

dr hab. inż. Kamil Urbanowicz, prof. uczelni

Szczecin 05.08.2023

Katedra Mechaniki,

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

70-310 Szczecin

Al. Piastów 19

Recenzja

dorobku naukowego, organizacyjnego i dydaktycznego

dr. inż. Artura Drózdza

opracowana

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego dr. habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna

1. Podstawa prawna opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Pana dr. hab. inż. Janusza Szmidla, prof. PCz Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej (na podstawie pisma nr R-WIMil-BOD.521.1.2023 z dn. 2 czerwca 2023 r.) jako recenzent powołany decyzją Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej (uchwała z dnia 27 kwietnia 2023 r.).

Dokumentacja przygotowana przez habilitanta i dołączona do wniosku obejmuje:

- a) monotematyczny cykl publikacji naukowych (wraz w wyszczególnionym udzialem procentowym wkładu habilitanta);
- b) autoreferat w języku polskim;
- c) wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny;
- d) oświadczenie potwierdzające nie ubieganie się uprzednio o nadanie stopnia doktora habilitowanego;
- e) odpis dyplomu uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Szczegółowy przedmiot opinii stanowią: dorobek naukowy Kandydata wraz z głównym osiągnięciem habilitacyjnym, w skład którego wchodzi monotematyczny cykl publikacji (10

publikacji z czego 8 posiada współczynniki oddziaływania, tzw. *Impact Factor* IF oraz *Cite Score* CS) jak również pozostałe osiągnięcia (organizacyjne, dydaktyczne itp.) przedstawione w autoreferacie i innych dokumentach zestawionych przez Pana dr inż. Artura Drózdza, zatrudnionego obecnie na stanowisku adiunkta w Katedrze Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej.

Podstawą prawną wykonania recenzji jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2021 r. poz. 478 z późniejszymi zmianami).

2. Sylwetka habilitanta

Dr. inż. Artur Drózdź urodził się [REDAKTOWANE] roku w [REDAKTOWANE]. Tytuł zawodowy magistra inżyniera uzyskał broniąc w 2007r. na Politechnice Częstochowskiej (Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki) pracę pt. „Eksperymentalna analiza turbulentnej warstwy przyściennej w obszarze małego pęcherza oderwania”. Promotorem pracy magisterskiej był Prof. Witold Elsner (ówczesnie doktor habilitowany). Po skończeniu studiów drugiego stopnia kontynuował naukę na studiach doktoranckich, jego opiekunem został powtórnie Prof. W. Elsner. Z autoreferatu wynika, że od 1 lipca 2010r. został zatrudniony na okres trzech miesięcy na stanowisku asystenta w Instytucie Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej. W roku 2012 ukończył on studia doktoranckie na Politechnice Częstochowskiej i obronił swoją pracę doktorską pt. „Analiza procesów transportu energii w turbulentnej warstwie przyściennej w obecności gradientu ciśnienia”. W październiku 2012 roku zostaje zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Maszyn Ciepłych, które to stanowisko piastuje do zmiany Instytutu w Katedrę tj. do dnia 30 września 2013 roku. Od 1.10.2013 roku zatrudniony zostaje na stanowisku adiunkta w Katedrze Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej i to stanowisko piastuje aż do dziś.

3. Omówienie dorobku naukowego

3.1. Okres przed obroną pracy doktorskiej

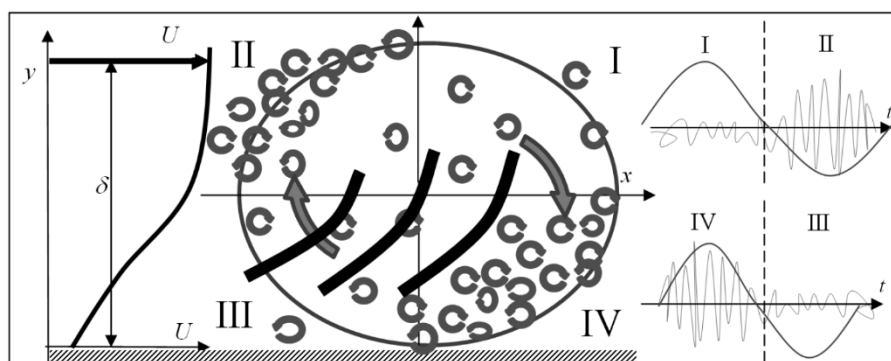
Wnioskodawca od początku swojej naukowej kariery zajmuje się głównie eksperymentalną mechaniką płynów. Jego badania skupione są na badaniu turbulentnej warstwy przyściennej (*turbulent boundary layer* TBL). Pierwsze badania w obszarze dodatniego gradientu ciśnienia (*adverse pressure gradient* APG) zrealizował już w czasie studiów na etapie pisania swojej pracy magisterskiej pt.: „Eksperymentalna analiza turbulentnej warstwy przyściennej w obszarze małego pęcherza oderwania”, którą obronił 20 września 2007 roku. Badania te kontynuowane były w okresie doktoratu w ramach tego samego europejskiego projektu badawczego [G1], którego był wykonawcą. Jednakże w czasie studiów doktoranckich zakres analiz został rozszerzony również na badania obszaru ujemnego gradientu ciśnienia (*favorable pressure gradient* FPG). Pracę doktorską pt.: „Analiza procesów transportu energii w turbulentnej warstwie przyściennej w obecności gradientu ciśnienia”, obronił z wyróżnieniem (przez Radę Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki) dnia 31 maja 2012 roku. W tym czasie był współautorem wielu prac

konferencyjnych indeksowanych w najważniejszych bazach publikacji (WoS i Scopus), jak również dwóch artykułów opublikowanych w czasopiśmie Archives of Mechanics, które posiada współczynniki oddziaływania IF oraz CS, które stosowane są do oceny ważności czasopisma w bazach odpowiednio WoS i Scopus.

3.2. Omówienie monotematycznego cyklu prac

Wszystkie prace wnioskodawcy stanowiące monotematyczny cykl artykułów naukowych (tab. A1) pt. „Oddziaływania międzyskalowe w turbulentnej warstwie przyściennej pod wpływem dodatniego gradientu ciśnienia” skupione są na analizie zjawisk turbulentnych występujących w warstwie przyściennej podczas opływów aerodynamicznych.

Analiza merytoryczna rozpoczęta zostanie od ostatniej pozycji z tabeli A1, w której zebrano i przeanalizowano oceniane prace cyklu monotematycznego, tj. pracy [H10]. Tematem tej pracy były badania procesu modulacji amplitudowej (*amplitude modulation* AM) turbulencji drobnoskalowej wywołanej przez zjawiska wielkoskalowe. W pracy tej z pomocą termoanemometrii oporowej zmierzono pełne spektrum szybkozmiennych zjawisk turbulentnych (szeregi czasowe prędkości wzdłużnej w danym punkcie). Za miarę modulacji amplitudowej posłużyła korelacja zaproponowana przez Mathis i in. [1]. Badania Wnioskodawcy wykazały, że proces modulacji amplitudowej jest silniejszy w przepływie APG nawet w niskich liczbach Reynoldsa ($Re_\tau = (u_\tau \delta) / \nu = 1000$, gdzie: u_τ – prędkość dynamiczna, δ – grubość warstwy przyściennej oraz ν – lepkość kinematyczna płynu). Uzasadnienie tego stanu rzeczy tłumaczone jest tym, że w APG zwiększona energia wielkoskalowych zjawisk modeluje drobnoskalową turbulencję (analogia do przepływów kanonicznych o wysokiej liczbie Reynoldsa $Re_\tau = 7000$). W pracy tej określono kwadranty struktury wielkoskalowej (w nich następuje wzrost energii drobnych skal) oraz zaproponowano schematyczny model oddziaływania wielkich skal na produkcje turbulencji (Rys. 1).

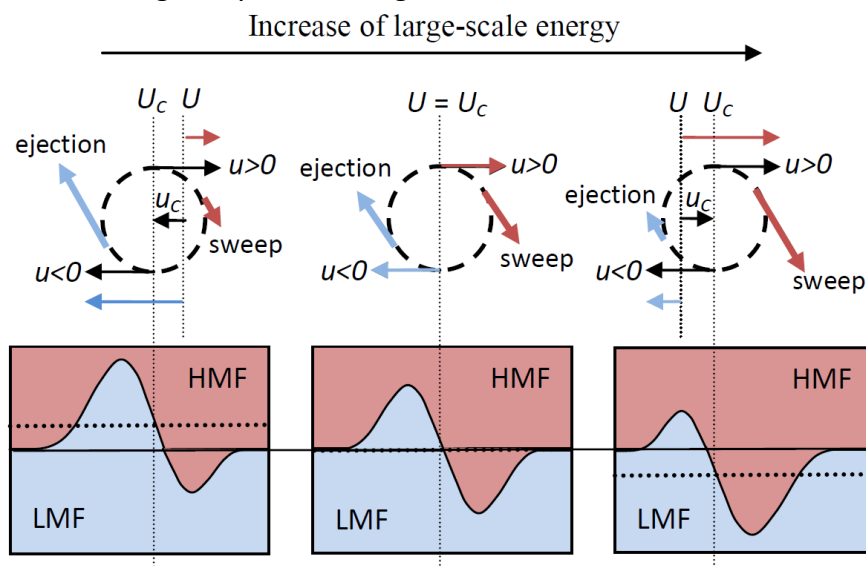


Rysunek 1. Schemat modulacji amplitudowej komponentów mikroskali przez komponenty makroskopowe [H10].

Otrzymane w pracy [H10] wyniki posłużyły do sformułowania hipotezy, która wskazywała na wzrost prędkości konwekcji struktur wirowych w APG. Wnioskodawca

zauważył, że sygnał drobnoskalowy modulowany przez wielkie skale posiada zwiększone dodatnie amplitudy w obszarach o wysokiej prędkości. Zdarzenie zagarniania jest silniejsze od zdarzenia wyrzutu, co sugeruje zwiększoną prędkość konwekcji drobnych turbulentnych struktur wirowych. Sposób, w jaki dochodzi do wzrostu prędkości konwekcji, omówiony został przez Wnioskodawcę w jedynej indywidualnej pracy poddanej niniejszej recenzji [H9]. Wykazał w niej, że zwiększona prędkość konwekcji drobnoskalowych struktur wirowych jest wywołana zwiększoną produkcją turbulencji w obszarach wielkoskalowych cechujących się zwiększoną prędkością. Była to obserwacja znacząca, gdyż podważała podejście uprzednie, które zakładało, że w przepływie z gradientem ciśnienia prędkość konwekcji równa jest prędkości średniej (jak dla struktur drobnoskalowych w otoczeniu zerowego gradientu ciśnienia – *zero pressure gradient* ZPG). Badany proces został przez Wnioskodawcę dobrze wyjaśniony z pomocą rys. 2.

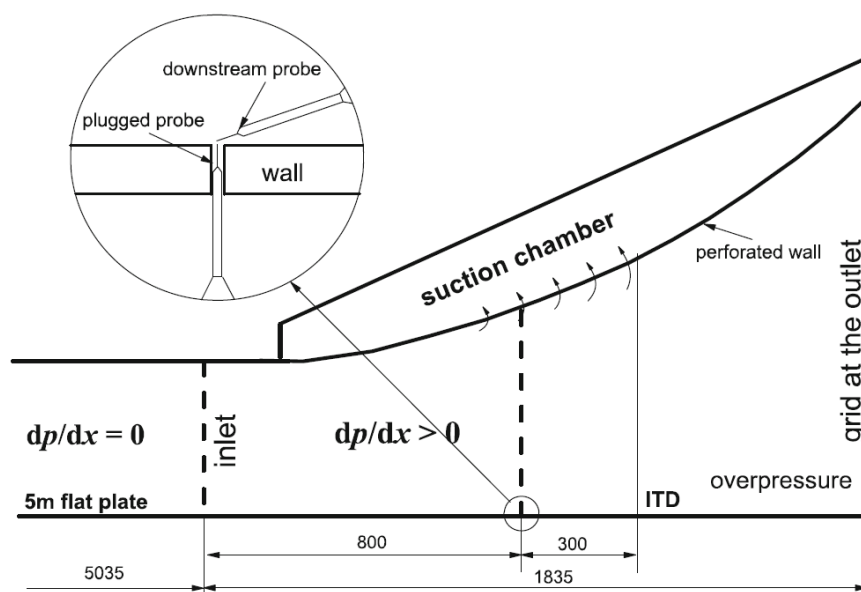
Schematy z rys. 2 przedstawiają wpływ struktury wirowej na małą skalę dla różnych prędkości konwekcji - jej wpływ na wyrzut i zagarnianie. Przypadek ukazany na lewym rys.2 pokazuje, że następuje przeniesienie energii z zagarniania do wyrzucania. Powierzchnia LMF jest tu większa niż powierzchnia HMF, gdyż większa ilość płynu zostaje wyrzucana niż zagarniana. Powoduje to zmniejszenie całkowitego pędu w tym obszarze. Środkowy przypadek (rys. 2) pokazuje, że kiedy różnica między konwekcją a średnią prędkością wynosi zero, energia zagarniania i wyrzutu wywołana przez wir jest taka sama (LMF zajmuje ten sam obszar co HMF). Powoduje to brak zmiany całkowitego pędu w tym obszarze. Prawy przypadek z rys. 2 pokazuje, że gdy prędkość konwekcji jest większa niż prędkość średnia, następuje transfer energii z wyrzutu do zagarniania.



Rysunek 2. Wpływ ruchów o dużej skali na energię zdarzeń kwadrantowych (LMF – *low momentum fluid*, HMF – *high momentum fluid*) [H9].

Powierzchnia HMF jest większa niż powierzchnia LMF, ponieważ zagarniana jest większa ilość płynu niż wyrzucana, co powoduje wzrost całkowitego pędu w tym obszarze.

Kolejne badania realizowane przez Wnioskodawcę [H7] dotyczące zmiany prędkości konwekcji w obszarach FPG i APG są dalszą jego odpowiedzią na marginalizację w literaturze aspektów konwekcyjnych struktur, wynikających z przekonania, że przepływ APG jest kontrolowany wyłącznie przez siły ciśnieniowe. Potwierdziły one, że istnieje liniowa zależność pomiędzy zmianą prędkości konwekcji i współczynnikiem skośności prędkości wzdłużnej, która jest wynikiem działania mechanizmu modulacji amplitudowej. Wykazano w nich również, że występuje istotne oddziaływanie wielkich struktur na wzrost średniej prędkości konwekcji pod wpływem APG. Udowodniono, że jeden z członów zdekomponowanego współczynnika skośności prędkości wzdłużnej prawidłowo opisuje prędkość konwekcji w turbulentnym przepływie przyściennym pod wpływem APG.



Rysunek 3. Geometria stanowiska badawczego z ustawieniem sond korelacyjnych [H8].

W kolejnej pracy [H8] ukazane zostały wyniki badań przepływów turbulentnych bliskich oderwaniu, w których do wyznaczenia prędkości konwekcji użyto dwupunktowej korelacji wzajemnej. Użycie transformaty falkowej umożliwiło wykrycie dominujących struktur turbulentnych i pomogło w określeniu ich prędkości konwekcji. Schemat zmodyfikowanego stanowiska ukazuje rys. 3. Zarejestrowane prędkości pomogły w weryfikacji metody (w zakresie 10% błędu pomiarowego) opartej na współczynniku skośności. Wykazano, że prędkość konwekcji w APG jest zwiększona o 40% w stosunku do prędkości średniej w strefie buforowej. Ostatnio wyniki te potwierdzono również w pracy Balantrapu i in. [2]. Zwiększona prędkość konwekcji prowadzi do wzrostu energii zdarzeń zagarniania elementów płynu do ściany, a więc również do późniejszego mechanizmu oderwania warstwy przyściennej (przy zwiększającej się liczbie Reynoldsa Re_τ).

Kolejne dwie prace wyszczególnione w wniosku i wchodzące w skład artykułów powiązanych tematycznie [H6, H2] dotyczą określenia wpływu liczby Re_τ na rozwój turbulentnej warstwy przyściennej w obszarze APG. W pracy [H6] przeprowadzono analizę

na podstawie zarejestrowanych parametrów warstwy przyściennej, rozkładów intensywności turbulentnej oraz skośności prędkości wzdłużnej. Zachowując stałą wartość gradientu ciśnienia analizowano wyniki dla trzech odmiennych wartości liczby Re_τ w zakresie od 1900 do 3300 (dokładnie 1900; 2600 oraz 3300). W autoreferacie Wnioskodawca wspomina, że w drugim scenariuszu badania przeprowadzono dla stałej wartości $Re_\tau = 2500$ (przy badaniu wpływu zmiennego rozkładu ciśnienia), niestety nie udało mi się odnaleźć tego fragmentu w analizowanej pracy [H6]. Pomiary wykonano poza metodą stosowaną w wcześniejszych pracach tj. z pomocą termoanemometrii również z pomocą metody interferometrycznej filmu olejowego (*fringe skin friction* FSF). Zrealizowane wyniki wykazały, że wzrost liczby Re_τ zwiększa efekt modulacji prędkości konwekcji (opóźnienie oderwania w wyniku zwiększonego transportu pędu do ściany). Nawet niewielki wzrost gradientu ciśnienia skutkuje intensywniejszą deformacją profili prędkości średniej, szybszym zanikiem piku wewnętrznego oraz wzrostem piku zewnętrznego fluktuacji prędkości u' (wynikający z wzmożonej aktywności struktur wielkoskalowych). Analiza z danymi literaturowymi wykazała, że struktura turbulentnej warstwy przyściennej zależy w dużej mierze od historii przepływu.

W pracy [H2] skupiono się na analizie wpływu liczby Re_τ na oderwanie TBL. Badania wykonane zostały w zwiększonym zakresie liczb Re_τ (przedział od 1400 do 4000). Wnioski były następujące: dla zastosowanych tych samych wartości rozkładów parametrów ciśnienia obserwowano znaczne opóźnienie oderwania TBL; występuje zwiększona produkcja turbulencji wraz z wzrostem liczby Re_τ (wynika z analizy przemnożonych widm energii dla tych samych parametrów ciśnieniowych Clausera-Rotty); zwiększona konwekcja przy ścianie wzmacnia transport pędu do ściany (wzmocniona produkcja drobnych skal), co potwierdza rosnący wpływ modulacji amplitudowej wraz z wzrostem Re_τ ; efekt liczby Reynoldsa jest minimalizowany w otoczeniu oderwania (tłumienie energii drobnych skal); profil prędkości średniej zbliża się do profilu prędkości konwekcji wraz z rosnącą liczbą Re_τ . W pracy [H2] na wyróżnienie zasługuje również następujące porównanie wynikające z przeprowadzonych analiz mówiące, że modulacja amplitudowa jest naturalnym mechanizmem stabilizacji przepływu, działającym jak efekt kryzysu oporu, który opóźnia oderwanie warstwy wraz z wzrostem Re_τ .

Kolejnym ciekawym zagadnieniem, nad którym pracował Wnioskodawca jest rozwój metod służących rejestracji naprężeń stycznych występujących na ściankach (*wall shear stress* WSS i czasami również określana jako *skin friction* SF). W pracy [H5] po wyczerpującym przeglądzie istniejących technik służących badaniu WSS skupiono się na modyfikacji pośredniej metody Clauser-chart (CCM), pozwalającej na oszacowanie prędkości tarcia w TBL. Klasyczne podejście CCM jest ograniczone i stosowane jedynie gdy obserwowany jest logarytmiczny rozkład prędkości średniej (ZPG oraz przy delikatnych przepływach APG). W pracy [H5] udało się jednak Wnioskodawcy skorygować tą metodę w oparciu o proces modulacji amplitudowej (tu LSM pośrednio wpływa na wartość naprężeń stycznych). Zauważenie, że od pewnej wartości Re_τ bezwymiarowa prędkość U^+ , w lokalizacji

maksimum rozkładu fluktuacji w obszarze zewnętrznym warstwy, pokrywa się z lokalizacją centrum uniwersalnego rozkładu logarytmicznego obserwowanego dla ZPG było kluczem do opracowania tej modyfikacji. Wynika bowiem z powyższego, że prędkość średnia U jest proporcjonalna do wartości naprężeń stycznych, tym samym nowe podejście polega na takim doborze prędkości dynamicznej u_τ , aby punkt przecięcia między linią logarymiczną i profilem prędkości średniej znajdował się w lokalizacji maksimum fluktuacji prędkości u'_{max} w zewnętrznym obszarze TBL. Analiza sprawności nowej metody CCCM (*Corrected Clauser-chart method*) wykazała, że niepewność nie jest wyższa niż 2.5% w zakresie $1800 < Re_\tau < 3900$. Zauważono również, że istnieje wyraźna zależność między bezwymiarową prędkością U^+ dla $y^+(u'_{max})$ (y^+ bezwymiarowa odległość od ściany) oraz parametrem kształtu H , którą można wykorzystywać do wyznaczania prędkości tarcia opisana prostą korelacją:

$$U^+ = a + \frac{b-a}{1+(H/c)^d} \quad (1)$$

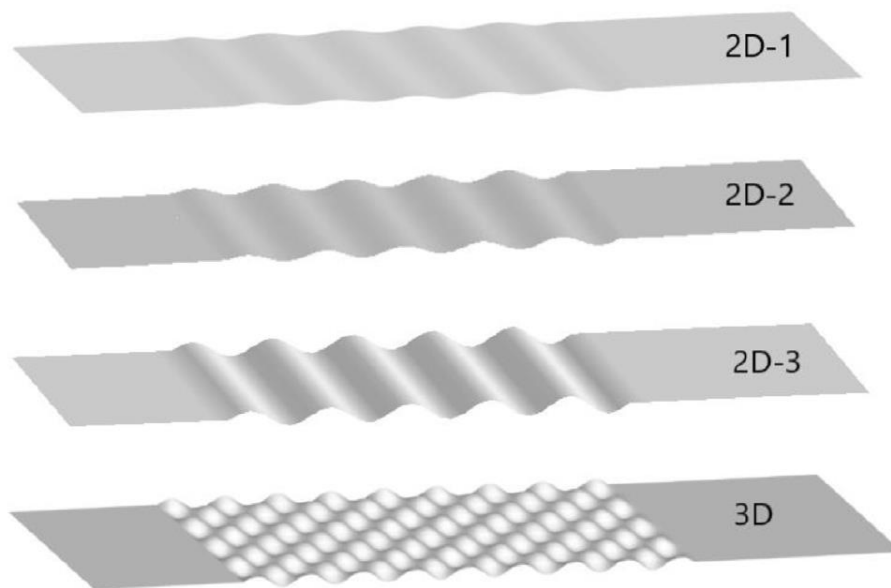
gdzie: $a = 79.4$, $b = 18.7$, $c = 2.83$ i $d = 8.01$.

W kolejnej pracy dotyczącej skorygowanej metody CCCM **[H4]** ukazano możliwość jej zastosowania w przypadkach gdy znany jest jedynie profil prędkości średniej w strefie warstwy zewnętrznej. Do osiągnięcia celu użyto skalowanie rozkładu diagnostycznego (*diagnostic plot scalling DPS*), które umożliwia rekonstrukcję profili intensywności turbulencji wyłącznie w oparciu o profile prędkości średniej. Podejście to pozwala oszacować prędkość tarcia w APG (pomiar ciśnienia sondą Prandtla) z niepewnością mniejszą niż 5% dla gradientów ciśnienia z średniego zakresu. Zaletami zaproponowanej metody CCCM-DPS jest to, że: profil prędkości średniej nie musi być zmierzony bezpośrednio przy ścianie (niemożliwe dla wysokich Re_τ); zapewnia dokładniejsze oszacowanie u_τ (nawet gdy zewnętrzne maksimum u' nie występuje) niż z pomocą innych empirycznych rozwiązań. Jedyne ograniczenie tej metody to wymóg istnienia dostatecznie szerokiego obszaru logarytmicznego, czyli de facto dostatecznie wysokiej wartości Re_τ .

Ostatnim ze znaczących osiągnięć Wnioskodawcy jest opracowanie nowej metody kontroli turbulentnego oderwania. Metodę tę oparto na wzmocnieniu efektu modulacji amplitudowej i prędkości konwekcji **[H1, H3]**. Główne założenie polega na zastosowaniu ścian o różnej topologii (zafalowania), które wymuszają efekt AM i tym samym sztuczną stymulację drobnych struktur przy ścianie. Wzrost energii tych struktur występuje w obszarach wysokiej prędkości (na wzniesieniach), natomiast spadek energii w dolinach (silniejsze struktury mają wyższą prędkość konwekcji). Tego typu pasywna kontrola oderwania turbulentnego ma największe zalety w postaci: oszczędności energii (brak zasilania zewnętrznego); redukcji złożoności systemów sterujących skrzydeł samolotów objawiająca się wzrostem bezpieczeństwa w fazie startu.

W pracy **[H3]** badano wybrane przypadki zafalowania powierzchni, koncentrując się na analizie amplitud, okresów i długości tej powierzchni na wartość naprężeń stycznych na ścianie zlokalizowanej za zafalowaniem. Badania te pozwoliły określić optymalną falowość,

która zapewnia ok 13% wzrostu naprężeń stycznych (w stosunku do wartości mierzonej na wlocie). Pofalowanie powierzchni ściany zwiększa w pobliżu ściany średnią prędkość konwekcji oraz wartość naprężeń Reynoldsa (wpływ zwiększonego pędu za pofalowaniem). Zwiększenie konwekcji odpowiada zwiększeniu zdarzeń zagarniania (zwiększenie współczynnika skośności prędkości wzdłużnej) i tym samym zwiększeniem transferu pędu do ściany. Pofalowana powierzchnia działa więc na TBL w podobny sposób jak regiony o niskiej i wysokiej prędkości indukowane przez LSM. Analiza widm przestrzennych przepływu za powierzchnią zafalowaną wykazała zwiększoną aktywność drobnych skal przy ścianie dla $y/\delta < 0.02$ i $\lambda/\delta < 1$ (y – odległość odmierzana od ściany; δ – grubość warstwy przyściennej; λ – okres pofalowania powierzchni). Dla wartości $y/\delta > 0.02$ drobne skale są mniej energetyczne w przypadku pofalowanych powierzchni.



Rysunek 4. Analizowane typy zafalowań powierzchni [H1].

Badania rozpoczęte w pracy [H3] kontynuowane były w sposób numeryczny w pracy [H1]. Wpływ topografii powierzchni na turbulentny przepływ zbadano metodą LES (*large eddy simulation*) i porównano do wcześniej zrealizowanych wyników badań eksperymentalnych. W pracy tej wyznaczono parametry TBL oraz wykonano obliczenia przestrzennych widm energii. Badano wpływ dwóch typów zafalowań dwu (2D) i trójwymiarowych (3D) (rys. 4). W analizie zafalowań dwuwymiarowych skupiono się na trzech subscenariuszach reprezentujących się różnymi poziomami amplitudowymi (2D-1; 2D-2 i 2D-3). Pod szczególną obserwacją były różnice w produkcji i dynamice wirów przyściennej. Zaobserwowane wartości parametrów TBL wskazywały, że oderwanie występuje wcześniej w rozważanych zafalowanych topografiach w odniesieniu do ścian płaskich. Taki stan rzeczy jest w sprzeczności do wcześniejszych ustaleń Wnioskodawcy zaobserwowanych przy wyższych liczbach Re , gdzie występowało opóźnienie oderwania. Wciąż jednak obserwowany był w profilach zlokalizowany w okolicy oderwania punkt przegięcia na profilu prędkości średniej. Powyższe sugeruje istnienie wciąż silnej modulacji amplitudowej oraz zwiększenia

prędkości konwekcji. Wyższa amplituda pofalowanej powierzchni 2D odpowiadała za wzmocnienie produkcji turbulencji i wcześniejsze oderwanie TBL. Struktury wirowe stają się silniejsze energetycznie i ich skala długości wrasta w stosunku do warstwy przyściennej. Przypadki 3D wygenerowały (przy zachowaniu w odniesieniu do zafalowania 2D porównywalnych amplitud) mniej energetyczne struktury, których maksimum energii znajdowało się z dala od ściany (wyższe wartości y/δ). Powyższe wg. Wnioskodawcy można tłumaczyć różnicami w geometrii tych powierzchni a zwłaszcza różnicami parametru efektywnego zbocza (*effective slope* ES). Wadą tych zrealizowanych badań była analiza jedynie wyników w niskim zakresie liczb Reynoldsa $Re_\tau \leq 1400$.

Z autoreferatu wynika również, że Wnioskodawca planuje w przyszłości realizację następujących badań: a) pomiary i analiza wrażliwości kształtu powierzchni ściany w szerokim zakresie liczb Reynoldsa, b) wpływ różnych historii przepływu na wydajność optymalnej konfiguracji płyty zafalowanej, c) wpływ optymalnego zafalowania na oderwanie na zakrzywionej powierzchni (geometria górnej ściany profilu skrzydła NACA4412), d) badania pola przepływu zrealizowane z pomocą techniki cyfrowej anemometrii obrazowej (*particle image velocimetry* PIV).

Jeżeli chodzi o uwagi krytyczne, to niestety Wnioskodawca zapomniał w swoim autoreferacie wytłumaczyć w prosty sposób na czym polega modulacja amplitudowa, którą tak wnikliwie badał i bada dalej.

Modulacja amplitudy odnosi się do modulacji sygnału o wysokiej częstotliwości (nośna sygnału) ze składową niskoczęstotliwościową (sygnał modulujący) [1]. Zasada jest prosta: sygnał nośny jest mnożony przez sygnał modulujący dodany do rozsądnie wybranego przesunięcia B. Jest to dobrze zilustrowane, jeśli weźmie się pod uwagę czystą harmoniczną z sygnałem nośnym zdefiniowanym:

$$c(t) = C \sin(\omega_c t + \phi_c) \quad (2)$$

gdzie C i ϕ_c są dowolnymi stałymi, ω_c – częstość kołowa sygnału nośnego oraz t – czas. Następnie rozważając następujący arbitralny przebieg, który reprezentuje sygnał modulujący:

$$m(t) = M \sin(\omega_m t + \phi_m) \quad (3)$$

gdzie M i ϕ_m są powtórnie dowolnymi stałymi a ω_m – częstością kołową sygnału modelującego. Modulację amplitudy uzyskuje się przez utworzenie następującego iloczynu:

$$u(t) = [B + m(t)]c(t) \quad (4)$$

gdzie B reprezentuje przesunięcie. Współczynnik głębokości modulacji M/B wskazuje stopień, w jakim modulowana zmienna oscyluje wokół swojej wartości oryginalnej. Można wykazać, że tak modulowany sygnał składa się z trzech składowych Fouriera, fali nośnej i dwóch fal sinusoidalnych (zwanymi wstęgami bocznymi), których częstotliwości znajdują się powyżej i poniżej pierwotnej fali nośnej $(\omega_c \pm \omega_m)/2\pi$. Modulacja amplitudowa jest

jednym z trzech podstawowych rodzajów modulacji (samorzutnej lub celowej zmiany parametrów sygnału), stąd szkoda, że w autoreferacie Wnioskodawca nie wskazał wyższości tej modulacji (Amplitudowej) nad Kątową czy Sigma-Delta.

W autoreferacie zabrakło wytłumaczenia omawianych przez Wnioskodawcę parametrów, które wystarczyło zebrać w nomenklaturze na końcu autoreferatu, dzięki czemu czytanie Autoreferatu byłoby ułatwione. Wielokrotnie pojawia się mowa o zakresie liczby Reynoldsa, ale nie wytłumaczono, o którą liczbę Reynoldsa chodzi (Re_τ ; Re_x ; Re_θ), również angielskie nazwy używanych skrótów (APG, FPG, ZPG, TBL, LSM, AM itd.) nie zostały przypomniane. Nie zunifikowano sposobu prezentacji literatury, dlatego panuje dość duży chaos organizacyjny (tytuły małymi i dużymi literami, dodawanie i brak linków doi itd.).

Mimo wspomnianych powyżej mankamentów edytorskich, uważam, że omówiony w tym podrozdziale dorobek naukowy Wnioskodawcy prezentuje wysoki poziom naukowy i wpływa na rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

3.3. Komentarz dotyczący badania cytowalności i wagi przedstawionych do oceny publikacji

Osiem z dziesięciu prac poddanych ocenie to artykuły opublikowane w renomowanych czasopismach, które są indeksowane w obu podstawowych bazach podsumowujących bieżący stan nauki na świecie, a mianowicie w bazie Scopus oraz Web of Science. Wśród nich sześć artykułów [**H1-H3**, **H5-H7**] opublikowano w czasopismach Applied Mathematical Modelling, International Journal of Heat and Fluid Flow oraz Experimental Thermal and Fluid Science, które to znajdują się w ścisłej czołówce najlepszych czasopism na świecie (o czym świadczy kwartył Q1 i Q2 oraz wysokie wartości współczynników ilościowych oceniających czasopismo IF - Impact Factor oraz CS - Cite Score). Wśród zgłoszonych do dokładnej recenzji artykułów znaleźć można również dwie publikacje konferencyjne [**H8**, **H9**] (opublikowane w Springer Proceedings i Journal of Physics: Conference Series). Mimo, że aż w dziewięciu publikacjach wnioskodawca jest współautorem, to załączone oświadczenia o udziale procentowym, wskazują, że był on głównym autorem ośmiu ze zgłoszonych do wnikliwej analizy prac stanowiących monotematyczny ciąg publikacji (w dwóch pracach [**H4**, **H5**] udział procentowy czołowych autorów był jednakowy). Sumaryczny wykazany przez autorów pozycji [**H3**] udział procentowy jest błędny, brakuje przyznania 5% któremuś z współautorów. Wśród wybranych prac zabrakło mi dwóch bardzo dobrych prac (o tytułach: A description of turbulence intensity profiles for boundary layers with adverse pressure gradient, Scaling of streamwise Reynolds stress for turbulent boundary layers with pressure gradient), których wnioskodawca jest głównym autorem, które opublikował w czasopiśmie European Journal of Mechanics, B/Fluids w latach 2020 i 2015 [**E2**, **E3**]. W mojej opinii, przy braku do oceny monografii, pominięte prace wpisałyby się idealnie w cykl monotematyczny Wnioskodawcy. Z negatywnych aspektów, które można zauważyć z tabeli A1, to niska wartość cytowań zewnętrznych. Prace [**H1-H3**] są opublikowane relatywnie niedawno i ten

fakt może tłumaczyć brak cytowań zewnętrznych (w szczególności w pozycji [H1]). Natomiast prace [H4-H6, H8-H10] powinny w moim odczuciu posiadać tych cytowań więcej.

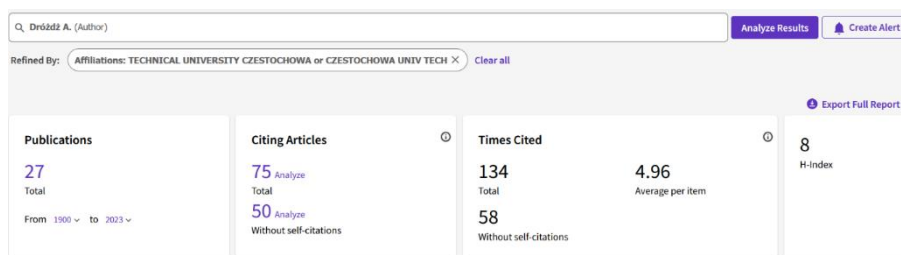


Rysunek 5. Analiza publikacji w bazie Scopus.

Niska cytawalność może być wynikiem złożoności tematyki, którą zajmuje się wnioskodawca i faktem, że grup badawczych zajmujących się podobną tematyką na świecie jest niewiele. Sugeruję Wnioskodawcy, by w przyszłości publikował analizowany temat badań również w czasopiśmie popularnonaukowym, tak by szersze grono odbiorców zrozumiało istotność badanego problemu i by w związku z tym zwiększyła się cytawalność prac. Dodatkowo wnioskodawca w autoreferacie błędnie przypisuje stałą wartość IF danemu czasopiśmu naukowemu np.: Archives of Mechanics przypisał 1.38, gdy prawdziwa wartość ta w roku 2013 wynosiła 0.745. Wartość IF różni się co roku, i przypisywać należy wartość odpowiadającą danemu czasopiśmu w danym roku, o czym kandydat na doktora habilitowanego powinien wiedzieć.

Wnioskodawca, Pan Artur Drózdź, jest zgodnie z przeprowadzoną z dnia 14.07. 2023 roku analizą, autorem/współautorem 30 recenzowanych artykułów wykazanych w bazie Scopus, które to aż 154 razy były cytowane. Indeks Hirscha z uwzględnieniem autocytowań wynosi $h=8$, natomiast z pominięciem autocytowań $h=4$ (rys. 5). W bazie Web of Science zaindeksowane zostało 27 spośród wszystkich recenzowanych prac Wnioskodawcy. Zacytowano je 134 razy, w tym 58 bez autocytowań. W bazie Web of Science (rys. 6)

Wnioskodawca reprezentuje się wysokim, jak na ten etap kariery naukowej, współczynnikiem Hirscha $h=8$ (jest to jednak współczynnik z uwzględnieniem autocytowań).



Rysunek 6. Analiza publikacji w bazie Web of Science.

3.4. Pozostałe publikacje naukowe

Wnioskodawca w okresie po doktoracie był współautorem trzynastu artykułów naukowych, których nie wykazał w tabeli A1. Wśród nich aż pięć prac to artykuły opublikowane w czasopiśmie z bazy Journal Citation Reports (posiadających IF oraz CS). Powyższe świadczy o wysokiej jakości prowadzonych przez Wnioskodawcę badań naukowych.

3.5. Najważniejsze granty

Wnioskodawca był, a w niektórych wciąż jest, wykonawcą w 13 grantach/projektach naukowych, ponadto czterokrotnie był laureatem grantów dla młodych naukowców przyznawanych wewnątrz Politechniki Częstochowskiej, z czego najważniejsze powiązane z monotematycznym cyklem prac poddanym wnikliwej recenzji to:

[G1] EU, VI PROGRAM RAMOWY, WALLTURB “A European Synergy for the assessment of wall turbulence”, No. AST4-CT-2005-516008, 2005-2009 pod kierownictwem prof. Stanisława M z Politechniki w Lille, Francja (rola – wykonawca);

[G2] PL grantu promotorski MNiSzW Nr N501 098238 „Analiza procesów transportu energii w turbulentnej warstwie przyściennej w obecności gradientu ciśnienia” 2009-2011 (rola – wykonawca);

[G3] EU, projekt bilateralny nr. 88781/R13/R14/ (7AMB 13PLO 03) „Modelling of unsteady complex flows” pomiędzy Politechniką Częstochowską a Akademią Nauk Republiki Czeskiej w Pradze, 2013-2014 (rola – wykonawca);

[G4] NCN DEC-2012/07/B/ST8/03791, "Modelowanie turbulentnej warstwy przyściennej będącej pod wpływem gradientu ciśnienia w obecności i bez oderwania", 2013 – 2016 (rola – główny wykonawca);

[G5] NCN DEC-2017/25/B/ST8/02480, "Pasywne metody kontroli turbulentnej warstwy przyściennej w pobliżu oderwania", 2017-2021, (rola – główny wykonawca);

[G6] NAWA PPI/APM/2019/1/00062 „ANIMATE” “Advanced numerical modelling and experimental research on turbulent and transitional flows with applications to chemical, power, automotive and aeroengine industries”, 2019-2021 (rola – wykonawca);

[G7] NCN OPUS DEC-2018/31/B/ST8/01717 “Opracowanie i implementacja nowej metody modelowania przejścia laminarno-turbulentnego w warstwie przyściennej uwzględniającej utratę stabilności przepływu na skutek oddziaływania fal akustycznych”, projekt realizowany w konsorcjum Politechniki Częstochowskiej z Politechniką Warszawską, 2019-2023 (rola – wykonawca);

[G8] NCN UMO-2020/39/B/ST8/01449 „Opracowanie nowej pasywnej metody kontroli przepływu opartej na dogłębnej analizie zjawisk fizycznych przyściennych”, 2021 – dziś (rola – główny wykonawca)

Niestety z tego co widać powyżej, Wnioskodawca nie był nigdy kierownikiem projektu badawczego, w tym Miniatury. Stąd pozostaje nadzieja, że niedługo również i on zacznie aplikować pręcznie w celu pozyskiwania środków na realizację swoich przyszłych badań naukowych.

3.6. Współpraca zagraniczna, staże naukowe i udział w konferencjach międzynarodowych i krajowych

Wnioskodawca współpracował z naukowcami z KTH w Sztokholmie, gdzie odbył dwa staże naukowe (pierwszy miesięczny 05.04.2018r.-04.05.2018r. – finansowany był obustronnie; drugi 25.05.2022r.-14.06.2022r. – finansowany był z projektu **[G6]**). Wymiernym efektem pierwszego stażu była wspólna publikacja opublikowana w prestiżowym czasopiśmie European Journal of Mechanics – B/Fluids **[E2]**, w którym wprowadzono rozszerzoną formę skalowania diagnostycznego profili intensywności turbulencji z wykorzystaniem parametru kształtu TBL przy APG. Takie nowe skalowanie przydatne jest w modelach turbulencji oraz do rekonstrukcji profili naprężeń Reynoldsa (przy znanych jedynie średnich prędkościach i rozkładzie gradientu ciśnienia). Na drugim stażu skupiono się na problemach powiązanych z uśrednianiem przestrzennym wywołanych niedostateczną redukcją objętościową (istniejących metod pomiarowych i numerycznych). Znane są bowiem zasady pomiarów TBL w warunkach ZPG, natomiast brak jest rekomendacji przy pomiarach w APG. Podjęta współpraca ma na celu określić maksymalną objętość pomiarową parametrów TBL nie tylko w funkcji APG, ale i historii przepływu oraz określić rozmiary skal turbulencji zachodzących przy APG.

W ramach projektu **[G3]** odbył w okresie 29.07.2013r.-21.08.2013r. i 22.09.2012r.-01.10.2013r. staż w Instytucie Termomechaniki Akademi Nauk Republiki Czeskiej w Pradze, w ramach którego przeprowadzane były badania eksperymentalne dotyczące niestacjonarnych przepływów powietrza. Pobyt ten zaowocował wspólną pracą konferencyjną Wnioskodawcy z prof. Václavem Urubą.

Natomiast w ramach projektu badawczego [G7] Wnioskodawca współpracował z Prof. Sławomirem Kubackim z Wydziału Mechaniki, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, będąc wykonawcą prac eksperymentalnych. Wyniki tej współpracy wskazały, że istnieje wpływ oddziaływania akustycznego na przejście laminarno-turbulentne zachodzące w przepływie APG z oderwaniem i bez. Występuje on (ten wpływ) gdy energia akustyczna na zewnątrz warstwy jest ok 50 razy większa niż ta dla przepływu bez wymuszenia akustycznego. W tym projekcie ważną obserwacją była też analiza wpływu pola akustycznego wzbudzanego z poza zakresu częstotliwości niestabilności Kelvina-Helmholtza na przejście laminarno-turbulentne.

Szkoda, że dla wiarygodności wniosku, nie znalazły się w dokumentach kopie potwierdzające powyżej omówione staże.

Wnioskodawca w okresie od obrony doktoratu do złożenia wniosku habilitacyjnego, czynnie uczestniczył w wielu konferencjach międzynarodowych (dokładnie w 14 odbywających się w takich krajach jak Grecja, Hiszpania, Włochy, Francja, Bośnia i Hercegowina i Holandia). W czasie trwania studiów doktoranckich i na początku swojej kariery naukowej uczestniczył również w innych międzynarodowych konferencjach (dokładnie w 8). Obecność w sumie na 22 prestiżowych konferencjach naukowych dobrze świadczy o zaangażowaniu Wnioskodawcy w promowanie swoich wyników badań.

3.7. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne popularyzujące naukę

Wnioskodawca jest wszechstronnym pracownikiem dydaktycznym. W swojej karierze naukowej prowadził już trzy wykłady (Mechanika Płynów I i II oraz Podstawy eksploatacji Maszyn,) dwa ćwiczenia (Mechanika Płynów I i Wirnikowe Maszyny Przepływowe) oraz aż piętnaście różnych laboratoriów. Trzy z przedmiotów prowadził w języku angielskim w ramach Erasmusa+ oraz studiów anglojęzycznych prowadzonych na macierzystej uczelni. Sprawuje obecnie opiekę nad dwoma laboratoriami dydaktycznymi: Energetyki i Diagnostyki Maszyn. Wypromował jednego inżyniera i jednego magistra, sprawuje również rolę promotora pomocniczego w doktoracie (praca w recenzji). Wnioskodawca prowadzi pokazowe zajęcia podczas dni otwartych, pełnił stanowisko sekretarza komisji ds. oceny okresowej nauczycieli akademickich, był w Komitecie organizacyjnym i był również edytorem Book of Abstracts XXIII Fluid Mechanics Conference odbywającej się w Zawierciu (9-12 września 2018 r.). Pomagał w obsłudze technicznej, redagował streszczenia na IX Konferencji „Nowe kierunki rozwoju mechaniki” plus XXXIV Zjazd Delegatów PTMTS odbywającej się w Hucisko, 17-19 marca 2011 r.

3.8. Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych, współpraca z przemysłem, recenzje prac naukowych

Wnioskodawca jest/był członkiem następujących towarzystw naukowych: Euromech (2011-2012) i ERCOFTAC (od 2012 do dziś). Współpracował z firmą Guardian Częstochowa Sp. z o.o. wykonując ekspertyzy i opracowując metody pomiaru i analizy rozkładu prędkości

noży powietrznych stosowanych w procesie produkcji tafli szkła (zlecenie BZ-1-103-1/2014/S, Guardian:PO069893). Jest recenzentem w dwóch prestiżowych czasopismach naukowych: Experimental Thermal and Fluid Science (wykonał w 2020 r. dwie recenzje) i Flow Measurements and Instrumentation (wykonał 4 recenzje w 2022 r.). Nie jest to duża ilość recenzji, jak i współpraca z przemysłem jest bardzo ograniczona. W przyszłych latach sugeruję Wnioskodawcy zdecydowanie ją zwiększyć. Niepokoi również brak patentów jak i zgłoszeń patentowych.

3.9. Podsumowanie

Wnioskodawca stosuje wszystkie znane metody badań, tj. realizuje badania: eksperymentalne, teoretyczne i numeryczne. Tym samym jest bardzo uniwersalnym naukowcem. Przyczynił się do znaczącego rozwoju wiedzy na temat zjawisk zachodzących w obecności gradientów ciśnienia (ZPG, APG i FPG): procesów modulacji amplitudowych oraz sposobów wyznaczania prędkości konwekcji w turbulentnych warstwach przyściennych; wpływu liczby Reynoldsa Re_τ na TBL; metod określania naprężeń stycznych na ścianie oraz opracowania nowej metody kontroli turbulentnego oderwania.

Podsumowując aktywność naukową Wnioskodawcy stwierdzam, że w zakresie podstawowym (publikacyjnym i projektowym) jest ona bardzo dobra. Ranga czasopism, w których dr inż. Artur Drózdź przedstawił swoje osiągnięcia jest zróżnicowana. Większość z czasopism można zaliczyć do bardzo dobrych (posiadają wysokie wartości IF oraz CS), a tylko nieliczne do dobrych i dostatecznych. W prestiżowych projektach naukowych bierze udział od początku swojej przygody z nauką. Uzyskane osiągnięcia naukowe po otrzymaniu stopnia doktora, które szczegółowo omówione zostały w podrozdziałach 3.1 – 3.8 niniejszej recenzji, przyczyniają się do znacznego rozwoju dyscypliny naukowej – inżynierii mechanicznej.

Według mojej oceny, Pan dr inż. Artur Drózdź spełnia ustawowe wymogi celem uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Wnioskuje zatem do pozostałych członków Komisji Habilitacyjnej oraz Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Z poważaniem dr hab. inż. Kamil Urbanowicz, prof. ZUT



4. Literatura

[1] Mathis R., Hutchins N., Marusic I. Large-scale amplitude modulation of the small-scale structures in turbulent boundary layers. *J Fluid Mech*, 2009, 628, str. 311–337

<https://doi.org/10.1017/S0022112009006946>.

[2] Balantrapu N.A., Hickling C., Alexander W.N., Devenport W. The structure of a highly decelerated axisymmetric turbulent boundary layer. *J Fluid Mech*, 2021, 929, str. 1–38.

<https://doi.org/10.1017/jfm.2021.845>.

5. Załącznik A

Tabela A1. Artykuły stanowiące monotematyczny ciąg prac poddanych recenzji.

Lp	Autorzy (udział procentowy)	tytuł, czasopismo, vol, str/numer, Impact Factor IF (Web of Science), Category Quartile CQ (Web of Science), Cite Score (Scopus)	Rok	Cytowania (bez autocytowań)	
				Web of Science	Scopus
H1	W. Elsner (20%), A. Drózdź (25%), E. Szymanek (20%), A. Tyliczszak (15%), P. Niegodajew (20%)	Experimental and numerical study of turbulent flow over 2D and 3D rough surfaces under adverse pressure gradient, <i>Applied Mathematical Modelling</i> , 106, 549-566 (IF 5.0, CQ Q1, CS 9.4)	2022	0	0
H2	A. Drózdź (40%), P. Niegodajew (20%), M. Romańczyk (20%), W. Elsner (20%)	Effect of Reynolds number on turbulent boundary layer approaching separation, <i>Experimental Thermal and Fluid Science</i> , 125, 110377 (IF 3.37, CQ Q2, CS 7.8)	2021	2	4
H3	A. Drózdź (40%), P. Niegodajew (20%), M. Romańczyk (10%), V. Sokolenko (10%), W. Elsner (15%)	Effective use of the streamwise waviness in the control of turbulent separation, <i>Experimental Thermal and Fluid Science</i> , 121, 110291 (IF 3.37, CQ Q2, CS 7.8)	2021	6	9
H4	P. Niegodajew (40%), A. Drózdź (40%), W. Elsner (20%)	Application of the diagnostic plot in estimation of the skin friction in turbulent boundary layer under an adverse pressure gradient, <i>Archives of Mechanics</i> , 73, 201–215 (IF 1.18, CQ Q4, CS 2.3)	2021	0	0
H5	P. Niegodajew (40%), A. Drózdź (40%), W. Elsner (20%)	A new approach for estimation of the skin friction in turbulent boundary layer under the adverse pressure gradient conditions, <i>International Journal of Heat and Fluid Flow</i> , 79, 108456 (IF 2.073, CQ Q2, CS 4.1)	2019	3	3
H6	A. Drózdź (60%), W. Elsner (40%)	An experimental study of turbulent boundary layers approaching separation, <i>International Journal of Heat and Fluid Flow</i> , 68, 337–347 (IF 2.103, CQ Q2, CS 3.6)	2017	3	3
H7	A. Drózdź (70%), W. Elsner (30%)	Amplitude modulation and its relation to streamwise convection velocity, <i>International Journal of Heat and Fluid Flow</i> , 63, 67–74 (IF 2.103, CQ Q2, CS 3.6)	2017	7	7

H8	A. Drózdź (70%), W. Elsner (30%)	Convection velocity variation as a result of amplitude modulation phenomena, Springer Proceedings in Physics, 196, 33–38	2017	0	0
H9	A. Drózdź (100%)	Influence of pressure gradient on streamwise skewness factor in turbulent boundary layer, Journal of Physics: Conference Series, 530, 012061	2014	2	2
H10	A. Drózdź (70%), W. Elsner (30%)	Amplitude modulated near-wall cycle in a turbulent boundary layer under an adverse pressure gradient, Archives of Mechanics, 65, 511–525 (IF 0.745, CQ Q3, CS 1.2)	2013	1	1

Tabela A2. Wybrane inne osiągnięcia stanowiące ważny wkład w naukę.

Lp	Autorzy (udział procentowy)	tytuł, czasopismo, vol, str/numer, Impact Factor IF (Web of Science), Category Quartile CQ (Web of Science), Cite Score (Scopus)	Rok	Cytowania (bez autocytowań)	
				Web of Science	Scopus
E1	A. Drózdź, P. Niegodajew, M. Romańczyk, W. Elsner	Convection velocity in turbulent boundary layers under adverse pressure gradient, Experimental Thermal and Fluid Science, 121, 110291 (IF, CQ i CS jeszcze nieznanne)	2023	0	0
E2	A. Drózdź, W. Elsner, P. Niegodajew, R. Vinuesa, R. Örlü, P. Schlatter	A description of turbulence intensity profiles for boundary layers with adverse pressure gradient, European Journal of Mechanics, B/Fluids, 84, 470 – 477 (IF 2.183, CQ 2, CS 4.0)	2020	1	4
E3	A. Drózdź, W. Elsner, S. Drobnik	Scaling of streamwise Reynolds stress for turbulent boundary layers with pressure gradient, European Journal of Mechanics, B/Fluids, 49, 137 – 145 (IF 1.418, CQ 2, CS 3.0)	2015	15	17

Badanie cytowalności przeprowadzono dnia 14.07.2023