

POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I LOTNICTWA Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji	
dr hab. inż. Witold HABRAT prof. PRz profesor uczelni w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych	al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów tel. (17) 865 14 91 e mail: witekhab@prz.edu.pl

Rzeszów, 27.02.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasz Wieczorka pt.

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

Podstawą opracowania recenzji jest pismo J.M. Rektora Politechniki Opolskiej dr hab. inż. Marcina Lorenca, prof. Politechniki Opolskiej, z dnia 12.12.2026 r.

1 Charakterystyka podjętej tematyki badawczej oraz celu i zakresu pracy

Tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Łukasza Wieczorka koncentruje się na zagadnieniach związanych z wysokowydajnym wierceniem w pakietach blach ze austenitycznej stali kwasoodpornej (316Ti). Ten proces technologiczny jest jednym z podstawowych przy produkcji den sitowych w rurowych wymiennikach ciepła. W celu obniżenia kosztów i zwiększenia wydajności produkcji, dna sitowe wierce się łącząc blachy w pakiety po kilka sztuk. Rozwiązanie to niesie jednak za sobą duże wyzwania technologiczne wynikające z utrudnionej kontroli procesu w trakcie przechodzenia narzędzia pomiędzy kolejnymi warstwami materiału. Powstawanie mikroszczelin może prowadzić m.in. do zakleszczania wiórów, powstawania drgań i zmiennych sił skrawania, co z kolei może negatywnie wpływać na trwałość narzędzi i jakość kształtowo-wymiarową wykonywanych otworów. Może to się przekładać na bezpośrednie straty w postaci zabrakowanych

wyrobów oraz może skutkować wydłużeniem czasu obróbki wskutek konieczności korekt i zaawansowanej kontroli jakości. Wyniki badań mogą więc stanowić bazę do optymalizacji strategii obróbkowych w tym obszarze przemysłu, wymagających wysokiej wydajności i powtarzalności przy wąskich tolerancjach wykonania.

Stop 316Ti (1.4571) należy do grupy austenitycznych stali kwasoodpornych (nierdzewnych). Pod względem skrawalności klasyfikowany jest on jako materiał trudnoskrawalny, który w trakcie obróbki silnie obciąża narzędzie. Do najważniejszych wyzwań związanych z obróbką tej grupy materiałowej należy jej znacznie gorsza obrabialność w porównaniu m.in. do stali węglowej, a także duża podatność do nagrzewania się narzędzi, co wymusza konieczność skutecznego chłodzenia i redukcji temperatury w strefie skrawania. W szczególności podczas procesu wiercenia materiał ten stwarza duże wyzwania związane z często nieakceptowalnym kształtowaniem wióra oraz utrudnioną jego kontrolą, a co za tym idzie trudnością ewakuacji ze strefy skrawania. Problem ten może się nasilać podczas wiercenia tzw. pakietów blach i negatywnie wpływać nie tylko na jakość otworu ale i na trwałość samego narzędzia.

W tym kontekście **zakres merytoryczny recenzowanej pracy doktorskiej należy ocenić jako istotny**. Wpisuje on się ściśle dyscyplinę inżynierii mechanicznej. Rozprawa posiada bardzo duży potencjał wdrożeniowy, co jest spójne z jej charakterem – została przygotowana w ramach programu doktoratu wdrożeniowego we współpracy z przedsiębiorstwem Kelvion. Badania w tym obszarze mają istotne przełożenie na przemysł, a opracowane wytyczne i modele mogą w sposób bezpośredni przyczynić się do optymalizacji strategii obróbkowych, poprawy powtarzalności produkcji oraz redukcji kosztów. **Potwierdza to trafność i sensowność podjętej tematyki badawczej.**

Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Odpowiada podjętemu problemowi naukowemu i jest w pełni zgodny z zakresem prowadzonych badań. Chciałbym również zaznaczyć, że Autor trafnie odniósł się do pojęcia „funkcjonalność technologiczna”. W przypadku den sitowych wymienników ciepła (których dotyczy praca), wywiercenie otworu w pakiecie blach nie jest operacją końcową. Otwór ten ma do spełnienia ściśle określoną „funkcję technologiczną” na kolejnym etapie procesu produkcyjnego (podczas montażu). Rurki wymiennika ciepła muszą zostać wsunięte w wywiercone otwory, a następnie trwale z nimi połączone. „Funkcjonalność technologiczna” oznacza w tym przypadku to, czy ukształtowany otwór umożliwia bezproblemowe, powtarzalne i poprawne wykonanie kolejnych operacji technologicznych i zależy ona bezpośrednio od jakości wymiarowo-kształtowej. Brakuje mi jednak odniesienia w temacie do trwałości narzędzia, która stanowi istotny element rozprawy.

Cel pracy szczegółowo opisany w rozdziale 2, **jest jasno sformułowany** i został zdefiniowany jako zidentyfikowanie przyczyn braku powtarzalności oraz niedokładności wymiarowych otworów kształtowanych w pakietach blach ze stali kwasoodpornej 316Ti (1.4571) przy użyciu różnych odmian wiertel węglkowych w warunkach obróbki wysokowydajnej. Autor przedstawił też praktyczne cele dodatkowe ukierunkowane na poprawę strategii obróbki pod kątem minimalizacji wad ukształtowania otworów, wydłużenia trwałości wiertel i poprawy ogólnej stabilności procesu. Takie sformułowanie celów dobrze świadczy o warsztacie naukowym Autora, gdyż cele są konkretne, mierzalne i bezpośrednio powiązane z wdrożeniem.

W mojej ocenie pewnym mankamentem jest sformułowanie celu na samym początku pracy. Uważam, że powinien on być podparty analizą stanu wiedzy oraz doświadczeniami przemysłowymi, i stanowić niejako odpowiedź na zapotrzebowanie i luki w stanie wiedzy.

Zakres badań zrealizowanych w recenzowanej rozprawie jest bardzo szeroki, kompleksowy i mocno osadzony w realiach przemysłowych. Autor zaplanował eksperymenty w taki sposób, aby odzwierciedlały rzeczywiste warunki produkcji den sitowych wymienników ciepła.

Doktorant nie formułuje bezpośrednio hipotez badawczych. Jednak w pracy (str. 64) pisze „do badań eksperymentalnych przeprowadzonych w celu weryfikacji hipotez dotyczących wpływu parametrów obróbki, geometrii narzędzi oraz konfiguracji materiałowej (blacha monolityczna vs. pakiet blach) na jakość otworów i charakterystyki dynamiczne procesu wiercenia.” Pomimo tej drobnej kwestii można jednak stwierdzić, że nie wpływa to **zasadniczo na spójność pracy, a analiza wyników jest dosyć intuicyjna i logiczna.**

- *Proszę o odniesienie do kwestii wspomnianych powyżej „hipotez badawczych”. Choć uważam, że szczególnie w pracach wdrożeniowych nie są one konieczne, jednak w mojej ocenie, na bazie zawartości merytorycznej pracy, dość łatwo można było sformułować 2-3 hipotezy - np. „Zwiększenie stężenia emulsji chłodząco-smarującej przy odpowiednim doprowadzeniu chłodziwa (chłodzenie wewnętrzne) w sposób istotny obniży opory skrawania, zredukuje drgania, a w konsekwencji wydłuży trwałość narzędzi i poprawi jakość wymiarowo-kształtową otworów”. Jakie hipotezy miał doktorant na myśli w odniesieniu do stwierdzenia na str. 64?*

2 Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Recenzowana rozprawa została zrealizowana w Katedrze Technologii Maszyn i Materiałoznawstwa na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej, której zespół badawczy może poszczycić się znaczącymi osiągnięciami w dziedzinie

zaawansowanych technik obróbki ubytkowej. **Strukturę rozprawy** stanowi 7 numerowanych rozdziałów, w tym wprowadzenie oraz zakończenie i wnioski. Ponadto praca zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Układ pracy jest zasadniczo prawidłowy, może poza wspomnianym wcześniej rozdziałem „Cel pracy”. Trochę brakuje jednak bardziej czytelnego podziału w rozdz. 3 na aspekty przemysłowe i technologiczne. **We wprowadzeniu do pracy (rozdział pierwszy)** Autor syntetycznie i bardzo trafnie zarysowuje tło przemysłowe oraz technologiczne podjętej problematyki badawczej. Rozdział ten koncentruje się na procesie wytwarzania przedmiotowych den sitowych, stanowiących kluczowy element konstrukcyjny rurowych wymienników ciepła. Kluczowym aspektem wprowadzenia jest jednak zidentyfikowanie i opisanie głównego problemu badawczego. Autor uzasadnia ekonomiczną konieczność wiercenia blach połączonych w pakiety (dążenie do wysokiej wydajności), wskazując na związane z tym krytyczne wyzwania technologiczne.

Drugi rozdział odnosi się do celu pracy, którego ocenę przedstawiono we wcześniejszym punkcie recenzji.

W **rozdziale trzecim** Autor przedstawił kompleksową analizę stanu wiedzy i techniki w zakresie zagadnień powiązanych z tematem rozprawy. Przedstawił przegląd konstrukcji den sitowych w kontekście budowy i eksploatacji przemysłowych wymienników ciepła. Omówił klasyfikację wymienników rurowych oraz szczegółowo opisał rygorystyczne wymagania normatywne dotyczące jakości otworów i precyzji wiercenia. Dokonał klasyfikacji wiertel stosowanych w obróbce metali (monolityczne, składane, z wymiennymi główkami), a także przeanalizował ich geometrię, materiały narzędziowe oraz stosowane powłoki ochronne.

W dalszej części scharakteryzowano kluczowe mechanizmy zużycia narzędzi. Omówiono rolę chłodzenia i smarowania, a także problematykę temperatury w strefie skrawania, sił osiowych i momentu obrotowego. Zwrócono uwagę na jakość kształtowanych otworów, ze szczególnym uwzględnieniem chropowatości powierzchni, błędów geometrycznych oraz mechanizmów powstawania zadziórów. Ponadto przeanalizowano metody modelowania procesu wiercenia oraz techniki monitorowania wiercenia.

- *Jakie luki badawcze w oparciu o analizę literatury zidentyfikował Autor, co stanowiło podstawę do określenia celu pracy?*

W **rozdziale czwartym „Badania eksperymentalne”** Autor szczegółowo opisał metodykę przeprowadzonych testów i eksperymentów. Uwzględniając zawartość merytoryczną, w mojej ocenie lepszym tytułem tego rozdziału byłyby „Warunki badań doświadczalnych”. Przedstawiono w nim charakterystykę materiału użytego

do testów oraz wyselekcjonowane do badań narzędzia skrawające. Opisano stanowisko badawcze, parametry procesu oraz szereg zróżnicowanych technik pomiarowych wykorzystanych do oceny ukształtowania i zużycia wiertła. Omówiono sposoby weryfikacji jakości wywierconych otworów oraz przedstawiono stanowisko oraz metodykę pomiaru drgań.

Piąty rozdział stanowi kluczową część pracy, w której przedstawiono rezultaty przeprowadzonych eksperymentów. W ramach analizy wyników badań, Autor w pierwszej kolejności omówił pomiary średnicy wiertła, dokonując weryfikacji wymiarów narzędzi przed obróbką i po jej zakończeniu. Następnie przedstawił badania zmian wymiarów kształtowanych otworów, oceniając ich dokładność w zależności od zastosowanego rodzaju wiertła, w tym m.in. narzędzi monolitycznych, wyposażonych w wymienne główki oraz wiertła płytkowych. Istotnym elementem tego rozdziału jest również szczegółowa ocena postępującego zużycia wiertła. Autor przeanalizował mechanizmy zużycia ostrzy – w tym ścieranie powłoki ochronnej i wykruszenia, w funkcji zmiennych technologicznych, takich jak stężenie emulsji chłodzącej czy prędkość obrotowa. Dopełnieniem oceny jakościowej obróbki są wyniki pomiarów chropowatości, w których zbadano topografię wywierconych powierzchni opierając się na parametrach Ra i Rz. Całość rozważań zamyka badanie dynamiki wiercenia z wykorzystaniem czujników drgań. Rejestracja i analiza drgań generowanych podczas obróbki w pakietach blach pozwoliły Autorowi na dogłębną ocenę stabilności procesu, a także na precyzyjną identyfikację momentów krytycznego zużycia narzędzia.

Pozostaje jednak kilka kwestii do doprecyzowania i uzupełnienia:

- *Na str. 67 Autor wskazuje, że „odchylenia mieszczą się w zakresie tolerancji”. Czy chodzi w tym przypadku o tolerancję wykonania narzędzia, czy tolerancję wykonania otworu (podaną w tab. 8)?*
- *Co w ocenie Doktoranta może powodować wykruszenia ostrza przedstawionego na rys. 59b i wykruszenia fragmentu narzędzia na rys. 70a?*
- *Jakie były parametry filtracji przy wyznaczaniu parametrów chropowatości?*

Szósty rozdział poświęcony jest budowie empirycznego modelu matematycznego opartego na równaniu Taylora, który pozwala prognozować trwałość wiertła (wyrażoną w metrach wywierconych otworów) w zależności od zastosowanych obrotów wrzeciona i stężenia chłodziwa. Opracowane rozwiązanie stanowi praktyczne narzędzie dla technologów, umożliwiając świadome i ekonomiczne planowanie wymiany narzędzi na linii produkcyjnej den sitowych. Model co prawda

charakteryzuje się wysoką użytecznością dla konkretnego zakładu przemysłowego, ale z perspektywy stricte akademickiej uniwersalność tego modelu jest mocno ograniczona.

- *Ograniczony charakter opracowanego modelu wynika z faktu, że bazuje on na bardzo wąskim przedziale zmiennych wejściowych (zmieniano tylko obroty i chłodziwo, pomijając szeroki wpływ np. posuwu, średnicy narzędzia czy zmiennej geometrii). Przez to model ten ma charakter raczej dedykowany, a nie ogólnonaukowy. Czy był on walidowany na całkowicie nowym, niezależnym zbiorze danych, czy tylko oceniony na podstawie tych samych wyników? Jakie ograniczenia tego modelu identyfikuje Autor?*

W rozdziale siódmym podsumowującym pracę, Autor w sposób czytelny zestawiał najważniejsze osiągnięcia. Wyodrębnić można w nim część wniosków o charakterze poznawczym oraz utylitarnym, będących kompendium wiedzy dla technologów optymalizujących procesy wiercenia w dnach sitowych. **Literatura** zamieszczona w pracy jest w miarę aktualna lecz dość wąska. Doktorant odwołuje się do 75 pozycji, w tym 1 współautorskiej. Niestety w zakresie informacji bibliograficznych i formatowania poszczególnych pozycji występują błędy, niepełne informacje oraz różnice w stylach.

Praca jest zasadniczo staranna i na akceptowalnym poziomie. Autor dobrze syntetyzuje wiedzę i prezentuje wyniki. Występują drobne błędy o charakterze stylistycznym i redakcyjnym, które jednak swoją liczbą nie odbiegają od średniej tego rodzaju opracowań i nie wpływają na ogólną ocenę pracy, przykładowo:

- kropka na końcu tytułu pracy i niektórych rozdziałów,
- str. 43 – zamiast „Fuch” powinno być „Fuchs”,
- str. 43 – niepotrzebna strzałka na rys. 28,
- str. 57 – podpis pod rys. 45 – zamiast „odlewu” powinno być „repliki”,
- str. 60 – zamiast „zużycia” powinno być „zużycie”,
- str. 60 – niefortunny zwrot „od góry narzędzia”,
- str. 61 – podpis pod rys. 49 – zamiast „Schemat” powinno być „Przebieg sygnału”,
- str. 65 – niefortunny zwrot „średnic realnych”,
- występujące błędy interpunkcyjne,
- formatowanie bibliografii.

3 Ogólna ocena pracy

Doktorant podjął się istotnego zagadnienia oceny wpływu zjawisk dynamicznych, towarzyszących obróbce pakietów blach nierdzewnych, na trwałość narzędzi węglkowych oraz końcową jakość wymiarowo-kształtową formowanych otworów.

Należy zaznaczyć, że **cel rozprawy został osiągnięty**, a merytoryczna część pracy jest na bardzo dobrym poziomie.

Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnym językiem a sformułowane zdania nie stwarzają problemów z płynnością czytania i analizy. Zamieszczone w pracy rysunki wykonane są z właściwą starannością i mają swoje uzasadnienie w tekście. Pewne drobne błędy stylistyczne, literowe czy redakcyjne nie umniejszają jakości dysertacji, nie mogą więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy. Pod względem metodologii prowadzenia badań rozprawa jest poprawna. Literatura jest w miarę aktualna i dobrana zgodnie z tematem pracy. Układ rozprawy i podział treści między poszczególnymi rozdziałami jest zasadniczo logiczny. Autor posługuje się właściwymi pojęciami.

Z przedstawionej powyżej oceny poszczególnych części dysertacji wynika, że praca jest oryginalna, logiczna i spójna merytorycznie. Doktorant wykazał się ogólną **wiedzą teoretyczną i umiejętnościami w prowadzeniu badań naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna**. Przedstawiona powyżej ocena potwierdza oryginalność opracowanego w pracy zagadnienia naukowego.

4 Wniosek końcowy

W mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska **przyczynia się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna**, a przede wszystkim w zakresie obróbki elementów cienkościennych z uwzględnieniem analizy odkształceń.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Łukasza Wieczorka pt. *„Badania wpływu dynamicznych charakterystyk procesu wiercenia blach pakietowych na jakość wymiarowo-kształtową oraz funkcjonalność technologiczną kształtowanych otworów”*, **spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. Nr 2018 poz. 1668 z późn. zm.) Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce**, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria mechaniczna wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 lipca 2018 r. W związku z tym **wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony**.