



Poznań, dnia 29.06.2016 r.

OCENA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Paliszewskiego pt.:

Modelowanie numeryczne procesu napełniania cylindra silnika z zapłonem iskrowym

1. Podstawa opinii: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej nr RIE-BD/4/395/2014/2015 z dnia 21 lipca 2015 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

2. Przedmiot opinii: rozprawa doktorska mgra inż. Pawła Paliszewskiego jest opracowana w języku polskim i została przedłożona w postaci jednostronnego wydruku komputerowego w formacie A4, z interlinią 1,5 wiersza; praca jest oprawiona w twardą oprawę introligatorską.

Promotorem pracy jest profesor dr hab. inż. Ireneusz Szczygieł. Zgodnie z adnotacją na stronie redakcyjnej praca powstała w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, na wymienionym wyżej Wydziale.

Niniejsza opinia dotyczy drugiej wersji rozprawy; wersję pierwszą przedłożoną w lipcu 2015 r. oceniłem negatywnie w recenzji przesłanej Dziekanowi 17.10.2015 r.

Aktualna wersja pracy liczy 96 stron tekstu podzielonego na 8 rozdziałów i obejmuje *Bibliografię* oraz jednostronicowe streszczenia w języku polskim i w języku angielskim. Na początku pracy umieszczono *Spis treści* (nie tytułując go) oraz *Spis oznaczeń i skrótów*. Tekst zasadniczy pracy obejmuje 92 strony, bibliografia liczy 43 pozycje, z tego 7 źródeł internetowych. W pracy umieszczono 57 rysunków i 7 tabel.

3. Ocena aktualności problematyki objętej rozprawą

Nie ulega dzisiaj wątpliwości, że we współczesnym rozwoju silników spalinowych występują co najmniej 3 wyraźne trendy. Pomijając występujące w tym zakresie niuanse można je w skrócie określić jako: 1) poszukiwanie paliw alternatywnych, 2) zmniejszanie emisji związków toksycznych i gazów cieplarnianych, 3) zwiększanie sprawności i koncentracji mocy z jednostki objętości skokowej. Łatwo zauważyć, że zagadnienia objęte tendencjami 2 i 3 są mocno ze sobą powiązane.

Podjęta przez pana mgra Paliszewskiego praca dotyczy zagadnień wymiany ładunku w cylindrze silnika spalinowego, a szczególnie napełniania cylindra świeżym ładunkiem, wynika niewątpliwie z dążenia do poprawy zarówno koncentracji mocy, jak i zapewnienia pożądanego przebiegu procesu spalania, a w efekcie, uzyskania poprawnych wskaźników emisyjnych silnika.

Jest oczywiste, że zwiększenie koncentracji mocy rozwijanej przez silniki wymaga spalania w jego cylindrach większych masy paliwa, a jest to jedynie możliwe przez zapewnienie odpowiednio dużej ilości utleniacza, którego nośnikiem jest dostarczane do

cylindrów powietrze. Warto jednak przy tym pamiętać, że chodzi tutaj nie tylko o ilość powietrza (jego masę) doprowadzoną i zamkniętą w cylindrze w czasie obiegu, lecz także o parametry dynamiczne wynikające z jego względnego ruchu w przestrzeni roboczej i sprzyjające szybkości tworzenia mieszanki palnej oraz jej oczekiwanemu rozkładowi w komorze spalania. O ile ocenę ilościową procesu wymiany ładunku można przeprowadzić w oparciu o stosunkowo łatwy do wyznaczenia współczynnik napełnienia cylindra, o tyle ocena jakościowa stanu mieszanki przed rozpoczęciem spalania oraz w trakcie jego trwania jest o wiele bardziej złożona i wymaga kompleksowej oceny systemu spalania z wykorzystaniem zaawansowanych metod badawczych, w tym m.in. badań optycznych i/lub badań symulacyjnych. Od takiej oceny zależy w dużym stopniu jakość systemu spalania, którą determinuje zarówno jakość tworzenia mieszanki palnej, rozkład jej stężenia w przestrzeni roboczej, jak i – ostatecznie – jakość procesu spalania, którego efekt istotnie wpływa zarówno na wartości wskaźników operacyjnych silnika, jak i na jego wskaźniki ekologiczne.

Wprawdzie postęp w rozwoju systemów spalania współczesnych silników spalinowych w ciągu ostatnich kilkunastu lat był ogromny, uwarunkowany przede wszystkim elektroniczną układową zasilania, jednak obserwacja kierunków prowadzonych stale badań wskazuje na występujący w tym zakresie jeszcze znaczny potencjał rozwojowy. Optymalizacja procesu tworzenia mieszanki w silniku z wtryskiem bezpośrednim wymaga coraz lepszego przewidywania ruchu ładunku w cylindrze w poszczególnych fazach procesów dolotu, sprężania i spalania. Ze względu na występujące trudności w zakresie diagnostyki ruchu ładunku w rzeczywistym, pracującym silniku spalinowym, rozwijanie modeli przestrzennych pozwalających na prowadzenie badań symulacyjnych w tym zakresie jest coraz bardziej pożądane.

Wspomniane tutaj przesłanki pozwalają stwierdzić, że podjęcie problematyki modelowania procesu napełniania cylindra świeżym ładunkiem pod względem ilościowym i jakościowym w ramach pracy naukowej uważam za uzasadnione i celowe.

4. Tytuł, problem badawczy i cel pracy

Sformułowany przez Autora tytuł rozprawy: *Modelowanie numeryczne procesu napełniania cylindra silnika ZI* sugeruje, że głównym jej celem było opracowanie symulacyjnego modelu procesu napełniania cylindra. Pojawia się więc tutaj pierwsza wątpliwość: czy rzeczywiście Autor zamierzał opracować nowy model napełniania, czy jedynie dostosować do swoich potrzeb jakiś jeden wybrany z wielu już istniejących modeli. Analiza dalszej treści rozprawy wskazuje, że chodzi tutaj o tę drugą sytuację, tym bardziej, że w literaturze można znaleźć wiele różnych modeli napełniania cylindra. W takiej sytuacji w tytule wskazane było zawarcie jakiejś istotnej cechy charakterystycznej proponowanego modelu, wyróżniającej go spośród innych, podobnych rozwiązań. Także w trakcie dalszej lektury pracy nie w pełni można zrozumieć, czy Autorowi chodziło o zamodelowanie przebiegu procesu napełniania i jego ocena pod względem jakościowym, czy też o wyznaczenie efektu końcowego tego procesu, czyli sprawdzenie jego efektu ilościowego. Wątpliwość tę pogłębia brak uzależnienia ostatecznego efektu procesu od istotnych parametrów determinujących jego przebieg, co przecież można osiągnąć dysponując modelem wrażliwym na takie istotne parametry przebiegu tego procesu.

W rozdziale 1 (pod koniec s. 6) Autor napisał, że „w celu zilustrowania zjawiska redukcji ilości zasysanego czynnika wraz ze wzrostem prędkości obrotowej zbudowano uproszczony model CFD (*Computational Fluid Dynamics*) suwu ssania”. Takie sformułowanie nasuwa następujące wątpliwości: samo „zilustrowanie zjawiska” nie może być celem naukowym rozprawy doktorskiej, gdyż nie prowadzi do wyjaśnienia lub opisu związków przyczynowo-

skutkowych. Ponadto zmniejszenie (raczej nie „redukcja”) ilości zasysanego czynnika wraz ze wzrostem (raczej: zwiększeniem) prędkości obrotowej nie jest zależnością występującą zawsze, w każdym zakresie zmian prędkości obrotowej i dla wszystkich silników. Po trzecie wreszcie: zastosowanie narzędzia typu CFD do oceny zmian masy (a więc jedynie oceny jakościowej) czynnika w cylindrze wydaje się mocno przesadzone (to trochę jak użycie skalpela do cięcia deski). A jak takie sformułowanie celu ma się do brzmienia tytułu pracy? Być może problem tych rozbieżności tkwi w niejednoznacznym przyjęciu definicji pojęcia „procesu napełnienia”, której to definicji w pracy nie ma, choć być powinna. Definicji takiej także brakuje do właściwej interpretacji pierwszego zdania na s. 8 („...efektywność napełnienia cylindra wpływa na parametry pracy silnika, motywują do podjęcia badań nad procesem napełniania...”).

W rozdz. 3 *Cel pracy* Autor napisał: „... określenia celu pracy, którym jest zbudowanie modelu numerycznego procesu napełniania cylindra silnika ZI. Zbudowany model ma umożliwić analizę wpływu elementów układów: dolotowego oraz rozrządu, na parametry pracy silnika”. Te sformułowania potwierdzają, że Autora interesują właściwie jedynie efekty końcowe napełniania cylindra, nie zaś dynamiczny przebieg takiego procesu, co niestety mocno zubaża warstwę interpretacyjną prowadzonych badań i analiz. Wprawdzie Autor przytacza wyniki symulacji odnoszące się do rozkładu ciśnienia w przestrzeni roboczej cylindra, jednak w ostateczności ich nie wykorzystuje w interpretacji dynamicznego rozwoju procesu napełniania cylindra, a także nie wyciąga z tych badań żadnych wniosków naukowych dotyczących wpływu określonych zmiennych wejściowych na przebieg analizowanego procesu.

W pracy nie został niestety wyraźnie sformułowany naukowy problem badawczy; bo czy takim problemem jest samo opracowanie modelu, czy jego dostosowanie do określonych potrzeb badawczych? Na czym polegała wartość naukowa podjętych badań? Należy przypomnieć, że wartość naukową przypisuje się pracom, które wyjaśniają istotę zjawisk, definiują i opisują związki przyczynowo-skutkowe i zależności, próbują znaleźć i opisać występujące zasady i reguły. Czy zatem opracowany program symulacyjny i przeprowadzone badania pozwoliły Autorowi na sformułowanie jakichś związków i zależności o bardziej uniwersalnym znaczeniu niż tylko w odniesieniu do jednego punktu pracy jednego silnika?

Pod koniec rozdz. 3 Autor umieścił krótki opis zawartości pracy, z którego dowiadujemy się, że model opracowany był „w celu:

- a) określenia jak czas otwarcia zaworu dla dwóch wybranych profili wpływa na ilościową efektywność napełnienia cylindra przy różnych prędkości obrotowych,
- b) analizy zasadności stosowania kolektora dolotowego typu *ram-air* w silniku m20b27”.

Żaden z tych celów nie ma charakteru naukowego, m.in. dlatego, że nie mają one charakteru wyjaśniającego jakiejś ogólnej prawidłowości, mogą one jednak pełnić funkcję weryfikacji przydatności opracowanego modelu do spełnienia określonych zadań aplikacyjnych.

5. Konstrukcja metodologiczna pracy; zastosowana metoda badawcza i jej ocena

Uważam, że ogólna konstrukcja rozprawy jest prawidłowa. W swej pracy Autor przyjął tok postępowania, który wynika z jej kolejnych rozdziałów:

w rozdz. 1 (s. 6 i n.) Autor uzasadnił celowość podjęcia przyjętej tematyki i zakresu rozprawy;

w rozdz. 2 (s. 11 i n.) przeprowadził przegląd literatury przedmiotu rozprawy, z którego wyprowadził pewne wnioski ogólne sformułowane w rozdz. 3 *Cel pracy* (s. 15-17);

w rozdz. 4 (s. 18-25) omówił Wybrane zagadnienia związane z napełnianiem cylindrów silnika;

w rozdz. 5 Model numeryczny (s. 26-51) Autor omówił zasadnicze aspekty budowy zastosowanego modelu numerycznego;
rozdz. 6 (s. 52-62) zawiera omówienia problemów i przyjętego postępowania przy walidacji modelu;
rozdz. 7 (s. 63-88) został poświęcony omówieniu wyników symulacyjnych badań napełniania cylindra;
rozdz. 8 (s. 89-92) zawiera omówienie wniosków z pracy i jej podsumowanie.

Z tej konstrukcji i treści pracy wynika jednoznacznie, że Autor przyjął metodę badań symulacyjnych prowadzonych w oparciu o swój własny model matematyczny i program symulacyjny typu CFD, oparty na kodzie Ansys-Fluent. W obliczeniach pomocniczych Autor wykorzystał także program GT-Power.

W celu walidacji opracowanego modelu oraz weryfikacji poprawności obliczeń Autor podjął eksperymentalne badania silnika na stanowisku hamownianym, wprawdzie w dość ograniczonym zakresie, jednak wystarczającym do przyjętego celu tych badań.

Przytoczony schemat postępowania można uznać za adekwatny do przyjętego celu i zakresu pracy.

6. Szczegółowa analiza treści rozprawy

W trakcie lektury pracy natknąłem się na miejsca, które wymagają poprawek, uzupełnień lub dodatkowych komentarzy.

s. 7, rys. 1 i 2 – czy są to rysunki z literatury, czy własne (nie podano źródeł)? Pojęcie „kontury ciśnienia” nie zostało wcześniej wprowadzone, a w tekście jest utożsamiane z „rozkładem ciśnienia”. W podpisie podano kąt OWK, ale nie jest wiadome, w jakim punkcie przyjęto 0° OWK.

Tekst w. 1-2 – „porównanie rozkładów ciśnień w przekrojach poprzecznych modeli” – nie chodzi tutaj o „przekrój modeli” tylko o przekrój kanałów lub cylindra.

w. 7 – „w znacznie późniejszym punkcie pracy” – to jest ewentualnie późniejsza chwila (punkt) procesu, a nie pracy (silnika?).

s. 8, w. 1 – „przykład zmienności opisywanego procesu oraz fakt, że efektywność napełnienia cylindra wpływa na parametry pracy silnika, motywują do podjęcia badań nad procesem napełniania” – wcześniej opisywany był rozkład ciśnienia w cylindrze (kolektorze), a to powinno motywować przede wszystkim do badania zmienności procesu napełniania w czasie, nie zaś tylko do oceny jego ostatecznego efektu w postaci ilości masy zamkniętej w cylindrze.

w. 2-3 d. – „Krzywą mocy uzyskano podczas badań na hamowni podwoziowej, natomiast wartości współczynników (l.mn.?) napełnienia są wynikiem symulacji CFD” – czy naprawdę potrzebna jest przestrzenna symulacja ruchu ładunku w przestrzeni roboczej, żeby wyznaczyć wartość współczynnika napełnienia? Czy mamy więcej współczynników napełnienia?

s. 9, rys. 3 – wystąpiła niezgodność zakresów badania mocy silnika i wartości współczynnika napełnienia; ta rozbieżność w pracy nie jest wyjaśniona – proszę o komentarz.

w. 3-5 – mówiąc o analizie bilansowej ilości powietrza Autor mówi, że modelowanie CFD pozwala ograniczyć koszty i czas badań; do analizy bilansowej wystarczyłby chyba model 1-D, znacznie tańszy i mniej kłopotliwy.

wzór (4) – Autor ten stosunek nazywa stopniem zawirowania, podczas gdy w literaturze polskiej zwykle stosuje się pojęcie "liczby wirowej"; w j. niem.: *Drallzahl*, a j. ang. *Swirl Ratio*.

s. 10, w. 3 i n. – „do kompletnej analizy problemu tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej konieczne jest wprowadzenie zagadnienia modelowania przepływów

wielofazowych. W związku z powyższym pracę ograniczono do aspektu oceny ilościowej efektywności procesu napełniania” – czyli do wyznaczenia wartości współczynnika napełnienia; to stwierdzenie rozumiem, ale po co w takim razie użyto modelowania przestrzennego?

- s. 11, Rozdz. 2 – Przegląd literatury należy prowadzić w odniesieniu do zagadnień problemowych, a nie przez przegląd problematyki poruszanej w kolejnych publikacjach.

Dokonywany przegląd literatury powinien służyć wskazaniu istotnych osiągnięć innych badaczy oraz występujących problemów badawczych i podejmowanych kierunków badań w określonej grupie zagadnień, choćby: „Problematyka modelowania napełniania cylindra”. Tytuł rozdziału powinien więc taką podmiotową problematykę wskazywać, a analiza treści przytaczanych publikacji powinna być pod takim kątem prowadzona – „Przegląd literatury...” wskazuje jedynie na przyjętą technikę a nie przedmiot tej analizy.

Absolutnie nie do przyjęcia jest metoda streszczania kolejnych źródeł jedno po drugim, zamiast prowadzenia przedmiotowej analizy porównawczej odnoszącej się do poszczególnych zagadnień podjętej problematyki badawczej. Chodzi tutaj o wykazywanie, jak określony problem (zagadnienie) zostało rozwiązane przez różnych badaczy, autorów publikacji, kto z nich osiągnął najlepsze rezultaty i na czy one polegały. W przytoczonych w dysertacji omówieniach brakuje wyraźnie stwierdzeń, co cytowani autorzy rozwiązali, co osiągnęli, co może być wykorzystane w opracowywanej dysertacji.

Akapit 1 – Autor odwołując się do monografii Kordzińskiego i Środulskiego z 1968 r. pisze, że „...niemożliwe jest zaprojektowanie przewodu dolotowego bez badań doświadczalnych”, co jednak przy obecnym stanie rozwoju narzędzi symulacyjnych jest już tezą ryzykowną, choć oczywiście wszyscy się zgadzają, że ostateczna weryfikacja doświadczalna jest zasadna.

Ak. 2, zd. 3 – błąd fleksyjny;

Autor pisze: „wir ten (squish) powstaje w wyniku oddziaływania ruchu tłoka i wykorzystywany jest głównie w silnikach ZS” – napisałbym raczej, że w silnikach z wtryskiem bezpośrednim;

Ak. 3 – „...zawierają opisy obiegów porównawczych silników, gdzie (raczej: w których) proces wymiany ładunku określony został jako strata pola pracy” – błąd logiczny: proces nie może być określany jako „strata pola”;

- s. 12, ak. 1 (koniec) – „Zjawiska zawirowań oraz wzrostów prędkości przepływu wywołanych ukształtowaniem przewodu wylotowego zostały wykorzystane wyłącznie do rozwiązywania problemów akustycznych” – błąd log.: zjawiska .. do rozwiązania? i dalej: „...ciśnieniowym warunkiem brzegowym generującym nadciśnienie...” – warunek brzegowy nie może generować nadciśnienia;

- s. 14, ak. 2 (koniec) – „Istotnym wnioskiem płynącym z pracy jest brak możliwości modelowania zawirowań w oprogramowaniu wykorzystującym metodę 1-D, tym samym autor wskazuje na konieczność połączenia metod 1-D z CFD” – czy może być „istotnym wnioskiem” brak możliwości modelowania zawirowań (ze swej istoty wielowymiarowych) w modelu jednowymiarowym?

Rozdz. 3, s. 15 – zebrane tutaj wnioski sformułowane na podstawie analizy literatury („raczej nie „przeglądu”) są niestety dość banalne, częściowo oczywiste, przy tym sformułowane bardzo ogólnikowo; oczekiwałbym tutaj wniosków bardziej konkretnych, pogrupowanych osobno dla podejmowanego problemu naukowego, a osobno dla przyjętych metod badawczych (symulacja, eksperyment); wnioski te powinny przekonywać czytelnika do konieczności podjęcia tematu w takim, a nie innym brzmieniu, we właściwym zakresie.

- s. 16, ak. 1 – mowa jest o konieczności zastosowania numerycznego modelu procesu napełniania do wyznaczania współczynnika napełnienia – także w tym miejscu Autor nie wyjaśnia, jak rozumie pojęcie „proces napełniania” i o ile jego analiza może być

wykorzystana do oceny współczynnika napełnienia. **Ta fundamentalna kwestia powinna być przedmiotem dyskusji w trakcie obrony rozprawy.**

Dalej Autor uważa, że oryginalność Jego rozwiązania polega na „...umieszczeniu w modelu dodatkowych króćców w kolektorach” – moim zdaniem nie „umieszczenie króćców” powinno stanowić o oryginalności rozprawy, a raczej wyjaśnienie, jak ich umieszczenie (lepiej: geometria?) wpływa na przebieg samego procesu napełniania oraz na jego efekt końcowy oceniany wartością współczynnika napełniania.

koniec strony – mowa jest o zastosowaniu czujnika zegarowego do badania profili krzywek – chyba metoda już zbyt stara i niezbyt skuteczna, skoro na profilu umieszczonym w załączniku C widać wyraźne nieciągłości tego profilu (o czym Autor wspomina na s. 18, ak. 1); tutaj Autor powinien przynajmniej zastosować jakiś mechanizm wygładzający profil, gdyż wyniki wskazują to na słabą jakość metody.

Rozdz. 4, s. 18, ak. 2 i 3 – Autor wymienia zawirowanie osiowe oraz zawirowanie promieniowe (beczkowe), jednak pomija zawirowanie wywołane wyciskającym działaniem tłoka (które zresztą wcześniej przypisał głównie do silników ZS), co przyjmuję jako przeoczenie.

Dalej Autor pisze: „...jak sama nazwa wskazuje zawirowanie czynnika oscyluje wokół jego osi” – oscylacje to są cykliczne zmiany wokół pewnej wartości, co w tym przypadku raczej się nie stosuje.

s. 20, w. 1 i n. – zawirowanie Autor przypisuje wyłącznie „konstrukcyjnemu zakręceniu kanałów” – wydaje się to zbyt daleko idącym uproszczeniem, szczególnie w sytuacji pewnego własnego doświadczenia w badaniu takich wirów.

s. 22 – brak przywołania w tekście rys. 8.

s. 25, w. 6-7 d. – Autor przywołuje pozycję bibl. *Modelowanie numeryczne procesu napełniania cylindra silnika ZI*, jednak bliżej jej nie identyfikuje. Znajduje się tutaj także przywołanie załącznika C, w którym profil krzywki nie został wygładzony (wspomniano wcześniej), a liczby zawarte w tabeli są zapisane z bezsensownie dużą liczbą miejsc znaczących (jak to się ma do dokładności pomiarów i symulacji?).

s. 29, rys. 13 – w podpisie: „Wykres osiąganego maksymalnego momentu silnika...” brak wyjaśnienia, że chodzi o wynik symulacji i że można ten wykres traktować jak charakterystykę regulacyjną kata otwarcia zaworu dolotowego.

s. 28, ak. 2 – „... zależność współczynnika wypływu (CD), względem referencyjnego współczynnika powierzchni przepływu...” – brak definicji obu pojęć utrudnia interpretację.

s. 30 – pojawiają się rozważania na temat trajektorii ruchu czynnika przy przepływie cylindra silnika dwusuwowego; zupełnie nie widzę uzasadnienia dla wprowadzania tego zagadnienia, które do niczego nie jest później wykorzystywane.

s. 32, ak. 2 d. – „symulacja obciążenia silnika jest realizowana poprzez zadeklarowanie ciśnień...” – sformułowanie niezręczne.

s. 35, ½ str. – Autor pisze: „Badanie odpowiedzi modelu na określone wymuszenia odbywa się przy wykorzystaniu następujących zmiennych zależnych:

- współczynnik napełnienia: obliczany na podstawie scałkowania po czasie strumienia masowego czynnika zasysanego do przestrzeni roboczej w kolejnych krokach symulacji, w celu określenia sprawności napełniania cylindra w ujęciu ilościowym,

- ciśnienie w przestrzeni roboczej: wykorzystywane do walidacji, która obejmuje porównanie wykresu indykatorowego rzeczywistego silnika z wykresem ciśnienia uzyskanym na drodze symulacji.”

Ani w pierwszym przypadku, ani w drugim, przestrzenna analiza 3-D rozkładu ciśnienia w przestrzeni roboczej nie ma zastosowania, więc ponownie pojawia się pytanie, w jakim celu Autor stosował skomplikowany system obliczeniowy typu CFD. **Proszę o bardziej szczegółowe wyjaśnienie tej kwestii.**

- s. 36, tab. 1 – przedstawiono tutaj wartości współczynników modelu uzyskane w procesie jego walidacji; jak to jest jednak możliwe, żeby we wszystkich ośmiu przypadkach wartości tych współczynników były jednakowe i wynosiły dokładnie 0,1, chociaż dotyczą tak różnych wielkości jak ciśnienie, pęd, turbulenta energia kinetyczna czy współczynnik lepkości turbulentnej? **Ta wątpliwość wymaga także dodatkowego wyjaśnienia.**
- s. 37, przywołanie rys. 3 – sugerowałbym podanie strony, gdyż jest on umieszczony kilka stron dalej.
- s. 39, tytuł podrozdziału – w edytorstwie nie zaleca się 4-poziomowej numeracji (5.2.2.1, także s. 40); ponadto ten podział poprzedzony jest tekstem „wiszącym”, co w tej pracy niestety ma miejsce kilkakrotnie.
- w. 6 – „... gotowe modele geometryczne zostały zamieszczone jako załączniki A i B wraz z rysunkami” – niezręczne sformułowanie, gdyż po prostu chodzi o rysunki stosowanych układów dolotowych, ale bez podania wymiarów.
- s. 40, w. 5-3 d. – „Przykładem może być warstwa przyścienna, w której spodziewane jest odrywanie się strugi płynu omywającego ścianę; tego typu obszary zazwyczaj siatkowane są dokładniej ze względu na bardziej złożony charakter przepływu”. Uwaga jest niewątpliwie słuszna, ale w pracy nie znalazłem analizy rozkładu prędkości (ciśnień) w warstwie przyściennej. Rozważanie to jest kontynuowane na s. 41-44, jednak jego śladów (skutków) nie zauważyłem przy interpretacji wyników symulacji.
- s. 50, ak. 2 – „... czynnika zassanego podczas symulacji...” – oczywiście nie chodzi o czas trwania symulacji!!
- s. 55, rys. 32 – schemat zasady powstawania zjawiska piezokwarcowego jest tutaj zupełnie zbędny, gdyż jest ono już powszechnie znane, a tutaj niczego istotnego nie wyjaśnia.
- s. 57, rys. 34 oraz s. 58, rys. 35 – oś Y powinna być wyskalowana w MPa lub przynajmniej w kPa, żeby uniknąć nadmiernej ilości zer; pojawia się tutaj silnik 170A1.046 (wcześniej wspomniany na s. 54), jednak brak jest tutaj przekonującego uzasadnienia wykorzystania tego silnika do walidacji zależności analizowanych dla silnika m20b27 (BMW); takie uzasadnienie zawarte na s. 64 powinno się pojawić już na s. 52.
- s. 58, w. 1 – przyjęcie wyników eksperymentu jako wartości dokładnej przeczy logice badań hamownianych; lepiej było określić to mianem wartości odniesienia.
- s. 59, rys. 36 – wartości skali się powtarzają, więc źle został dobrany przedział zmienności.
- s. 64, tab. 5 oraz tekst poniżej – silnik 170 A1 miał rozrząd typu OHV, a nie jak napisano – OHC; czy to jest jakaś wersja zmodyfikowana? Analiza podobieństwa jest skromna – ograniczona jedynie do podobieństwa wymiarowego; czy to jest wystarczające dla potrzeb walidacji – mam wątpliwości...
- s. 65, rys. 39 – zdjęcie nie daje wyobrażenia o różnicy między profilami obu krzywek – dużo lepsze byłoby porównanie profili tych krzywek.
- s. 67, rys. 40 – oś Y – za duża liczba miejsc znaczących.
- w. 1-2 – należało przywołać numery tablicy i wykresu; stwierdzenie „...współczynnik napełnienia zależy od prędkości obrotowej...” jest oczywiste – należało raczej wykazać, jak silna jest to zależność.
- s. 68-69 – podpisy pod rysunkami mówią o „konturach ciśnień wewnątrz cylindra...”, jednak na rys. 41 i 42 niczym się one nie różnią; po co więc one są tutaj przytaczane, przy tym jest to dla suwu wydechu i bardzo zbliżonych prędkości obrotowych. W tekście na s. 67 mówi się o różnicach, których nie można dostrzec. Czy Autora ten brak różnic nie niepokoił? Jaką wartość mają te analizy dla oceny wartości współczynnika napełnienia (przywoływanego w celu pracy), który określa się dla końca dolotu, a nie początku wylotu. Na rys. 44 uzyskanego dla suwu ssania takich różnic także nie ma, zaś dla rys. 43 różnice są widoczne. 3-4-zdaniowa interpretacja Autora jest daleko niewystarczająca, nie mówiąc o tym, że rysunki 43 i 44 nie zostały w tekście przywołane.

- s. 71 i n. – w rozdz. 7.2 Autor podjął analizę ruchu czynnika w cylindrze w trakcie napełniania go świeżym ładunkiem. W w. 1 pisze: „... symulacja trajektorii czynnika napełniającego cylinder...” – trajektorii czego? ruchu czynnika. Dalej Autor napisał: „...O ile obliczenia współczynnika napełnienia są możliwe do wykonania metodą analityczną, o tyle obrazowanie trajektorii zawirowań wymaga budowy stosownego stanowiska lub wykorzystania metod modelowania komputerowego”. No to po co do tytułowego wyznaczenia współczynnika napełnienia stosowano metody typu CFD? Brak jest przy tym uzasadnienia potrzeby analizy trajektorii ruchu czynnika, choć – oczywiście – celowość takich symulacji łatwo uzasadnić. W następnym zdaniu napisano: „...Obliczenia (trajektorii) przeprowadzono w celu przedstawienia wrażliwości modelu na zmiany kształtu kolektora dolotowego” – skąd nagle wzięło się takie zadanie i po co ono jest potrzebne do rozwiązania głównego problemu pracy?
- s. 72, w. 1 – Autor pisze, że zamodelowano dwa kolektory dolotowe, ... a efekt wpływu pokazano na rys. 45; jednak na tym rysunku są pokazane dwa typy zawirowania, a nie wpływ dwóch kolektorów!!?
- s. 73 – Autor pisze: „... powyższe rysunki (chodzi o rys. 45 a i b) „...wskazują wrażliwość opracowanego modelu na zmiany geometryczne kolektorów dolotowych” – gdzie tu jest efekt zmian geometrycznych??
Dalej: „... Odzworowanie zawirowań zgodnie z zasadami wykorzystywanymi w technice samochodowej (odpowiednie kształtowanie kolektorów) potwierdza zasadność modelowania turbulencji dwoma równaniami k - ϵ na potrzeby zbudowanego modelu” – moim zdaniem stwierdzenie to jest kompletnie niespójne i nielogiczne!!!
- Podsumowując rozdz. 7.2 uważam, że zawarte w nim treści nie są wykorzystane do rozwiązania zasadniczego problemu naukowego pracy ani nie został wykorzystany do wnioskowania podsumowującego, i jako taki mógłby być pominięty.
- s. 73, rozdz. 7.3 – tutaj podjęto rozważania dotyczące zastosowania kolektorów dolotowych typu *ram-air* w celu poprawy współczynnika napełnienia. Pod koniec s. 73 Autor pisze, że „Maksymalne skrócenie kolektora uzasadnione jest wystarczającą intensywnością zawirowań mieszanki przy napełnianiu cylindrów dla dużych prędkości obrotowych”. Zdanie to jest bardzo ryzykowne, gdyż skrócenie indywidualnych przewodów dolotowych dla dużych prędkości obrotowych silnika powinno wynikać z analizy przebiegu zjawisk falowych i dążenia do uzyskania efektu doładowania dynamicznego. Ponadto chodzi raczej o zmniejszenie intensywności zawirowania, gdyż wywoływanie turbulizacji ładunku zwykle pozostaje w sprzeczności z uzyskaniem dużych wartości współczynnika napełnienia.
- s. 74 – Autor uzasadnia celowość odpowiednio ukształtowanych dysz wlotowych koniecznością odpowiedniego dostosowania przepływu do warunków zasilania gaźnikowego; współcześnie takie rozważanie może się jednak już wydawać nieco anachroniczne. Rozważanie to kończy zdaniem: „Zaokrąglenie krawędzi na wlocie pozwala na zassanie czynnika z większego obszaru, natomiast odpowiedni kąt nachylenia stożka zmniejsza powstanie turbulencji przy przejściu do prostego kanału”. Jest to twierdzenie trochę uproszczone, ale zasadne, tyle, że dość powszechnie znane.
- s. 75 – powyższe rozważania uzupełnia rys. 47, który pokazuje rozkład wektorów prędkości i ciśnienia w przewodzie dolotowym zakończonym konfuzorem (a nie „lejkem”) – jest to jednak jedynie jakiś przykład, którego walorów poznawczych w odniesieniu do przedmiotu pracy Autor nie wykazuje.
- s. 77-86, rys. 49-56 – Autor przedstawia przykłady obliczeń rozkładu ciśnienia i prędkości czynnika we fragmentach przewodów dolotowych zakończonych dyfuzorami o różnym kształcie i stopniu zbieżności, jednak związek tych rozważań z głównym problemem badawczym i celem pracy jest dość trudny do uchwycenia. Tym niemniej te przykłady

potwierdzają umiejętność Autora prowadzenia badań symulacyjnych z wykorzystaniem programu Ansys-Fluent i procedur typu CFD.

- s. 89-92 – we wnioskach do pracy Autor stwierdził, że uzasadnił celowość zastosowania modelu typu CFD do oceny jakości napełniania cylindra silnika świeżym ładunkiem, oraz że wykazał odpowiednią wrażliwość modelu na zmiany prędkości obrotowej silnika, jego obciążenia, zastosowanych krzywek układu rozrządu, a także na geometrię układu dolotowego. Obliczenia przeprowadzone zostały (s. 90) dla dwóch „profilu otwarcia” i pięciu prędkości obrotowych silnika, a także dla dwóch geometrii układu dolotowego i różnych kształtów dysz wlotowych (konfuzorów). W tym miejscu brak jest ilustracji podsumowującej wpływ tych badanych parametrów na ostateczny wynik pracy, czyli ocenę wartości współczynnika napełnienia. **O taką ocenę porównawczą poproszę w trakcie obrony.**

Przedstawione podsumowanie w większości składa się ze spostrzeżeń i obserwacji Autora, jest natomiast skromne jak chodzi o wnioskowanie naukowe, w którym powiązane byłyby przyczyny z ocenianymi skutkami (efektami) z uwzględnieniem przebiegu występujących zjawisk fizycznych i procesów. Tego typu wnioskowanie jest najbardziej cenione w pracach naukowych.

W zakończeniu (s. 92) Autor wskazuje również na ograniczenia zaproponowanego przez siebie modelu oraz formułuje propozycje zmian i rozbudowy modelu.

7. Uwagi redakcyjne

1. Autor niekonsekwentnie stosuje wyróżnienie kursywą (por. np. s. 12).
2. Nie wszystkie akapity są jednakowo zdefiniowane (wcięcia akapitowe, brak wcięcia, zdarza się także brak justowania, np. s. 17, 31, 32).
3. Występują tzw. „teksty wiszące” – fragmenty rozdziału, których nie uwzględniono w podziale na podrozdziały (np. początek rozdz. 4, rozdz. 5, rozdz. 6 i 7).
4. Rozdział musi być dzielony na co najmniej dwa podrozdziały, a nie tylko jeden (rozdz. 7.3.1).
5. Często akapity są zbyt długie, zawierają kilka myśli – powinny być dzielone na krótsze, odnoszące się do jednej myśli Autora (np. s. 6, 10, 12, 16...);
5. Nie rozróżnia się myślników od łączników (dywiz, krótka kreska bez spacji, m.in. s. 53);
6. Występują liczne błędy interpunkcyjne (np. s. 6, 8, 9, 10, 13, 33, 35, 36, 60, 61...).
7. Użycie wielkich liter zamiast małych (s. 37, 38).
8. Po podpisach pod rysunkami i po tytułach (podtytułach) nie stawia się kropek.
9. Nagminnie stosuje się przymiotniki „niski”, „wysoki” zamiast „mały”, „duży”; często zamiast słowa zwiększenie/zmniejszenie stosuje się słowa wzrost/spadek.
10. Słowo „poprzez” używane jest zamiast „przez”, np. s. 31, 32, 40,
11. Wartości liczbowe i ich jednostki oddziela się spacją (por. tab. 4, s. 55);

Inne uwagi

W rozdz. 2 Autor kilkakrotnie pisze o „pozycjach” Kordzińskiego, Ceviz’a, Rychtera itd. powinno być „pracach” lub „publikacjach”; to samo na s. 29.

S. 11, ak. 2 – „Istotnym aspektem podczas procesu napełniania...” – raczej bez „podczas”;

s. 12, w. 1 – „zagadnienie opisywane zostało” – powinno być: opisane zostało...;

Przedstawione tutaj uwagi redakcyjne wymieniono głównie ze względów dydaktycznych, zaś dostrzeżone niedociągnięcia nie wpływają znacząco na komunikatywność tekstu i nie wpływają istotnie na ostateczną, pozytywną ocenę rozprawy.

8. Podsumowanie i konkluzja

Wśród wymagań stawianych kandydatom na stopień naukowy doktora wymienia się szczególnie:

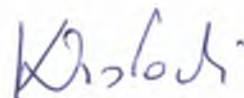
- 1) wykazanie się umiejętnością identyfikacji istotnych problemów naukowych i formułowania naukowych pytań badawczych,
- 2) wykazania się umiejętnością naukowo uzasadnionego i przekonującego rozwiązania postawionego problemu,
- 3) umiejętności właściwego doboru metody badawczej, uzasadnienia tego wyboru i poprawnego jej zastosowania,
- 4) wykazania się sprawnością w posługiwaniu się naukowym warsztatem badawczym.

Zadaniem recenzenta powinno więc być określenie, na ile Kandydat spełnił te wymagania.

Moim zdaniem mgr inż. Paweł Paliszewski część tych wymagań spełnił w sposób dobry (1 i 4), a część – w sposób zadowalający (2 i 3). Wprawdzie samo sformułowanie problemu badawczego nie jest w pełni przekonujące, jednak rozwiązywane zagadnienie w swej istocie cechy problemu badawczego obejmuje. Autor wykazał się znajomością symulacyjnych metod badawczych na zaawansowanym poziomie i przeprowadził szereg badań symulacyjnych uzyskując przekonujące wyniki. Słabością pracy jest natomiast warstwa interpretacyjna uzyskanych wyników, gdyż nie dotyczy ona przebiegów procesu wymiany ładunku w przestrzeni roboczej cylindra, a jest jedynie ograniczona do wyznaczenia i oceny jednej wartości o charakterze całkowym, z pominięciem wpływu większej liczby parametrów konstrukcyjnych układu wymiany ładunku. W małym stopniu odnosi się także do zachodzących zjawisk i procesów fizycznych.

Recenzent docenia jednak istotny wysiłek Autora włożony w przygotowanie zarówno badań symulacyjnych, jak i badań stanowiskowych. Wykazał się On przy tym znajomością zagadnień modelowania złożonych procesów gazodynamicznych oraz umiejętnością aplikacji modelu typu CFD do badania procesów silnikowych.

W związku z powyższym uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa, zgodnie z wymogami Art. 13, p. 1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym...* (z dnia 14 marca 2003 roku, wraz z nowelizacją z dnia 18 marca 2001 r., Dz.U. 2011 nr 84 poz. 455, wejście w życie 1 października 2011 r.), stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazała wystarczającą wiedzę Kandydata i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym przedłożona rozprawa może stanowić podstawę do dopuszczenia do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wisłocki

Poznań, dnia 29.06.2016 r.