

Prof. dr hab. inż. Józef Gawlik, prof. zw. PK  
Politechnika Krakowska  
Katedra Inżynierii Procesów Produkcyjnych  
Al. Jana Pawła II 37; 31-864 Kraków

## R E C E N Z J A

**Rozprawy habilitacyjnej dra inż. Krzysztofa Nadolnego „Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami monokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów” oraz opinia o dorobku naukowo-badawczym, dydaktycznym i organizacyjnym Kandydata w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.**

*Podstawa opracowania: zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej  
L.dz. PK/WM/DZ/4/947/2013 z dnia 18 marca 2013 r.*

### 1. Charakterystyka Kandydata

Dr inż. Krzysztof Nadolny (ur. 03.10.1977 r.) uzyskał w 2001 r. stopień magistra inżyniera na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej, na kierunku *Mechanika i Budowa Maszyn*. Już w trakcie kończenia studiów Jego zainteresowania naukowe zostały skierowane na komputerowe wspomaganie wytwarzania.

Od czerwca 2001 r. został zatrudniony na etacie asystenta stażysty w Katedrze Inżynierii Produkcji na Wydziale Mechanicznym w Politechnice Koszalińskiej, a następnie odbył 3-miesięczny staż w firmie PUF Michalik, Loos S.C. w Koszalinie, na stanowisku technologa stolarki aluminiowej.

W okresie 01.10.2001 – 30.04.2006 r. był doktorantem w Katedrze Inżynierii Produkcji. W roku 2006 obronił na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej z wyróżnieniem pracę doktorską nt. *„Badania efektywności procesu jednoprzęściowego szlifowania otworów ściernicami o strefowo zróżnicowanej budowie”*, uzyskując stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *„Budowa i Eksploatacja Maszyn”*. Od 01.03.2007 r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Inżynierii Produkcji w obszarze zastosowań technik komputerowych w procesach wytwarzania.

Ta krótka charakterystyka początkowego rozwoju naukowego i zawodowego Kandydata potwierdza Jego konsekwentne zainteresowanie problematyką rozwoju nowoczesnych procesów wytwarzania w budowie maszyn.

### 2. Ocena dorobku naukowo - badawczego

Podstawą oceny dorobku naukowo-badawczego dra inż. K. Nadolnego jest obszerna **monografia naukowa nt. „Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów”**, wydana przez Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, seria Monografie nr 227, Koszalin 2012, ISSN 0239-7129. Monografia obejmuje 318 stron wraz z wykazem ważniejszych symboli i akronimów (4 str.), wprowadzeniem (4 str.) wykazem 422 pozycji bibliografii – 26 str.), streszczeniami w j. polskim i j. angielskim (2 str.) oraz podziękowaniami (1 str.) Zasadnicza część monografii została ujęta w 7 rozdziałach.

Procesy obróbki ścierniej są przedmiotem zainteresowania licznych ośrodków naukowych i przemysłowych z uwagi na poszukiwania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych, podwyższających jej efektywność. Przykładem są kierunki rozwoju szlifowania ściernicowego, związane z poszukiwaniem i udoskonalaniem:

- materiałów ściernych, tworzeniem powłok na ziarnach i nowych kształtów ziaren;
- odmian kinematycznych i modyfikacji parametrów szlifowania;
- modyfikacjami budowy ściernicy;
- technologii obróbki, jak np. szlifowanie na sucho, szlifowanie w niskich temperaturach, stosowanie technologii hybrydowych, i inne.

Wg statystyk dotyczących światowej produkcji ziaren ściernych, największą grupę ścierniwi stanowią ziarna z materiałów konwencjonalnych, takich jak elektrokorund i węgiel krzemu (rys.2). Spośród narzędzi ściernych dominującą grupę stanowią narzędzia spojone, wytwarzane z konwencjonalnych ziaren ściernych, w tym w większości z syntetycznego korundu, występującego w postaci różnych odmian elektrokorundu (korundu topionego) lub korundów spiekanych (rys.3).

W świetle tych danych podjęcie przez Autora rozprawy kompleksowych badań dotyczących modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego elektrokorundu oraz ze spoiwem ceramicznym, w celu określenia wpływu różnych modyfikacji na warunki, przebieg i wyniki procesów szlifowania otworów (obróbka otworów szlifowaniem jest złożoną operacją technologiczną), należy uznać za w pełni uzasadnione. Autor skoncentrował się na pięciu zaproponowanych modyfikacjach budowy ściernicy, dotyczących:

- strefowo zróżnicowanej budowy;
- modyfikacji mikrostruktury spoiwa ceramicznego;
- modyfikacji geometrii czynnej powierzchni ściernicy (CPS) poprzez kształtowanie jej mikronieciągłości;
- budowy składanej z systemem odśrodkowego doprowadzenia płynu chłodząco-smarującego (PCS);
- impregnacji ściernic pierwiastkami niemetalicznymi.

Zostały także podjęte badania ściernicą, w której zintegrowano kilka modyfikacji.

**To zwięzłe wprowadzenie w problematykę badawczą potwierdza trafność i celowość wyboru obszaru i zakresu rozprawy habilitacyjnej Kandydata.**

**Rozdział 1** zawiera charakterystykę „*problemów występujących w procesach szlifowania otworów ściernicami z mikrokrystalicznym korundem spiekany i spoiwem ceramicznym*”. Autor, na podstawie danych literaturowych, przedstawił charakterystykę ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego, poczynawszy od pierwszych, wytwarzanych ziaren korundu spiekanego o wielkości kryształów rzędu 1-5  $\mu\text{m}$ , poprzez odmiany ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego, a na ziarnach o strukturze nanokrystalicznej skończywszy. Zamieścił opis spoiw stosowanych w ściernicach z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego oraz problemy związane ze stosowaniem ściernic z tymi ziarnami w procesach szlifowania.

Analizując procesy szlifowania i zużywania się ziaren  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o strukturze mikrokrystalicznej scharakteryzował aspekty tribologiczne i fizyczne zjawiska zachodzące w strefie obróbki. Formy zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami polikrystalicznymi i mikrokrystalicznego tlenku glinu Habilitant ujął zbiorczo na rys.1.8. W końcowej części tego rozdziału przedstawił możliwości poprawy warunków pracy ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego poprzez wprowadzenie modyfikacji budowy ściernicy.

Ważną rolę odgrywa zastosowane spoiwo w narzędziu ściernym, ponieważ jego właściwości mają istotny wpływ na właściwości narzędzia. Spoiwo decyduje o odpowiednim utrzymaniu ziaren ściernych, zapewnieniu dostatecznej porowatości w celu dostarczenia cieczy obróbczej i odprowadzenia produktów szlifowania ze strefy obróbki, zachowaniu dokładności kształtowej ściernicy, a także warunkuje sposób jej obciążania. Porównanie najważniejszych właściwości spoiw najczęściej stosowanych w narzędziach ściernych spojonych zostało przedstawione na rys.1.12.

Szczególną uwagę poświęcił Habilitant procesowi szlifowania ściernicami z mikrokrystalicznego korundu spiekanego i spoiwem ceramicznym, walcowych powierzchni wewnętrznych. W tym procesie występuje szereg problemów wynikających z jego kinematyki, a zasadnicze utrudnienie stanowi bardzo długa strefa styku ściernicy z materiałem obrabianym, wskutek niewielkiej różnicy pomiędzy średnicą ściernicy i szlifowanego otworu.

Dla zapewnienia poprawnej technologii szlifowania otworów, projektowane narzędzie ścierne powinno zapewnić:

- uzyskanie struktury wielkoporowej przy jednoczesnym zachowaniu wymaganej wytrzymałości ściernicy;
- równomierne zużycie składników czynnej powierzchni roboczej ściernicy, zachodzące w mikroobjętościach;
- skuteczne doprowadzenie cieczy obróbczej do strefy szlifowania we wszystkich fazach procesu, w celu uzyskania dostatecznego smarowania i chłodzenia;
- efektywny transport wiórów i innych produktów szlifowania poza strefę obróbki w przestrzeniach międzyziarnowych;
- obniżanie adhezji wiórów do czynnej powierzchni ściernicy w celu ograniczenia lub wyeliminowania zjawiska zalepiania.

Na podstawie analizy dotychczas stosowanych rozwiązań możliwości poprawy warunków szlifowania otworów Habilitant doszedł do wniosku, że jednym z najskuteczniejszych i uzasadnionych ekonomicznie sposobów poprawy efektywności szlifowania jest modyfikowanie budowy ściernicy. Modyfikacje takie najczęściej nie wymagają ingerowania w budowę szlifierki lub jej osprzętu, co sprawia, że są uniwersalne i mogą znaleźć powszechne zastosowanie. Obszerną syntezę modyfikacji ściernic do szlifowania obwodowego, stosowanych w procesach szlifowania otworów, zestawiał Habilitant w tab.1.2. i w tab.1.3. (łącznie 11str.)

**Należy z uznaniem podkreślić, że analiza dotychczasowego stanu wiedzy, ujęta w rozdziale 1, została przedstawiona w sposób problemowy, stanowiący podstawę do wytyczenia kierunków własnych prac Autora rozprawy. Dowodzi to Jego głębokiej, gruntownej wiedzy z zakresu podjętej problematyki badawczej i wysokich umiejętności analizy i syntezy złożonych zagadnień naukowych i inżynierskich.** Znajduje to również odzwierciedlenie w zwięzłym podsumowaniu wniosków, wynikających z analizy problemów występujących w procesach szlifowania otworów ściernicami z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego i ze spoiwem ceramicznym.

**W rozdziale 2** zostały sformułowane kierunki własnych badań i naukowy cel pracy. W procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych, charakteryzujących się długą strefą styku ściernicy z materiałem obrabianym ma miejsce zwiększony udział tarcia w procesie szlifowania, co przyczynia się do nadmiernego obciążenia cieplno-mechanicznego strefy kontaktu, a także wzrostu sił i mocy szlifowania. Potencjał skrawny ziaren mikrokrystalicznego korundu spiekanego nie jest w pełni wykorzystany, bowiem dochodzi do zalepień czynnej

powierzchni ściernicy, wywołanych przywieraniem do niej wiórów materiału obrabianego, przedwczesnej utraty zdolności skrawnej ściernicy oraz uszkodzeń cieplnych powierzchni obrabianej.

Głównym celem badań podjętych przez dra inż. K. Nadolnego jest zwiększenie efektywności szlifowania otworów w procesach szlifowania jednoprzęściowego, prostoliniowo-zwrotnego oraz wgłębnego. Do osiągnięcia tego celu Habilitant uznał za korzystne zintegrowanie: strefy szlifowania zgrubnego i wykończeniowego w jednym narzędziu, mikrostruktury spoiw ceramicznych, wprowadzenia mikronieciągłości na czynnej powierzchni ściernicy, odśrodkowego chłodzenia strefy szlifowania przez otwory w ściernicy oraz impregnację ściernicy pierwiastkami niemetalicznymi.

Na podstawie analizy stanu wiedzy i techniki (rozdz.1) Autor rozprawy wytypował pięć modyfikacji budowy ściernic z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego, a schemat programu badań przedstawił na rys.2.1. Obejmuje on:

- modyfikacje ściernic, zwiększające efektywność szlifowania otworów w odniesieniu do: strefowo zróżnicowanej budowy; spoiwa ceramicznego amorficznego i szklanokryształicznego; mikronieciągłości czynnej powierzchni ściernicy; składanych narzędzi ściernych z systemem odśrodkowego doprowadzenia cieczy obróbczej; ściernic impregnowanych;
- przykłady rozwiązań ściernic o zintegrowanej konstrukcji;
- zakres doświadczalnych badań procesów szlifowania otworów i metodykę oceny efektywności procesu szlifowania;
- monitorowanie procesów szlifowania ściernicami modyfikowanymi z zastosowaniem systemu emisji akustycznej;
- porównawczą ocenę efektywności zaproponowanych modyfikacji.

Szczegółowy zakres analiz teoretycznych i badań doświadczalnych został przedstawiony schematycznie, ale i wyczerpująco na rys.2.2.

#### **Metodologiczną i metodyczną koncepcję pracy oceniam w pełni pozytywnie.**

**W rozdziale 3** (53 str.) Habilitant scharakteryzował teoretyczne podstawy metod oceny przebiegu i efektów szlifowania ściernicami modyfikowanymi. Z uwagi na złożoność współdziałania zjawisk i procesów w strefie obróbki uzasadnione i konieczne było zastosowanie wielokryterialnej oceny przebiegu oraz efektów procesów szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych, realizowanych z zastosowaniem ściernic modyfikowanych, a także wykorzystanie wielu metod badawczych i pomiarowych.

**Dr inż. K. Nadolny** dobrał niektóre z metod na podstawie analizy literatury, ale też **opracował własne, autorskie metody oceny procesu szlifowania otworów, tj. metodę:**

- analityczną, pozwalającą na ocenę obciążenia ziaren aktywnych w różnych odmianach kinematycznych szlifowania otworów (pkt 3.1);
- badania zjawisk zużycia składników czynnej powierzchni ściernicy w zabiegu szlifowania wgłębnego (pkt 3.2), opracowaną na potrzeby badań wpływu impregnowania ściernic;
- poszerzającą wiedzę o warunkach szlifowania, polegającą na pomiarze temperatury w strefie kontaktu ściernicy z materiałem obrabianym z użyciem termowizji w podczerwieni (pkt 3.3);
- wykorzystującą do oceny i diagnostyki narzędzi ściernych komputerową analizę obrazów, zarejestrowanych z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego (pkt 3.4);
- wykorzystującą do oceny czynnej powierzchni ściernicy skaterometrię laserową (pkt 3.5).

**Wszystkie z zastosowanych metod badawczych i analitycznych modeli zostały precyzyjnie i jasno opisane, a także, co jest cechą tej rozprawy, zestawione w sposób zwięzły w postaci tabelarycznej.**

*Uwaga: w podrozdziale 3.1.2. w tytule i na dalszych stronach (np. tab.3.3) powinno być użyte słowo „kinetycznych” zamiast „kinematycznych”, bowiem istotą, wg mnie, jest tutaj kinetyka zachodzących procesów w strefie skrawania, a nie kinematyka poruszających się poszczególnych ziaren ściernych.*

Z uwagi na obszerność zawartego materiału w monografii nie omawiam w niniejszej opinii każdego z przeprowadzonych eksperymentów (Autor rozprawy przedstawił to na bardzo dobrym poziomie), ale na podstawie przedstawionych w rozdz.3 wynikach badań i ich analizie stwierdzam, m. in., że:

- słuszną była koncepcja zastosowania wielokryterialnej oceny efektów szlifowania, w szczególności w przypadku zastosowania ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie, stosowanych w procesie szlifowania jednoprzęściowego oraz ściernic impregnowanych, przeznaczonych do szlifowania materiałów trudno skrawalnych;
- zdefiniowany przez Habilitanta nowy wskaźnik wydajności ubytkowej, przypadającej na ziarno aktywne  $S/Q$ , który w sposób syntetyczny uwzględnia główne parametry szlifowania, a także strukturę geometryczną czynnej powierzchni ściernicy, jest przydatny przy doborze parametrów obróbki, w przypadku zmiany kinematyki procesu szlifowania otworów, przy konieczności zachowania obciążenia ziaren aktywnych na tym samym poziomie. Pokazuje on także, jak zmienia się obciążenie aktywnych wierzchołków skrawających w funkcji parametrów obróbkowych, co daje podstawy do optymalizacji parametrów procesu;
- zastosowanie ściernicy ze stopniami o różnej średnicy umożliwia sterowanie obciążeniem ziaren w poszczególnych strefach ściernicy poprzez odpowiedni dobór jej średnic oraz czasu pracy każdej ze stref funkcjonalnych;
- główną zaletą opracowanej przez Habilitanta metody jest możliwość wielostronnej oceny warunków usuwania materiału, wynikających ze zmian obciążenia poszczególnych składników ściernicy w czasie krótkiego testu szlifowania;
- zaproponowana metoda umożliwia również badania porównawcze ściernic o różnych charakterystykach, przy zróżnicowanych parametrach szlifowania, czy też dla różnych materiałów obrabianych w jednym teście;
- zalety opracowanego wskaźnika  $S/Q$  sprawiają, że może on być użyty do wielokryterialnej oceny efektywności procesów szlifowania otworów w wielu odmianach kinematycznych, realizowanych z użyciem zarówno ściernic konwencjonalnych, jak i modyfikowanych.

Zaproponowane przez Habilitanta metody spełniają dwa ważne postulaty dobrze zaplanowanych badań doświadczalnych, a mianowicie postulaty informatywności i ekonomiki badań. **Upoważnia to wyrażenia opinii, że jest On pracownikiem naukowym, który opanował współczesne metody planowania i prowadzenia badań na wysokim poziomie.**

**W rozdziale 4** (łącznie 144 str.) Habilitant przedstawił podstawy teoretyczne i doświadczalne własnych badań, zawierające „*innowacyjne modyfikacje ściernic z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego i spoiwem ceramicznym zwiększające efektywność procesów szlifowania otworów*”, podając ich najważniejsze zalety oraz kluczowe ograniczenia. Ściernice o strefowo zróżnicowanej budowie można zastosować jedynie w procesie szlifowania

jednoprzęciowego. Pozostałe z opisywanych modyfikacji są łatwe do wdrożenia w większości stosowanych odmian kinematycznych procesu szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych.

Opracowane przez Autora rozprawy modyfikacje dotyczą:

- makrogeometrii i budowy wewnętrznej – ściernice o strefowo zróżnicowanej budowie z ukształtowanym nakrojem stożkowym (pkt 4.1);
- budowy strukturalnej – ściernice ze zmodyfikowaną mikrostrukturą spoiwa ceramicznego (pkt 4.2);
- mikrogeometrii ściernicy – ściernice z mikronieciągłościami czynnej powierzchni ściernicy (pkt 4.3);
- doprowadzenia ośrodka technologicznego obróbki bezpośrednio do strefy szlifowania – ściernice składane z systemem odśrodkowego doprowadzenia płynu (pkt 4.4);
- aspektów chemicznych szlifowania – ściernice impregnowane siarką oraz alotropowymi odmianami węgla, w celu zmniejszenia adhezji produktów szlifowania do czynnej powierzchni ściernicy (pkt 4.5).

**Dokonując zwięzłej syntezy tej części rozprawy stwierdzam, iż Habilitant wykazał, że zaproponowane przez Niego innowacyjne modyfikacje budowy ściernic z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekane umożliwiają efektywną poprawę warunków i wyników procesów szlifowania otworów.** Szeroki zakres modyfikacji pozwala na ich odpowiedni dobór w zależności od stawianego kryterium oceny efektywności. Przykładowo, gdy decydująca jest wydajność obróbki, należy stosować ściernice o strefowo zróżnicowanej budowie i kinematykę szlifowania jednoprzęciowego. Przy szlifowaniu materiałów trudno skrawalnych (stopy niklu, kobaltu, tytanu), można znacząco ograniczyć niekorzystne zjawisko zalepiania czynnej powierzchni ściernicy produktami obróbki stosując impregnację ściernicy, np. grafitem, dzięki czemu można znacząco wydłużyć okres trwałości ściernicy.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, w odniesieniu do poszczególnych modyfikacji ściernicy, Autor rozprawy sformułował szereg szczegółowych wniosków (str. 246-252), które odnoszą się do osiągniętej jakości technologicznej obrabianych powierzchni, trwałości ściernicy, wskaźników procesu szlifowania, możliwości realizacji procesu obróbki.

Skuteczność innowacyjnych modyfikacji budowy ściernicy przejawia się w korzystnym wpływie na:

- obniżenie chropowatości powierzchni obrabianej;
- zmniejszenie mocy szlifowania;
- wydłużenie okresu trwałości ściernicy;
- zwiększenie wydajności ubytkowej obróbki;
- skuteczniejsze doprowadzenie do strefy szlifowania płynu chłodząco- smarującego i ograniczenie jego wydatku;
- ograniczenie zjawiska zalepiania produktów szlifowania, w tym głównie wiórów materiału obrabianego, do czynnej powierzchni ściernicy.
- możliwości łączenia ze sobą modyfikacji w celu uzyskania synergicznego efektu wzmocnienia ich korzystnego oddziaływania na żądany wskaźnik procesu szlifowania.

**Ta część rozprawy zawiera bogaty materiał badawczy i interpretacyjny. Jest oryginalnym osiągnięciem naukowym i aplikacyjnym dra inż. K. Nadolnego.**

**Rozdział 5** ujmuje wyniki badań łączenia trzech modyfikacji konstrukcji ściernicy (ściernica o strefowo zróżnicowanej budowie, ściernica z mikronieciągłościami czynnej powierzchni oraz ściernica z systemem wewnętrznego doprowadzenia cieczy obróbczej) na przykładzie procesu jednoprzejściowego szlifowania otworów (tab.5.1). Schemat konstrukcyjny prototypu ściernicy ze zintegrowanymi modyfikacjami budowy został przedstawiony na rys.5.1.

Przeprowadzone badania doświadczalne potwierdziły możliwości uzyskania korzystnego, synergicznego wzmocnienia pozytywnego wpływu modyfikacji budowy ściernicy poprzez ich integrację, a mianowicie:

- znacząco poprawiają się wyniki szlifowania; obniża się chropowatość obrobionych powierzchni (w przypadku ściernic łączących w swojej budowie przynajmniej dwie modyfikacje obniża o około 25%);
- obniża się moc szlifowania w zakresie od 31% do 56%;
- w przypadku zastosowania trzech modyfikacji ponad dwukrotnie zmniejsza się moc szlifowania oraz chropowatość powierzchni obrobionej o około 20%, w porównaniu ze ściernicą niemodyfikowaną.

**W rozdziale 6** przedstawił Habilitant „ocenę efektywności szlifowania otworów modyfikowanymi ściernicami z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekane”. Zdefiniował efektywność szlifowania, rozumianą w kategoriach technologicznych i ekonomicznych, jako stosunek uzyskanych efektów obróbki do nakładów poniesionych na ich osiągnięcie, przyjmując grupę dziewięciu wskaźników, odniesionych do wyników uzyskanych z zastosowaniem ściernic referencyjnych (tab.6.2). Wyniki oceny zostały zamieszczone w tab.6.3, a ich graficzna reprezentacja na rys.6.1 i rys.6.2.

Do najważniejszych zalet ocenianych rozwiązań w zależności od zastosowanej modyfikacji należy m. in. zaliczyć:

- zmniejszenie chropowatości powierzchni po szlifowaniu wyrażonej parametrem  $R_a$  w zakresie od 17% do 35%;
- ograniczenie przyrostu mocy szlifowania  $DP$  od 3% do 66%;
- trzykrotne wydłużenie okresu trwałości ściernicy, wyrażonego ubytkiem materiału obrabianego  $V_w$ , przy zastosowaniu mikronieciągłości czynnej powierzchni ściernicy;
- niemal 30% ograniczenie wielkości błędu okrągłości ściernicy  $D$  przy zastosowaniu zmodyfikowanej mikrostruktury spoiwa;
- zmniejszenie intensywności powstawania zalepień na CPS w procesach szlifowania materiałów trudno skrawalnych, wyrażone 89% redukcją udziału powierzchniowego zalepień, przy zastosowaniu ściernic impregnowanych grafitem;
- możliwość osiągnięcia korzystnego efektu ekologicznego poprzez pięciokrotne zmniejszenie wydatku cieczy obróbczej przy zastosowaniu systemu wewnętrznego doprowadzenia tej cieczy.

Zasadniczą część rozprawy zamyka **rozdział 7**, dotyczący monitorowania procesów szlifowania otworów ściernicami modyfikowanymi z zastosowaniem bezstykowego systemu emisji akustycznej. Struktura systemu została przedstawiona na rys.7.2, a przykłady zarejestrowanego sygnału oraz charakterystycznych linii granicznych do analizy warunków pracy ściernicy - na rys.7.3. W badaniach doświadczalnych jednoprzejściowego szlifowania otworów był zastosowany bezstykowy czujnik emisji akustycznej (stanowisko badawcze - rys.7.4 i rys.7.5).

Analiza wyników pomiarów, w których zastosowano czujnik hydroakustyczny typu SEH w sprzężeniu z jednostką monitorującą SEM oraz wizyjną metodą oceny cech sygnału dały podstawę do stwierdzenia, że zaproponowana metoda pozwala na wykrywanie oznak zużycia składników czynnej powierzchni ściernicy w trakcie procesu i ocenę ich wpływu na moc szlifowania oraz parametry chropowatości powierzchni obrabianej.

Ponadto przedstawiony sposób oceny stanu ściernicy daje znacznie więcej informacji w porównaniu z analizą graniczną, stosowaną powszechnie w innych systemach monitorowania.

Zaproponowany sposób postępowania jest łatwy do zaimplementowania w warunkach produkcyjnych, ponieważ odbywa się na poziomie programowym opisanego systemu, bez ingerencji w jego wyposażenie.

**Osiągnięcia Autora rozprawy w części należą do prac o charakterze podstawowym (aspekty tribologiczne w strefie kontaktu ściernicy z obrabianym materiałem, mechanizmy zużycia ściernego i wytrzymałościowego ziaren ściernych, adhezji produktów szlifowania w strefie skrawania), a także do prac aplikacyjnych. Znaczącym wkładem dra inż. Krzysztofa Nadolnego do rozwoju dyscypliny naukowej „Budowa i Eksploatacja Maszyn” jest wg mnie:**

- opracowanie nowej konstrukcji ściernic o strefowo zróżnicowanej budowie z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego, które wydatnie poprawiły warunki procesu szlifowania otworów;
- modyfikacja mikrostruktury spoiwa ceramicznego ściernic, korzystnie wpływająca na proces zużywania się ściernicy i zapewniająca równomierne odnawianie jej zdolności skrawnej, wskutek mikrowykruszania fragmentów ziaren ściernych i spoiwa;
- poprawa warunków odprowadzania ciepła, produktów zużycia i wiórów poza strefę szlifowania przy równoczesnej poprawie warunków chłodzenia. Efektem tego jest zmniejszenie obciążeń cieplno-mechanicznych aktywnych ziaren i wydatne zmniejszenie zużycia ściernego oraz wytrzymałościowego składników ściernicy;
- modyfikacja systemu doprowadzenia ośrodka technologicznego obróbki do strefy szlifowania, która w znaczącym stopniu wpłynęła na ograniczenie zjawiska zalepiania czynnej powierzchni ściernicy produktami szlifowania oraz zwiększenie skuteczności chłodzenia i smarowania strefy kontaktu ściernicy z materiałem obrabianym;
- obniżenie adhezji produktów szlifowania, głównie wiórów materiału obrabianego, do czynnej powierzchni ściernicy poprzez wprowadzenie impregnacji ściernic pierwiastkami niemetalicznymi (głównie siarką oraz alotropowymi odmianami węgla);
- poprawa jakości technologicznej szlifowanych wyrobów (zmniejszenie chropowatości obrabianej powierzchni o ok. 21%), przy równoczesnym, ponad 2-krotnym zmniejszeniu mocy szlifowania i ok. 5-krotnym ograniczeniu wydatku cieczy obróbczej (aspekt ekologiczny).

Na osiągnięcia naukowo-badawcze Habilitanta składa się także znaczący dorobek publikacyjny i patentowy po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych. W przedstawionym zestawieniu zawiera on: **17** publikacji autorskich i **92** współautorskie (w tym **41** z 50% udziałem, **18** z 33% udziałem oraz **33** z 20% - 25% udziałem Habilitanta); współautorstwo **3** patentów oraz **7** zgłoszeń patentowych ( w tym **1** autorskie zgłoszenie patentowe), autorstwo **1** monografii (praca habilitacyjna) oraz współautorstwo **2** z zakresu obróbki ściernej.



Publikacje te były wydane w języku polskim, angielskim i portugalskim w: *Polsce, Arabii Saudyjskiej, Brazylii, Chinach, Egipcie, Hiszpanii, Indiach, Japonii, Kanadzie, Korei Południowej, Szwajcarii, USA*; m.in. w czasopismach: *Advances in Manufacturing Science and Technology; Advances in Tribology; Arabian Journal for Science and Engineering; Archives of Civil and Mechanical Engineering; Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji; Central European Journal of Engineering; International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research; International Journal of Precision Engineering and Manufacturing; Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering; Journal of Central South University of Technology; Journal of Advanced Mechanical Design; Systems and Manufacturing; Management and Production Engineering Review; Materials Science Forum; Machining Science and Technology; Máquinas e Metais; Mechanik, Optica Applicata, Pomiar Automatyka Kontrola; Przegląd Mechaniczny; Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering.*

Ponadto opracowania recenzji do międzynarodowych czasopism, wyróżnionych w *Journal Citation Reports* i indeksowanych w *Web of Knowledge (Journal of Mechanical Science and Technology*, wyd. Korean Society of Mechanical Engineers i Springer, IF = 0,448 oraz *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, wyd. *Brazilian Society of Mechanical Sciences* IF = 0,200) potwierdzają uznaną pozycję naukową Habilitanta. Uczestnictwa z wygłoszeniem referatów w 4 międzynarodowych konferencjach naukowych (w tym 1 w Hiszpanii, 1 w USA) i 15 konferencjach krajowych świadczą o aktywności i konfrontowaniu wyników własnych badań Habilitanta z badaniami prowadzonymi w innych ośrodkach naukowych.

Potwierdzeniem międzynarodowych osiągnięć naukowo-badawczych dra inż. Krzysztofa Nadolnego są cytowania Jego prac:

- wg Web of Knowledge: liczba cytowań 13, h = 2;
- wg Scopus: liczba cytowań 11, h = 2;
- wg Google Scholar: liczba cytowań 64, h = 5

Do dorobku badawczego Habilitanta należy także zaliczyć udział w 1 międzynarodowym projekcie badawczym oraz 2 projektach krajowych MNiSW, udział w 4 pracach zleconych, a także udział w projekcie finansowanym ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego oraz odbycie dwóch tygodniowych staży naukowych (VSB Ostrava i TU Košice) w ramach umowy o współpracy międzynarodowej.

**Podsumowując zakres i poziom osiągnięć naukowo-badawczych oraz inżynierskich dra inż. Krzysztofa Nadolnego stwierdzam, że zalicza się On do pracowników o uznanej pozycji w środowisku naukowym i inżynierskim, umiejących skutecznie planować i realizować prace badawcze własne i zespołowe, potrafiącym promować wyniki badań poprzez liczne publikacje w czasopismach o uznanej pozycji międzynarodowej, a także na konferencjach i seminariach naukowych. Jego osiągnięcia cechują się innowacyjnością oraz aplikacyjnością, która tworzy podstawy do podejmowania nowych badań oraz rozwiązań i zastosowań przemysłowych.**

### **3. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego**

**W działalności dydaktycznej** Habilitant prowadził wszystkie rodzaje zajęć, tj. wykłady, ćwiczenia, projekty, laboratoria. Obejmowały one przedmioty związane w głównej mierze z zastosowaniem technologii informacyjnych, diagnostyką systemów produkcyjnych, zarządzaniem produkcją i logistyką; a przedmioty to: *Grafika komputerowa; Prezentacje multimedialne; Podstawy informatyki; Komputerowe wspomaganie projektowania; Komputerowe wspomaganie wytwarzania; Zintegrowane systemy zarządzania ERP; Kinetyczne modele*

*symulacyjne; Komputerowa wizualizacja produktu; Jakość, recykling, komputerowe wspomaganie wytwarzania; Modelowanie maszyn; Inżynieria produkcji; Zarządzanie jakością; Diagnostyka systemów produkcyjnych; Podstawy organizacji produkcji; Zespołowe projektowanie materiałów i technologii; Technologia maszyn energetycznych; Planowanie i sterowanie produkcją; Zarządzanie produkcją i usługami; Logistyka gospodarcza ; Logistyka w systemach rozproszonych; Logistyka produkcji; Logistyka w Przedsiębiorstwie; Innowacje i postęp techniczny; Seminaria.*

Dla unowocześnienia dydaktyki na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej Habilitant opracował:

- interaktywne aplikacje ilustrujące *zagadnienia projektowania maszyn i urządzeń; zagadnienia logistyczne w przedsiębiorstwie; zagadnienia z zakresu Inżynierii Produkcji* dla studentów specjalności Programowanie Obrabiarek i Urządzeń Technologicznych; aplikacje obrazujące *zagadnienia z treści programowych z zakresu przedmiotu Podstawy eksploatacji;*
- programy kształcenia dla kursów: *Organizacje wirtualne, Zarządzanie produkcją i usługami* oraz *Kontroling projektów i procesów*, prowadzonych na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji;
- program kształcenia dla kursu: *Podstawy technologii wytwarzania maszyn*, na kierunku Technika Rolnicza i Leśna.

Był wykonawcą w **projektach z zakresu dydaktyki**, współfinansowanych przez Unię Europejską, tj. w:

- *Programie Rozwojowym Politechniki Koszalińskiej w zakresie kształcenia na kierunkach technicznych*, numer projektu: POKL.04.01.01-00-449/08-00.
- *Zamawianie kształcenia na kierunkach technicznych, matematycznych i przyrodniczych*, realizowanym na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

Pod Jego kierunkiem zostało wykonanych **28** prac dyplomowych magisterskich, **5** prac dyplomowych inżynierskich oraz kilkadziesiąt prac przejściowych. Pod opieką naukową Habilitanta studenci opublikowali i wygłosili ogółem **6** artykułów naukowych (na **1** konferencji międzynarodowej i **3** konferencjach ogólnopolskich), dotyczących realizowanych prac dyplomowych, a także opracowali konstrukcje nowych przyrządów i narzędzi, które zostały na wyposażeniu stanowisk badawczych i dydaktycznych w laboratorium Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej.

**Efektywna jest również działalność organizacyjna dr inż. K. Nadolnego.** Jest On założycielem (2008 r.) i opiekunem studenckiego Koła Naukowego Logistyki LOGTECH. Członkowie Koła zrealizowali m.in. **18 projektów**, odwiedzając wiele krajowych zakładów produkcyjnych, jak np.: Volkswagen Poznań, Philips Lighting Poland Piła, Scania Production Słupsk, Nivea Polska Poznań, PMP Poland Jelenia Góra, LPP Prószcz Gdański, AutoGlass JAAN Koszalin, Tepro Koszalin, Kospel Koszalin oraz opracowali i wygłosili do tej pory **9 referatów naukowych** na 1 konferencji międzynarodowej i 3 konferencjach krajowych.

Habilitant jest opiekunem (od 2006 r.) Laboratorium Obróbki Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej; członkiem Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją (od 2011 r.); członkiem Zespołu ds. Promocji Wydziału oraz oferty badawczej na Wspólnotowym Serwisie Informacyjnym Badań i Rozwoju CORDIS Partner Service.

Był wiceprzewodniczącym, a następnie przewodniczącym Komisji Dyscyplinarnej Uczelni ds. Studentów (2008 – 2012 r.); pełnomocnikiem ds. Krajowych Ram Kwalifikacji dla kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji (2008-2012 r.); współorganizatorem dwóch konferencji naukowych Szkoły Obróbki Ściernej oraz Ogólnopolskiej Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki; popularyzatorem opracowanych ściernic modyfikowanych na Międzynarodowych Targach Poznańskich (2006,2007,2008 r.); wykładowcą na 43. Koszalińskich Dniach Techniki (2011 r.)

**Działalność i dorobek dydaktyczny oraz organizacyjny oceniam pozytywnie.**

**Aktywność i osiągnięte efekty w działalności dr. inż. Krzysztofa Nadolnego w różnych obszarach spotykała się z uznaniem, co potwierdzają przyznane nagrody:**

- nagroda „*Za wyróżniające się referaty i ich prezentacje na XXXIII Naukowej Szkole Obróbki Ściernej w Łodzi*” (2010 r.);
- nagroda Rektora Politechniki Koszalińskiej: nagroda indywidualna III stopnia za dorobek naukowy (2011 r.);
- nagroda zespołowa I stopnia Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej w Koszalinie: „*Za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki*” (2012 r.);
- nagroda za znaczący wkład w rozwój obróbki ściernej oraz aktywne uczestnictwo w obradach XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej we Wrocławiu (2012 r.).

#### **4. Wniosek końcowy**

Na podstawie analizy rozprawy habilitacyjnej, działalności naukowo-badawczego, dydaktycznej i organizacyjnej stwierdzam, że **dr inż. Krzysztof Nadolny znacząco powiększył swój dorobek po uzyskaniu stopnia naukowego dra nauk technicznych**. Wykazał, że potrafi organizować działalność naukowo-badawczą, publikacyjną i dydaktyczną na wysokim poziomie. Uzyskał oryginalne i poszerzające wiedzę wyniki w zakresie naukowym i aplikacyjnym w dyscyplinie *Budowa i Eksploatacja Maszyn*. Pozycję naukową potwierdza także **13** cytowań Jego publikacji (wskaźnik  $h=2$ , wg bazy Web of Knowledge). **Rozprawa habilitacyjna i przygotowana dokumentacja są na wyróżniającym się poziomie. Upoważnia to do stwierdzenia, że pod względem formalnym w pełni odpowiada warunkom Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym (Dz. U. Nr 0365595 z 16.04.2003 r. Art.16, pkt. 2, ust. 1) wraz z późniejszymi zmianami i Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. (Dz. U. Nr 196, Poz. 1165) oraz wymaganiami zawartymi w §3 pkt. 4 ust.a oraz §4 pkt. 1-8. Jego dorobek jest zgodny z kryteriami oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie „Budowa i Eksploatacja Maszyn”.**

Kraków, dnia 24 kwietnia 2013 r.