

Prof. Janusz Badur  
Zakład Konwersji Energii  
Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku

Gdańsk 8 luty 2016r

Opinia

O rozprawie doktorskiej mgr **Kazimierza Kamińskiego**  
pt. **Analiza wpływu wybranych cech geometrycznych i termofizycznych kolektorów  
słonecznych cieczowych na ich parametry ciepło-przepływowe**

Rozprawa prowadzona jest przez Radę Wydziału Technologii i Edukacji Politechniki  
Koszalińskiej, jej promotorem jest prof. Tomasz Krzyżyński

### **1. Motywacje podjęcia pracy**

Wysoka Rado, Szanowni Państwo, wiadomo powszechnie, iż nierozwiązywanym i niepodejmowanym tematom badawczym jest wielokrotnie więcej niż tematom, które jesteśmy w stanie się podjąć. Najwięcej jest oczywiście tematom zbyt pracochłonnych i zbyt nowatorskich - nie podejmujemy ich gdyż dysponujemy określonym czasem i skończonymi środkami. Inną, niejako przeciwstawną grupą tematom niepodejmowanych są tematy szczegółowe, pozbawione większego sensu technicznego, które mają wcześniej znane ogólniejsze rozwiązania. W tym pierwszym przypadku Promotor i Doktorant trafiają na mnożące się bez końca problemy, często pozamerytoryczne, których pokonanie zużywa bezpowrotnie ich siły twórcze. W drugim przypadku przeciwnie, trafiają na mielizny stwierdzeń trywialnych, dokonują otwarcia drzwi otwartych, etc. Doświadczenie mówi, że rzadko udaje się parze promotor-doktorant zbilansować problem badawczy z perspektywą rozwojową środowiska, możliwościami badawczymi placówki naukowej i własnymi ambicjami.

Tym bardziej jest miło, że przekładana recenzentowi rozprawa Pana mgr Kamińskiego, wykonana pod naukowym kierownictwem prof. Tomasza Krzyżyńskiego jest znakomitą przykładowo dobrze umotywowanej pracy doktorskiej. Jej temat jest przemyślany, zrównoważony, podjęty tak aby wykorzystać wszystkie nowoczesne atuty Wydziału Technologii i Edukacji.

Temat kolektorów słonecznych zwykle kojarzy się z badaniami nowych materiałów absorbujących światło słoneczne. Doktorant decyduje się podjąć badania kolektorów pod kątem bardziej efektywnego wykorzystania pochłanianej energii słonecznej i precyzyjniejszego wyznaczenia ilości konwertowanej energii. Tak postawiony temat jest ambitny, oryginalny i częściowo tylko podejmowany w literaturze.

Z uwagi na wskazywane w literaturze trudności w czysto matematycznym modelowaniu konwersji energii słonecznej w energię cieplną czynnika grzejącego, które często okazują się nieprzystające do pomiarów *in situ*, doktorant postanawia wykorzystać możliwości zbudowania stanowiska badawczego, zarówno w wersji polowej jak i laboratoryjnej. Takie ustawienie zadania badawczego pozwoliło Doktorantowi na uwzględnienie szerokiej gamy zmian parametrów techniczno-konstrukcyjnych kolektorów - część tych przypadków ma pomiary eksperymentalne, część przypadków tylko symulacje numeryczne ale zasadnicza część jest badana zarówno przy pomocy narzędzi pomiarowych jak i obliczeniowych.

Wobec tego oceniając temat rozprawy z naukowego punktu widzenia należy stwierdzić właściwość tego rodzaju podejścia badawczego, wyróżniającego się komplementarnością narzędzi badawczych, nowoczesnością użytych narzędzi i związaną z tym dużą skalą trudności. Jednocześnie, zauważyć trzeba iż tak sformułowany temat ma dużą użyteczność i wychodzi naprzeciw potrzebom szeroko rozumianej energetyki prosumenckiej i proekologicznej.

## **2. Skala rozwiązywanych problemów**

Będzie właściwe jeśli osoba niezależna oceni wagę rozwiązywanego problemu - stąd kilka moich słów o problemie konwersji energii słonecznej w energię wewnętrzną czynnika grzewczego. Światło wysyłane przez słońce jest czymś, co przemierza pustkę kosmosu i daje się pochłoniąć przez elektron płyty absorpcyjnej a następnie zamienić w ruch zwany ciepłem. Z rozważań Plancka o tym jak to się odbywa powstała w 1900 roku termodynamika kwantowa. Mimo upływu lat, i dziesiątków eksperymentów jest to centralny problem dla całej fizyki i termodynamiki a może i nawet dla całej cywilizacji.

Termodynamika nigdzie indziej nie ma tyle do powiedzenia, do poprawienia i do zamodelowania jak w przypadku zagadnienie „uderzenia” promieniem słonecznym o jądro atomu, lub o elektron niebywale szybko wirujący wokół własnej osi i wokół jądra. Może też światło działa kolektywnie na kryształ zbudowany z regularnej siatki atomów fazy stałej. Nie rozumiemy jeszcze jak to się dzieje, iż następuje konwersja niematerialnego fotonu w coś materialnego, obserwujemy, że w zaśnieżonych, mroźnych Alpach termometr wystawiony na słońce wskazuje 60 °C.

Zjawisko absorpcji promieniowania świetlnego było przedmiotem wielu odkryć - dyfrakcji, aberracji, polaryzacji, odbicia, załamania, rozszczepienia i syntezy, pochłaniania i grawitacyjnego wyginania słońca. Zajmowali się nim Young, Lambert, Malus, Kirchhoff, Bunsen, Stefan, a w Polsce min. Natanson, Wolfke, Petela. Bez zjawisk promieniowania i absorpcji nie było by podstaw termodynamiki Boltzmanna, który nie zgadzając się z poglądami Thomsona i Clausiusa stworzył szaleńczą koncepcję porcji entropii najpierw dźwiganej przez promień słoneczny czyli przez węzeł fali światła, a potem „dolepianej” do

elektronu w akcie kwantowej absorpcji. Dziś ta porcja entropii, która jest porcją niebywale małą, jest jedną z fundamentalnych stałych przyrody - pod jej dyktando dzieją się wszystkie zasadnicze przemiany fizyki kwantowej - nazywana jest stałą Boltzmanna i jest również wykorzystywana w recenzowanej Rozprawie. Nie ma w przyrodzie bardziej drobnej podstawowej stałej, podstawowej porcji - wszystko inne jest wielokrotnością porcji entropii.

Możemy mówić o tym głośno, bowiem znajdujemy się w Koszalinie, w miejscu gdzie urodził się Rudolf Clausius, a w raz z nim narodziła się entropia termodynamiczna. Spór wokół zrozumienia podstaw tego pojęcia był niebywale wartki i napędzał rozwój całej teorii pola. W końcu w 1900 roku doprowadził Maxa Plancka do radykalnej zmiany sposobu myślenia i odrzucenie tradycyjnego poglądu na ciśnienie, temperaturę, objętość i entropię właściwą. Rozpatrując akt emisji promienia światła Planck dochodzi do wniosku, iż potrzeba wprowadzić do gry drugą uniwersalną stałą: porcję działania - dziś zwaną stałą Plancka. Następnie, pokazuje w pracy ze stycznia 1901 r. że te dwie stałe uniwersalne są podstawą termodynamiki kwantowej.

Od tamtego momentu minęło 115 lat i termodynamika kwantowa stała się najważniejszą nauką, jaką kiedykolwiek uprawiał człowiek. Te dwie stałe: stała Boltzmanna i Plancka porcjujące zjawiska pochłaniania fotonu dziejące się w każdym atomie kolektora słonecznego są w sposób kolektywny i sumaryczny odbierane przez nasze zmysły i nasze przyrządy pomiarowe. Chociaż na poziomie makroskopowym zjawiska mają swoją ciągłość to fakt, iż konwersja energii słonecznej w ciepłą działa w porcjach i ma swoją nieusuwalną ziarnistość, ma swoje odbicie w jakości konwersji.

Patrząc na stanowisko badawcze zbudowane przez doktoranta jesteśmy świadomi, iż w każdym momencie na jego powierzchni dzieją się zjawiska o fundamentalnej dla całej przyrody ziarnistości. Być może nawet pytamy się - skąd bierze się ta matryca, która bez końca produkuje porcje pola elektromagnetycznego, kto zarządza tą bezbłędną pracą - To odkrycie termodynamicznej ziarnistości Wszechświata wywołało ponad sto lat temu zachwyt wielu badaczy i teologów.

Doktorant, Pan Kazimierz Kamiński ma świadomość wagi podejmowanego problemu - nie stroni od rozważań i prac fundamentalnych na ten temat - dążąc jednak wytrwale do postawionego mu przez Promotora celu, stara się wykonać badania w sposób spójny i nie uronić nic z potęgi, która się przed nim roztacza.

### **3. Struktura rozprawy - kluczowy rozdział szósty**

Rozprawa posiada standardową strukturę pracy doktorskiej i zawiera wszystkie elementy pracy naukowej. Esencją rozprawy jest rozdział szósty, w którym autor zgodnie z tytułem i tematem rozprawy przedstawia zasadniczą analizę parametryczną. Badania parametryczne są właściwym sposobem rozpoznania zjawisk nieznanych i nieujmowanych dotychczas

ilościowo i jakościowo. Dlatego możemy się spodziewać, iż wyniki tego kluczowego rozdziału, przedstawione nam na wykresach i w tabelach mają wartość poznawczą i użyteczną. Wartość poznawczą zapewniają użyte przez doktoranta nowoczesne narzędzia badawcze, wartość użyteczną pracy zapewnia trafny wybór analizowanych parametrów, wskazujący na znajomość problematyki konstruowania i projektowania urządzeń energetycznych.

Może przypomnijmy, że parametryczne badania kolektora polegają na pomierzeniu i wyznaczeniu osiągnięć kolektora słonecznego pod kątem:

- Wpływu grubości płyty absorpcyjnej oraz wpływu jej materiału
- Wpływu rozmieszczenia i ilości rur roboczych w układzie chłodniczym absorbera
- Wpływu średnicy kanału roboczego przy założeniu stałego strumienia cieczy chłodzącej

Wyniki zaprezentowano w wystarczającej ilości tablic i wykresów, co pozwala czytelnikowi bez problemów podążać za tokiem rozumowania autora i razem z nim przedstawiać i analizować interesujące wyniki.

#### **4. Rozdziały przygotowawcze**

Z merytorycznego punktu widzenia wszystkie poprzedzające ten główny rozdział części pracy są zasadne i zgodne z najlepszymi wzorcami przygotowania rozpraw. I tak

- w **rozdziale pierwszym** przedstawiono stan badań cieplno-przepływowych nad słonecznymi wymiennikami płytowo-kolektorowymi. Trzeba przyznać, iż ta starannie przygotowana część pracy oddaje prawie zawsze jakieś nowe współczesne spojrzenie i, nie bójmy się tego słowa, jakąś ocenę dokonań poprzedników. Ta zazwyczaj trudna część pracy nosi znamiona dojrzałości i kiełkującego talentu pisarskiego doktoranta, zezwalającego na wydobywanie i syntetyczne ujęcie olbrzymiej ilości pozycji literatury. Z analizowanej literatury i krytycznych ocen wyprowadza doktorant swoje motywacje uzupełnienia lub podjęcia się badań dotychczas nieprowadzonych.
- w **rozdziale drugim** przedstawiono motywacje, cele i zakres rozprawy oraz postawiono tezy badawcze, wokół których rozwija się praca doktoranta.
- w **rozdziale trzecim** przedstawiono narzędzia obliczeniowe i narzędzia teoretyczne - trzeba tu wyróżnić dwa elementy
  - a) *Pierwszy element* to, że doktorant od samego początku decyduje się na równoległe opracowanie dwóch narzędzi obliczeniowych: numerycznego 3-D opartego na CFD oraz numerycznego własnego opartego przestrzennie na modelach mas rozproszonych jednak różniczkowego ze względu na czas. Wyróżniam te osiągnięcia doktoranta, bowiem spójne posługiwanie się dwoma narzędziami o różnym potencjale wymaga odwagi badawczej i dużego zaawansowania numerycznego nie

mówiąc o dobrym zrozumieniu obu różnych narzędzi. Porównywanie wyników 0D i 3D wymaga dodatkowej znajomości połączeń obu modeli,

- b) *Drugim* zasługującym na wyróżnienie *elementem* jest fakt, iż niezależnie od narzędzi numerycznych doktorant rozwija badania teoretyczne opisu zjawiska promieniowania i oznaczania strumienia absorbowanego ciepła. Ta część pracy jest niebywale trudna i należy cenić doktoranta, że się jej podejmuje (rozdział 4)
- w **rozdziale piątym** doktorant przedstawia zbudowane przez siebie stanowisko (w wersji polowej i laboratoryjnej) oraz omawia narzędzia pomiarowe. Sposób, w jaki to czyni, świadczy o talentach eksperymentatorskich doktoranta i przywiązywaniu przez niego wagi do eksperymentu. Wysoko należy ocenić jego koncepcję zastosowania kolektora referencyjnego. Pozwala to porównywać względnie osiągi i charakterystyki różnych kolektorów. Pomysłową jest też koncepcja stałej czasowej charakteryzująca dynamikę i pojemność cieplną układu.

Co ważne, i ciekawe to, że oba modele obliczeniowe zarówno 3D jak i model przestrzennie rozproszony dają technicznie zbliżone do siebie rezultaty i zgadzają się z eksperymentem. Ten *trzeci* wart wyróżnienia *element* pracy pokazuje, że doktorant potrafi osiągać sukces badawczy i posiada lepiej niż dobre opanowanie trzech nie do końca spójnych narzędzi badawczych.

## 5. Ocena uzyskanych wyników

Analiza parametryczna termodynamicznych osiągnięć kolektorów słonecznych, przedstawiona przez doktoranta w rozdziale 6, jest poznawczo i użytkowo wartościową i interesującą. Jej poprawność nie budzi wątpliwości i świadczy o dużym zrozumieniu problemu. Poprzez właściwe skalibrowanie modeli obliczeniowych w eksperymencie doktorant pokazał, iż są one teraz pewnym i sprawnym narzędziem projektowania nowych obiektów lub optymalizacji tych istniejących. Jest cennym, iż Doktorant przykłada równą wagę do obu modeli i obu narzędzi obliczeniowych, bowiem wie, iż każdy z nich ma swoje dedykowane przeznaczenie - przykładowo model 3D pozwolił na wyznaczenie miejsca spiętrzeń energii cieplnej mogących mieć wpływ na trwałość kolektora.

Dzięki skrupulatnemu wypełnieniu programu badań wszystkich trzech grup parametrów Doktorant uzyskał, we wszystkich trzech grupach parametrów oryginalne zależności niemające swych odnośników w literaturze. Spełnił on tym samym zakładane cele pracy.

W tym rozdziale znajduje się *czwarty element* pracy, który chciałbym wyróżnić. Otóż zwykle nasze wyniki badań formułujemy w formie zaleceń dla przemysłu i na tym kończymy pracę. Jednak w tym przypadku jest inaczej, doktorant przekonuje producenta, aby wykonał poprawioną, zmodernizowaną konstrukcję kolektora i następnie eksperymentalnie sprawdza wyniki swych badań. Jest to idealna sytuacja badawcza, w której następuje zamknięcie cyklu badań.

## 6. Podsumowanie

Doktorant spełnia z nadmiarem zakładane cele - przeprowadził, bowiem, badania eksperymentalne i numeryczne piętnastu płaskich kolektorów słonecznych oraz wykonał analizę ich termodynamicznych osiągnięć. Wykonane w tak niezwykle szerokim zakresie badania pozwoliły na znalezienie i opracowanie szeregu oryginalnych podstawowych charakterystyk pracy kolektorów i wyznaczeniu wrażliwości na zmianę ich parametrów konstrukcyjnych i materiałowych.

Doktorant, mgr Kazimierz Kamiński, wykazał się umiejętnością prowadzenia badań zarówno eksperymentalnych jak i numerycznych. Potrafi samodzielnie rozwiązywać postawione mu zadania, wyodrębniając poszczególne zagadnienia i przedstawiać wyniki w czytelnej postaci. Jest badaczem dojrzałym, znającym wagę poszczególnych elementów pracy i potrafiącym formułować trafne wnioski. Osiągnięte przez niego wyniki mają dużą wartość poznawczą i użyteczną.

W związku z powyższym, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Kazimierza Kamińskiego spełnia ustawowe i zwyczajowe kryteria stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Technologii i Edukacji Politechniki Koszalińskiej.

Jednocześnie, z uwagi na cztery, wcześniej sformułowane, wyróżniające elementy rozprawy, wnoszę do Rady Wydziału o rozpatrzenie wniosku o wyróżnienie Rozprawy Doktorskiej mgr. K. Kamińskiego.