

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**mgr. inż. Norberta Piotrowskiego**

**pt.: „ANALIZA UKŁADÓW KINEMATYCZNYCH DOCIERANIA  
POWIERZCHNI PŁASKICH W ASPEKCIE RÓWNOMIERNOŚCI  
ZUŻYCIA TARCZY DOCIERAJĄCEJ”**

*Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego  
Politechniki Gdańskiej, znak I.dz. 239/WM/2018 z dnia 15.11.2018 r.*

### 1. Ocena doboru tematu rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Norberta Piotrowskiego dotyczy procesu docierania powierzchni płaskich. Proces ten umożliwia osiągnięcie bardzo dużej dokładności kształtu oraz niewielkiej chropowatości powierzchni obrabianych elementów, która wyrażona parametrem  $Ra$  wynosi zazwyczaj od  $0,01 \mu\text{m}$  do  $0,16 \mu\text{m}$ . Wobec nieustannie zwiększających się wymagań jakościowych w odniesieniu do części maszyn kształtowanych w procesach obróbki ubytkowej, docieranie jest coraz częściej stosowane w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, maszynowym oraz narzędziowym. Mimo że operacja ta jest rozwijana od wielu dziesięcioleci, nadal cechuje się kilkoma charakterystycznymi problemami wynikającymi głównie z jej kinematyki. Jednym z najważniejszych problemów docierania powierzchni płaskich jest nierównomierne zużywanie się czynnej powierzchni tarczy docierającej warunkowane bezpośrednio przez trajektorie ruchu ziaren ściernych w procesie obróbkowym. W tym kontekście problematyka podjęta przez Autora recenzowanej dysertacji wpisuje się bardzo dobrze w nowoczesny kierunek prac badawczych dotyczący maksymalizacji wykorzystania potencjału znanych technologii poprzez ciągłe udoskonalanie i przewyżczanie ich ograniczeń. Dlatego też podjęta w rozprawie problematykę oceniam jako oryginalną i nowoczesną oraz mającą znaczący aspekt poznawczy i wdrożeniowy.

### 2. Ocena celu, tezy i zakresu rozprawy

Doktorant w rozdziale 3. pracy doktorskiej zdefiniował **cel główny** oraz cztery **cele szczegółowe** rozprawy. Dotyczą one opracowania niekonwencjonalnego układu docierania jednotarczowego, w którym pierścień prowadzący wykonuje ruch uzupełniający podczas obróbki oraz zapewnia bardziej równomierne zużycie tarczy docierającej. Cele te oceniam jako jednoznaczne precyzyjne, wynikające zarówno z tematu rozprawy, jak i z wniosków z analizy literatury przytoczonych w podrozdziale 2.6. Jedynym niejasnym sformułowaniem pojawiającym się w zdefiniowanych celach jest „*bardziej równomierne zużycie*” którego precyzyjne znaczenie wyjaśnia się dopiero w dalszych częściach rozprawy. Doktorant podał również **cel poboczny** pracy dotyczący robotyzacji stanowiska realizującego niekonwencjonalne docieranie. Nie wynika on bezpośrednio

z celu głównego, lecz świadczy o kompleksowym podejściu Autora do analizowanych zagadnień oraz o dążeniu do zwiększenia potencjału aplikacyjnego wyników rozprawy.

Autor recenzowanej dysertacji zaproponował tezę pracy brzmiącą następująco: „w wyniku zmiany kinematyki układu wykonawczego oraz optymalizacji parametrów kinematycznych możliwe jest zwiększenie równomierności zużycia narzędzia w docieraniu jednotarczowym powierzchni płaskich”. Sformułowana **teza** naukowa pracy jest w mojej ocenie poprawna, nieoczywista i wystarczająco szczegółowa. Określa ona zakres zagadnień badawczych podjętych w recenzowanej rozprawie doktorskiej i wskazuje na spodziewane pozytywne rezultaty podjętych prac badawczych. Uważam jednak, że w pracach naukowych o charakterze technicznym korzystniej jest formułować hipotezy (przypuszczenia badawcze) podlegające konfirmacji lub falsyfikacji, najczęściej na drodze badań symulacyjnych i doświadczalnych. Teza stanowi twierdzenie, często tożsame z wnioskami formułowanymi na końcu pracy i jest bardziej typowa dla prac matematycznych lub filozoficznych.

Rozdział 3. pracy zatytułowany „Teza, cele oraz zakres rozprawy” niestety nie zawiera wprost sprecyzowanych **problemów badawczych** pracy, co należy ocenić jako odstępstwo od przyjętych standardów w odniesieniu do metodyki naukowych prac badawczych.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej **zakres pracy** został podany w formie streszczenia zawartości kolejnych rozdziałów pracy. Bardziej czytelne byłoby podanie zakresu planowanych do realizacji zadań w formie listy wypunktowanej. Przyjęty zakres prac jest adekwatny do tematu, celu oraz przyjętej tezy pracy. Ponadto jest on relatywnie szeroki i świadczy o dociekliwości naukowej Doktoranta.

### 3. Ocena struktury rozprawy

Recenzowana praca doktorska zawiera ogółem 139 stron druku podzielonego na dziewięć rozdziałów poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim, wykazem ważniejszych oznaczeń oraz spisem literatury, spisem rysunków i tabel oraz siedem załączników. Struktura dysertacji jest poprawna i odpowiada powszechnie przyjętym standardom w tym zakresie. Autor po trzech stronach wykazu ważniejszych oznaczeń i akronimów zamieścił dwustronicowe wprowadzenie, w którym uzasadnił genezę podjętych badań i wprowadził w ich problematykę. W rozdziale 2. pracy, o objętości 24 stron, zawarto analizę stanu wiedzy i techniki w zakresie określonym tematem rozprawy, która podzielona została na sześć podrozdziałów. Ostatni z nich zawiera podsumowanie i wnioski. Dwustronicowy rozdział 3. zawiera tezę, cele i zakres pracy, zdefiniowane z uwzględnieniem najważniejszych wniosków z analizy literatury i stanowi bardzo dobre metodyczne sprecyzowanie obszaru podjętych analiz, badań symulacyjnych i doświadczalnych. W rozdziale tym nie zdefiniowano problemów badawczych. Kolejne pięć rozdziałów pracy (rozdziały 4-8) zajmują ogółem 77 stron i opisują wyniki prac własnych Autora. Ostatni rozdział pracy (rozdział 9.) zawiera na czterech stronach podsumowanie pracy oraz najważniejsze wnioski z niej wynikające z podziałem na wnioski teoretyczno-poznawcze, użytkowe i wskazujące kierunki dalszych badań. Po nim następuje wykaz źródeł literaturowych zawierający 113 pozycji podanych w kolejności cytowania w tekście pracy. Użyte źródła stanowią w większości drukowane teksty obcojęzyczne, głównie w języku angielskim i niemieckim. Są to najczęściej źródła z ostatnich 10 lat, lecz zdarzają się również starsze pozycje, np. nr 45 z 1966 r. Pracę kończą wykazy rysunków, tabel oraz zawarte na ośmiu stronach załączniki.

Przedstawiona charakterystyka struktury pracy pozwala na bardzo pozytywną ocenę tego aspektu opiniowanej dysertacji. Jedyne uwagi, jakie nasuwają się po lekturze pracy dotyczą braku podania problemów naukowych w rozdziale 3. oraz braku wyraźnie wydzielonych w spisie treści podrozdziałów zawierających wnioski w tych częściach pracy, w których zaprezentowane zostały

wyniki prac własnych Autora (rozdziały 4-8). Szczególnie ten drugi aspekt znacząco utrudnia lekturę pracy. Rozdziały kończą się często rysunkiem lub tabelą bez podsumowania i wskazania wniosków szczegółowych, które w logice rozprawy stanowią punkt wyjścia do analiz zawartych w kolejnych rozdziałach. W rezultacie zakłócony zostaje opis logicznego toku postępowania Autora pracy, a proces syntezy przedstawianej wiedzy musi przeprowadzić czytelnik samodzielnie.

#### 4. Ocena merytoryczna rozprawy

Ocena merytoryczna przekazanej do recenzji pracy doktorskiej opracowana została w odniesieniu do analizy literatury zawartej w rozdziale 2. oraz rozdziałów prezentujących wyniki własnych opracowań, badań i analiz Autora, tj.:

- rozdziału 4. zatytułowanego „*Model docierania jednoprzęściowego*”;
- rozdziału 5. zatytułowanego „*Standardowy układ kinematyczny docierania jednotarczowego*”;
- rozdziału 6. zatytułowanego „*Niekonwencjonalne układy kinematyczne docierania jednotarczowego*”;
- rozdziału 7. zatytułowanego „*Robotyzacja systemu docierania jednotarczowego*”;
- rozdziału 8. zatytułowanego „*Badania eksperymentalne*”;
- oraz rozdziału 9. zawierającego podsumowanie i wnioski końcowe.

W **rozdziale drugim** rozprawy zatytułowanym „*Stan badań nad tematem*” Autor opisał szczegółowo proces docierania, kładąc główny nacisk na docieranie jednotarczowe oraz stan wiedzy w zakresie zjawisk zużycia tarczy docierającej. W rozdziale tym zamieszczono dodatkowo przegląd rynku docierarek jednotarczowych. W wielu przypadkach Doktorant w podpisach pod rysunkami oraz tytułach tabel nie podaje odwołań do źródeł, co może sugerować naruszenie praw autorskich oryginalnych twórców (np. rys. 2.1, 2.3-2.9, tab. 2.1). Samo opracowanie graficzne rysunku przez Doktoranta nie upoważnia go do przypisywania sobie praw autorskich do wiedzy w nich zawartej, jeżeli nie była ona wynikiem jego własnych badań. W pracy, niestety, nie odwołano się do żadnej norm branżowych, szczególnie tych dotyczących charakterystyki znormalizowanych wielkości określających procesy, obróbki ścierniej oraz norm dotyczących parametrów struktury geometrycznej powierzchni. Rozdział kończą wnioski, które umożliwiły doprecyzowanie tezy, celu zakresu recenzowanej rozprawy doktorskiej.

W **rozdziale czwartym** zatytułowanym „*Model docierania jednoprzęściowego*” przedstawiony został stworzony przez Autora model geometryczny oraz aplikacja symulacyjna opracowana w środowisku Matlab<sup>®</sup>. Jako szczególnie wartościowe w tej części pracy oceniam modele zużywania się tarczy docierającej uwzględniające trajektorię oraz liczbę zarysów kształtowanych na tarczy przez aktywne ziarna ściernie. W rezultacie możliwe było określenie wartości zagęszczenia trajektorii ziaren ściernych w funkcji promienia tarczy docierającej. Model ten został następnie zastosowany do analizy prędkości obrotowych pierścieni prowadzących i tarczy docierającej, położenia pierścienia docierającego oraz optymalizacji parametrów kinematycznych w odniesieniu do standardowego układu kinematycznego docierania jednotarczowego, opisanych w **rozdziale piątym**. Zawarto w nim wyniki symulacji umożliwiające określenie zużycia tarczy docieracza w funkcji promienia tarczy docierającej, promienia pierścienia prowadzącego oraz wzajemnej relacji prędkości obrotowych tych elementów.

Dalsza modyfikacja systemu symulacyjnego opisana została w **rozdziale szóstym**, w którym Autor zawarł analizy dotyczące zaproponowanych trzech wariantów niekonwencjonalnych układów kinematycznych docierania jednotarczowego. Opisane modyfikacje kinematyki procesu dotyczyły ruchu promieniowego, siecznego oraz wahadłowego obracającego się pierścienia prowadzącego.

Z punktu widzenia rozwiązania problemu naukowego, jako najważniejszą część tego rozdziału należałoby uznać podrozdział 6.6 zatytułowany „Porównanie niekonwencjonalnych układów docierania jednoprzęściowego z układem standardowym”. Szczegółowa analiza porównawcza pozwoliłaby w sposób komplementarny podsumować wyniki prac zawartych zarówno w rozdziale piątym, jak i szóstym. Niestety, Autor ograniczył się w tym zakresie do jednego wykresu i jednego akapitu opisu. Tak skrótkowe potraktowanie ważnej merytorycznie analizy porównawczej pozostawia niedosyt u czytelnika i dziwi w kontekście szczegółowych wyników symulacji przeprowadzonych dla poszczególnych wariantów kinematycznych opisanych we wcześniejszych częściach pracy.

**Rozdział siódmy** przedstawia koncepcję robotyzacji procesu docierania jednotarczowego umożliwiającą relatywnie łatwą implementację opracowanych niekonwencjonalnych odmian kinematycznych tego procesu w warunkach przemysłowych. Zamieszczone w nim zostały szczegółowe analizy dotyczące wielokryterialnego wyboru najkorzystniejszego robota przemysłowego. Ze względu jednak na fakt, że w recenzowanej pracy takie stanowisko nie zostało skonfigurowane i wykorzystane do badań doświadczalnych, rozdział ten mógłby znajdować się na końcu pracy (przed podsumowaniem) stanowiąc punkt wyjścia do dalszych prac.

**Rozdział ósmy** opisuje metodykę, stanowisko badawcze oraz systemy pomiarowe użyte w badaniach doświadczalnych. Najważniejszą jego częścią jest charakterystyka wyników badań dotyczących rzeczywistego procesu docierania jednotarczowego, mających na celu weryfikację adekwatności opracowanych modeli komputerowych i wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych z ich użyciem. Szczegółowa lektura treści tego rozdziału nasunęła kilka wątpliwości. Zastawiające jest, dlaczego uzyskano tak duże wartości parametrów chropowatości powierzchni obrobionej ( $Ra \approx 0,6 \mu m$ ) po procesie docierania jednotarczowego, przedstawione na rys. 8.13. Dla tego typu procesów należało się spodziewać wartości kilkakrotnie mniejszych. Niestety, Autor nie odniósł się do tego w tekście pracy. Niektóre ze stosowanych w tej części pracy określeń są nieprecyzyjne, np.: „... szybkość usuwania materiału MRR w każdym cyklu była prawie stała w czasie.” (str. 114, w. 7. od góry) lub „... można zauważyć pewną poprawność opracowanych modeli.” (str. 115, w. 14. od góry). Analiza różnic wyników symulacji oraz badań eksperymentalnych zamieszczona w podrozdziale 8.3 jest bardzo uproszczona. Doktorant uzyskane znaczące rozbieżności porównywanych wartości tłumaczy jedynie metodyką pomiaru. Wydaje się jednak, że istnieje znacznie szerszy zbiór przyczyn wynikających z założeń i uproszczeń przyjętych w symulacji oraz czynników zakłócających występujących w układzie rzeczywistym, które nie były rozpatrywane w badaniach symulacyjnych. Autor powinien być świadomy tych czynników powinien się do nich odnieść w tej części pracy.

W **rozdziale dziewiątym** zatytułowanym „Podsumowanie” zamieszczono dwa akapity podsumowujące pracę oraz przytoczono po raz pierwszy wnioski z analiz zawartych w rozdziałach 4-7 z podziałem na wnioski teoretyczno-poznawcze, utylitarne i do dalszych badań. Wnioski zostały sformułowane poprawnie, jednak niektóre z nich opisują jedynie uzyskane wyniki analiz bez podania przyczyn, które miały wpływ na uzyskanie takich, a nie innych rezultatów badań.

## 5. Ocena poziomu naukowego rozprawy

Pod względem poziomu naukowego, pracę mgr. inż. Norberta Piotrowskiego oceniam bardzo dobrze. Na wysoką ocenę zasługują przede wszystkim oryginalne osiągnięcia w zakresie modelowania zużycia tarczy docieraka w wielu niekonwencjonalnych wariantach kinematycznych procesu docierania jednotarczowego. Do najważniejszych osiągnięć podanych w pracy, zaliczam:

- analizę stanu wiedzy i techniki w zakresie kinematyki oraz zużywania się tarczy docierającej w procesach docierania jednotarczowego;

- opracowanie modelu komputerowego procesu docierania jednotarczowego w standardowym i w trzech niekonwencjonalnych układach kinematycznych oraz przeprowadzenie badań symulacyjnych z jego użyciem;
- określenie na drodze badań symulacyjnych wpływu kinematyki ruchu pierścienia prowadzącego na intensywność zużycia, i w efekcie błąd płaskości powierzchni tarczy docierającej w procesie docierania jednotarczowego;
- weryfikację doświadczalną uzyskanych rezultatów badań symulacyjnych w procesie docierania jednotarczowego przeprowadzoną na specjalnie zmodyfikowanym stanowisku badawczym wyposażonym w układ przemieszczania i obracania pierścienia prowadzącego zgodnie z założeniami rozpatrywanych niekonwencjonalnych odmian kinematycznych badanego procesu;
- analizę mającą na celu dobór robota przemysłowego wspomagającego realizację niekonwencjonalnych odmian kinematycznych docierania jednotarczowego, i w efekcie ułatwienie implementacji uzyskanych wyników badań w warunkach przemysłowych.

Przedstawione prace badawcze umożliwiły rozszerzenie zakresu wiedzy o zużywaniu się tarczy docieraka w procesie docierania jednotarczowego oraz wiedzy o możliwościach analizy symulacyjnej tego procesu w wielu wariantach kinematycznych. Kompleksowość przedstawionych analiz świadczy o dociekliwości naukowej Autora oraz o konsekwentnym dążeniu do rozwiązania problemów naukowych określonych przez tezę i cele dysertacji.

## 6. Ocena poziomu redakcyjnego rozprawy

Praca doktorska mgr. inż. Norberta Piotrowskiego została napisana bardzo starannie, dobrym stylem i zazwyczaj jest wolna od typowych błędów językowych i redakcyjnych pojawiających się w opracowaniach naukowych. Zawarte w niej rysunki zostały opracowane bardzo starannie i czytelnie. Uważna lektura tekstu dysertacji ujawniła zaledwie kilka odstępstw od obowiązujących norm w tym zakresie, z których jako najważniejsze należy wymienić:

- brak wielu ważnych symboli w wykazie symboli i akronimów (np. parametrów chropowatości powierzchni) – str. 8-10;
- nieprawidłowy zapis akronimów kursywą (np. w wykazie na str. 8-10);
- niezgodny z obowiązującymi normami zapis symboli parametrów chropowatości powierzchni (np. str. 11);
- zapis symboli czcionką regularną zamiast kursywą – np. str. 11;
- niepoprawny zapis tabel wielostronicowych, bez ponowienia tytułu i wiersza nagłówka tabeli (np. tab. 2.1);
- brak znaków interpunkcyjnych za wzorami – wzory są częścią zdania (np. str. 23);
- niewłaściwy zapis zakresów wartości z użyciem symbolu dzielenia (np. str. 10);
- na rysunkach zapis symboli czcionką regularną zamiast kursywą (np. rys. 8.8-8.11);
- nieprawidłowy zapis skrótu „obr” bez kropki (np. str. 98, w. 8. od góry);
- niepoprawny zapis wyrazów z dywizem przenoszonych do kolejnej linii (np. str. 116, w. 20. od góry);
- niewłaściwe rozpoczęcie rozdziału od treści podrozdziału trzeciego poziomu, jak ma to miejsce w rozdziale 8.;
- nieprawidłowe określenie masy jako „waga” (np. w tabeli 7.1).

Wymienione błędy nie wpływają jednak negatywnie na ogólnie bardzo dobrą czytelność przekazywanych treści oraz na ocenę poziomu merytorycznego rozprawy.

## 7. Wniosek końcowy

Po wnikliwej analizie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Norberta Piotrowskiego stwierdzam, że Autor:

- wybrał nowoczesną tematykę pracy, istotną w kontekście rozwoju procesów obróbki ścierniej, a w szczególności procesu docierania;
- w sposób oryginalny rozwiązał postawiony problem naukowy dotyczący opracowania niekonwencjonalnego układu docierania jednotarczowego, w którym pierścień prowadzący wykonuje ruch uzupełniający podczas obróbki, oraz który zapewnia bardziej równomierne zużywanie się tarczy docierającej;
- wykazał się umiejętnościami w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz obiektywnością naukową w ocenie uzyskanych wyników własnych analiz, symulacji i badań doświadczalnych;
- w prawidłowy i metodyczny sposób przeprowadził proces weryfikacji hipotezy naukowej ocenianej dysertacji.

Pozwala to na stwierdzenie, że rozprawa doktorska będąca przedmiotem oceny spełnia wymagania stawiane w artykule 13. *Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dziedzinie *Nauki Techniczne* w dyscyplinie *Budowa i Eksploatacja Maszyn*. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr. inż. Norberta Piotrowskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



dr hab. inż. Krzysztof Nadolny  
profesor Politechniki Koszalińskiej