

Prof. dr hab. Tomasz A. Kowalewski
IPPT PAN, profesor emerytowany

Warszawa, 8.04.2025r

RECENZJA

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
dr inż. Stanisława Gepnera w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna prowadzonym przez Radę Naukową Dyscypliny na Politechnice Warszawskiej

Pan dr inż. Stanisław Gepner 30.09.2024 r. złożył wniosek do Rady Doskonałości Naukowej PW o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna**. Jako osiągnięcie dorobku naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego Kandydat wskazuje cykl publikacji powiązanych tematycznie i zatytułowany **„Od niestabilności hydrodynamicznej do chaotycznej adwekcji w przepływach laminarnych”**. Na cykl ten składa się 9 publikacji opublikowanych w czasopismach znajdujących się w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MNiSW. Kandydat wnioskuje na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) aby komisja habilitacyjna podjęła uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu jawnym.

Kandydat uzyskał dyplom magistra-inżyniera w dyscyplinie mechanika na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w 2007 r., a w 2014 r. na tym samym wydziale MEiL PW stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika. Promotorem jego pracy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Jacek Rokicki. W latach 2011-2016 Kandydat pracował na stanowisku asystenta, a od 2016 r jako adiunkt na wydziale MEiL Politechniki Warszawskiej.

Ocena osiągnięć naukowych

Kandydat jest autorem lub współautorem 15 publikacji z listy Web of Science i 35 publikacji związanych z wystąpieniami na konferencjach międzynarodowych i krajowych. Cykl artykułów zgłoszony przez Kandydata do oceny składa się z 9 prac opublikowanych w latach 2016-2024r. Badania te dotyczą zastosowania zaburzeń struktury laminarnego przepływu cieczy celem wywołania niestabilności charakterystycznej dla turbulencji, co może być wykorzystywane dla intensyfikacji mieszania i wymiany ciepła. Kandydat jest w czterech publikacjach zgłoszonego cyklu prac pierwszym autorem a w sześciu publikacjach autorem korespondencyjnym. Jego zadeklarowany wkład w tych pracach jest znaczący. Poza identyfikacją i opisem niestabilnych form przepływu i wynikających z ich wzmocnienia form kinematyki w przedstawionym cyklu publikacji Kandydat analizuje podejście do kwantyfikacji intensywności chaotycznej adwekcji. Problem miary efektywności działania kinematyki przepływu na proces mieszania nie jest jednoznacznie postawiony i może być uznany za otwarty. Intuicyjną miarę mieszania można oprzeć na śledzeniu zmian koncentracji elementu

unoszonego w polu prędkości pola skalarne. W omawianym cyklu publikacji Kandydat posługuje się metodami kwantyfikacji opartymi zarówno o śledzenie w czasie wariancji koncentracji jak i metodami opartymi na lagranżowskim opisie kinematyki przepływu. W szczególności Kandydat wykorzystuje opis oparty o śledzenie rozprzestrzeniania się unoszonych przez niestacjonarne pole prędkości elementów płynu i w sposób jakościowy przedstawia zdolność pola przepływu do zwiększania miary obszaru zajmowanego przez śledzone elementy płynowe. Wskazany przez Kandydata cykl dziewięciu wysoko punktowanych publikacji doskonale ilustruje główne zalety obranej przez niego strategii badawczej:

1. **Gepner** S. W. and Floryan J. M. (Nov. 2016). Journal of Fluid Mechanics 807, 167–204. Flow dynamics and enhanced mixing in a converging–diverging channel.
2. Nikesh, **Gepner** S. W. and Szumbarski J. (2017). Instability in a channel with grooves parallel to the flow. Physics of Fluids 29(8), 084104.
3. Nikesh, **Gepner** S. W. and Szumbarski J. (2018). Flow dynamics in longitudinally grooved duct. Physics of Fluids 30(10), 104105.
4. **Gepner** S. W., N. Yadav, and Szumbarski J. (2020). Secondary flows in a longitudinally grooved channel and enhancement of diffusive transport. International Journal of Heat and Mass Transfer 153, 119523.
5. **Gepner** S. W. and Floryan J. M. (2020). Use of Surface Corrugations for Energy-Efficient Chaotic Stirring in Low Reynolds Number Flows. Scientific Reports 10, 9865.
6. Nikesh, **Gepner** S. W. and Szumbarski J. (2021). Determination of groove shape with strong destabilization and low hydraulic drag. International Journal of Heat and Fluid Flow 87, 108751.
7. Pushenko, V. and **Gepner** S. W. (2021). Flow destabilization and nonlinear solutions in low aspect ratio, corrugated duct flows. Physics of Fluids 33(4), 044109.
8. Nikesh and **Gepner** S. W. (2022). Slowing down convective instabilities in corrugated Couette–Poiseuille flow. Journal of Fluid Mechanics 950, A5.
9. **Gepner** S. W. and Floryan J. M. (2023). Flow dynamics in sinusoidal channels at moderate Reynolds numbers. Journal of Fluid Mechanics 972, A22.

Recenzent oceniając przedstawiony cykl prac jako jednotematyczne osiągnięcie naukowe o znacznym wpływie na rozwój dyscypliny może stwierdzić, że przedstawione prace całkowicie spełniają to kryterium. Są to faktycznie prace w większości monotematyczne i dotyczą tego samego problemu, tzn. opisu zjawisk przepływowych towarzyszących zjawisku intensyfikacji procesów mieszania w przepływie laminarnym, turbulencji wymuszonej geometrią kanału. Zaproponowane rozwiązania analityczne i proponowane modelowanie numeryczne stanowią nie tylko osiągnięcie naukowe w dyscyplinie mechaniki przepływów ale również albo przede wszystkim ważne osiągnięcie praktyczne dla budowy wymienników ciepła i reaktorów chemicznych.

W pierwszym artykule przedstawionego cyklu Habilitant analizuje przepływ w kanale, którego ściany są wyposażone w rowki o umiarkowanych amplitudach (do 10% średniego otwarcia kanału) i o kształcie sinusoidalnym. Systemy rowków na każdej ścianie są przesunięte o połowę długości fali względem siebie co powoduje powstanie przewodu zbieżno-rozbieżnego. Analiza

jest przeprowadzana dla rosnących liczb Reynoldsa pokazuje, że zwiększenie długości fali pofałdowania powoduje pojawienie się niestabilnego rozdzielenia kierunku przepływu wtórnych, początkujących niestabilności fal wędrujących. Analiza jest ograniczona do liczb Reynoldsa skutkujących powstawaniem stanów wtórnych i opiera się na bezpośrednich symulacjach numerycznych połączonych z technikami stabilności liniowej. Jak pisze Habilitant w artykule po raz pierwszy pokazano dla tej geometrii pojawienie liniowo niestabilnych zaburzeń, które osiągają nasycenie nie prowadząc do fizycznej turbulencji przepływu. Ten ciekawy aspekt nowej metody zaburzenia przepływu laminarnego jest szerzej omawiany w kolejnych pracach cyklu. Przeprowadzono badanie przepływu przez kanał z płaskim napływem i falistą ścianą z przeciwnym gradientem ciśnienia. Główną motywacją tych badań było ustalenie warunków przepływu, które prowadzą do wystąpienia niestabilności hydrodynamicznych przy niskiej liczbie Reynoldsa w postaci fal wędrujących. Niestabilności przepływu umożliwiają drastyczne zmniejszenie prędkości propagacji i odległości pokonywanych przez te fale aż do punktu, w którym skale czasowe związane ze wzmocnieniem i propagacją fal można rozdzielić, gdy rozważa się ewolucję pojedynczej, nieskończonej fali. Kandydat pokazał w tej pracy, że możliwa jest destabilizacja przepływu przy bardzo niskich wartościach liczby Reynoldsa.

Dalsze prace cyklu przedstawiają krótką charakterystykę nieliniowych stanów, które wynikają ze wzmocnienia wybranego niestabilnego modu zaburzenia. Przedstawione rozwiązanie nieliniowe można wykorzystać jako punkt wyjścia do dalszych badań, np. stosując procedurę homotopii i traktując modyfikacje ścian jako sztuczne wymuszenie dla zidentyfikowania możliwego powiązania ze stanami nieliniowymi w przypadku kanonicznych przepływów w kanałach kwadratowych lub prostokątnych.

Podjęcie DNS zostało zastosowane w kolejnej pracy do badania stabilności hydrodynamicznej wynikających z niej stanów nieliniowych i kwantyfikacji intensyfikacji mieszania. Habilitant ustala krytyczne warunki dla szeregu geometrii niezbędnych do destabilizacji przepływu. Wszystkie prostokątne pofałdowania destabilizują mod fali bieżącej przy niskiej liczbie Reynoldsa poniżej 100. Najbardziej destabilizujący obszar pojawiający się dla trapezoidalnego rowka oraz trójkątnego rowka posiada również właściwość zmniejszania oporu przepływu. Wraz ze zmianą kształtu z trójkątnego na prostokątny poprzez różne warianty trapezoidalnego rowka istnieje jeden trapezoidalny rowek, który ma dokładnie taki sam potencjał redukcji oporu i destabilizacji jak sinusoidalny kanał rowkowany. Spośród wszystkich badanych przypadków prostokątny rowek ma najmniejszy potencjał destabilizacji i oferuje najmniejsze zmniejszenie oporu. To ważna informacja przy praktycznych zastosowaniach pofalowanych kanałów w mieszalnikach czy wymiennikach ciepła. Habilitant stwierdza, że symetrie rowkowe można również wykorzystać do ograniczenia procesu mieszania do wybranych części domeny przepływu. Koszt energetyczny przepływów w takim mieszalniku będzie nie większy niż koszt energetyczny przepływów przez gładkie kanały.

W swoich pracach Habilitant wykazał, że użycie odpowiednio ukształtowanych rowków zmniejsza straty przepływu i zmusza przepływ do rozwidlenia się do formy, która wytwarza stany chaotyczne. Pole przepływu ma regularną strukturę okresową w czasie i przestrzeni ale generuje chaotyczne trajektorie cząstek. Chaotyczny charakter trajektorii potwierdzono poprzez ocenę fałdowania i rozciągania linii materiału testowego oraz poprzez konstrukcję przekrojów Poincarégo. Powstałe mieszanie zostało skwantyfikowane za pomocą dwóch miar. W pierwszej z nich cząstki testowe zostały wstrzyknięte do pola przepływu, które zostało podzielone na układ małych pojemników, a stosunek stale zajętych pojemników do całkowitej liczby pojemników został określony. W drugiej mierze wykorzystano koncepcję entropii Shannona. Mieszanie może zachodzić albo w całej domenie przepływu albo w różnych poddomenach w zależności od symetrii układu, w drugim przypadku nie jest wymagana żadna bariera fizyczna aby oddzielić poddomeny mieszania. Koszt energetyczny takiego mieszania

może być mniejszy niż koszt energetyczny przepływu odniesienia bez żadnego mieszania. Taka konfiguracja jest energooszczędna ponieważ zmniejsza opór w porównaniu do gładkiej konfiguracji odniesienia, a jednocześnie powoduje destabilizację przepływu z powodu trybu fali bieżącej już przy bardzo niskich wartościach liczby Reynoldsa.

Analizy Habilitanta wykonane w kolejnych pracach zgłoszonego cyklu wykonane dla zakresu pod-krytycznych wartości liczb Reynoldsa koncentrują się na nieliniowych rozwiązaniach przepływu odpowiadających cyklowi granicznemu do którego przepływ przechodzi ze stanu laminarnego o ustalonym punkcie przez nadkrytyczną bifurkację Hopfa. Nieliniowe rozwiązanie jest trójwymiarowe jak i okresowe, co pozwala na rozwój złożonych wzorców adwekcji i w konsekwencji ulepszone mieszanie. Głównymi wynikami przedstawianych prac jest charakterystyka rozwiązań nieliniowych uzyskanych przez przepływ poza bifurkację. Po raz pierwszy Habilitant zilustrował zmiany w mechanizmie transportu dyfuzyjnego dla niestacjonarnej i trójwymiarowej formy przepływu. Habilitant wskazuje, że można osiągnąć znaczną poprawę transportu adwekcyjnego i, że nie jest ona monotonicznie związana z liczbą Reynoldsa ale raczej jest związana ze zdolnością nasyconego przepływu do intensyfikacji ruchów w poprzek kanału. Implikacje tego badania mogą pomóc w opracowaniu urządzeń przepływowych na małą skalę, działających dla niskich i umiarkowanych zakresach liczb Reynoldsa w celu intensyfikacji mieszania, wymiany ciepła lub reakcji związków chemicznych lub biologicznych.

W ostatniej, dziewiątej pracy cyklu Habilitant analizuje powstania wtórnych stanów nieliniowych dla zakresu niskich i średnich liczb Reynoldsa. Bezpośrednie symulacje numeryczne DNS zostały użyte do identyfikacji i określenia właściwości stacjonarnych, jak również niestacjonarnych, dwuwymiarowych i trójwymiarowych przepływów wtórnych. Interesujące jest odkrycie dwuwymiarowych przepływów oscylacyjnych powstających w wyniku pojawienia się niestabilnych fal bieżących. Takie rozwiązania oscylacyjne są na ogół poza fazą z pofalowaniem ściany, ale mogą być w fazie w szczególnych przypadkach określonych przez stosunek krytycznej długości fali zaburzenia i długości fali pofalowania kanału. W związku z tym możliwe są różne typy rozwiązań zależnych od czasu. Trzeci typ rozwiązania wynika z efektu odśrodkowego spowodowanego przez krzywiznę ścianki i prowadzi do trójwymiarowości przepływu dając początek stacjonarnych wirów strumieniowych. Uzyskane przez Habilitanta wyniki przeprowadzonej analizy stabilności liniowej wskazują, że dla szerokiego zakresu geometrii, krytyczna wartość liczby Reynoldsa wymagana do wystąpienia niestabilności fali bieżącej wywołanej ścinaniem jest zmniejszona w porównaniu z kanonicznym przepływem Poiseuille'a w płaszczyźnie. Co ciekawe jednocześnie stacjonarne trójwymiarowe wiry mogą pojawiać się przy znacznie niższych wartościach liczb Reynoldsa niż dla fali bieżącej przepływu ścinającego, pod warunkiem wybrania właściwej konfiguracji geometrycznej. Ta, bardzo ciekawa obserwacja wymaga przeprowadzenia odpowiedniego eksperymentu co jest zadaniem dla przyszłych doktorantów.

Podsumowując, recenzent pozytywnie docenia jednotematyczność wybranego przez Habilitanta cyklu prac, który świadczy o jasnym i spójnym kierunku badawczym w obszarze mechaniki przepływów. Jego metody rozwiązywania problemów zaproponowane w tych pracach przyczyniają się zarówno do rozwoju wiedzy teoretycznej w zakresie przepływów turbulentnych jak i mają zastosowanie praktyczne, zwłaszcza w separacji i mieszaniu w przepływach sub-turbulentnych. Zdaniem recenzenta, opracowane i zastosowane narzędzia analityczne i numeryczne oraz przeprowadzona analiza otrzymanych rezultatów stanowią wymagany powołaną uprzednio Ustawą istotny wkład naukowy do dyscypliny nauk inżynieria mechaniczna.

Ocena aktywności naukowej

Kandydat jest autorem i współautorem 15 publikacji z listy Web of Science i 35 publikacji związanych z wystąpieniami na konferencjach międzynarodowych i krajowych artykułów naukowych. Warto zwrócić uwagę na wczesne prace Habilitanta dotyczące modelowania zjawiska turbulencji gdzie wykorzystuje własne elementy metody adaptacji dyskretyzacji siatki oparte na filtrowanej funkcji intensywności fluktuacji pola prędkości. O jakości jego prac świadczą publikacje w wiodących czasopismach. Według bazy WoS sumaryczny index Hirscha jego publikacji wynosi 6 (5), a liczba cytowań 118 (76) co dla młodego naukowca jest wartością akceptowalną.

Kandydat jako promotor pomocniczy współpracował z zespołem prof. Jacka Szymbarskiego i dr hab. inż. Elżbietą Jarzębowską (PW). Jest promotorem 10 prac magisterskich i 7 prac inżynierskich.

Habilitant wykazał współpracę naukową z zespołami z Kanady (University of Western Ontario), Wielkiej Brytanii (Imperial College London) oraz Japonii (Osaka University). Brał udział w rozwoju narzędzia numerycznego dostępnego w ramach pakietu numerycznego Nektar++, rozwijanego przez zespół z Imperial College London. Kandydat współpracuje też z profesorem Genta Kawahara z Uniwersytetu Osakijskiego w zakresie badań nad niezmienniczymi postaciami rozwiązań równań Naviera-Stokesa i możliwym ich zastosowaniami w celu intensyfikacji procesów transportu. Kandydat otrzymał również stypendium Japońskiego Towarzystwa Promocji Nauki na trzymiesięczny pobyt w Japonii (FY2020 JSPS Postdoctoral Fellowship for Research in Japan).

Ocena osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych

Habilitant prowadzi aktywną działalność dydaktyczną na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Prowadził zajęcia wykładowe, ćwiczenia, a także laboratoria z wielu przedmiotów znajdujących się w ofercie dydaktycznej Zakładu Aerodynamiki: informatyki, metod numerycznych, metod obliczeniowych mechaniki płynów, komputerowej analizy przepływów, mechaniki płynów, programowania w języku Python, stabilności hydrodynamicznej i programowania obiektowego. Jest też odpowiedzialny za zajęcia ćwiczeniowe oraz laboratoryjne z mechaniki płynów, informatyki, metod numerycznych oraz komputerowej analizy przepływu. Jest autorem skryptów, instrukcji i materiałów wykładowych do prowadzonych przedmiotów.

Na podstawie przedstawionej mi dokumentacji stwierdzam, że dr inż. Stanisław Gepner wykazuje znaczące doświadczenie i osiągnięcia dydaktyczne. Opiekował się 10 pracami magisterskimi i 7 pracami inżynierskimi na Politechnice Warszawskiej. Jest promotorem pomocniczym dwóch prac doktorskich prowadzonych na Wydziale MEiL PW.

Habilitant aktywnie udzielał się przy recenzowaniu publikacji w czasopismach naukowych poświęconych zagadnieniom mechaniki płynów. Długa lista zaproszonych wykładów i prezentacji konferencyjnych świadczy o wysokiej aktywności naukowej. Zwraca też uwagę jego działalność popularyzująca naukę, od uczestnictwa w festiwalach nauki po aktywność organizacyjną, od prac przy konferencjach naukowych po działania środowiskowe w Sekcji Mechaniki Płynów KM PAN i w Radzie Wydziału PW.

Habilitant wykazuje w swojej aplikacji długą listę nagród otrzymanych od władz macierzystej uczelni, wymienia też jako wyróżnienie trzy miesięczne stypendium podoktorskie w Japonii.

Wniosek końcowy

We wszystkich obszarach działalności akademickiej – od badań naukowych, przez dydaktykę i działania organizacyjne, po pozyskiwanie środków finansowych – moja ocena wniosku dr inż. Stanisława Gepnera jest pozytywna. Jego osiągnięcia zostały wyróżnione licznymi nagrodami nadanymi przez znaczące instytucje naukowe, co pozwala jednoznacznie stwierdzić, że sylwetka naukowa Kandydata jest w środowisku akademickim rozpoznawalna i wysoko ceniona, a jego wkład w rozwój wiedzy jest istotny. Na podstawie przygotowanego autoreferatu można stwierdzić, że dr inż. Stanisław Gepner jest wybitnym specjalistą w dziedzinie nauk inżynierio-technicznych w szczególności w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Stwierdzam, że dr inż. Stanisław Gepner spełnia wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierio-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Tomasz Kowalczyński