Dr hab. inż. Tomasz Lipecki, prof. PL
Katedra Mechaniki Budowli
Wydział Budownictwa i Architektury
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin

Lublin, 05.09.2018 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Gnypa
"Analiza parametryczna i weryfikacja eksperymentalna numerycznego modelu przepływu wiatru WAsP"

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Recenzja została wykonana na zlecenie Politechniki Śląskiej z dnia 18 lipca 2018 r., na podstawie uchwały Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 6 lipca 2018 r. i ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882, z późn. zm.).

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Gnypa, zatytułowana *„Analiza parametryczna i weryfikacja eksperymentalna numerycznego modelu przepływu wiatru WAsP"*, której promotorem jest dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ.

3. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa została zawarta na 143 stronach, a jej zasadniczą treść podzielono na 7 rozdziałów, zawierających wprowadzenie oraz podsumowanie i wnioski. Główna część pracy poprzedzona jest spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem użytych oznaczeń, natomiast zakończona spisami literatury oraz rysunków i tabeli. Zestawiona literatura obejmuje 54 artykuły, książki i normy oraz 39 źródła internetowe.

Tematem rozprawy jest weryfikacja poprawności symulowania warunków wiatrowych w terenie o złożonej rzeźbie i chropowatości (szorstkości) w komercyjnym systemie WindPro wykorzystującym model przepływu WAsP, przeprowadzona na podstawie trzyletnich pomiarów kierunku i prędkości wiatru na czterech masztach ustawionych w terenie.

W Rozdziale 1 Doktorant uzasadnił potrzebę podjęcia tematu rozprawy nakreślając tło rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce i na świecie. Podał też cel i tezę rozprawy, która w skrócie brzmi: na podstawie danych z masztu pomiarowego, model WAsP poprawnie symuluje warunki wietrzności w pewnym obszarze, ale tylko w warunkach niskiej szorstkości terenu w pobliżu masztu i w terenie równinnym.

Rozdział 2 to zestawienie podstawowych informacji w zakresie oceny warunków wietrznych w danym terenie. Doktorant krótko opisał sposób prowadzenie pomiarów kierunku i prędkości wiatru w warunkach in-situ oraz sprzęt w tych pomiarach wykorzystywany. Opisał podstawowe parametry służące do oceny charakterystyk wiatru, ważnych z punktu widzenia energetyki wiatrowej, takich jak: rozkład Weibulla oraz pionowy profil średniej prędkości wiatru. Najobszerniejsza część rozdziału poświęcona jest modelowaniu numerycznemu przepływów opartemu na CFD i ogólnemu opisowi wykorzystanego w pracy modelu WAsP. Autor przytoczył równania Naviera-Stokesa i podał jak przyjmuje się warunki brzegowe w modelowaniu CFD.

Następne rozdziały stanowią część eksperymentalno-obliczeniową rozprawy. W rozdziale 3 Doktorant opisał badania in-situ dotyczące kierunku i prędkości wiatru, które prowadzone były w okresie trzyletnim na czterech masztach pomiarowych, na których na różnych wysokościach zamontowano anemometry. Podał szczegółowe dane dotyczące lokalizacji masztów, użytego sprzętu pomiarowego oraz czasu w jakim badania były prowadzone. Podał również wyniki analiz statystycznych zgromadzonych danych,

dotyczących profili średniej prędkości wiatru, średnich rozkładów Weibulla oraz częstości występowania wiatru o danej prędkości w poszczególnych sektorach kierunkowych.

W rozdziale 4 Doktorant opisał sposób opracowania modeli numerycznych rzeźby i szorstkości terenu, które stanowią dane wejściowe do symulacji przepływu. Model rzeźby terenu opracowany został na podstawie danych NASA, zaś model szorstkości na podstawie danych Europejskiej Agencji Środowiska (EEA), które następnie zostały zweryfikowane za pomocą map lotniczych i topograficznych (pozyskanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii) oraz wizji lokalnych.

Symulacja (prognoza) warunków wietrznych za pomocą modelu WAsP zaimplementowanego w komercyjnym programie WindPRO został opisana w Rozdziale 5. Doktorant przyjął cztery warianty obliczeń, polegające na symulacji warunków wiatrowych w miejscu lokalizacji jednego z czterech masztów na podstawie danych in-situ zmierzonych na pozostałych trzech masztach. Dane te stanowiły warunki brzegowe dla modelu WAsP, przy czym symulacje prowadzone były dla każdego masztu oddzielnie, to znaczy, że np. warunki wietrzne w lokalizacji masztu M1 były oddzielnie symulowane na podstawie danych z masztu M2, następnie M3 oraz M4. Doktorant szczegółowo przedstawił profile rzeźby i szorstkości terenu pomiędzy każdym z dwóch masztów pomiarowych uzyskane na podstawie analiz opisanych w poprzednim rozdziale. Dla każdej rozpatrywanej lokalizacji, jako wyniki pokazano profile średniej prędkości wiatru, rozkłady Weilbulla oraz rozkłady częstości wyznaczone na podstawie pomiarów in-situ oraz trzech symulacji wykorzystujących warunki brzegowe wprowadzone oddzielnie dla kolejnych masztów. A więc, walidacja symulacji polegała na porównaniu otrzymanych wyników w obszarze, w którym zlokalizowano czwarty maszt ze zmierzonymi w skali rzeczywistej na tym maszcie.

W rozdziale 6 Doktorant zajął się szczegółową analizą wpływu rzeźby i szorstkości terenu pomiędzy każdymi dwoma masztami na otrzymane wyniki symulacji. W tym celu opracował współczynnik topografii terenu (uwzględniający łącznie jego rzeźbę i szorstkość), a następnie skorygowany współczynnik topografii terenu (uwzględniający łącznie jego rzeźbę i szorstkość, ale z odpowiednimi wagami). Dodatkowymi parametrami, na podstawie których Doktorant prowadził ocenę poprawności symulacji były współczynnik determinacji R^2 mówiący o dopasowaniu rozkładów Weibulla (symulowanego i zmierzonego) oraz błąd procentowy PE opisujący różnicę w średniej prędkości wiatru na wysokości 100 m (symulowanej i zmierzonej). Doktorant na podstawie tych trzech parametrów dokonał oceny poprawności WAsP w zakresie symulacji warunków wiatrowych.

W rozdziale 7 stanowiącym podsumowanie i wnioski Doktorant wskazał na ograniczenie stosowania modelu WAsP w przypadku dużych zmian rzędnych wysokości terenu i dużej szorstkość terenu, zwłaszcza w pobliżu masztu pomiarowego, z którego dane wykorzystuje się jako warunki brzegowe. W takich przypadkach wyniki symulacji są nieprawidłowe. Można stwierdzić, że Doktorant tym samym udowodnił tezę postawioną we wstępie.

4. Ocena pracy

4.1. Ocena postawionej tezy i zakresu pracy

Tezą sformułowana we wprowadzeniu przez Doktoranta jest stwierdzenie, że model WAsP poprawnie symuluje warunki wietrzności w okolicy masztu pomiarowego, przy niskiej szorstkości wokół masztu i w terenie równinnym.

Temat rozprawy jak i postawiona teza są dobrane trafnie i mają silne odniesienie do praktyki projektowej w zakresie oceny zasobów wietrznych panujących w danej lokalizacji pod kątem energetyki.

Przegląd literatury, aczkolwiek pobieżny, pozwala stwierdzić, że Autor dość dobrze poznał zagadnienia związane z tematyka poruszaną w rozprawie, co pozwoliło mu na postawienie konkretnej tezy.

Doktorant w celu udowodnienia postawionej tezy przedstawił w pracy wyniki pomiarów in-situ oraz symulacji komputerowych, a w szczególności opisał:

- Trzyletnie badania in-situ dotyczące kierunku i prędkości wiatru prowadzone na czterech masztach pomiarowych za pomocą anemometrów zamontowanych na różnych wysokościach.

- Wyniki analiz statystycznych pomiarów, obejmujące: profile prędkości wiatru, rozkłady Weibulla oraz częstości występowania wiatru o danej prędkości w poszczególnych sektorach kierunkowych.

- Sposób opracowania modeli numerycznych rzeźby i szorstkości terenu obejmujących obszar 3800 km^2, które stanowiły dane wejściowe do symulacji przepływu.

- Symulacje warunków wietrznych za pomocą modelu WAsP zaimplementowanego w komercyjnym programie WindPro. Symulacje dotyczyły prognozy warunków wietrznych w obszarze lokalizacji jednego z masztów, które obliczone zostały na podstawie danych pozyskanych z trzech pozostałych masztów wykorzystanych jako warunki brzegowe w modelu WAsP. Łącznie Doktorant wykonał symulacje dla 4 wariantów odpowiadających lokalizacjom poszczególnych masztów i w każdym z wariantów dla trzech przypadków oddzielnie, np. przewidując warunki wietrzne w lokalizacji masztu M1 na podstawie danych z masztu M2, następnie M3 oraz M4.

- Opracowanie wyników symulacji i porównanie ich z wartościami zmierzonymi, w zakresie profili średniej prędkości wiatru, rozkładów Weilbulla oraz rozkładów częstości występowania wiatru o danej prędkości w poszczególnych sektorach kierunkowych.

- Analizę wpływu profili rzeźby oraz szorstkości terenu pomiędzy dwoma lokalizacjami masztów na wyniki symulacji.

- Sposób oceny poprawności symulacji na podstawie skorygowanego współczynnika topografii terenu (uwzględniającego łącznie jego rzeźbę i szorstkość z odpowiednimi wagami), współczynnika dopasowania R^2 rozkładów Weibulla (symulowanego i zmierzonego) oraz błędu procentowego PE opisującego różnicę w średniej prędkości wiatru na wysokości 100 m (symulowanej i zmierzonej).

Przeprowadzone symulacje numeryczne, które został zwalidowane za pomocą danych pochodzących z badań in-situ, pozwoliły Doktorantowi stwierdzić, że model WAsP w przypadku terenu o dużych wahaniach rzędnej wysokości i względnie dużej szorstkości, zwłaszcza w pobliżu lokalizacji masztu pomiarowego, z którego dane są wykorzystywane jako warunki brzegowe, nie pozwala symulować warunków wietrznych poprawnie. Stanowi to udowodnienie tezy postawionej we wstępie.

4.2. Ocena metodyki przeprowadzenia badań naukowych i ich oryginalność

Analizy przeprowadzone przez Doktoranta i wyciągnięte z nich wnioski oparte są na trzech zasadniczych filarach, którymi są: przegląd literatury, pomiary in-situ oraz symulacje komputerowe, których zakres opisałem powyżej.

Reasumując, przebieg analiz został przedstawiony w sposób spójny, tworząc logiczną całość, od krótkiego przeglądu literatury, przez badania in-situ i numeryczne do sformułowania konkretnych wniosków. Doktorant połączył dwa rodzaje badań: w skali rzeczywistej i numeryczne, walidując poprawność działania modelu WAsP na podstawie badań in-situ.

Za główne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- Opracowanie wyników pomiarów in-situ prowadzonych w trzyletnim okresie na czterech masztach pomiarowych.

- Opracowanie numerycznych modeli szorstkości i rzeźby terenu.

- Opracowanie kryteriów oceny poprawności symulacji WAsP dotyczącej warunków wietrznych w danej lokalizacji. W tym zakresie zaproponowanie skorygowanego współczynnika topografii terenu pozwalającego na tę ocenę.

Najważniejszym wnioskiem o charakterze praktycznym jest stwierdzenie ograniczeń modelu WAsP w prognozowaniu warunków wietrznych w przypadku terenu o wysokiej chropowatości i zróżnicowanej rzeźbie.

5. Uwagi krytyczne

Uwagi krytyczne zestawiłem w trzech grupach, jako uwagi edytorskie, uwagi szczegółowe, które nasunęły mi się w trakcie czytania pracy i są odniesione do konkretnych części pracy oraz uwagi ogólne, o charakterze dyskusyjnym.

5.1. Uwagi edytorskie

W pracy występują liczne błędy edytorskie dotyczące głównie stylu budowania zdań. Wymienione poniżej błędy i niedociągnięcia nie wpływają na całościowy odbiór i zrozumienie opracowania, ale zostały wskazane w celu ustrzeżenia Autora od podobnych w przyszłości, zwłaszcza w przypadku przygotowania ewentualnych artykułów opartych na rozprawie. Wydaje mi się, że zabrakło końcowego przeczytania pracy przez Autora. Zwróciłem uwagę na następujące błędy:

- Dość znaczna liczba zdań jest zbudowana niegramatycznie, np. zaczyna się w jednym przypadku, a kończy w innym.
- Bardzo liczne powtórzenia wyrazów w obrębie akapitu, czy zdania.
- Dość często pojawiają się drobne błędy literowe.
- W wielu miejscach występują zbędne przecinki lub ich nie ma.

Szczegółowy wykaz błędów i niedociągnięć edytorskich zauważonych w trakcie czytania rozprawy został przekazany Doktorantowi.

5.2. Uwagi szczegółowe

Poniżej zestawiłem uwagi, które nasunęły mi się w trakcie czytania rozprawy. Najważniejsze z nich zostały wyróżnione.

1. Wydaje mi się, że odnośniki do literatury są w wielu miejscach niepoprawne – np. str. 107 [52], [90]? Wiele pozycji literatury nie jest w tekście przytoczonych, np. [2], [3], [6], [12], ...
2. Punkt 2.3.1. Aparatura pomiarowa. Cały podrozdział należałoby przenieść do opisu badań in-situ. Opisano w nim wykorzystaną aparaturę pomiarową – tak przynajmniej wynika z tekstu.
3. Pod każdym wzorem Autor opisuje zmienne, nie ma potrzeby powtarzania tych samych wyjaśnień pod kolejnymi wzorami, tym bardziej że dodano wykaz oznaczeń.
4. Str. 36. Parametr szorstkości z_0 jest opisany dwa razy.
5. Str. 37. Wzór 12 jest zbędny – zawiera oczywiste przekształcenie.
6. **Str. 39. „... model k-ε ... jest odpowiedni tylko dla przepływów turbulentnych". Nie jest to prawdą, ponieważ właśnie w przepływach turbulentnych, czyli np. w warunkach wiatrowych, model ten wykazuje stosunkowo słabą walidację.**
7. Str. 41, 4 linia od dołu. „... i szorstkości terenu oraz informacje o przeszkodach terenowych ..." – to już jest uwzględnione w tzw. szorstkości terenu. To samo odnosi się do wyjaśnień pod wzorem nr 13.
8. **Str. 44. Przy opisie równań Naviera-Stokesa brak jest wyjaśnienia poszczególnych składników. Zapis wektorowy wzorów jest niepoprawny, dotyczy to wzorów 14-17, 31, w których nie wyróżniono wektorów. Ponadto, sformułowanie „równania skalarowe" jest niezrozumiałe (str. 45, ostatnia linia) – chyba chodzi o równania dla poszczególnych składowych.**

9. Str. 49. Warunki brzegowe. Powinna być mowa o warunkach brzegowych, a nie warunkach brzegowych początkowych (wlot do domeny obliczeniowej) i końcowych (wypływ z domeny).

10. Str. 53. Przykłady siatek obliczeniowych trochę nie pasują do treści rozprawy. Brak jest konkretnego opisu Rys. 19, który bardziej pasuje do treści. Ponadto, Rys. 18 nie przedstawia siatki CFD, a wyniki symulacji pokazujące obszary zawirowań i zwiększonych prędkości wiatru.

11. Str. 58. Brak jest schematu masztu, wraz z wysokościami, na których zamontowano anemometry. Według mnie tutaj powinien znajdować się tekst z pkt. 2.3.1.

12. Str. 64, Rys. 29 i kolejne rysunki pokazujące profile. Na rysunkach należałoby pokazać punkty pomiarowe, przynajmniej na krzywej wyznaczonej z pomiarów. Brak jest wzoru opisującego profil wiatru.

13. Str. 85, Rys. 53 i kolejne. Nie opisano w tekście rysunków przedstawiających częstości występowania danej prędkości wiatru dla kolejnych sektorów.

14. Str. 98, Tabela 19. Brak jest jasnego opisu co oznaczają wartości podane w nawiasach.

15. Str. 101, Tabela 20. Pierwszy zakres wsp_{tot} powinien być 1.0-4.0.

16. Str. 105. Przy opisie współczynników β powinno być, że dotyczą wysokości szorstkości, a nie wysokości terenu.

17. **Str. 107, wzór 50. W obliczeniach współczynnika determinacji R^2 nie podano dokładnie jak go obliczono. Czy wartość średnia i chwilowa były przyjęte na podstawie pomiarów, a oczekiwana na podstawie symulacji? Ponadto, mówimy o wartościach zmiennej w chwili *t*, a nie w momencie *t*. Podobny komentarz dotyczy wzoru 51 nas str. 116.**

18. W tekście rozprawy część tabeli i rysunków stanowi powtórzenie w innej konfiguracji wcześniej zamieszczonych i są one zbędne. Dotyczy to: Tabeli 8 (str. 67), Rys. 65 i 66 (str. 109), Rys. 67-72 (str. 110), Rys. 73-76 (str. 118), Tabeli 28 i 29 (str. 124).

19. Doktorant używa nieprawidłowych, według mnie, sformułowań, np.:

    Str. 35 i inne, jest: „Prędkości wiatru ... są uśredniane do 10 minut", powinno być: „w czasie 10 minut".

    W wielu miejscach jest: „profil wiatru", powinno być „profil średniej prędkości wiatru".

    Str. 116, 2 linia od dołu i strony następne, jest: „...maksymalne odchylenia prędkości...", powinny być różnice prędkości, odchylenia mogą być standardowe, których Doktorant nie liczy.

5.3. Uwagi ogólne

Po zapoznaniu się z całością rozprawy, poniżej przedstawiłem pytania i uwagi o charakterze ogólnym. Proponuję, aby Doktorant odniósł się w trakcie obrony zwłaszcza do uwag nr 2, 3 i 6.

1. Przegląd literatury. Przedstawiony w rozdziale 2 przegląd literatury jest dość szczątkowy. Wydaje mi się, że doktorant powinien dokonać bardziej szczegółowego przeglądu przynajmniej w zakresie metod pomiaru charakterystyk wiatru oraz parametrów je opisujących (profilu i kategorii terenu zdefiniowanych przez szorstkość). Inżynieria wiatrowa w tym zakresie dostarcza bardzo bogatej literatury. Bardzo wiele tego typu pomiarów (anemometrycznych, ale również za pomocą LIDAR i innych urządzeń) jest wykonywanych przy projektowaniu nowych inwestycji budowlanych, ale również w celach czysto naukowych. Przegląd literatury w zakresie symulacji CFD został potraktowany jeszcze bardziej pobieżnie. Istnieje bardzo dużo przykładów zaawansowanych symulacji przepływu w terenach o skomplikowanej rzeźbie, ale również w terenach o różnej szorstkości terenu. Wydaje mi się, że zapoznanie się Doktoranta z aktualnymi badaniami w zakresach, które wymieniłem jest jak najbardziej pożądane.

Odnośniki do literatury są stosowane nieporządnie, wydaje mi się, że wielu miejscach odnośniki nie zostały zaktualizowane w końcowej wersji dokumentu. Ponadto, duża część pozycji literatury nie posiada odnośników w tekście.

2. Model WAsP. Doktorant wykorzystuje w obliczeniach model WAsP, który nazywa liniowym modelem przepływu. Równocześnie przytacza równania Naviera-Stokesa w różnych postaciach: macierzowej, wskaźnikowej i dla poszczególnych składowych. Brak jest w rozprawie wyjaśnienia działania modelu WAsP i uzasadnienia wyboru tego modelu, poza takim, że jest on powszechnie wykorzystywany przy planowaniu inwestycji energetyki wiatrowej. Rozwiązanie równań N-S przy wykorzystaniu CFD polega na przybliżonym iteracyjnym uzyskaniu zbieżnego rozwiązania, przy szeregu założeń na temat uśredniania, czy to czasowego (RANS) czy przestrzennego (LES).

   W tym wypadku zastosowano model liniowy WAsP. Co oznacza, że model jest linowy? Czy uproszczenie zastosowane w WAsP polega na zastąpieniu układu równań różniczkowych układem równań algebraicznych, czy dotyczy pominięcia składowej pionowej prędkości wiatru (o tym pisze również Doktorant)? Jak rozumiem model ten zakłada przepływ laminarny? Czy model WAsP to wciąż CFD?

   Zdecydowanie brak jest podstawowych założeń i równań modelu WAsP. Proszę podać uzasadnienie stosowania tego modelu wobec, moim zdaniem, dużo bardziej wiarygodnych wyników uzyskiwanych przy symulacjach wykorzystujących modele RANS np. k-ε, nawet w wersji standard? Według mnie wyniki uzyskane za pomocą WAsP są dużo mniej wiarygodne, ale być może szybsze.

3. Warunki brzegowe modelu WAsP. Rysunek 16 nie ilustruje zastosowanych warunków brzegowych i ma raczej zastosowanie w dwuwymiarowej analizie opływu budynków, a nie w zagadnieniach rozpatrywanych w rozprawie.

   Brak jest podania rozmiarów domeny obliczeniowej, parametrów siatki numerycznej, liczby komórek. Czy przeprowadzono analizę wrażliwości rozwiązania na wymiary siatki obliczeniowej? Ile czasu trwa pojedyncza symulacja?

   Jak wprowadzono warunki brzegowe na wlocie do domeny – czy podana została jedna składowa prędkości wiatru (wzdłuż domeny), a wyniki symulacji w lokalizacji sprawdzanego masztu zależały tylko od szorstkości i rzeźby terenu? Czy zdaniem Doktoranta można w takim rodzaju symulacji pomijać turbulencję napływu? Czy można również pomijać składową pionową prędkości wiatru, zwłaszcza gdy przepływ jest symulowany w terenie ze zmianami wysokości (wzniesienia, kaniony, itp.).

   Głównym przeznaczeniem modelu WASP jest ocena charakterystyk wiatru w konkretnej lokalizacji, która przeprowadzana jest na podstawie symulacji opartych na danych meteorologicznych zmierzonych na maszcie, w sąsiedztwie tej lokalizacji. Czy alternatywnie możliwe jest wykorzystanie danych z modeli mezoskalowych służących do przewidywania pogody zamiast z masztów meteorologicznych, czy nawet szprzęgnięcie modelu WAsP z modelami mezoskalowymi. Chodzi mi o wykorzystywanie wyników symulacji mezoskalowych prowadzonych w siatkach o niskiej rozdzielczości jako warunków brzegowych do symulacji WAsP prowadzonych w wyższej rozdzielczości?

4. Badanie wietrzności w wybranym terenie otwartym. Autor wykorzystał dane pomiarowe uzyskane z anemometrów zamocowanych na czterech masztach pomiarowych. Okres pomiarów trwał ok. trzech lat. Na podstawie pomiarów Doktorant wyznaczył w każdej lokalizacji: pionowy profil średniej prędkości wiatru, rozkład Weilbulla prędkości wiatru, oraz częstość występowania wiatru o danej prędkości w kolejnych sektorach kierunkowych. O ile dwa ostatnie parametry dotyczą zapewne całego okresu pomiarowego, o tyle nie jest jasne jak wyznaczono profile średniej prędkości wiatru. Autor napisał, że dane pomiarowe zostały uśrednione w zalecanym czasie 10-minut,

ale dalsze wywody tego nie potwierdzają. Wobec powyższego, jakie profile znajdują się np.: na Rys. 29 i kolejnych i czy wartości średnie, o których Autor pisze w tekście rozprawy dotyczą wartości uśrednionych w czasie 10-minut, czy w całym okresie pomiarowym? Moim zdaniem brak jest w rozprawie podanych przykładów przebiegów czasowych z wybranych anemometrów dotyczących prędkości i kierunku wiatru. Zakładam, że analiza statystyczna danych pomiarowych została przeprowadzona przez Doktoranta.

5. Analiza topografii wybranego terenu. Doktorant w podsumowaniu podaje, że w rozprawie przedstawiono autorską metodę opracowywania cyfrowych modeli szorstkości i rzeźby terenu. Doktorant wykorzystał do stworzenia modeli program Global Mapper. Na czym polega oryginalność podejścia? Szkoda, że ten temat nie został szczegółowiej rozwinięty w rozprawie.

6. Współczynnik topograficzny terenu. Na jakiej podstawie Doktorant przyjął współczynnik wysokości w zależności od stosunku wysokości, natomiast współczynnik szorstkości jako stosunek pól? Wydaje mi się ponadto, że oba współczynniki powinny uwzględniać nie wysokość i szorstkość maksymalną, a wartości ekstremalne w stosunku do wartości średniej.

   W tabeli 20 podano ocenę dopasowania symulacji WAsP na podstawie współczynnika topografii – na jakiej podstawie przyjęto takie kryteria? Czy jest to propozycja autorska? Na jakiej podstawie przyjęto współczynniki α i β w skorygowanym współczynniku? Ponownie, czy jest to propozycja autorska, czy może wynika z wykonanych analiz (np. parametrycznych obliczeń wg modelu WAsP)? Trochę niepokoi mnie wynikające z powyższego stwierdzenie, że wysokie wartości szorstkości terenu w pobliżu masztu pomiarowego mają większe znaczenie dla poprawności symulacji niż zmiany w ukształtowaniu (str. 106)? Przy przyjęciu takich współczynników na pewno, w praktyce wydaje mi się, że takie stwierdzenie jest nie do końca uprawnione.

7. Należałoby zastanowić się nad bardziej kompleksowym podejściem do oceny symulacji wykorzystującej równocześnie skorygowany współczynnik terenu, błąd PE oraz współczynnik R^2. Wyniki analiz prowadzonych dla każdego parametru oddzielnie prowadzą w kilku przypadkach do odmiennych wniosków.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Piotra Gnypa, zatytułowaną „*Analiza parametryczna i weryfikacja eksperymentalna numerycznego modelu przepływu wiatru WAsP*", która powstała na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Dariusza Heima, prof. PŁ stwierdzam, że Autor w pracy udowodnił postawioną tezę. Pomimo pewnych niedociągnięć rozprawy w zakresie stylistycznym, jak i w moim odczuciu nie przedstawieniu kompletnych informacji, co wzbudziło moje wątpliwości opisane powyżej, Doktorant wykazał się wiedzą w zakresie prowadzenie pomiarów in-situ, symulacji komputerowych i przede wszystkim wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy badawczej. Na podkreślenie zasługuje zwłaszcza fakt wykorzystania danych pochodzących z pomiarów w skali rzeczywistej do walidacji numerycznego modelu przepływu, co w inżynierii wiatrowej jest sprawą dość problematyczną. Reasumując, oznacza to, że praca spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do obrony publicznej.

Tomasz Lipecki