

Prof. dr hab. Natalia Golnik  
Wydział Mechatroniki,  
Politechnika Warszawska

**RECENZJA**  
**pracy habilitacyjnej pt**  
**„Mieszaniny robocze w detektorach gazowych stosowanych w eksperymentach fizyki**  
**wysokich energii i mikrodozymetrii”**  
**oraz ocena dorobku naukowego dr inż. Tadeusza Zdzisława Kowalskiego**

**1. Sylwetka Kandydata**

**a. Podstawowe dane personalne**

Dr inż. Tadeusz Zdzisław Kowalski jest absolwentem i pracownikiem Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Stopień magistra inżyniera elektryka w zakresie technicznej fizyki jądrowej uzyskał (z wyróżnieniem) w 1977 roku na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH, przedkładając pracę dyplomową zatytułowaną „Długożyciowe liczniki proporcjonalne promieniowania rentgenowskiego o energii do 6 keV wypełnione neonem”.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał 1 grudnia 1983 r. uchwałą Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Analiza współczynnika wzmocnienia gazowego w mieszaninach gazów i par w funkcji wybranych parametrów”

Opiekunem zarówno pracy dyplomowej jak pracy doktorskiej Habilitanta był Doc. dr Kazimierz W. Ostrowski.

**b. Zarys kariery zawodowej**

Od czasu ukończenia studiów Dr inż., T.Z. Kowalski był zawodowo związany z Akademią Górniczo Hutniczą w Krakowie. Początkowo (w latach 1977-78) został zatrudniony na stanowisku asystenta stażysty, następnie w latach 1978-1983 przeszedł na Środowiskowe Studia Doktoranckie UJ-AGH, po czym w latach 1980-1993 pracował w Międzyresortowym

Instytucie Fizyki i Techniki Jądrowej AGH jako specjalista naukowo – techniczny. Od 1993 roku jest zatrudniony jako adiunkt na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH.

Duże znaczenie dla pracy naukowej Habilitanta miał udział w kolaboracjach naukowych fizyki wielkich energii w ośrodku DESY w Hamburgu (eksperyment ZEUS na akceleratorze HERA) i w CERN (eksperyment ATLAS na akceleratorze LHC). Jako członek kolaboracji ZEUS, Habilitant prowadził bieżącą obsługę systemu gazowego kalorymetru BAC i brał udział w zbieraniu danych przez eksperyment ZEUS. Z kolei jako członek kolaboracji ATLAS prowadził bieżącą obsługę systemu stabilizacji wzmocnienia gazowego detektora promieniowania przejścia TRT i również brał udział w zbieraniu danych przez eksperyment ATLAS.

Aktualnie Habilitant współpracuje jako współautor z Kolaboracją RD51 (Development of Micro-Pattern Gas Detectors Technologies), która koordynuje prace dotyczące rozwoju detektorów gazowych typu mikro- oraz klasycznych detektorów gazowych.

Oprócz współpracy z ośrodkami DESY i CERN, Habilitant odbył staż naukowo-badawczy, w European Space Research and Technology Centre (1986 -1987, Holandia, Noordwijk aan Zee stypendium Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu).

## **2. Omówienie osiągnięcia naukowego Habilitanta**

Jako osiągnięcie habilitacyjne, Habilitant przedłożył cykl 9 publikacji oraz Autoreferat. Wybrane prace zostały opublikowane w Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A (2 prace) oraz w Journal of Instrumentation (7 prac). Trzy prace są publikacjami pokonferencyjnymi w regularnym numerze czasopisma. Dr T.Z. Kowalski jest jedynym autorem 5 spośród tych publikacji. Pozostałe prace mają dwóch lub trzech autorów. Dr Kowalski jest w nich drugim autorem, a jego deklarowany wkład do tych prac waha się od 51% do 75%. Wszystkie prace zostały opublikowane w latach 2014 -2017, czyli są pracami stosunkowo nowymi, co wpływa na niewielką liczbę cytowań – w sumie 19, z czego 11 cytowań przypada na pracę Ö. Şahin, T.Z. Kowalski, R. Veenhof, „High-precision gas gain and energy transfer measurements in Ar-CO<sub>2</sub> mixtures”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 768(2014)104-111, oznaczoną w Autoreferacie jako praca [H2].

Autoreferat zawiera wprowadzenie do tematyki detektorów gazowych i ich zastosowań w fizyce wielkich energii, omówienie prac przedłożonych jako dzieło habilitacyjne oraz prezentację dorobku naukowego i dydaktycznego Habilitanta.

Tematem łączącym cykl przedłożonych prac są badania i optymalizacja mieszanin roboczych wykorzystywanych w detektorach gazowych stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii i mikrodozymetrii. Badania eksperymentalne prowadzone były za pomocą liczników proporcjonalnych, ale badane mieszaniny są wykorzystywane również w innych typach detektorów gazowych.

Pierwsza z przedłożonych prac, zatytułowana „Manifestation of the Penning effect in gas proportional counters” dotyczy badań wpływu efektu Penninga na wzmocnienie gazowe. Efekt Penninga zachodzi w mieszkankach gazowych, w których energia stanów metastabilnych lub wzbudzonych gazu głównego jest wyższa od potencjału jonizacji domieszki. Przy niewielkich, a nawet śladowych koncentracjach domieszki efekt Penninga może powodować produkcję dodatkowych elektronów w procesie rozwoju lawiny elektronowej. W pracy wykazano wpływ efektu Penninga na wzmocnienie gazowe, efektywny potencjał jonizacji oraz stosunek  $\alpha/p$  (pierwszego współczynnika Townsenda/ciśnienia gazu) w mieszaninach Ar i Kr z cykloheksanem, etanolem, izopentanem i CO<sub>2</sub>, w zależności od stężenia domieszki.

Badania efektu Penninga kontynuowane były czterech kolejnych przedłożonych pracach. W pracy „High-precision gas gain and energy transfer measurements in Ar-CO<sub>2</sub> mixtures” przedstawiono nowe, wykonane z dużą dokładnością pomiary krzywych wzmocnienia gazowego dla mieszaniny Ar-CO<sub>2</sub>. Pomiary wykonano po raz pierwszy w zakresie 1-50% CO<sub>2</sub> dla kilku ciśnień gazu. W pracy wyznaczono m.in. prawdopodobieństwo efektu Penninga w funkcji ciśnienia mieszaniny gazowej, przy różnych koncentracjach CO<sub>2</sub>. Pełny model transferu energii w efekcie Penninga dla tej mieszaniny gazów przedstawiono w pracy „A comprehensive model of Penning energy transfers in Ar – CO<sub>2</sub> mixtures”. Do danych doświadczalnych dopasowywano model z dwoma parametrami – prawdopodobieństwem transferu energii w efekcie Penninga i drugi współczynnik Townsenda. Do obliczeń wykorzystany został oparty na metodzie Monte Carlo program MAGBOLTZ (University of Liverpool), który umożliwia numeryczne całkowanie równań transportu elektronów w gazie. Wykazano bardzo dobrą zgodność danych doświadczalnych z modelem.

W pracach “Systematic gas gain measurements and Penning energy transfer rates in Ne – CO<sub>2</sub> mixtures” oraz “Measurements and calculations of electron avalanche growth in ternary mixture of Ne – CO<sub>2</sub> – N<sub>2</sub>” kontynuowano badania efektu Penninga w mieszaninach gazowych na bazie neonu.

Drugą grupą mieszanin gazowych badanych w przedłożonym cyklu prac były mieszaniny metanu lub propanu z dwutlenkiem węgla i azotem, wykorzystywane jako gaz równoważny (pod względem dozymetrycznym) tkance miękkiej.

Praca "Microdosimetric response of proportional counters filled with different tissue equivalent gas mixtures" w założeniu miała dostarczyć porównania odpowiedzi liczników mikrodozymetrycznych napełnionych różnymi gazami równoważnymi tkance. Praca zawiera bogaty materiał doświadczalny, ale niestety również usterki formalne, które utrudniają albo wręcz uniemożliwiają prawidłową analizę wyników. Jest to przede wszystkim utożsamianie jonizacji w liczniku z depozycją energii oraz rozkładu częstości zdarzeń  $y_F$  z rozkładem dawki. Stąd w mojej ocenie ta praca wnosi niewielki wkład do osiągnięcia habilitacyjnego.

Dużą wartość poznawczą i użyteczną mają natomiast dwie, osobno opublikowane, części pracy "Gas gain limitation in low pressure proportional counters filled with TEG mixtures" W pracach tych badano czynniki limitujące wartość współczynnika wzmocnienia gazowego w niskociśnieniowych licznikach proporcjonalnych równoważnych tkance (TEPC). Badane były mieszaniny gazów równoważnych tkance na bazie metanu i propanu przy ciśnieniach od 20 hPa do 500 hPa. Mierzono współczynnik wzmocnienia gazowego w funkcji napięcia zasilania detektora. W liczniku zastosowano dwie anody o promieniu 100  $\mu\text{m}$  i 48  $\mu\text{m}$ . Wykazano, że przy niskim ciśnieniu gazu roboczego silnie wzrasta promień lawiny elektronowej (przy stałym wzmocnieniu gazowym), co prowadzi do utraty proporcjonalności licznika.

Czynniki ograniczające zakres wzmocnień gazowych, przy których zachowana jest liniowość odpowiedzi detektora badano również w pracy „Factors limiting the linearity of response of tissue equivalent proportional counters used in micro- and nano-dosimetry” Przedmiotem zainteresowania była tym razem praca detektorów przy wysokich wzmocnieniach gazowych, kiedy ładunek jonów wewnątrz pojedynczej lawiny może powodować obniżenie wzmocnienia gazowego.

### **3. Ocena osiągnięcia naukowego Habilitanta**

Przedłożony przez Habilitanta cykl prac spełnia kryterium jednorodności tematycznej, gdyż dotyczą badań zjawisk fizycznych zachodzących w gazowych licznikach proporcjonalnych i wpływających na wzmocnienie gazowe i parametry lawiny elektronowej. Badania mają oprócz wartości poznawczej również bardzo duże znaczenie praktyczne, ze względu na zastosowania badanych mieszanin gazowych w detektorach stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii i w pomiarach dozymetrycznych. Przeprowadzone badania umożliwiają m.in. dokładniejsze określenie ograniczeń w zastosowaniu detektorów gazowych.

Zastosowana metoda polegała przede wszystkim na dopasowaniu parametrów modeli matematycznych do krzywych doświadczalnych. W obliczeniach zależności od sytuacji

fizycznej użyto zarówno formuł analogowych (wzory Diethorna, Aoyamy i Williamsa i Sary) opisujących proces wzmocnienia gazowego jak i programy wykorzystujące metodę Monte Carlo do symulacji transportu elektronów w gazie (programu MAGBOLTZ).

Za najważniejsze osiągnięcie Habilitanta, wnoszące istotny wkład do rozwoju dyscypliny należy uznać badania mieszanin gazowych Ar -CO<sub>2</sub>, Ne - CO<sub>2</sub> oraz Ne - CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> w szerokim zakresie koncentracji czynnika gaszącego i szerokim zakresie ciśnień mieszanin, Wykonane zostały precyzyjne pomiary wzmocnienia gazowego, które zostały następnie wykorzystane do analizy właściwości mieszanin gazowych. W wyniku tych badań wyznaczone zostało prawdopodobieństwo transferu energii w efekcie Penninga,  $r_{Pen}$  w funkcji ciśnienia mieszaniny i koncentracji czynnika gaszącego, a następnie sformułowany został model matematyczny transferu energii w efekcie Penninga opisujący zaobserwowane zależności.

Druga grupa osiągnięć obejmuje wyznaczenie krzywych wzmocnienia gazowego dla mieszanin równoważnych tkance na bazie metanu i propanu. Badania wykonano dla niskich ciśnień gazu, w celu symulacji mikronowych obszarów tkanki. Dla obu mieszanin wyznaczono podstawowe parametry charakteryzujące wzrost lawiny elektronowej,  $\alpha/p$  – pierwszy współczynnik jonizacji Townsenda,  $\Delta E$  – przyrost energii elektronów pomiędzy kolejnymi zderzeniami jonizującymi,  $H$  – zredukowaną wartość natężenia pola elektrycznego przy której rozpoczyna się powielanie elektronów,  $V_i$  – efektywny potencjał jonizacji, promień lawiny elektronowej i jego zależność od wzmocnienia gazowego i ciśnienia gazu roboczego. Dla gazu równoważnego tkance na bazie metanu wyznaczono również górny limit mocy dawki i jego zależność od ciśnienia mieszaniny oraz maksymalne wzmocnienia gazowe ograniczające minimalną wielkość rejestrowanego impulsu.

#### **4. Posumowanie oceny rozprawy habilitacyjnej**

Przedłożony przez Habilitanta cykl prac wraz z Autoreferatem stanowi spójne i aktualne osiągnięcie naukowe w dziedzinie fizyki. Przedłożone prace charakteryzują się oryginalnością i dotyczą istotnych zagadnień fizycznych. Habilitant jest albo jedynym autorem przedłożonych prac, albo współautorem o udziale przekraczającym 50%.

Niewielkim mankamentem wniosku habilitacyjnego jest skromne odniesienie do innych prac. W przedłożonych publikacjach nie było takiej konieczności, ale szersze omówienie stanu badań światowych powinno znaleźć się w Autoreferacie.

Uważam, że zarówno treść merytoryczna jak i sposób opublikowania badań spełniają warunki i wymagania stawiane wnioskowi habilitacyjnemu.

## **5. Ocena dorobku publikacyjnego i aplikacyjnego**

Na bardzo bogaty dorobek publikacyjny Habilitanta składają się, oprócz omówionego wyżej cyklu prac, publikacje sygnowane przez duże kolaboracje oraz prace wykonywane przez mniejsze zespoły badawcze.

Sumaryczna liczba publikacji Habilitanta wg. bazy WOS wynosi 808, liczba cytowań 28834, h-index : 74.

Liczba publikacji Habilitanta bez publikacji afiliowanych przez eksperyment ZEUS i ATLAS wynosi 55, liczba cytowań publikacji bez afiliowanych przez eksperyment ZEUS i ATLAS – 284. Liczba cytowań publikacji bez afiliowanych przez eksperyment ZEUS i ATLAS z pominięciem auto-cytowań:- 243. Indeks Hirsha publikacji bez afiliowanych przez eksperyment ZEUS i ATLAS: 12

Przy ocenie wniosku trzeba też podkreślić bardzo duży dorobek aplikacyjny Habilitanta, w skład którego wchodzi przede wszystkim:

- Udział w budowie systemu gazowego kalorymetru BAC dla eksperymentu ZEUS – Habilitant był koordynatorem prac związanych z projektowaniem, budową i eksploatacją systemu gazowego kalorymetru BAC.
- Udział w budowie detektora promieniowania przejścia TRT eksperymentu ATLAS.

Do dorobku Habilitanta należy też zaliczyć udział w trzech projektach badawczych:

1. Specjalne urządzenie badawcze (SPB) dotyczący eksperymentu ZEUS na akceleratorze HERA w DESY, Hamburg, od 1988 do 2006 (kolejne edycje grantu).
2. Specjalne urządzenie badawcze (SPB) dotyczący eksperymentu ATLAS na akceleratorze LHC w CERN, Genewa, od 1992 do 2013 (kolejne edycje grantu).
3. Harmonia, grant NCN, dotyczy współpracy RD51 w CERN

Powyższe wskaźniki znacznie przekraczają wymagania tradycyjnie stawiane osobom aplikującym o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

## **6. Ocena ogólna i wniosek końcowy w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego**

Opierając się na opisanej wyżej analizie osiągnięcia naukowego uważam, że zarówno przedłożony cykl 9 publikacji dr inż. Tadeusza Zdzisława Kowalskiego, jak i pozostała Jego działalność badawcza stanowią nowatorski wkład w rozwój badań podstawowych i aplikacyjnych w zakresie gazowych detektorów promieniowania jonizującego. Również nie

omawiane wyżej, a wskazane w Autoreferacie osiągnięcia dr Kowalskiego w zakresie dydaktyki i działań organizacyjnych w AGH świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Habilitanta do pełnienia roli samodzielnego pracownika naukowo-dydaktycznego.

Stwierdzam, że przedmiotowe osiągnięcie naukowe oraz dorobek publikacyjny i aplikacyjny dr inż. Tadeusza Zdzisława Kowalskiego stanowią w pełni wystarczającą podstawę do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych. Na mocy Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami) wnoszę do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Warszawie o dopuszczenie dr inż. Tadeusza Zdzisława Kowalskiego do dalszych etapów procedury uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

*N. Greluk*