

Recenzja spełnia wymagania formalne

Wrocław, styczeń 2026

RECENZJA

rozprawy doktorskiej, pt. „Analiza obciążenia wiatrem katenoidalnych powłok chłodni kominowych z wykorzystaniem modelu CFD oraz nowoczesnych narzędzi weryfikacji doświadczalnej” napisanej przez mgr inż. Macieja Wiśniowskiego pod kierunkiem promotora – dr hab. inż. Ryszarda Walentyńskiego, prof. Politechniki Śląskiej i promotora pomocniczego – dr inż. Agnieszki Padewskiej-Jurczak

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

- o Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Piotra Folęgi z dnia 24.10.2025 r., zlecające w imieniu Rady Dyscypliny opracowanie recenzji przedmiotowej rozprawy doktorskiej;
- o Dokumentacja załączona do pisma j.w. obejmująca:
 - tekst rozprawy doktorskiej w wersji drukowanej
 - tekst rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej

2. Ogólna charakterystyka i struktura pracy

Do recenzji przedłożona została rozprawa pt. „Analiza obciążenia wiatrem katenoidalnych powłok chłodni kominowych z wykorzystaniem modelu CFD oraz nowoczesnych narzędzi weryfikacji doświadczalnej” napisana przez mgr inż. Macieja Wiśniowskiego pod kierunkiem promotora – dr hab. inż. Ryszarda Walentyńskiego, prof. Politechniki Śląskiej i promotora pomocniczego – dr inż. Agnieszki Padewskiej-Jurczak, na Budownictwa Politechniki Śląskiej.

Opracowanie liczy 202 strony, z czego tekst główny obejmuje 182 strony, a na pozostałą część składają się załączniki i streszczenia. W tekście zamieszczono 167 ilustracji i rysunków oraz 27 tabel. Do zasadniczego tekstu dołączono spis literatury, zawierający 116 pozycji, w tym 88 pozycji literaturowych, 9 norm i 19 stron internetowych i materiałów firmowych. Całość uzupełniają 4 załączniki, w tym 1 (animacja) wyłącznie w wersji elektronicznej. Opracowanie zamykają streszczenia w języku polskim i angielskim.

Układ edycyjny pracy jest czytelny, a zdecydowana większość rysunków i ilustracji zamieszczonych w tekście to opracowania własne Autora.

Tekst zasadniczy pracy został podzielony na osiem rozdziałów. Rozdział pierwszy stanowi krótkie wprowadzenie, w którym Autor przedstawia cel i zakres pracy oraz genezę jej powstania.

Przedmiotem rozprawy jest zbadanie zależności pomiędzy kształtem katenoidalnej chłodni kominowej a działającym na nią obciążeniem wiatrem za pomocą analizy numerycznej i modelowania fizycznego.

Motywacją do podjęcia badań będących przedmiotem rozprawy były stwierdzone różnice pomiędzy obrazem rozkładu ciśnienia uzyskanym przez Autora w badaniach wstępnych, a rozkładem wynikającym z uproszczonego podejścia zawartego w normach i literaturze technicznej,

Wpłynęło dnia 17.02.2026 r.

przybliżającego kształt powłoki za pomocą powierzchni walcowej. Zamierzeniem Autora jest wykazanie, że rozkłady ciśnienia uzyskane w uproszczonym podejściu nie odpowiadają rozkładom rzeczywistym. Różnice te mogą mieć istotne znaczenie przy projektowaniu nowych i analizie istniejących obiektów, gdyż obciążenie wiatrem jest wiodące w projektowaniu chłodni kominowych.

Sformułowane w rozdziale pierwszym dwie tezy pracy odnoszą się do założenia, że takie różnice występują i że kształt katenoidy wymusza inny rozkład ciśnienia wiatru niż kształt walcowy.

Jako obiekt referencyjny, którego kształt posłużył do przeprowadzenia analiz w rozprawie doktorskiej, wybrana została chłodnia kominowa o wysokości 185 m na terenie Elektrowni Opole.

Dwa kolejne rozdziały stanowią wstęp do właściwej części rozprawy. Przedstawione w nich są podstawy teoretyczne prowadzonych badań i ogólny przegląd wiedzy w tym zakresie.

Rozdział drugi stanowi przegląd metod wyznaczania oddziaływania wiatru na konstrukcję obiektu budowlanego. Rozpoczyna się on opisem zależności pomiędzy położeniem geograficznym miejsca, w którym obiekt jest zlokalizowany, rzeźby terenu, ukształtowania otoczenia obiektu i wysokości nad poziomem terenu. Autor przytacza na podstawie literatury technicznej metody pomiaru średniej prędkości wiatru, jej zmienność i metody jej matematycznego opisu. Zwraca uwagę, że przyjmowane funkcje opisujące prędkość wiatru są zawsze empirycznym uogólnieniem rozwiązań bazujących na najczęściej na funkcjach logarytmicznych i wykładniczych, lub na ich kombinacji. Szczególną, charakterystyczną cechą obciążenia wiatrem jest jego dynamiczny, wielokrotnie zmienny charakter, wyrażający się powstawaniem turbulencji o zmiennej intensywności. Opisana jest również zmienność prędkości wiatru związana z wysokością nad poziomem terenu i jego ukształtowaniem i chropowatością. Autor podaje następnie, na przykładzie prostych obiektów o podstawowych kształtach geometrycznych, w jaki sposób sam obiekt wpływa na działające nań obciążenie.

W dalszej części rozdziału drugiego przedstawione są sposoby, w jaki obciążenie wiatrem jest ujęte w regulacjach normowych, na przykładzie kilku krajów: Wielkiej Brytanii, Włoch, Indii, USA, Chin i Polski (przed wprowadzeniem Eurokodów). Porównanie to podsumowane jest zestawieniem projektowych ciśnień prędkości wiatru dla różnych norm i zestawieniem kształtów geometrycznych obiektów uwzględnionych w poszczególnych normach.

Autor przechodzi następnie do omówienia empirycznych metod określenia rozkładu ciśnienia wiatru na powierzchni obiektów. Badania *in-situ*, aczkolwiek możliwe i sporadycznie przeprowadzane, są zdaniem Autora bardzo kosztowne i niepraktyczne, ze względu na trudność kontrolowania wszystkich czynników wpływających na pomiar w warunkach terenowych. Z tego względu, podstawowym narzędziem do badań empirycznych jest tunel aerodynamiczny.

We wstępnym opisie badań w tunelach aerodynamicznych Autor podaje ogólną charakterystykę takich badań, wypracowane metody pracy, zidentyfikowane problemy związane ze skalowaniem i kalibracją oraz odwzorowaniem niektórych zjawisk. Przytacza także zalecenia normowe do prowadzenia badań. W nieco bardziej obszerny sposób opisane są techniki pomiaru przepływu i pomiaru ciśnienia stosowane w badaniach w tunelu oraz pomiaru sił oddziałujących na badany model.

Rozdział kończy się zasygnalizowaniem możliwości numerycznego symulowania przepływów wiatru w oparciu o metody stosowane w analizie dynamiki płynów (CFD).

Te właśnie zagadnienia stanowią treść rozdziału trzeciego rozprawy. Rozpoczyna się on jednostronicowym wstępem dotyczącym mechaniki ośrodków ciągłych, w której Autor definicję tensora Cauchy'ego jako obiektu matematycznego powszechnie stosowanego do opisu pola naprężeń.

W dalszej części rozdziału podane są podstawowe operatory matematyczne, które będą stosowane w rozprawie, a następnie przywołane są skrótowo podstawowe pola właściwości ośrodka oraz zależności i równania dynamiki płynów.

W kolejnym podrozdziale zdefiniowana jest turbulencja przepływu. Autor zauważa, że ze względu na praktyczną niemożność dowolnego zagęszczania siatek podziału ośrodka, powszechnie stosowane jest w rozwiązaniach numerycznych uśrednianie pól. Powoduje to utratę pewnych informacji, dlatego w zamian wprowadza się pole turbulencji, zawierające średnie odchylenie standardowe. Dzięki temu pola wyników zawierają dwie główne składowe: wartości średnie oraz turbulencje. wymienione są trzy główne grupy, na które dzielimy metody rozwiązywania przepływów z uwzględnieniem turbulencji. Autor zaznacza związek między wyborem modelu turbulencji stosowanym w analizie a budową siatki objętości skończonych. W formie tabelarycznej zestawione zostały wybrane modele turbulencji wraz z odniesieniami do odpowiednich pozycji literaturowych.

Następny podrozdział zawiera opis i krótkie charakterystyki ośmiu wybranych modeli turbulencji. Przedstawione są założenia tych modeli, wybrane formuły analityczne i zakresy stosowania w praktyce. informacje te uzupełnia podrozdział dotyczący warunków brzegowych przyjmowanych w modelach, wraz z ich skrótowym opisem.

Rozdział kończy wzmianka na temat możliwości zastosowania metod dynamiki płynów do rozwiązywania innych zagadnień

Rozdział czwarty, najobszerniejszy w rozprawie, stanowi opis analiz przeprowadzonych przez Autora w celu zbudowania wiarygodnego modelu numerycznego opisującego oddziaływanie wiatru na chłodnię kominową i umożliwiającego walidację wyników badań eksperymentalnych.

Rozdział rozpoczyna się od wprowadzenia przedstawiającego trudności związane z numerycznym wyznaczeniem współczynników obciążenia wiatrem. Przede wszystkim jest to wrażliwość wyników na parametry obliczeń, szczególnie wielkość siatki oraz konieczność ich walidacji eksperymentem. Jako narzędzie do prowadzenia analizy numerycznej Autor wybrał program *Ansys Fluent*.

Zagadnienia doboru dyskretnej siatki elementów są omawiane w kolejnym podrozdziale. Siatki stosowane w metodzie CFD różnią się od siatek stosowanych w typowych zadaniach metody elementów skończonych (MES). Różnice dotyczą kształtu elementów, dla których charakterystyczne są proporcje długości boków znacznie różniące się od jedności. Zróżnicowanie kształtu i wielkości elementów dotyczy szczególnie stref przyściennych. Stosowane są elementy tetrahedralne, wielościenne, ich kombinacje, siatki typu hexacore itp. Zastosowane oprogramowanie zawiera w algorytmie siatkowania możliwość stosowania siatek „poly-hexacore” – zawierających elementy prostopadłościennych wewnątrz bryły obiektu, a elementy wielościenne (polyhedralne) przy ścianach. Pozwala to na podział obiektu o niemal dowolnej geometrii, przy zachowaniu rozsądnej liczby elementów.

Następnym etapem było zbudowanie modelu numerycznego, który będzie poddany walidacji za pomocą badań eksperymentalnych. Autor przeprowadził to w kilku etapach, budując stopniowo coraz bardziej złożone modele, w których zmieniane były parametry geometryczne analizowanego

obiektu i domeny, w której był umieszczony, a także rodzaje siatkowania i inne parametry mogące mieć wpływ na wiarygodność modelu.

W pierwszym przybliżeniu przygotowany został prosty model za pomocą modułu *SpaceClaim* systemu *Ansys*. Model ten prowadził do generowania nadmiaru szczegółów, co z kolei prowadziło do powstawania zaburzeń siatki i zniekształcania elementów. Analiza tego modelu zakończyła się niepowodzeniem, zarówno dla przypadku odwzorowania chłodni za pomocą katenoidy, jak i dla uproszczonego przypadku walca.

W dalszej części Autor analizuje kolejno pięć modeli, o stopniowo zwiększającym się stopniu złożoności geometrycznej, oznaczonych numerami od 14 do 18. Pierwszy model, nr 14 to przypadek najprostszy, w którym walec kołowy ustawiony jest w prostopadłościennym domenie. W następnych modelach zmianie ulegał kształt obiektu i domeny, w której był ustawiony. Kolejno była to katenoida w prostej, powiększonej domenie (model 15), długi wąski walec w domenie odwzorowującej tunel (model 16), i krótki walec w domenie o kształcie tunelu (model 17). Geometria modeli była przygotowana w module *SpaceClaim*, a siatkowanie w module *Fluent Meshing*.

Analiza pierwszych czterech modeli, o numerach 14 do 17 służyła określeniu istotnych parametrów modelu numerycznego, takich jak grubość warstwy przyściennej, wielkość docelowa elementów skończonych, wielkość kroku czasowego, wielkość domeny, metoda obliczeń oraz wpływu przyjętych cech fizycznych modelu, takich jak szerokość komory, uskok na ścianach bocznych tunelu i długość komory badawczej na wyniki analizy.

Interpretacja wyników tej wstępnej analizy polega na zestawieniu parametrów analizy oraz przede wszystkim uzyskanych rozkładów ciśnienia. Należy zauważyć, że dla poszczególnych modeli przedstawione zostały nieco różniące się zestawy wyników, co utrudnia ich końcowe porównanie.

Analiza modeli przejściowych zajmuje cztery podrozdziały rozdziału czwartego. Na jej podstawie został przeanalizowany, jako kandydat na model docelowy, model oznaczony numerem 18. Jest to chłodnia o kształcie katenoidy umieszczona w domenie odwzorowującej tunel aerodynamiczny. Kształt chłodni przyjęty w tym modelu jest identyczny jak w modelu 15. Natomiast kształt domeny odwzorowuje stanowisko do badań eksperymentalnych na modelach fizycznych (tunel aerodynamiczny). Stanowisko to zostało szczegółowo przedstawione w załączniku nr 3.

W przeprowadzonej analizie modelu 18 zastosowana siatka składała się z ok. 3.3 mln elementów. Zastosowano analizę w stanie nieustalonym (*transient*) i model turbulencji *k- ω SST*. Przedstawione wyniki obliczeń zawierają obszerne zestawienia graficzne i tabelaryczne rozkładów ciśnienia dla różnych rozpatrywanych prędkości i przekrojów oraz pola prędkości za badanym modelem.

Autor wyznaczył także na podstawie uzyskanych współczynników ciśnienia wiatru współczynniki do szeregu Fouriera aproksymującego rozkład ciśnienia.

Kolejny, piąty rozdział rozprawy przedstawia przeprowadzone badania laboratoryjne modelu chłodni kominowej. Badania te zostały przeprowadzone w tunelu aerodynamicznym na modelu w skali 1:400. Szczegółowy opis stanowiska i aparatury badawczej, wraz z opisem kalibracji stanowiska pomiarowego, ilustrowany schematami i fotografiami znajduje się w podrozdziale pierwszym.

W kolejnym podrozdziale opisany jest profil prędkości wewnątrz tunelu badawczego. Dzięki uskokom ścian tunelu na styku wlotu i przestrzeni pomiarowej tunel ma w założeniu nie generować warstwy przyściennej. Z przedstawionego profilu wynika, że efekt warstwy przyściennej nie został

całkowicie wyeliminowany, ale przyścienny gradient prędkości został odsunięty od badanego modelu.

Przebieg badania jest opisany w następnym podrozdziale. Program badań obejmował pomiar pola prędkości w czterech przekrojach poziomych i jednym pionowym, dla ośmiu różnych prędkości wentylatora wyciągowego. W każdej serii wykonano dwieście pomiarów, a serie pomiarowe zostały powtórzone dwa razy. Łącznie wykonanych zostało szesnaście tysięcy pomiarów.

Program badań przewidywał przeprowadzenie jednoczesnego pomiaru siły działającej na model oraz pomiarów pól prędkości. Do pomiaru siły Autor zaprojektował autorski instrument pomiarowy – wagę aerodynamiczną, która została zgłoszona w Urzędzie Patentowym RP. Jej opis znajduje się w rozdziale 7 rozprawy. Instrument nie został jednak użyty w trakcie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, ze względu na trudności z jego kalibracją.

Pomiar pól prędkości został przeprowadzony metodą *Particle Image Velocimetry* (PIV), w której wykorzystywane jest rozpraszanie światła laserowego na cząsteczkach podążających za przepływem ośrodka. Laser oświetlał badany model w płaszczyznach przekrojów wybranych do analizy. W badaniu do rozpraszania światła laserowego wykorzystano dym doprowadzony do wlotu tunelu. Kamera rejestrująca znajdowała się na zewnątrz przezroczystej komory pomiarowej. Odstęp czasowy pomiędzy zdjęciami wynosił poniżej 0.1 s. Zdjęcia zostały następnie przetworzone z uwzględnieniem odstępu czasowego. W końcowym rezultacie uzyskano pola prędkości w zadanych płaszczyznach przekrojów.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów Autor opracował wykresy rozkładu prędkości wiatru dla poszczególnych przekrojów i porównał je z wynikami uzyskanymi za pomocą analizy numerycznej CFD. Porównanie to wykazało, że wyniki z obu metod zachowują podobne tendencje. Uśrednione przepływy wykazują znaczne podobieństwo. Dla niektórych obszarów, np. bezpośrednio za modelem, zbieżność wyników jest dobra, w innych obszarach różnice są wyraźne. Autor interpretując to porównanie wskazuje na możliwe źródła błędów zarówno w modelu numerycznym, jak i w modelu fizycznym. W pierwszym przypadku jest to przede wszystkim zbyt mała gęstość siatki wynikająca z możliwości obliczeniowych, którymi dysponował. W przypadku modelu numerycznego błędy mogą wynikać z efektu oddziaływania ścian tunelu.

Zdaniem Autora, przeprowadzona eksperymentalna walidacja modelu numerycznego pozwala na jego wykorzystanie do wyznaczenia wielkości, które nie zostały zmierzone na modelu fizycznym, takich jak ciśnienie, siła oporu, siła nośna, prędkość przepływu przy powierzchni.

W rozdziale szóstym przedstawiona została analiza numeryczna oddziaływania wiatru na obiekt w skali rzeczywistej. W tym celu, przy zachowaniu procedury analogicznej do opisanej w rozdziale czwartym dla modelu nr 18, przygotowano model o wymiarach odpowiadającym obiektowi referencyjnemu – chłodni o wysokości 185 m w Elektrowni Opole, zachowane zostały te same założenia co do metody obliczeniowej. Konieczny był ponowny dobór wielkości siatki, zapewniający dobre odwzorowanie przepływu przy uwzględnieniu turbulencji, a jednocześnie nie powodujący nadmiernego wzrostu nakładu obliczeniowego. Konieczne było również określenie domeny, w której umieszczony jest obiekt. W analizie modelu nr 18 była ona określona przez wielkość tunelu aerodynamicznego, w przypadku analizy obiektu w skali rzeczywistej konieczne było jej przyjęcie *a priori*.

Analiza została przeprowadzona dla dwóch wariantów zdefiniowania prędkości wiatru na wlocie. W pierwszym przypadku była ona stała, a w drugim określona profilem wiatru zmiennym według

wysokości. Do interpretacji wyników przyjęto jednak jedynie model ze stałą prędkością wlotową, gdyż model z prędkością zmienną na wysokości sprawiał zbyt duże trudności interpretacyjne. Autor przedstawił wyniki w zakresie siły nośnej i siły oporu oraz rozkładu ciśnienia i pola prędkości. Dla wykresów średniego rozkładu ciśnienia na płaszczu chłodni porównał je z wykresami uzyskanymi na podstawie norm – Eurokodu i niemieckiej VGB. Opis wyników analizy kończą wykresy linii przepływu powietrza wokół chłodni i pól prędkości. Autor zauważa, że charakter tych wykresów, a w szczególności występowanie niestacjonarnego przepływu za chłodnią nie jest nowym odkryciem, ale potwierdza ogólną zgodność wyników ze stanem wiedzy. Jednocześnie zaproponowany model numeryczny może służyć jako narzędzie do analizy tych zjawisk.

Rozdział siódmy rozprawy jest poświęcony w całości opisowi autorskiego instrumentu pomiarowego – wagi aerodynamicznej. Urządzenie to zostało zaprojektowane do jednoczesnego pomiaru trzech składowych siły i trzech składowych momentu działających na model umieszczony w tunelu aerodynamicznym. Rozwiązanie zostało zgłoszone w Urzędzie Patentowym RP. Jak wspomniano powyżej, urządzenie to nie zostało wykorzystane w badaniach przedstawionych w rozprawie, ale Autor uczestniczył w jego opracowaniu w ramach pracy nad dysertacją. Oprócz opisu, w rozdziale przedstawiony jest sposób kalibracji instrumentu i możliwe sposoby jego wykorzystania.

Podsumowanie przeprowadzonych analiz stanowi treść rozdziału ósmego. Autor, podsumowując wyniki przeprowadzonych badań stwierdza, że eksperyment fizyczny w tunelu aerodynamicznym i analiza numeryczna CFD dały zbieżne wyniki w zakresie pól prędkości przepływu za badanym modelem, co pozwoliło na pozytywną walidację opracowanego modelu numerycznego, który posłużył do wyznaczenia obciążenia wiatrem działającego na konstrukcję. Uzyskane mapy rozkładu ciśnienia na powierzchni chłodni pozwoliły stwierdzić, że obciążenie wyznaczone na podstawie modelu walcowego przyjmowanego w normach są inne – mniejsze, niż obciążenia dla obiektu o kształcie katenoidalnym. Co pozwala stwierdzić, że udowodnione zostały tezy pracy. Stwarza to też podstawy do optymalizacji geometrii chłodni kominowych.

Autor przedstawia również propozycję kontynuacji badań rozpoczętych dysertacją. Prace mogłyby dotyczyć rozszerzenia zakresu stosowania opracowanego modelu na inne warianty geometryczne chłodni kominowych, poprzez budowę modelu parametrycznego i następnie parametryczną analizę CFD. Drugi proponowany kierunek prac obejmowałby uzyskanie opisu rozkładu ciśnienia na powłoce za pomocą równań analitycznych. W takim ujęciu wyniki są wyrażane w postaci zmiennych bezwymiarowych, dzięki czemu można je stosować w szerokim zakresie przypadków. Trzeci kierunek dalszych prac proponowany przez Doktoranta to rozwój konstrukcji wagi aerodynamicznej opracowanej w ramach badań.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1 Przedmiot badań i cele badawcze

Chłodnie kominowe są złożonymi obiektami o dużej skali, a ich awarie mogą mieć bardzo poważne konsekwencje zarówno dla bezpośredniego otoczenia, jak i dla obsługiwanej przez nią instalacji przemysłowej. Z tego względu prawidłowe zaprojektowanie takiego obiektu jest istotnym zagadnieniem inżynierskim. Dostępne regulacje normowe podają szereg istotnych informacji dotyczących wyznaczania prędkości bazowej wiatru działającego na obiekt, jednak sam kształt

chłodni przybliżają za pomocą walca. Prowadzi to do powstawania różnic pomiędzy obciążeniem wyznaczonym na podstawie normy, a obciążeniem rzeczywistym.

Autor rozprawy, przystępując do pracy naukowej w tym obszarze prawidłowo rozpoznał ten problem i wykazanie tej rozbieżności sformułował jako cel badawczy pracy, uszczegółowiony w dwóch postawionych tezach o odmienności oporu aerodynamicznego stawianego przez katenoidę w stosunku do oporu stawianego przez walec i o innym rozkładzie ciśnienia na powierzchni katenoidy w stosunku do powierzchni walca.

Zamierzeniem Doktoranta było opracowanie narzędzia umożliwiającego wyznaczanie obciążenia wiatrem dla chłodni numerycznych w sposób dostępny i przydatny w praktycznych zastosowaniach inżynierskich. Naturalnym wyborem dla takiego zamierzenia jest model numeryczny, w którym za pomocą zmiennych parametrów można odwzorować różne przypadki występujące w rzeczywistości. Przedmiot badań Doktoranta jest zatem zakreślony dość szeroko, ale jednocześnie zogniskowany na tematyce, która która zawsze była szczególnie interesująca dla inżynierów-konstruktorów.

Jednakże zakres prac nad realizacją takiego zamierzenia jest bardzo duży, i znacznie wykracza poza ramy rozprawy doktorskiej. Z tego względu, bardzo rozsądnie, jej zakres został zawężony do opracowania modelu numerycznego jednego obiektu referencyjnego i walidacji tego modelu za pomocą modelowania fizycznego.

Jednocześnie Autor świadomie nie podejmował wątków, które dodatkowo rozszerzyłyby zakres badań i skomplikowały je, takich jak przepływ powietrza wewnątrz chłodni, wpływ zmian temperatury otaczającego powietrza i temperatury czynnika chłodzonego, a także oddziaływania śladu aerodynamicznego ewentualnych obiektów sąsiadujących z badanym.

Tak zakreślony przedmiot pracy, problem naukowy i cele pracy należy uznać za poprawne.

3.2 Zastosowana metodologia

Metodologia rozprawy jest czytelna, a dobrane metody i techniki odpowiadają zamierzeniu badawczemu. Zastosowane metody badań odpowiadają przyjętym w tego typu pracach zasadom analizy formalnej. Obejmują one analizę i konstrukcję logiczną oraz badania jakościowe i interpretacyjne. Autor posługuje się badaniami literaturowymi, badaniami eksperymentalnymi oraz analizami numerycznymi i statystycznymi. Doktorant sformułował problem badawczy, określił przedmiot i zakres badań, przeprowadził eksperymenty badawcze. Następnie przeprowadził analizę porównawczą uzyskanych rezultatów. Na końcu wyciągnął i uzasadnił wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

3.3 Ocena zawartości merytorycznej

W rozprawie można wyróżnić trzy, poniekąd równoległe wątki badawcze, odzwierciedlające postawiony na wstępie cel. Pierwszy z nich dotyczy wykazania, że proponowane w literaturze i uregulowaniach normowych uproszczone traktowanie kształtu chłodni kominowych jako walca nie odzwierciedla właściwie sposobu przepływu wiatru wokół obiektu i rozkładu ciśnienia na jego powierzchni. Drugi wątek, ściśle związany z pierwszym, dotyczy opracowania narzędzia obliczeniowego umożliwiającego wiarygodne wyznaczenie oddziaływania wiatru na obiekt. Trzeci wątek, nieco oboczny, wiąże się z opracowaniem nowatorskiego, autorskiego instrumentu badawczego – wagi aerodynamicznej.

Dwa główne wątki, pierwszy i drugi, są ze sobą ściśle związane, bowiem wykazanie, że model walcowy chłodni kominowej nie jest precyzyjny wymaga wyznaczenia sposobu oddziaływania wiatru na obiekt.

Doktorant rozpoczyna od rzetelnego wprowadzenia w tematykę badań nad oddziaływaniem wiatru na konstrukcje budowlane, trafnie identyfikując metodę symulacji numerycznych CFD i modelowanie fizyczne w tunelu aerodynamicznym jako podstawowe sposoby określenia oddziaływania wiatru na konstrukcję. Następnie, po wybraniu odpowiedniego obiektu referencyjnego, opracowuje jego model numeryczny, korzystając z jednego z najlepszych dostępnych systemów oprogramowania w zakresie CFD. Budowa modelu jest etapowa, kolejne przybliżenia pozwalają określić wpływ różnych czynników na wiarygodność otrzymanych rezultatów. Dla końcowej postaci modelu przeprowadza walidację wyników za pomocą eksperymentu w tunelu aerodynamicznym. i wreszcie w ostatnim kroku używa ten model do przeprowadzenia obliczeń dla rzeczywistego obiektu referencyjnego, bez skalowania.

Zarówno sekwencję prowadzenia badań, jak i podejście do interpretacji otrzymanych wyników należy uznać za właściwe i dobrze przeprowadzone. Oczywiście jest, że na każdym etapie badań Doktorant musiał dokonywać wyborów zawężających zakres prac, wynikających zarówno z obszerności tematyki, jak i możliwości technicznych, takich jak dostępna moc obliczeniowa, czy parametry wykorzystywanego tunelu aerodynamicznego.

Trzeci wątek pracy, czyli opracowanie wagi aerodynamicznej należy uznać za dodatkowy bonus, gdyż z tematu rozprawy nie wynikała konieczność opracowania takiego instrumentu. Ale sam fakt podjęcia takiego problemu świadczy o rzetelności podejścia Doktoranta do prowadzonych badań.

Sformułowanie tematu rozprawy doktorskiej otwierało bardzo szeroki obszar badawczy, znacznie wykraczający poza ramy jednej pracy. W takim kontekście bardzo łatwo zagubić przewodni cel badań i doprowadzić do jego „rozdrobnienia” w szczegółach. Jest to niebezpieczeństwo grożące zwłaszcza w badaniach wykorzystujących modelowanie numeryczne, w których stosunkowo łatwo można mnożyć warianty, wprowadzać drobne zmiany parametrów itp. uzyskując jednocześnie obszerne i często atrakcyjne wizualnie zestawy wyników. Doktorantowi udało się uniknąć tego niebezpieczeństwa, a zarówno symulacje numeryczne, jak i badania modelowe przeprowadził w zakresie rzeczywiście koniecznym.

Cel badawczy pracy został, zdaniem recenzenta osiągnięty, a postawione tezy udowodnione. W pracy sformułowane zostały możliwe kierunki dalszych badań, rozszerzające zakres stosowania uzyskanych wyników.

Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych oraz umiejętnością analizy i dyskusji uzyskanych wyników. Wykazał się także umiejętnością przygotowania złożonych modeli numerycznych i umiejętnością przygotowania do nich wiarygodnych danych wejściowych, a następnie umiejętnością odpowiedniej korekty modelu i analizy rezultatów. Wykazał również, że potrafi wiarygodnie ocenić korelację wyników uzyskanych doświadczalnie i numerycznie. Świadczy to o kompletności profilu Doktoranta, który wykazał się nie tylko umiejętnością prowadzenia prac badawczych ale także skutecznego odniesienia ich do praktycznych zastosowań inżynierskich.

3.4 Ocena strony formalnej rozprawy

Jak wspomniano wyżej, Doktorant poprawnie stosuje różne techniki badawcze, jak zestawienia porządkujące lub porównawcze, tabele, wykresy, schematy i modele graficzne. W poprawny sposób

posługuje się odwołaniami do literatury przedmiotu. Bibliografia załączona do tekstu jest obszerna i wystarczająca, wskazuje na dobre rozeznanie Doktoranta w zagadnieniach omawianych w rozprawie. Ilustracje są czytelne i pozostają w odpowiedniej relacji do tekstowej treści pracy.

Ogólnie praca jest napisana dobrym językiem. Terminologia, przyjęta w literaturze przedmiotu jest stosowana poprawnie, chociaż niejednokrotnie Autor dopuszcza pewną „potoczność” określeń, np. pisząc o elementach prostopadłościennych używa określenia „elementy prostokątne”, czasami – chociaż niezbyt często – pojawiają się określenia, które nie były wcześniej wyjaśnione (choć intuicyjnie zrozumiałe) itp. Widoczna chwilami jest nadmierna lakoniczność prowadzonego wywodu, granicząca niekiedy wręcz ze skrótowością. Aczkolwiek Autor nie pomija istotnych informacji, to jednak w wielu miejscach przydatne byłoby nieco obszerniejsze sformułowanie myśli.

Pewna skrótowość występuje także w opisie sposobu budowania modeli numerycznych. Autor „przeskakuje” nad pewnymi etapami, które są dla niego oczywiste, jednak ich brak zaburza ciągłość wywodu. Na przykład w rozdziale 4.3 znajduje się informacja o wstępnym modelu numerycznym, którego analiza zakończyła się niepowodzeniem. Nie jest jednak wyjaśnione, w jaki sposób udało się uniknąć błędów powodujących problemy obliczeniowe w kolejnych modelach, budowanych za pomocą tego samego modułu oprogramowania. Nie jest też jasna numeracja poszczególnych modeli numerycznych, która rozpoczyna się od nr 14 i kończy na nr 18. Natomiast w załączniku Z 4.2 przedstawione są wyniki dla modelu 23, który w ogóle nie pojawia się w treści rozdziału 4.

Pewne zastrzeżenia budzi układ redakcyjny pracy i niewłaściwa, zdaniem recenzenta, hierarchia poszczególnych rozdziałów. Rozdziały o różnej randze w tekście są umieszczane na tym samym poziomie, a niektóre dotyczące różnych zagadnień występują wspólnie.

W rozdziale 3, opisującym wybrane zagadnienia z mechaniki płynów, ogólne rozwiązania analityczne w sposób ciągły, bez żadnego rozdzielenia mieszają się z opisami procedur odnoszących się do oprogramowania CFD.

Tytuł rozdziału 4 „Walidacja numeryczna badań eksperymentalnych” jest o tyle niewłaściwy, że w rozprawie Autor dokonuje raczej walidacji modeli numerycznych za pomocą badań eksperymentalnych. Uzyskane wyniki dla poszczególnych modeli, prezentowane w tym rozdziale, dotyczą często różnych wielkości, co utrudnia ich porównanie.

Porównanie wyników uzyskanych numerycznie i eksperymentalnie, zawarte w rozdziale 5.3, a częściowo również w rozdziale 4, mogłoby stanowić osobny rozdział, wyraźnie podsumowujący oba podejścia.

Rozdział 7, w którym opisana jest opracowana waga aerodynamiczna, nie powinien znaleźć się w głównym korpusie pracy, ale stanowić jeden z załączników. Szczególnie, że instrument ten ostatecznie nie został zastosowany w badaniach. Natomiast zawartość załącznika 4, przedstawiającego rozkłady ciśnienia na przekrojach mógłby z powodzeniem znaleźć się w treści rozdziału 4 lub dodatkowego rozdziału podsumowującego analizy, o którym wspomniano wyżej.

Podobnie rozdział 8.3 przedstawiający inne osiągnięcia Doktoranta, nie powinien się w ogóle znaleźć w rozprawie, ale stanowić część dokumentacji przewodu doktorskiego.

W ocenie recenzenta, zarzuty te jednak nie umniejszają istotnie wartości pracy.

3.5 Ocena uzyskanych wyników

Praca doktorska mgr inż. Macieja Wiśniowskiego dotyczy istotnej i aktualnej tematyki mieszczącej się w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Uzyskane wyniki stanowią oryginalny wkład do tej dyscypliny. Są to przede wszystkim:

- przeprowadzone eksperymenty numeryczne i fizyczne,
- wnioski z przeprowadzonych analiz,
- wyniki oceny jakościowej przeprowadzonych analiz,
- propozycja specjalistycznego instrumentu badawczego przeznaczonego do badań w tematyce, której dotyczy rozprawa doktorska.

Treść i struktura pracy doktorskiej, użyte do badań metody i osiągnięte wyniki wskazują, że Doktorant osiągnął odpowiedni poziom wiedzy i warsztatu badawczego w zakresie inżynierii lądowej.

4. Podsumowanie

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Wiśniowskiego dotyczy oryginalnego obszaru badawczego i prezentuje wysoki poziom merytoryczny. Jest to opracowanie oryginalne, o jasno określonym zakresie i właściwym powiązaniu analiz i badań z tezami pracy. Autor pracy zaprezentował dojrzały warsztat naukowy, wykazał się znajomością problematyki badawczej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej. Przekłada się to na realizację zamierzenia rozprawy i jej efekt końcowy. Należy bardzo wysoko ocenić fakt, że Autor podjął się tak trudnego i wymagającego, tematu.

5. Wniosek końcowy

Po dokonaniu oceny stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Wiśniowskiego pt. „*Analiza obciążenia wiatrem katoidalnych powłok chłodni kominowych z wykorzystaniem modelu CFD oraz nowoczesnych narzędzi weryfikacji doświadczalnej*” wykonana pod kierunkiem promotora – dr hab. inż. Ryszarda Walentyńskiego, prof. Politechniki Śląskiej i promotora pomocniczego – dr inż. Agnieszki Padewskiej-Jurczak, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w tej dyscyplinie.

Kandydat wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a rozprawa spełnia wymogi związane z nadaniem stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w myśl ustawy z 20 lipca 2018 „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.).

Wnioskuje o przyjęcie pracy przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzję podpisał
Romuald Tarczewski

Wrocław, styczeń 2026