji danych i wybrać jedynie te zdarzenia, które mogą zostać wykorzystane przykładowo do poszukiwania Nowej Fizyki. Pracę tę wykonuje system wyzwalania, który w przypadku ATLASa posiada architekturę mieszaną: pierwszy stopień filtrowania przypadków wykonywany jest przez część sprzętową (hardware trigger) zwaną L1, który wypracowuje wstępną decyzję i zmniejsza strumień analizowanych przypadków z 40 MHz do około 100 kHz. Tryger L1 opiera swoje działanie na szybkim pomiarze energii zdeponowanej w kalorymetrach i estymacji energii poprzecznej oraz detekcji mionów posiadających wysoki pęd poprzeczny. Informacje te, zawierające dodatkowo dane o pozycji geometrycznej kanałów pomiarowych wykorzystanych przez tryger sprzętowy (ang. Region of Interest), zostają przekazane do drugiego poziomu systemu wyzwalania – trygera programowego HLT (ang. High Level Trigger). HLT jest formalnie aplikacją komputerową, zaimplementowaną w języku C++, wykonywaną na farmie CPU (obecnie farma ta zawiera około 40000 rdzeni przetwarzających dane). Tryger HLT ma za zadanie wybranie do zapisu oraz dalszej analizy około 1% przypadków zaakceptowanych przez tryger L1.

Każdy z przypadków, który podlega przetwarzaniu w HLT, przechodzi szereg testów statystycznych mających na celu stwierdzenie czy jest on użyteczny z punktu widzenia analizy fizycznej. Ten proces klasyfikacji zawiera około 2000 algorytmów, które różnią się stopniem wyrafinowania i są uszeregowane od najprostszycych do bardziej skomplikowanych. System zaprojektowany jest w ten sposób, aby możliwe było natychmiastowe przerwanie przetwarzania danego przypadku, jeśli nie spełnia on kryteriów narzuconych przez dany test. Cecha ta, nazywana wczesnym odrzucaniem, umożliwia znaczne zmniejszenie czasu wykonywania HLT (pamiętamy, że zdecydowana większość przypadków zaakceptowanych wstępnie przez HLT musi zostać odrzucona). Istotnym problemem, z którym zmierzyć się musi system wyzwalania ATLASa jest wielka liczba kanałów pomiarowych (co odpowiada wielkiej ilości danych surowych), dostarczających informacji na temat własności przypadku. Aby umożliwić wydajną i szybką pracę trygera wysokiego poziomu został on tak zaprojektowany, że na wczesnym etapie jego działania wykorzystywane są jedynie informacje z poszczególnych rejonów zainteresowania (Region of Interest) wskazanych przez L1. Jest to druga cecha charakterystyczna systemu HLT eksperymentu ATLAS.

Projekt i wykonanie elastycznego trygera wysokiego poziomu, który będzie przeznaczony do detekcji wielkiej liczby różnych rodzajów procesów fizycznych jest zadaniem skomplikowanym oraz niezwykle odpowiedzialnym. Selekcja przypadków odbywa się w czasie rzeczywistym i odrzucone przypadki zostają utracone na zawsze. Błędy algorytmów lub ich konfiguracji są więc absolutnie niedopuszczalne. Grupy

zajmujące się implementacją, utrzymaniem oraz rozwojem oprogramowania systemów wyzwalania dla eksperymentów fizyki wysokiej energii stanowią elitę każdej Współpracy. Wszelkie zadania (ang. tasks) wykonywane w ramach prac nad systemem wyzwalania traktowane są więc niezwykle prestiżowo. Praca nad oprogramowaniem tego typu wymaga zarówno szerokiej wiedzy dotyczącej fizyki detektorowej jak i dokładnej znajomości specyfiki wszelkich analiz fizycznych związanych z programem badawczym całej Współpracy, gdyż już na poziomie HLT konieczne jest wykonanie częściowej rekonstrukcji oraz selekcji przypadków. Tryger wysokiego poziomu detektora ATLAS jest przykładem wyrafinowanego systemu, który dzięki swojej wysokiej jakości pozwolił między innymi na odkrycie bozonu Higgsa, obserwacje rzadkich rozpadów mezonów pięknych, badanie procesów produkcji czy wreszcie udział w analizie zderzeń jon-jon oraz jon-proton.

Na podstawie samej rozprawy jak również listu referencyjnego stwierdzam, że Habilitant wniósł wiodący wkład w projekt, powstanie oraz utrzymanie systemu trygera wysokiego poziomu w eksperymencie ATLAS. Przedstawiona rozprawa napisana jest eleganckim językiem i stanowi cenny i unikalny wkład w dokumentację stworzenia i działania trygera HLT detektora ATLAS. Habilitant rozpoczął pracę nad oprogramowaniem HLT na długo przed rozpoczęciem zbierania danych fizycznych. Przy tym, należy podkreślić, że w czasie swojej długiej pracy nad tym systemem zajmował się on bardzo szerokim spektrum zagadnień. Jego pierwszym zadaniem było stworzenie niezawodnego systemu monitorowania pracy algorytmów HLT w czasie rzeczywistym. Zadanie to, stanowiło znaczące wyzwanie – wyniki z wszystkich jednostek przetwarzania (około 40000 CPU) należało zebrać i wypracować na ich podstawie odpowiednie metryki statystyczne, które w sposób przejrzysty dostarczać mają informację na temat zachowania oraz jakości pracy trygera wysokiego poziomu. Platforma monitorująca pracę HLT stała się kluczowym elementem koniecznym nie tylko w regularnej pracy trygera HLT podczas zbierania danych rozproszeniowych, ale również podczas jego pierwszego uruchomienia (and. Commissioning). **Jakość wyprodukowanego przez Habilitanta oprogramowania oraz wyniki uzyskane na jego podstawie zostały bardzo wysoko ocenione przez Współpracę ATLAS dzięki czemu został on nominowany na stanowisko zastępcy koordynatora grupy zajmującej się rozwojem oprogramowania dla trygera HLT** (and. Trigger Core Software Group). W tym miejscu pozwolę sobie na uwagę, że wybór na stanowisko koordynatora w tak dużej Współpracy jak tej związanej z eksperymentem ATLAS jest osiągnięciem wyjątkowym i świadczy o ponad przeciętnych osiągnięciach Habilitanta.

Jako koordynator grupy odpowiedzialnej za rozwój oprogramowania, habilitant wniósł znaczący udział w implementację oprogramowania do konfiguracji trygera HLT. Oprogramowanie to (ang. Trigger Steering), które można porównać w przybliżeniu do dyspozytora systemu operacyjnego, pozwala na wygodną kompozycję sekwencji prostych algorytmów do selekcji, które klasyfikują przypadki wybrane przez tryger sprzętowy. Dzięki takiemu elastycznemu systemowi konfiguracji możliwe jest wydajne i niezawodne działanie trygera przy ciągle zmieniających się warunkach pracy detektora ATLAS. Habilitant, miał również wiodącą rolę przy tworzeniu specjalnej konfiguracji trygera dedykowanego zderzeniom jonowym. Było to zadanie nie trywialne i wymagało znakomitej wiedzy na temat szczegółów analiz fizycznych wykonywanych przez Współpracę ATLAS. **Za swoją pracę, Habilitant został nagrodzony przez Współpracę ATLAS wyróżnieniem „ATLAS Outstanding Achievement Award”** (nagroda grupowa współdzielona z dwoma innymi naukowcami zajmującymi się rozwojem trygera HLT).

Biorąc pod uwagę powyższe osiągnięcia nie dziwi fakt, że Habilitant został wybrany na jednego z koordynatorów modernizacji systemu trygera wysokiego poziomu, który ma zostać użyty do zbierania danych w okresie Run 3 (2021 – 2023). Główny nacisk w tym przypadku będzie położony na wykorzystanie nowych technologii przetwarzania a w szczególności obróbki wielowątkowej.

Habilitant, poza pracą nad rozwojem oprogramowania eksperymentu ATLAS, zajmuje się analizą fizyczną własności plazmy kwarkowo-gluonowej otrzymywanej w procesach rozpraszania jon-jon oraz jon-proton. W szczególności bierze on udział w pomiarach korelacji azymutalnych krotności cząstek produkowanych w takich reakcjach. Wstępne wyniki zaprezentował on na dwóch konferencjach międzynarodowych.

#### **Inna działalność w tym dydaktyczna oraz organizacyjna**

Habilitant może pochwalić się uczestnictwem w aż ośmiu projektach finansowanych w ramach grantów krajowych związanych z eksperymentami ZEUS oraz ATLAS. Jest on również nauczycielem akademickim i prowadzi szereg zajęć związanych z programowaniem. Podkreślę tutaj, że zaproponował oraz prowadzi swoje własne wykłady monograficzne: „Języki skryptowe – metodologia pracy” oraz „Programowanie funkcjonalne w języku Scala”. Habilitant udziela się w komisji rekrutacyjnej Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Jest promotorem pomocniczym rozprawy doktorskiej związanej z analizą fizyczną procesów rozpraszania jon-jon realizowanej w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Warto również wspomnieć o siedmiu wypromowanych przez Habilitanta magistrantach.

#### **Podsumowanie i konkluzja**

Podsumowując, po zapoznaniu się ze wszystkimi nadesłanymi materiałami stwierdzam, że dr inż. Tomasz Bołd posiada znaczący i rozpoznawalny w środowisku międzynarodowym dorobek naukowy związany z fizyką doświadczalną. Jego dotychczasowa kariera wyraźnie wskazuje na to, że jest on gotowy do prowadzenia samodzielnej działalności badawczej. W moim przekonaniu przedstawione przez Habilitanta osiągnięcia naukowe, dydaktyczne oraz organizacyjne spełniają warunki ustawowe związane z uzyskaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego. Popieram, z pełnym przekonaniem, dopuszczenie dr inż. Tomasza Bołda do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tomasz Szumlak

