

Dr hab. inż. Piotr Boral, prof. PCz
Katedra Technologii i Automatykacji
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Częstochowska
ul. J. H. Dąbrowskiego 69
42-201 Częstochowa

Częstochowa, dn.17.02.2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Wieczorka nt.:

„Badania wpływu dynamicznych charakterystyk procesu wiercenia blach pakietowych na jakość wymiarowo-kształtową oraz funkcjonalność technologiczną kształtowanych otworów”

wykonanej pod kierunkiem dra hab. inż. Piotra Niesłonego, prof. PO

Wydział Mechaniczny
Politechniki Opolskiej

Podstawa recenzji

Pismo Rektora Politechniki Opolskiej dra hab. inż. Marcina Lorenca prof. PO numer RR/11056/2025 z dnia 12 grudnia 2025 roku.

1. Charakterystyka pracy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 153 strony i składa się z 6 zasadniczych rozdziałów oraz spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, zakończenia i wniosków, literatury obejmującej 75 pozycji oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

W rozdziale zatytułowanym „Wprowadzenie” Autor przedstawił wstęp do tematyki rozprawy czyli zagadnienia związane z wierceniem den sitowych wymienników ciepła wytwarzanych ze stali nierdzewnej i kwasoodpornej. Den sitowe wytwarza się poprzez wiercenie w pakietach blach po kilka sztuk. Charakteryzuje w nim wpływ zjawisk fizycznych związanych z obróbką kilku warstw materiału. Obróbka generuje zmienne siły skrawania powodujące drgania, które negatywnie wpływają na utrzymanie określonej dokładności obróbki i powtarzalności wymiarowej oraz na trwałość narzędzia. Zastosowanie technologii wiercenia pakietów blach zwiększa wydajność i obniża koszty produkcji wymienników ciepła.

W rozdziale drugim Autor zdefiniował cele pracy oraz wymienił zagadnienia obejmujące zakres rozprawy doktorskiej. Podejmowana praca jest próbą identyfikacji

przyczyn braku powtarzalności w jakości kształtowanych otworów wierconych w pakietach blach. Otwory te wykonywane są różnymi odmianami konstrukcyjnymi wiertel węglkowych w zakresie parametrów obróbki, odpowiadających wysokowydajnemu skrawaniu. Zaproponował także opracowanie modelu matematycznego trwałości konkretnego narzędzia przy obróbce określonych pakietów blach, uwzględniając zmiany prędkość skrawania i stężenie emulsji chłodziwo-smarującej.

W trzecim rozdziale składającym się z kilkunastu podrozdziałów Autor dokonał przeglądu literatury, przedstawiając aktualny stan zagadnień związanych z technologią wiercenia den sitowych w kontekście budowy i eksploatacji przemysłowych wymienników ciepła, z uwzględnieniem zarówno aspektów konstrukcyjnych, jak i technologicznych. Scharakteryzował zjawiska fizyczne właściwe dla procesu skrawania w oparciu o wyniki prac różnych badaczy. W pierwszych podrozdziałach dokonał przeglądu przemysłowych wymienników rurowych. W sposób ogólny przedstawił wybrane narzędzia do obróbki otworów.

W kolejnych podrozdziałach opisał najważniejsze czynniki wpływające na dokładność i powtarzalność obróbki otworów, ze szczególnym uwzględnieniem chropowatości powierzchni. Porównał wyniki badań przedstawione przez innych badaczy dotyczące wpływu parametrów technologicznych na proces formowania zadziórów wyjściowych przy wierceniu otworów w wybranych materiałach, określonymi typami wiertel. W dalszej części podrozdziałów Autor prezentuje systemy i metody monitorowania procesu wiercenia oparte między innymi na analizie siły i momentu skrawania oraz drgań, które umożliwiają wczesne wykrycie stanu zużycia narzędzia, co pozwala powstrzymać produkcję braków i zapobiec awariom.

W rozdziale czwartym Autor opisał założenia dotyczące przedmiotu badań oraz stanowiska badawczego. Jako stanowisko obróbcze do badań eksperymentalnych wykorzystał centrum obróbcze AXA HSC 3DoSPI, wyposażone w dwa niezależne elektrowrzeciona, pozwalające na uzyskanie maksymalnej prędkości obrotowej $n=6000$ obr/min oraz dokładności pozycjonowania $\pm 0,005$ mm. Autor przedstawił charakterystykę ogólną stanowiska, oprzyrządowania oraz użyte do badań narzędzia i materiał obrabiany. Ustalił plan testów dla 4 różnych wydajności objętościowych procesu obróbki ubytkowej kształtowanych otworów, uzyskanych z kombinacji odpowiedniego posuwu i prędkości skrawania. Następnie zastosował kilka metod weryfikacji wymiarów narzędzi i stopnia ich zużycia. Ze względu na jakość wyników i szybkość, pomiar za pomocą mikroskopu optycznego Olympus SZ61 okazał się optymalny. Weryfikację jakości wymiarowo-kształtowej otworów prowadził na współrzędnościowej maszynie pomiarowej WenzelXO55. Natomiast chropowatość powierzchni wykonanych otworów wstępnie mierzył za pomocą urządzenia Hommel

Etamic LV17. Z uwagi na trudności w pomiarach stykowych chropowatości powierzchni otworów w trakcie procesu produkcyjnego, zaproponował zastosowanie techniki replikacji powierzchni poprzez wykorzystanie materiału odwzorowującego chropowatość i kształt otworów na bazie odlewów elastomerowych. Do pomiaru odlewu elastomerowego użył profilometru do skanowania optycznego Sensofar neox, a do analizy chropowatości wykorzystał oprogramowanie Sensoview 1.9.2.

W przedostatnim podrozdziale Autor przedstawia sposób uzbrojenia stanowiska obróbczego w układ do badania drgań w procesie wiercenia. Zaproponował stanowisko wyposażone w płytę ze stopu aluminium PA6, która została przykręcona do spodu wrzeciona, na której zamocowano trójosiowy akcelerometr PCB-356A15, umieszczony w kilku położeniach względem osi wrzeciona. Przedstawił plan pomiaru drgań podczas wiercenia otworów za pomocą wytypowanego wiertła DrillMeister TID180F25-3 DMP-185 - AH9130, przy wcześniej zoptymalizowanych parametrach technologicznych, dla wiertła w stanie nowym i zakwalifikowanym jako zużyte. Pomiar drgań odbywał się w trzech położeniach czujnika drgań. Próby były wykonywane dla pakietów złożonych z 4 blach i dla porównania z materiału jednolitego o grubości równej pakietowi blach. Podczas całego procesu obróbki chłodziwo było dostarczane przez narzędzie. Kończąc rozdział Autor omawia zaproponowaną metodę analizy sygnału w celu bardziej precyzyjnej weryfikacji drgań.

W rozdziale „Wyniki badań i analiza” Autor na wstępie przedstawił wyniki pomiarów średnic czterech wytypowanych wiertel zamocowanych w oprawkach. Następnie dokonał analizy zmian wymiarowych otworów wykonanych tymi wiertłami w pakiecie 4 blach. Oceniał również przydatność poszczególnych wiertel do wykonania tego procesu ze względu na tworzenie się zadziórów na wyjściu wiertel z materiału. Przedstawił wyniki badań zużycia poszczególnych wiertel, dokumentując to wieloma zdjęciami. Najbardziej obszernym podrozdziałem w tej pracy jest „Badanie dynamiki wiercenia przy wykorzystaniu akcelerometru”. Zaprezentował w nim przebiegi zmian badanych wielkości w trakcie procesu obróbki, uzyskanych z zaproponowanego uzbrojonego w określony układ pomiarowy stanowiska w warunkach produkcyjnych. W tej części pracy dokonał analizy drgań na podstawie zarejestrowanych sygnałów z akcelerometru podczas wiercenia otworów w określonych wcześniej konfiguracjach. Przeprowadził analizę statystyczną sygnałów przyspieszenia dla wszystkich prób w celu zbadania wpływu zużycia narzędzi na drgania podczas wiercenia.

W rozdziale 6 Autor pracy na podstawie przeprowadzonych badań opracował model matematyczny, umożliwiający prognozowanie trwałości wiertła węglowego w zależności od podstawowych parametrów technologicznych, tj. prędkości obrotowej oraz stężenia emulsji chłodzącej. Model ten jest bardzo ograniczony, gdyż dotyczy obróbki wiercenia konkretnego materiału w określonej postaci i zamocowaniu na

konkretnej obrabiarce, dla konkretnego narzędzia przy założonych pozostałych parametrach. Jest to studium przypadku, który jest ważny z perspektywy praktycznej dla konkretnego przedsiębiorstwa.

W podsumowaniu Autor na podstawie przeprowadzonych badań, które były realizowane w warunkach produkcyjnych, wskazał swoje najważniejsze osiągnięcia mające istotne znaczenie w praktyce. Zaproponował wdrożenia opracowanego układu monitoringu wiercenia w oparciu o czujnik drgań i opracowany schemat analizy sygnału do skutecznego prognozowania zużycia narzędzi i zastosowaniu go w praktyce przemysłowej

Pracę kończą rozdziały nienumerowane. Pierwszym z nich jest „Literatura” obejmująca 75 pozycje w tym książki, artykuły, katalogi i strony internetowe. Publikacje te stanowią aktualny przegląd związany z tematyką pracy. Jest wśród nich także współautorskie opracowanie Autora ocenianej rozprawy. Pracę kończą streszczenia w języku polskim i angielskim.

2. Ocena pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy istotnych zagadnień związanych bezpośrednio z praktyką przemysłową i wynika z realizacji projektu pt. Doktorat wdrożeniowy, który umożliwia bezpośredni transfer wiedzy naukowej i rozwiązań opartych na badaniach naukowych do przemysłu produkcyjnego.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi interesujące opracowanie, zawierające liczne, cenne informacje z punktu widzenia wpływu zużycia narzędzia na zjawiska dynamiczne, powstające podczas procesu skrawania. Zagadnienia zaprezentowane przez Doktoranta pozwalają na pozytywną ocenę jego wiedzy oraz doświadczenia w omawianym obszarze. Zostały one poparte wynikami pomiarów i analiz, które umożliwiły ich implementację w konkretnym procesie technologicznym. Analiza założeń rozprawy prowadzi do wniosku, że cel postawiony przez Autora został osiągnięty, a praca została zrealizowana w zakresie opisanym w poszczególnych rozdziałach.

Wybór tak określonej tematyki badawczej, jako przedmiotu rozprawy doktorskiej, w kontekście literatury cytowanej przez Autora oraz potrzeby wdrożenia w rzeczywisty proces obróbki, uważam za w pełni uzasadniony.

Opracowany model matematyczny trwałości narzędzia oparty na klasycznym równaniu Taylora, uwzględniający prędkość skrawania i stężenie chłodziwa, w kontekście przemysłowym pozytywnie wpływa na wskaźniki produkcyjne.

Zakres przeprowadzonych badań oraz uzyskane wyniki scharakteryzowano w punkcie pierwszym niniejszej recenzji, gdzie wyszczególniono działania podjęte przez Autora w ramach realizowanego zakresu rozprawy oraz wyeksponowano najważniejsze osiągnięcia uzyskane w wyniku realizacji podjętych zadań, szczególnie w aspekcie badań eksperymentalnych.

Analizując zawartość ocenianej rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że postawione i zrealizowane w niej zadania mają znaczenie zarówno poznawcze, ale przede wszystkim praktyczne dla przemysłowych zastosowań, a zamieszczone w pracy wyniki badań potwierdzają prawidłowość sformułowanych wniosków, co stanowi dobrą bazę do dalszych badań.

Oceniając formę pracy chciałbym stwierdzić, że jest ona napisana starannie i przejrzysto. Zawiera wiele ilustracji graficznych, w tym wykresów, które ułatwiają właściwą interpretację przedstawianych wyników. Można zauważyć także pewne usterki, z których najbardziej istotne lub przykładowe wyszczególniłem w formie uwag w dalszej części niniejszej recenzji.

Uwagi ogólne:

- Praca odnosi się do konkretnego procesu obróbki realizowanego na jednej, wybranej obrabiarce. Należałoby rozważyć możliwość wykorzystania do analizy oraz porównania także innych maszyn, dostępnych w zakładzie produkcyjnym, co pozwoliłoby uzyskać wyniki o większej wiarygodności. W pracach badawczych kluczowe znaczenie ma bowiem właściwe przygotowanie stanowiska badawczego.
- Czy blachy wykorzystane do badań, w których otwory wykonane były poprawnie, zostały spożytkowane do dalszej produkcji wymienników ciepła?
- Praca ma charakter wdrożeniowy i przyczynia się do wymiernych efektów finansowych dla przedsiębiorcy np. poprzez skrócenie czasu procesu wytwarzania, brak braków i kontrolowanie wymiany narzędzi. Moim zdaniem ta kwestia powinna być bardziej uwypuklona w pracy.
- Na jakiej podstawie Autor wyznaczył położenie czujników przyspieszeń zamontowanych na płaskowniku w określonych odległościach od osi wrzeciona? Czy Doktorant ma pewność, że są to położenia optymalne, czy też należałoby rozważyć inne punkty pomiarowe, które mogłyby zapewnić bardziej reprezentatywne wyniki pomiarów przyspieszeń? Można było również zastosować kilka akcelerometrów umieszczonych w różnych położeniach pracujących równocześnie.

- Z przeglądu literatury wynika, że w produkowanych wymiennikach ciepła, stosowane są dna sitowe wielkości nawet do 4000mm x 1500mm. Na zamieszczonych w pracy zdjęciach blach, na których wykonywano badania, można zauważyć, że obróbka realizowana była na pakietach blach o znacznie mniejszych rozmiarach. Pytanie o charakterze dyskusyjnym, czy wielkość pakietów blach i ich sposób zamocowania wpływa na stabilność technologiczną procesu wiercenia?
- Czy autor przewiduje w przyszłości kontynuację badań w kierunku integracji proponowanego systemu monitorowania procesu wiercenia z systemami sterowania maszyn CNC?
- Moim zdaniem w tabeli 1. „*Tolerancje otworów w dnach sitowych wg TEMA*” oraz w tabeli 2. „*Tolerancje otworów w dnach sitowych wg API*” w kolumnach odchyłka dolna, wartości wszystkich odchyłek powinny być ujemne, gdyż odchyłka górna jest dokładnie takiej samej wartości, więc wielkość pola tolerancji byłaby równa 0,00 mm.
- W rozdziale 3.3 rys. 6 „*Budowa i geometria ostrza wiertła krętego*” składa się z trzech części, w podpisie rysunku brak opisu do jednej z części.
- Podrozdział 5.5 „*Badanie dynamiki wiercenia przy wykorzystaniu akcelerometru*”, z uwagi na jego znaczenie w pracy, powinien być osobnym rozdziałem.
- W całej pracy Autor nie ustrzegł się wielu błędów interpunkcyjnych.
- Spis literatury jest związany z tematyką dysertacji, jednakże w dużym stopniu nieuporządkowany i niekompletny:

opis pozycji literaturowych nie jest jednoznaczny, jeżeli kolejność pozycji literaturowych miała być zgodna z kolejnością cytowania, to dlaczego pozycja [7] jest dopiero na str. 40 po pozycji [71],

brak jednorodności w opisie cytowanej literatury, czasami opis zaczyna się od nazwiska autora, czasami od imienia autora, a czasami od pierwszej litery imienia autora,

brak jednoznacznych odnośników do katalogów producentów narzędzi,

brak odnośników do norm,

niepełne informacje odnośnie cytowanych publikacji,

niektóre publikacje sprzed 40 lat i więcej [14], [32], [45],

zastosowanie wielkich liter w całych tytułach w pozycjach [23], [33], [65].

Kilka uwag szczegółowych

- str. 5, w.19 – jest **W przypadku wykonaniu otworów** powinno być **W przypadku wykonania otworów**;
- str. 59, opis Tabela 7. – jest **wiercenia tworów** powinno być **wiercenia otworów**;
- str. 104, w.23 – jest **czujnik zamocowany w pozycji 59** wg mnie powinno być **czujnik zamocowany w pozycji 50**;

Mimo uchybień pracę należy uznać za wykonaną z dużą starannością, co przyczynia się do zrealizowania celu pracy.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Łukasz Wieczorek zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem dotyczący wpływu zjawisk dynamicznych, zachodzących podczas procesu skrawania, na dokładność obrabianych cech geometrycznych części. W mojej opinii Autor w sposób znaczący przyczynił się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, a przede wszystkim w temacie analizy wpływu zużycia ostrzy narzędzia w postaci wiertła na jakość wymiarowo-kształtową oraz funkcjonalność technologiczną kształtowanych otworów. Świadczy to o dobrym poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Łukasza Wieczorka nt. „Badania wpływu dynamicznych charakterystyk procesu wiercenia blach pakietowych na jakość wymiarowo-kształtową oraz funkcjonalność technologiczną kształtowanych otworów” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.(Dz.U.2024.1571 t.j. z dnia 2024.10.24) Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i stanowi podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być zatem dopuszczona do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Piotr Boral, prof. PCz
Politechnika Częstochowska

