



Profesor  
WOJCIECH KACALAK

DOKTOR  
HONORIS  
CAUSA

POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ

KOSZALIN 2017

**Profesor Wojciech Kacalak**

**Doktor Honoris Causa**

**Politechniki Koszalińskiej**



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

**PROFESOR WOJCIECH KACALAK**

**DOKTOR HONORIS CAUSA**

**POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ**

**7 CZERWCA 2017**

KOSZALIN 2017

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

ISBN 978-83-7365-462-4

Przewodniczący Uczelnianej Rady Wydawniczej  
*Zbigniew Danielewicz*

Redakcja  
*Leon Kukielka*

Korekta  
*Agnieszka Czajkowska*

Projekt okładki  
*Tadeusz Walczak*

Skład i łamanie  
*Radosław Patyk*

© Copyright by Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej  
Koszalin 2017

WYDAWNICTWO UCZELNIANE POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ  
75-620 Koszalin, ul. Raclawicka 15-17

---

Koszalin 2017, wyd. I, ark. wyd. 11,19, format B-5, nakład 250 egz.  
Druk: INTRO-DRUK, Koszalin



**Profesor Wojciech Kacalak**  
**Doktor Honoris Causa**  
**Politechniki Koszalińskiej**



## **SPIS TREŚCI**

### **PRZEDMOWA**

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal  
J.M. Rektor Politechniki Koszalińskiej  
**SŁOWO WSTĘPNE**

Dr hab. inż. Błażej Bałasz – prof. Politechniki Koszalińskiej  
Dziekan Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej  
**UZASADNIENIE WNIOSKU**  
o nadanie Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi  
tytułu i godności Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej

**UCHWAŁA RADY WYDZIAŁU POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ**  
W sprawie nadania tytułu  
Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej  
Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi

**UCHWAŁA SENATU POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ**  
W sprawie nadania tytułu  
Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej  
Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi

### **DYPLOM**

Prof. dr hab. inż. Leon Kukiełka  
Promotor  
**LAUDATIO**

### **UCHWAŁA SENATU POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ**

Prof. dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa  
**OPINIA DLA SENATU POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ**

### **UCHWAŁA SENATU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ W GLIWICACH**

Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Meżyk  
**OPINIA DLA SENATU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**

### **UCHWAŁA SENATU POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski  
**OPINIA DLA SENATU POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**WYKŁAD DOKTORA HONORIS CAUSA**

**ŻYCIORYS DOKTORA HONORIS CAUSA**

**DOKTORZY DOKTORA HONORIS CAUSA POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ**





## PRZEDMOWA

Oddajemy do Państwa rąk publikację, związaną z nadaniem prof. dr. hab. inż. dr. h. c. Wojciechowi Kacalakowi tytułu i godności Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej.

Profesor Wojciech Kacalak jest wybitnym polskim uczonym w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, niekwestionowanym autorytetem naukowym, uznawanym nie tylko w ośrodkach krajowych, ale i zagranicznych. Profesor Wojciech Kacalak w dużym stopniu przyczynił się do przekształcenia Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Politechnikę Koszalińską, a następnie do jej dynamicznego rozwoju a także do utworzenia i rozwoju licznych jednostek organizacyjnych Uczelni.

Dziedziną prac naukowych prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka jest budowa i eksploatacja maszyn. Specjalnością naukową jest mechatronika, technologia maszyn, a zwłaszcza optymalizacja i automatyzacja procesów obróbki ściernej oraz budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych.

Życie zawodowe Profesora Wojciecha Kacalaka jest od ponad 46 lat związane z Koszalinem, początkowo jako pracownika Wyższej Szkoły Inżynierskiej a następnie Politechniki Koszalińskiej. Profesor miał i ma okazje do wypełniania wielu ważnych funkcji. Jednak wyboru do pełnienia funkcji nie traktuje jako wyróżnienia za dotychczasowe zasługi, ale jako dobrowolne przyjmowanie obowiązków, które mają być wypełniane z pożytkiem dla wszystkich, w warunkach wysokich wymagań stawianych sobie i innym, bez unikania trudnych decyzji o wyborze priorytetów. Profesor utożsamia się z postawą Alberta Einsteina, według którego *„Tylko życie poświęcone innym warte jest przeżycia”*.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest twórcą znanej szkoły naukowej w zakresie podstaw budowy maszyn. Wysoki poziom prac naukowych oraz otwartość Profesora na innych sprawiają, że jest często zapraszany do recenzowania i opiniowania dorobku naukowego oraz do komitetów naukowych i organizacyjnych kongresów i sympozjów organizowanych w kraju i za granicą, a dotyczących szeroko pojętych problemów budowy maszyn.

Osiągnięcia naukowe Profesora Wojciecha Kacalaka uzyskały liczne wyróżnienia nagrodami Ministra Edukacji Narodowej oraz w konkursach krajowych lub międzynarodowych jako prace oryginalne, o dużym znacze-

niu oraz potencjale innowacyjnym i znaczącym zasięgiem publikacji zagranicznych.

Profesor Wojciech Kacalak zawsze przykładał i przykłada duże znaczenie do wdrażania wyników prac naukowych do przemysłu. Nowe odkrycia naukowe i nowe procesy technologiczne przyczyniają się do rozwoju cywilizacji dopiero wtedy, gdy zostaną opublikowane, udostępnione i mają szansę zostać wykorzystane.

Wybitne osiągnięcia Profesora Wojciecha Kacalaka a zwłaszcza Jego nowatorskie prace sprawiają, że Profesor cieszy się uznaniem i autorytetem całego środowiska związanego z szeroko rozumianą budową maszyn. Profesor Wojciech Kacalak od wielu lat jest uważany w środowisku naukowym reprezentujących dyscyplinę „budowa i eksploatacja maszyn” za mentora. W Politechnice Koszalińskiej Profesor cieszy się ogromnym autorytetem i jest niekwestionowanym liderem w reprezentowanej dyscyplinie. Zawsze służył i służy pomocą wszystkim pracownikom Wydziału Mechanicznego i Uczelni.

Niniejsza publikacja zawiera uzasadnienie wniosku Rady Wydziału Mechanicznego występującej o nadanie godności honorowej, Uchwałę Senatu Politechniki Koszalińskiej, laudację promotora prof. dr. hab. inż. Leona Kukiełki, opinie czcigodnych Recenzentów w osobach profesorów Romany Ewy Śliwy z Politechniki Rzeszowskiej, Arkadiusza Mężyka z Politechniki Śląskiej oraz Stanisława Radkowskiego z Politechniki Warszawskiej, a także Uchwały Senatów wymienionych uczelni, popierających inicjatywę Politechniki Koszalińskiej. Książkę zamyka wykład Profesora Wojciecha Kacalaka nt. „*Innowacje indukowane badaniami naukowymi*”.

Nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej profesorowi Wojciechowi Kacalakowi jest uznaniem dla Jego osiągnięć, które są sumą efektów, wynikających z kumulacji pracowitości, sprawności, życzliwości dla innych, umiejętności współdziałania i dynamizmu osobowości. Jest uzasadnione wybitnymi osiągnięciami Profesora, jako uczonego, nauczyciela i promotora licznych kadr naukowych, twórcy i kreatora nowych rozwiązań, organizatora nauki i człowieka godnego najwyższego szacunku.

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal  
J.M. Rektor Politechniki Koszalińskiej

## SŁOWO WSTĘPNE

Od początku XX wieku zauważa się dynamiczny rozwój techniczny, praktycznie we wszystkich dziedzinach. Wdrażanie wyników tego postępu widać na co dzień, jednak powinny one być aplikowane w sposób niezwykle przemyślany, a tym bardziej zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju społeczeństw. Przy zachowaniu trwałości i niezmienności procesów przyrodniczych trzeba dążyć do zaspokajania potrzeb nie tylko obecnego, ale i przyszłych pokoleń. Realizacja tych postulatów jest widoczna w działalności Polski w ramach Unii Europejskiej.

Dawno już minęły czasy, gdy dobrobyt i uznanie uzyskiwano, eksportując nasze bogactwa naturalne lub wyroby o niewielkim stopniu technologicznego przetworzenia. Tylko wtedy, gdy wytwory myśli i rąk naszych obywateli opatrzone etykietą „Made in Poland” będą gwarancją najwyższej światowej jakości, znajdziemy uznanie w kręgu krajów najwyżej gospodarczo rozwiniętych.

W tym miejscu pojawia się pytanie, w jaki sposób można docelowo osiągnąć taki stopień doskonałości? Odpowiedź na to pytanie jest nad wyraz prosta, gdyż konieczne jest pozyskanie bardzo dużego poziomu wiedzy i umiejętne jej wykorzystanie w rozwiązywaniu postawionych problemów. Niezbędne są w tych procesach autorytety, które będąc wzorcem samym w sobie, potrafią zorganizować innych, aby wspólnie osiągnąć zamierzony cel. Jakże nam bliskim przykładem jest nasz dzisiejszy Czcigodny Doktor Honorowy Politechniki Koszalińskiej profesor Wojciech Kacalak. Wybitny uczony, autorytet naukowy w skali międzynarodowej i nauczyciel akademicki reprezentujący, mówiąc ogólnie, dyscyplinę naukową Budowa i Eksploatacja Maszyn. Profesor, który całe swoje życie zawodowe i pracę naukową związał z Politechniką Koszalińską i Wydziałem Mechanicznym. To w okresie jego kadencji na stanowisku rektora nastąpiło przekształcenie Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Politechnikę i uzyskanie przez uczelnię statusu uczelni akademickiej. Pracował w naszej uczelni praktycznie na wszystkich stanowiskach, począwszy od asystenta stażysty do profesora zwyczajnego. Pełnił też wszystkie zaszczytne funkcje organizacyjne: prorektora, dziekana, rektora, i kierownika katedry. Obecnie jest kierownikiem Katedry Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych. Aktualna nazwa Katedry kierowanej

przez Czcigodnego Doktora, może stanowić drogowskaz w rozpoznaniu kierunków jego działalności naukowej i wielokrotnych zasług. Syntetyczne ujęcie charakterystyki dorobku naukowego, zawodowego, organizacyjnego i dydaktycznego musi być rozpatrywane według wskazówki Arystotelesa: *Całość to coś więcej, niż suma części składających się na tę całość*. Wśród tych elementów należy podkreślić takie dziedziny dotyczące technologii, jak: modelowanie procesów obróbki, kumulacja skutków zdarzeń losowych w procesach kształtowania topografii powierzchni poddanej obróbce ścierniej, zastosowanie sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn oraz teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej, a także hybrydowych, inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych. Jak ogromny i pojemny jest zasób synergizmu, aby móc nie tylko współdziałać w ramach wymienionych dziedzin, ale osiągnąć znakomite wyniki, docenione w międzynarodowym środowisku naukowym i w gremiach nauki polskiej. Wszyscy recenzenci dorobku naukowego profesora Wojciecha Kacalaka podkreślają Jego znaczący wkład w rozwój wymienionych dyscyplin. Miarą uznania autorytetu naukowego naszego Jubilata jest bliska współpraca z uznanymi jednostkami naukowymi w kraju i zagranicą, współpraca z wieloma zakładami, w których były i są wdrażane patenty i oryginalne rozwiązania, a także zaproszenia do udziału w zjazdach, sympozjach i konferencjach o zasięgu światowym. Wszędzie tam profesor jest rozpoznawany, doceniany i nagradzany.

Nasz Honorowy Doktor ma unikalną cechę nauczyciela akademickiego z prawdziwego zdarzenia, który swoją wiedzę naukową nie tylko chce, ale potrafi przekazywać studentom, doktorantom i habilitantom. Trudno byłoby wymienić ogromną liczbę opracowań dydaktycznych profesora. W tym wszystkim pozostaje przystępnym człowiekiem, który potrafi znaleźć czas na codzienne, bieżące rozmowy i konsultacje z zainteresowanymi. Jak on to robi, pozostanie chyba jego tajemnicą – chociaż jest to również sztuka.

Chciałbym podkreślić również zasługi prof. Wojciecha Kacalaka dla rozwoju regionu i miasta. Zawsze znajduje czas i dobre pomysły, pracując w zespołach określających strategię i programy dla Pomorza Środkowego.

Całe środowisko akademickie Politechniki Koszalińskiej wyraża dumę i wielką satysfakcję, że naszemu profesorowi Wojciechowi Kacalakowi, organicznie związanemu z tą uczelnią, nadaje się godność Doktora Honoris Causa.

Dr hab. inż. Błażej Bałasz – profesor nzw. Politechniki Koszalińskiej  
Dziekan Wydziału Mechanicznego  
Politechniki Koszalińskiej

## UZASADNIENIE WNIOSKU

o nadanie tytułu i godności Doktora Honoris Causa  
Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi

Wybitne osiągnięcia naukowe w dziedzinie nauk technicznych oraz zasługi dla rozwoju i integracji środowiska akademickiego zarówno w Koszalinie jak i innych ośrodkach naukowych w Polsce i zagranicą upoważniają Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej, z racji posiadanych uprawnień, do wystąpienia z wnioskiem do Jego Magnificencji Rektora i Senatu Politechniki Koszalińskiej o najwyższe honorowe wyróżnienie akademickie dla **prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka** – o tytuł doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak, lat 71 (ur. 30.11.1945 r. w Zduńskiej Woli) jest absolwentem Politechniki Łódzkiej, którą ukończył w 1970 roku z wyróżnieniem i nagrodą w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Instytucie Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej w 1974 r. Praca doktorska została wyróżniona. Habilitował się w 1978 r. na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej zostały wyróżnione indywidualną nagrodą Ministra. Tytuł naukowy profesora uzyskał w 1989. Doktor honoris causa Politechniki Poznańskiej – 2015 rok.

Od 46 lat prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest pracownikiem Politechniki Koszalińskiej (do 1996 roku Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie). Przez wiele lat Profesor aktywnie uczestniczył w rozwoju Uczelni pełniąc wiele funkcji:

- W latach 1978-1981 był prorektorem ds. kształcenia.
- Od 1982 roku przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego.
- Następnie pełnił funkcję prorektora ds. nauki (1988-1993).

- W okresie 1993-1999 pełnił funkcję rektora i w tym czasie nastąpił bardzo istotny rozwój Uczelni. Powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, powstał Park Naukowo-Technologiczny, trzykrotnie wzrosła liczba profesorów i doktorów habilitowanych, uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych. Liczba studentów wzrosła do poziomu zapewniającego możliwości silnego oddziaływania cywilizacyjnego w regionie i kraju. W 1996 roku Uczelnia została przekształcona z Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Politechnikę Koszalińską. Politechnika uzyskała status oraz znaczenie dobrej i dużej uczelni akademickiej, a także uznanie wśród innych ośrodków naukowych. Bardzo korzystanie rozwinęła się naukowa i dydaktyczna współpraca międzynarodowa. Koszalin stał się miastem akademickim, a Uczelnia rozwinęła swoją funkcję oraz rolę centrum rozwoju i współpracy regionalnej.
- W latach 1999-2005, był ponownie dziekanem Wydziału Mechanicznego. W tym okresie Wydział uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego, a Politechnika dzięki temu otrzymała wiele dodatkowych uprawnień akademickich. Wydział Mechaniczny rozpoczął kształcenie na studiach doktoranckich. Politechnika Koszalińska nadała pierwsze tytuły i najważniejsze akademickie godności doktora honoris causa.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn Oddział PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki Komitetu Budowy Maszyn PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej Polskiego Towarzystwa Informatycznego oraz członkiem komitetów kilku innych stowarzyszeń naukowych. Przez wiele lat był przewodniczącym rady naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu.

Od 2007 roku Profesor jest zastępcą przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk.

Od 1999 r. Profesor był członkiem sekcji T107D Komitetu Badań Naukowych, a od 2000 roku do roku 2002 jej przewodniczącym. Jest ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, ekspertem Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie.

Profesor aktywnie uczestniczył w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej (Zespół dydaktyczny MECHANIKA). Intensywnie pracował w Komisji ds. Standardów Kształcenia w Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Akademickich. Jest członkiem międzyna-

wego stowarzyszenia naukowego Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM”, członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych konferencji. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji”.

Przez 15 lat prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej. Był członkiem zespołu ds. strategii rozwoju Regionu. Brał udział w wielu pracach zmierzających do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem wielu opracowań na rzecz integracji, samodzielności i rozwoju Pomorza Środkowego. Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak wielokrotnie przewodniczył komisjom konkursowym w konkursach technicznych i edukacyjnych. Wielokrotnie był wyróżniony tytułem najlepszego dydaktyka.

Dorobek naukowy prof. dr hab. inż. Wojciecha Kacalaka, w syntetycznym zestawieniu, jest następujący:

- 1) Wykształcenie szkoły naukowej w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ściernej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. W trzech zespołach, które zostały stworzone i ukształtowane przez prof. dra hab. inż. Wojciecha Kacalaka, pracuje ponad 30 pracowników naukowych i doktorantów, w tym 3 profesorów, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów.
- 2) Promotor 17 doktorów (w tym 14 prac doktorskich wyróżnionych).
- 3) Siedmiu pracowników zespołów kierowanych przez prof. dra hab. inż. Wojciecha Kacalaka uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego.
- 4) Autor i współautor ponad 350 publikacji naukowych, w tym 3 monografii autorskich, ponad 90 publikacji zagranicznych w czasopismach i wydawnictwach o światowym zasięgu.
- 5) Opiniodawca w postępowaniu o nadanie tytułów i godności doktora honoris causa wielu wybitnym uczonym polskim i zagranicznym:
  - Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych prof. zw. dr hab. inż. dr. h. c. Jana Kocho z Politechniki Wrocław-



- skiej w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej – 01/2002.
- Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych prof. zw. dr. hab. inż. dr. h. c. Jerzego Wojciecha Doerffera z Politechniki Gdańskiej, w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej – 03/2003.
  - Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej prof. zw. dr. hab. inż. dr. h. c. Janowi Kaczmarkowi z Polskiej Akademii Nauk – 06/2003.
  - Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej prof. zw. dr. hab. inż. dr. h. c. Henrykowi Hawrylakowi z Politechniki Wrocławskiej – 04/2005.
  - Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej dla prof. zw. dr. hab. inż. Pierre'a Joseph'a Marché z Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Bourges – 05/2005.
  - Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych prof. zw. dr. hab. inż. Krzysztofa Marchelka z Politechniki Szczecińskiej w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Poznańskiej – 06/2006.
- 6) Autor ponad 80 recenzji wniosków o nadanie tytułu naukowego, nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora, w tym recenzje w przewodach zagranicznych.
  - 7) Ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów badawczych KBN, MNiSW, NCN, NCBiR.
  - 8) 75 raportów recenzji i kompleksowych opracowań naukowych.
  - 9) Autor i współautor 81 patentów (ponad 50% opatentowanych rozwiązań zostało wykorzystanych w budowie narzędzi, układów zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego).
  - 10) Autor lub kierownik zespołu dziesięciu ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych.

- 11) Współautor trzech Polskich Norm dotyczących nowych metod badań narzędzi do obróbki ściernej i narzędzi do obróbki uzębień kół zębatych.
- 12) Nagrodzony Złotym Medalem Targów w Lipsku za osiągnięcia w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych.

Wymienione dokonania, osiągnięcia i zasługi Profesora Wojciecha Kacalaka w pełni uzasadniają wniosek Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej o nadanie Mu tytułu doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej. Profesor Wojciech Kacalak jest wybitnym naukowcem o światowej renomie, uznanym nauczycielem akademickim i wychowawcą kilku pokoleń kadry naukowej oraz autorytetem w prezentowanej przez Niego dziedzinie nauki. Będąc osobą życzliwą oraz chętną do pomocy i współpracy, niejednokrotnie wspierał wielu z nas swoją wiedzą i doświadczeniem, a także wskazywał kierunki dalszego rozwoju naukowego.

## UCHWAŁA

Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej

z dnia 25 kwietnia 2017 r.

w sprawie

wystąpienia do senatu Politechniki Koszalińskiej

o nadanie tytułu doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej  
prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi z Politechniki Koszalińskiej

Działając na podstawie art. 16 ustawy. Prawo o szkolnictwie wyższym oraz § 10 ust. 7 Statutu Politechniki Koszalińskiej w sprawie akademickiego tytułu honorowego doktora honoris causa Rada Wydziału Mechanicznego uchwala, co następuje:

### § 1

Na podstawie pozytywnych recenzji i opinii senatów:

- Politechnika Rzeszowska (recenzent prof. dr hab. inż. Romana Śliwa),
- Politechnika Śląska (recenzent prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk),
- Politechnika Warszawska (recenzent prof. dr hab. Stanisław Radkowski).

### § 2


Rada Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej podjęła uchwałę o wystąpieniu do senatu Politechniki Koszalińskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi z Politechniki Koszalińskiej.

### § 3

Uchwała w drodze głosowania tajnego została przyjęta jednogłośnie.

Wyniki głosowania:

- |                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| • uprawnionych do głosowania      | 53 osoby, |
| • obecnych podczas głosowania     | 36 osób,  |
| • za przyjęciem wniosku głosowało | 36 osób,  |
| • głosów przeciwnych              | 0,        |
| • głosów wstrzymujących się       | 0,        |
| • głosów nieważnych               | 0.        |

Za Radę Wydziału  
DZIEKAN  
WYDZIAŁU MECHANICZNEGO  
  
dr hab. inż. Błażej Bałasz  
profesor PK

**UCHWAŁA Nr 18/2017**


Senatu Politechniki Koszalińskiej

z dnia 26 kwietnia 2017 r.

w sprawie nadania tytułu Doktora Honoris Causa  
Politechniki Koszalińskiej profesorowi Wojciechowi Kacalakowi

Na podstawie art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (j.t. Dz. U. z 2016 r. poz. 1842 ze zm.) i § 10 ust. 8 Statutu PK, Senat Politechniki Koszalińskiej – po wysłuchaniu opinii senatów Politechniki Rzeszowskiej, Politechniki Śląskiej oraz Politechniki Warszawskiej – nadaje Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi tytuł Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej

REKTOR

  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal



QUOD FELIX FAUSTUM

FORTUNATUMQUE SIT

W IMIENIU SPOŁECZNOŚCI AKADEMICKIEJ

MY

REKTOR I SENAT POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ

ZA WSPÓLNĄ ZGODĄ SENATÓW  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

I

POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

I

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

NADALIŚMY

PROFESOROWI ZWYCZAJNEMU NAUK TECHNICZNYCH  
DOKTOROWI HABILITOWANEMU INŻYNIEROWI

## **WOJCIECHOWI KACALAKOWI**

DOKTOROWI HONORIS CAUSA

WYBITNEMU UCZONEMU W DZIEDZINIE NAUK TECHNICZNYCH,  
W DYSCYPLINIE BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN,  
NAUCZYCIELOWI I WYCHOWAWCY KADR NAUKOWYCH I STUDENTÓW,  
ZASŁUŻONEMU DLA INTEGRACJI  
KRAJOWEGO I EUROPEJSKIEGO ŚRODOWISKA AKADEMICKIEGO

W UZNANIU OSIĄGNIĘĆ W PRACY NAUKOWEJ I DYDAKTYCZNEJ  
ORAZ ZASŁUG DLA ROZWOJU NAUKI I TECHNIKI

ZASZCZYTNY TYTUŁ, PRAWA I PRZYWILEJE Z NIM ZWIĄZANE

## **DOKTORA HONORIS CAUSA**

I W DOWÓD WIARYGODNOŚCI TEGO WYDARZENIA NINIEJSZY DYPLOM  
OPATRZONY PIECZĘCIĄ POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ WYSTAWILIŚMY

KOSZALIN, DNIA 7 CZERWCA 2017 ROKU

REKTOR

TADEUSZ BOHDAL

DZIEKAN

BŁAŻEJ BAŁASZ

PROMOTOR

LEON KUKIEŁKA



QUOD FELIX FAUSTUM

FORTUNATUMQUE SIT

NOMINE COMMUNITATIS ACADEMICAЕ

NOS

RECTOR SENATUSQUE POLYTECHNICAЕ COSLINENSIS

CUM COMMUNI CONSENSU SENATUUM  
POLYTECHNICAЕ RESOVIENSIS  
ET  
POLYTECHNICAЕ SILESIANAЕ  
ET  
POLYTECHNICAЕ VARSOVIENSIS

DEDIMUS

PROFESSORI REGULARI TECHNICARUM SCIENTIARUM  
DOCTORI HABILITATO INGENIARIO

## **ADALBERTO KACALAKOWI**

DOCTORI HONORIS CAUSA

PRAECELLENTI DOCTO TECHNICARUM SCIENTIARUM  
PRAECIPUE IN PARTE CONSTRUCTIONIS ET USUS MACHINARUM  
MAGISTRO ATQUE PRAECEPTORI DOCTORUM ET STUDENTIUM  
AD REGIONALEM NEC NON EUROPEICAM SOCIETATEM ACADEMICAM  
INTEGRANDAM MERITO

EIUS IN STUDIIS ATQUE DIDACTICA SUCCESSUS  
ATQUE AD SCIENTIAE ET TECHNICAЕ PROGRESSUM MERITA CENSENTES  
DECORUM TITULUM, IURA ET PRIVILEGIA HUIC TITULO ATTINENTIA

## **DOCTORIS HONORIS CAUSA**

ET PRO VERITATIS HUIUS EVENTUS TESTIMONIO HOC DIPLOMA  
SIGILLO POLYTECHNICAЕ COSLINENSIS CORROBORATUM EDIDIMUS

COSLINI, DIE VII MENSIS IUNII ANNO MMXVII

RECTOR

THADEUS BOHDAL

DECANUS

BLASIUŚ BAŁASZ

PROMOTOR

LEO KUKIEŁKA

Prof. dr hab. inż. Leon Kukiełka  
Promotor

## **Laudatio**

poświęcone Panu  
prof. dr. hab. inż. dr. h. c. Wojciechowi Kacalakowi

**Czczigodny Doktorze Honoris Causa!**  
**Magnificencje Rektorzy!**  
**Wysoki Senacie!**  
**Szanowni Goście!**  
**Szanowni Pracownicy Uczelni!**  
**Drodzy Studenci!**

Wśród znaczących wydarzeń w każdej uczelni szczególne miejsce zajmują akty nadania tytułów Doktora Honoris Causa. Ten najbardziej zaszczytny akademicki tytuł honorowy nadają wyższe uczelnie osobom szczególnie zasłużonym dla nauki, najczęściej związanym z samą uczelnią i jej naukowo-dydaktycznym profilem.

Politechnika Koszalińska oraz Wydział Mechaniczny w swojej 49-letniej działalności, odnotowały dynamiczny rozwój oraz były zawsze otwarte na współpracę z innymi jednostkami uczelni krajowych i zagranicznych. Nie byłoby to możliwe bez życzliwości i zrozumienia wielu pracowników różnych uczelni i instytucji badawczych oraz ogromnego poświęcenia i zaangażowania pracowników naszej Uczelni.

Na szczególne wyróżnienie w tym względzie, potwierdzone uchwałami Rady Wydziału Mechanicznego i Senatu Politechniki Koszalińskiej, zasługuje Pan Profesor dr hab. inż. Wojciech Kacalak Doktor Honoris Causa Politechniki Poznańskiej, wybitny polski uczony w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, niekwestionowany autorytet naukowy uznawany nie tylko w ośrodkach krajowych, ale i zagranicznych. Profesor Wojciech Kacalak w dużym stopniu przyczynił się do przekształcenia Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Politechnikę Koszalińską a następnie do jej dynamicznego rozwoju a także do utworzenia i rozwoju licznych jednostek organizacyjnych Uczelni.

Z poczuciem wyjątkowości zadania, jakie spoczywa na promotorze w procedurze nadania tytułu i godności Doktora Honoris Causa Politechni-

ki Koszalińskiej, mam wielki zaszczyt i honor przedstawienia prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka, Doktora Honoris Causa Politechniki Poznańskiej, jako: wybitnego uczonego, nauczyciela akademickiego, wychowawcę kadr naukowych, twórcę postępu technicznego w zakresie budowy i eksploatacji maszyn, organizatora środowiska naukowego, a szczególnie człowieka bardzo życzliwego ludziom. Działalność Profesora przyczyniła się do integracji całego środowiska i koordynacji badań naukowych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn oraz wywarła istotny wpływ na rozwój kadry naukowej.

Życie i osiągnięcia osoby tak wybitnej, jak Profesor Wojciech Kacalak, jest bardzo bogate i nie sposób poddawać Go syntezie. Jednak dla udokumentowania Jego dokonań, niezbędne jest podawanie faktów o wykształceniu, pracy jako nauczyciela akademickiego, o dorobku w kształceniu kadry, w działalności naukowo-badawczej, organizatorskiej i we współpracy z innymi ośrodkami.

Prof. dr. hab. inż. Wojciech Kacalak urodził się 30 listopada 1945 r. w Zduńskiej Woli, pod znakiem Strzelca. To jeden z największych optymistów spośród wszystkich znaków zodiaku, znajdzie pozytywne strony w każdej sytuacji, jest chodzącą reklamą pozytywnego myślenia. Ma silne poczucie sprawiedliwości, wrażliwy na krzywdę innych, bystry, odpowiedzialny, utalentowany w różnych dziedzinach. Ma silne poczucie wolności i niezależności. Należy do ludzi bez względu na wiek, wiecznie młodych duchem. Ceni prawdę i szczerść, ma filozoficzne podejście do życia, lubi podróże. Jego mottem jest racjonalność, rozum, ekspansja, inspiracja i nieograniczoność. *Wymienione cechy najtrafniej charakteryzują naszego Doktora Honoris Causa.*

Wyjątkowe uzdolnienia Profesora Wojciecha Kacalaka ujawniły się już podczas studiów na Politechnice Łódzkiej, które ukończył w 1970 r. z wyróżnieniem, zdobywając jednocześnie nagrodę „Złota Łódka” w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego. Kariera naukowa i zawodowa prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka przebiegała w niezwykłym tempie. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1974 roku w Instytucie Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Praca doktorska pt. *„Analiza błędów zarysu ślimaków Archimedeasa i gwintów trapezowych, szlifowanych ściernicami krążkowymi o zarysie prostoliniowym w przekroju osiowym”* została wyróżniona. Habilitował się w 1978 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej pt. *„Teoretyczne i doświadczalne podstawy szlifowania powierzchni śrubowych*



*ściernicami krążkowymi*” zostały wyróżnione indywidualną nagrodą Ministra. Tytuł naukowy profesora uzyskał w 1989 roku. W 1991 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego.

Życie zawodowe Profesora Wojciecha Kacalaka jest od ponad 46 lat związane z Koszalinem, początkowo jako pracownika Wyższej Szkoły Inżynierskiej a następnie Politechniki Koszalińskiej. Profesor miał i ma okazje do wypełniania wielu ważnych funkcji. Jednak wyboru do pełnienia funkcji nie traktuje jako wyróżnienia za dotychczasowe zasługi, ale jako dobrowolne przyjmowanie obowiązków, które mają być wypełniane z pożytkiem dla wszystkich, w warunkach wysokich wymagań stawianych sobie i innym, bez unikania trudnych decyzji o wyborze priorytetów. Profesor utożsamia się z postawą Alberta Einsteina, według którego *„Tylko życie poświęcone innym warte jest przeżycia”*.

W latach 1978-1981 Profesor Wojciech Kacalak był prorektorem ds. kształcenia. Od 1982 r. przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego, a następnie funkcję prorektora ds. nauki. W okresie 1993-1999 Profesor Wojciech Kacalak był rektorem uczelni. To właśnie w tym czasie uczelnia została przekształcona w Politechnikę. W tym też okresie nastąpił jej wyjątkowo dynamiczny rozwój. Powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, powstały filie Politechniki w Drezdenku, Chojnicach, Redzikowie k/Słupska i w Kołobrzegu. Utworzono Park Naukowo-Technologiczny, z licznymi Centrami, w którym powstają firmy zakładane przez studentów. W tym czasie Park Naukowo-Technologiczny był nowatorskim rozwiązaniem, bardzo pozytywnie ocenianym zarówno przez Ministerstwo jak i ekspertów zagranicznych. Rozwija się akademicki sport masowy, powstają liczne sekcje sportowe, w tym sekcja piłki ręcznej kobiet (obecnie ekstraklasa) oraz liczne formy działalności studenckiej, a także dwa bardzo nowoczesne kluby studenckie. Trzykrotnie wzrosła liczba profesorów i doktorów habilitowanych. Uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych. Liczba studentów wzrosła do poziomu zapewniającego możliwość silnego oddziaływania cywilizacyjnego w regionie i kraju. Politechnika uzyskała w tym czasie nie tylko status i znaczenie dobrej i dużej uczelni akademickiej, ale także uznanie wśród innych ośrodków naukowych. Bardzo korzystnie rozwinęła się naukowa i dydaktyczna współpraca międzynarodowa. Koszalin stał się miastem akademickim, a Politechnika rozwinęła swoją funkcję i rolę centrum rozwoju i współpracy europejskiej, krajowej i regionalnej.

W kolejnym okresie, od 1999 roku do 2005, prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego. Przez wiele lat kierował Katedrą Mechaniki Precyzyjnej, a obecnie kieruje Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, powstałą w wyniku integracji trzech katedr i zakładów. W okresie pełnienia przez prof. Wojciecha Kacalaka funkcji dziekana Wydział Mechaniczny uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego, a Wydział i Politechnika, dzięki temu, wiele dodatkowych uprawnień akademickich. Wydział Mechaniczny rozpoczął kształcenie na studiach doktoranckich. Politechnika nadała pierwsze tytuły profesora i najwyższe akademickie godności doktora honoris causa.

Profesor Wojciech Kacalak jest bardzo aktywny w wielu gremiach ogólnokrajowych. Jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, a od 2007 roku pełni funkcję zastępcy przewodniczącego Komitetu, członkiem Oddziału KBM PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki KBM PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Eksperymentalnej, Polskiego Towarzystwa Informatycznego oraz uczestnikiem komitetów kilku innych stowarzyszeń naukowych. Przez wiele lat był przewodniczącym rady naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu.

W kadencji 2012-2016 był członkiem Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów. Od 1999 był członkiem sekcji T07D w Komitecie Badań Naukowych, a w okresie 2000-2002 jej przewodniczącym. Jest ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, ekspertem Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie. Realizował wiele zadań w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej (zespół dydaktyczny MECHANIKA). Aktywnie pracował w Komisji ds. Standardów Kształcenia w Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Akademickich. Jest członkiem Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM”, członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych. Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych konferencji. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji”. Od 2003 roku jest prezesem Koszalińskiego Towarzystwa Naukowego. Przez 15 lat profesor Wojciech Kacalak pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej. Był członkiem zespołu ds. strategii rozwoju Regionu. Brał udział w wielu pracach zmierzających do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem

wielu opracowań na rzecz integracji, samodzielności i rozwoju Pomorza Środkowego. Profesor Wojciech Kacalak wielokrotnie przewodniczył komisjom konkursowym w konkursach technicznych i edukacyjnych.

Działalność Profesora Wojciecha Kacalaka wykracza poza teren Polski, gdyż Jego usilne starania doprowadziły do aktywizacji naszych pracowników do współpracy z uczelniami i instytucjami z różnych krajów. Profesor bardzo aktywnie współpracuje z ośrodkami naukowymi w Niemczech, we Francji i na Węgrzech, a wraz ze swoimi współpracownikami z ośrodkami akademickimi w Hiszpanii, Francji, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Rosji. Miarą krajowego i międzynarodowego autorytetu naukowego profesora Wojciecha Kacalaka jest także zapraszanie Go do udziału w komitetach naukowych, radach programowych krajowych i zagranicznych konferencji oraz radach naukowych instytucji naukowo-badawczych oraz recenzowania prac naukowych. Wiele efektów naukowych oraz wdrożeniowych jest wynikiem współpracy z zagranicznymi organizacjami przemysłowymi oraz licznymi zakładami i centrami badawczymi krajowego przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urzędzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych. Szczególnie owocna jest współpraca z prof. dr hab. inż. Thomasem G. Mathia, dyrektorem naukowym zespołów „Surface Topography & Abrasion”, in Laboratory of Tribology and Dynamics of Systems, rektorem Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Étienne, której efektem jest wiele wspólnych prac naukowych i publikacji. Wiele publikacji powstało również we współpracy z zespołami, którymi kierował prof. dr hab. inż. Pierre Joseph Marché z Ecole Supérieure Nationale d'Ingénieurs de Bourges. Profesor Wojciech Kacalak był również recenzentem prac doktorskich realizowanych w tym ośrodku. Związki z organizacjami przemysłowymi w Niemczech rozwijane były również w ramach projektu DAAD obejmującego staże w zakładach grupy Volkswagena w Wolfsburgu, w zakładach Opel w Bochum, w zakładach firmy Mercedes-Benz w Stuttgarcie oraz BMW Group Research and Technology w Monachium.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak współpracuje również z licznymi zespołami krajowymi, a zwłaszcza kierowanymi przez profesorów: Jana Kaczmarka z PAN, Krzysztofa Marchelka i Stefana Berczyńskiego, Mirosława Pajora, Andrzeja Błędzkiego z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu w Szczecinie, Józefa Gawlika, Wojciecha Zębali, Adama Ruszaja, Czesława Niżankowskiego z Politechniki Krakowskiej, Adama Hamrola, Jana Żurka, Mieczysława Kawalca, Romana Stańka, Michała Wieczorowskiego z Politechniki Poznańskiej, Bogdana Kruszyńskiego, Andrzeja Gołąbczaka, Tadeusza Marciniaka, Mirosława Urbaniaka

z Politechniki Łódzkiej, Edwarda Chlebusa, Henryka Żebrowskiego, Jana Kocha z Politechniki Wrocławskiej, Mieczysława Marciniaka i Lucjana Dąbrowskiego z Politechniki Warszawskiej, Kazimierza Oczosia, Tadeusza Markowskiego, Andrzeja Kawalca, Janusza Porzyckiego z Politechniki Rzeszowskiej, Stanisława Adamczaka z Politechniki Świętokrzyskiej, Włodzimierza Przybylskiego, Adama Barylskiego z Politechniki Gdańskiej, Jana Kosmola z Politechniki Śląskiej, a także z zespołami badawczymi Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania.

Dziedziną prac naukowych prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka jest budowa i eksploatacja maszyn. Specjalnością naukową jest mechanika precyzyjna i technologia maszyn, diagnostyka, optymalizacja i automatyzacja procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ścierniej, zwłaszcza materiałów trudno obrabialnych, a także budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych. Znane są osiągnięcia szkoły naukowej prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka w zakresie teoretycznych i doświadczalnych podstaw modelowania procesów obróbki, komunikacji operatora i urządzeń technologicznych, kształtowania topografii powierzchni i właściwości warstwy wierzchniej, a także zastosowań sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn, w tym inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych. W latach 90 -tych prof. Wojciech Kacalak skoncentrował swoje zainteresowania naukowe na teoretycznych i doświadczalnych podstawach modelowania procesów obróbki, kumulacji skutków wielkiej liczby zdarzeń losowych w procesach kształtowania topografii powierzchni podczas obróbki ścierniej, a także zastosowań sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn, w tym przede wszystkim zastosowań sztucznych sieci neuronowych, metod i zastosowań teorii zbiorów rozmytych oraz logiki rozmytej, a także hybrydowych, inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych.

Osiągnięcia naukowe Profesora Wojciecha Kacalaka uzyskały liczne wyróżnienia nagrodami Ministra Edukacji Narodowej oraz w konkursach krajowych lub międzynarodowych jako prace oryginalne, o dużym znaczeniu oraz potencjale innowacyjnym i znaczącym zasięgiem publikacji zagranicznych. Profesor jest współautorem 75 raportów i kompleksowych opracowań naukowych, a do najważniejszych należą:

- 1) Opracowanie nowych metod w pełni zautomatyzowanego, precyzyjnego szlifowania elementów z materiałów trudno obrabialnych, stosowanych w przemyśle elektronicznym i obronnym.

- 2) Opracowanie podstaw budowy wielu odmian zautomatyzowanych urządzeń do szlifowania elementów ceramicznych (wdrożone do produkcji masowej między innymi wiele automatycznych urządzeń do szlifowania ceramicznych kondensatorów odpornych na zakłócenia, piezoceramicznych zapłonników do zastosowań specjalnych, płytek ceramicznych do zaworów).
- 3) Opracowanie podstaw optymalizacji procesów szlifowania i wygładzania z uwzględnieniem probabilistycznego charakteru procesów i stochastycznie zmiennych warunków realizacji.
- 4) Opracowanie niekonwencjonalnych narzędzi ściernych o budowie warstwowej i pakietowej z agregatami ściernymi oraz strefowo zróżnicowanymi właściwościami, w tym hybrydowych narzędzi ściernych do obróbki stopów metali lekkich.
- 5) Opracowanie nowych metod kontroli kształtu stożkopochodnych powierzchni śrubowych.
- 6) Opracowanie teoretycznych i doświadczalnych podstaw konstrukcji i technologii precyzyjnych, bezluzowych przekładni ślimakowych (kilkanaście rozwiązań).
- 7) Opracowanie podstaw oceny właściwości narzędzi ściernych, z uwzględnieniem probabilistycznych cech ich budowy, zużywania się i stochastycznie zmiennych warunków ich eksploatacji.
- 8) Opracowanie podstaw nowych metod intensyfikacji procesów szlifowania trudno obrabialnych materiałów ceramicznych.
- 9) Opracowanie nowych głowic do mikrowygładzania powierzchni otworów foliowymi taśmami ściernymi.
- 10) Opracowanie unikatowego stanowiska badawczego do badań procesu mikroskrawania w próżni, w różnych atmosferach i w bardzo niskich temperaturach.
- 11) Opracowanie kompleksowej charakterystyki procesu mikroskrawania materiałów trudno obrabialnych, z określeniem wpływu ekstremalnych warunków pracy ziarna, a zwłaszcza badania procesów mikroskrawania w niskich temperaturach (do 78 K) oraz w próżni.
- 12) Opracowanie podstaw optymalizacji cykli zautomatyzowanej obróbki wielonarzędziowej z uwzględnieniem zróżnicowanej wydajności szlifowania i zmian stanu czynnych powierzchni wszystkich ściernic w układzie technologicznym,

- 13) Opracowanie zautomatyzowanego stanowiska do badań naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotów po obróbce ścierniej.
- 14) Opracowanie nowej, efektywnej odmiany algorytmu konkurencyjnego uczenia sztucznych sieci neuronowych bez nadzorowania.
- 15) Opracowanie nowych inteligentnych systemów minimalizacji niedokładności i kompensacji zakłóceń w procesach precyzyjnego szlifowania.
- 16) Opracowanie nowych inteligentnych systemów diagnostyki w procesach precyzyjnego szlifowania.
- 17) Opracowanie inteligentnego systemu minimalizacji odkształceń cieplnych i kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie precyzyjnego szlifowania długich powierzchni śrubowych.
- 18) Opracowanie inteligentnego systemu minimalizacji odkształceń mechanicznych i wyrównywania obciążeń przedmiotów w układzie obróbkowym z wieloma ściernicami diamentowymi oraz kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie zautomatyzowanego precyzyjnego szlifowania małych elementów ceramicznych.
- 19) Opracowanie podstaw tworzenia zbiorów parametrów do oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych spełniających wymagania komplementarności, wysokiej zdolności klasyfikacyjnej i dużej przydatności technologicznej.
- 20) Opracowanie pakietu do modelowania i symulacji procesów obróbki ścierniej z uwzględnieniem zaawansowanych metod modelowania kształtu i położenia ziaren ściernych, probabilistycznych cech ich zużycia i wykruszeń, stereometrii śladów skrawania i wpływów oraz kinematyki, a także skutków różnorodnych zakłóceń.
- 21) Opracowanie podstaw budowy interaktywnych systemów wspomagania projektowania z zastosowaniem symbolicznego zapisu cech projektowanych elementów i zautomatyzowanym tworzeniem graficznej reprezentacji projektu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i metod twórczego rozwiązywania problemów.
- 22) Opracowanie innowacyjnej metody cynkowania z wykorzystaniem specjalnych generatorów wibracji.
- 23) Opracowanie metod modelowania topografii powierzchni z zastosowaniem randomizowanego, asymetrycznego kumulowania składowych o różnym wymiarze fraktalnym.

- 24) Opracowanie metod podwyższania efektywności chłodzenia w procesie szlifowania z zastosowaniem spiralnych kanałów w obudowie narzędzi.
- 25) Opracowanie nowych metod mikro- i nanoszlifowania z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnej powierzchni czynnej i długiej strefie obróbki.
- 26) Opracowanie wielu obrabiarek i urządzeń wdrożonych do produkcji: nowych gładzarek, szlifierek do zaworów i głowic oraz bloków silników spalinowych, sprężarek, pomp do hydrauliki siłowej i hydraulicznych urządzeń ratowniczych.

Ważnym zastosowaniem wiedzy Profesora jest opracowanie, unikatowego w skali międzynarodowej, pakietu do modelowania i symulacji procesów obróbki ścierniej, z uwzględnieniem zaawansowanych metod modelowania kształtu i położenia ziaren ściernych, probabilistycznych cech ich zużycia i wykruszeń oraz skutków złożonych mechanizmów kumulacji wielkich zbiorów zdarzeń losowych w postaci oddziaływań ziaren ściernych na warstwę wierzchnią obrabianego przedmiotu.

Najnowsze prace Profesora Wojciecha Kacalaka obejmują:

- tworzenie podstaw budowy interaktywnych systemów wspomagania projektowania, z zastosowaniem symbolicznego zapisu cech projektowanych elementów oraz zautomatyzowanego tworzenia graficznej reprezentacji projektu, z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i metod twórczego rozwiązywania problemów,
- badania nad nowymi generacjami narzędzi ściernych o innowacyjnych strukturach i wbudowanych komponentach diagnostycznych.

Profesor Wojciech Kacalak ma ogromny dorobek naukowy, który obejmuje ponad 400 pozycji, w tym liczne monografie (w tym 3 monografie autorskie) oraz ponad 90 publikacji zagranicznych w czasopismach i wydawnictwach o światowym zasięgu. Przykładowe z nich to:

- The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Journal of Mechanisms and Robotics,
- Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Hermes, Francja,
- Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. ASME Press, USA,
- SCANNING,
- VDI Berichte - Bearbeitung neuer Werkstoffe, VDI Verlag, Düsseldorf, Niemcy,

- Werkstatt und Betrieb - Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung, Carl Hanser Verlag, Niemcy,
- Industrie Diamanten Rundschau - IDR Düsseldorf, Niemcy,
- Zeitschrift für Industrielle Fertigung - Spanende Fertigung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Tokio,
- WT Produktion und Management, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Londyn, Paryż, Tokio,
- Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik,
- Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York,
- Series on Advances in Soft Computing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York,
- Advances in Soft Computing, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York,
- Elsevier Knowledge Based Systems,
- IEEE Intelligent Systems Magazine,
- Springer Lectures Notes in Artificial Intelligence, Series on Intelligent Engineering Systems & ANN,
- Engineering Mechanics International Journal for Theoretical and Applied Mechanics.

Profesor Wojciech Kacalak jest wspaniałym dydaktykiem. Jest autorem ponad 150 aplikacji w postaci programów komputerowych dla celów naukowych i dydaktycznych, ponad 200 multimedialnych prezentacji dla celów naukowych i dydaktycznych oraz 4 skryptów. Opracowania te wzbogacają proces kształcenia studentów i inżynierów o podstawy kreatywności oraz metody innowacyjnego rozwiązywania różnorodnych problemów.

Profesor Wojciech Kacalak wychował wiele pokoleń Absolwentów, magistrów inżynierów i inżynierów, z których duża część osiągnęła znaczące sukcesy zawodowe. Wiele prac dyplomowych zostało wyróżnionych w konkursach krajowych i lokalnych. Za osiągnięcia w pracy dydaktycznej Profesor był wielokrotnie wyróżniany tytułem najlepszego dydaktyka.

Przedstawione wcześniej formy działalności naukowej i dydaktyczno – wychowawczej wywarły istotny wpływ na ilościowy i jakościowy rozwój kadry naukowej w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Łącznie profesor Wojciech Kacalak wypromował 17 doktorów, w tym 14 wyróżnieniem, z których siedmiu uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego. Bardzo dużym osiągnięciem Profesora jest utworzenie szkoły naukowej



w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ścierniej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. W trzech zespołach, które zostały stworzone i ukształtowane przez prof. Wojciecha Kacalaka, pracuje ponad 30 pracowników naukowych i doktorantów, w tym 3 profesorów, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów.

Poziom pracy naukowej oraz otwartość Profesora Wojciecha Kacalaka na innych sprawiają, że jest często zapraszany do recenzowania i opinowania dorobku naukowego. Profesor jest autorem wielu opinii dotyczących nadania tytułów i godności doktora honoris causa, ponad 90 recenzji i opinii wniosków o nadanie tytułu naukowego, stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora, w tym recenzji w przewodach zagranicznych, ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów badawczych (KBN) MNiSW.

Niezwykle ważnym dla całego środowiska naukowego obszarem działalności Profesora Wojciecha Kacalaka jest Jego członkostwo w Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów w kadencji 2012-2016. W tym okresie, na zlecenie Centralnej Komisji, Profesor kierował wieloma postępowaniami oraz wykonywał liczne recenzje dorobku w postępowaniach habilitacyjnych i opinie wniosków na tytuł naukowy profesora.

Profesor Wojciech Kacalak był opiniodawcą lub autorem uzasadnienia wniosków w postępowaniu o nadanie tytułów i godności doktora honoris causa wielu wybitnym uczonym polskim i zagranicznym – profesorom: Jerzemu Wojciechowi Doerfferowi z Politechniki Gdańskiej, Henrykowi Hawrylakowi z Politechniki Wrocławskiej, Janowi Kaczmarkowi z PAN, Janowi Kochowi z Politechniki Wrocławskiej, Krzysztofowi Marchelkowi z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz profesorowi Pierre Joseph Marché, rektorowi École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Bourges we Francji.

Nowe odkrycia naukowe i nowe procesy technologiczne przyczyniają się do rozwoju cywilizacji dopiero wtedy, gdy zostaną opublikowane, udostępnione i mają szansę zostać wykorzystane. Profesor Wojciech Kacalak zawsze przykładał i przykłada duże znaczenie do wdrażania wyników prac naukowych do przemysłu. Profesor jest autorem bądź współautorem 81 patentów, z których ponad połowa została wdrożona w budowie narzędzi, przekładni, zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego. Ponadto Profesor Wojciech Kacalak jest współautorem kilkunastu zgłoszeń patentowych.

Należy podkreślić, że innowacyjne rozwiązania projektowe oraz patenty profesora Wojciecha Kacalaka są często cytowane w opisach patentowych

urzędów patentowych w Stanach Zjednoczonych i Niemczech. Warto także wspomnieć, że Profesor jest współautorem 3 norm, opublikowanych przez PKN dotyczących narzędzi do obróbki ścierniej i obróbki wiórowej kół zębatych. Profesor kierował 16 projektami badawczymi KBN, NCBiR, NCN oraz wieloma projektami przemysłowymi, które są ważnym elementem bogatego dorobku w zakresie innowacji i ich zastosowań. W poszukiwaniu harmonii teorii i jej zastosowań prof. Wojciech Kacalak dąży do tego, by opracowane podstawy naukowe unikatowych rozwiązań i wynikające z nich innowacje, tworzyły nowe kierunki rozwoju nauki.

Wiele efektów naukowych oraz wdrożeniowych jest efektem współpracy z organizacjami przemysłowymi między innymi: Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski K.G. Austria, GHW Grote & Hartmann GmbH w Wuppertalu, Niemcy, Zakład Wytwarzania Artykułów Ściernych ANDRE ABRASIVE ARTICLES Robert Andre, Saint-Gobain Abrasives i firmą NORTON, Holdingiem ZREMB Gorzów, Zakładami Ceramiki Radiowej CERAD w Warszawie, a ponadto z licznymi zakładami i centrami badawczymi przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urządzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych.

Profesor Wojciech Kacalak był Autorem opracowań lub kierownikiem zespołów, które opracowały kilkanaście ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych. Do najważniejszych można zaliczyć:

- 1) Zastosowania w przemyśle elektronicznym nowych metod precyzyjnego, zautomatyzowanego szlifowania małych elementów z materiałów trudno obrabialnych.
- 2) Opracowanie i wdrożenie wielu generacji automatycznych linii do precyzyjnej obróbki ceramiki i piezoceramiki.
- 3) Opracowanie i wdrożenie hydraulicznej gładzarki do cylindrów z bezstopniową regulacją parametrów kinematycznych i nacisków roboczych.
- 4) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu i wdrożeniu rodziny zasilaczy elektrohydraulicznych o ciśnieniu 63 MPa.
- 5) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu szlifierki do głowic i bloków silników spalinowych.
- 6) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu szlifierki do zaworów.
- 7) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu pomp hydraulicznych o ciśnieniu do 63 MPa.

- 8) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu specjalnych pras i rozpieraczy hydraulicznych.
- 9) Współautorstwo i współpraca w opracowaniu sprężarki z wirującym tłokiem.
- 10) Współautorstwo w opracowaniu nowych metod i głowic do mikro-wygładzania otworów z zastosowaniem foliowych taśm ściernych.
- 11) Opracowanie konstrukcji wielu odmian przekładni ślimakowych z regulacją luzu bocznego, do zastosowań w precyzyjnych mechanizmach i napędach.
- 12) Opracowanie i zastosowanie w badaniach naukowych wielu kompleksowych stanowisk badawczych.
- 13) Opracowanie i zastosowanie w pracach naukowych wielu programów obliczeniowych i narzędziowych napisanych w języku C/C++ oraz w środowisku Matlab.

Profesor Wojciech Kacalak za swoje wybitne dokonania naukowe, dydaktyczne i organizatorskie otrzymał liczne odznaczenia, honorowe wyróżnienia i nagrody. Do ważniejszych wyróżnień należą:

- Złoty Medal Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych,
- pięć nagród Ministra „Za osiągnięcia w działalności naukowej”, w tym dwie nagrody stopnia II,
- dwie nagrody Ministra „Za osiągnięcia w działalności dydaktycznej,
- pięć nagród Ministra „Za osiągnięcia organizacyjne związane z rozwojem Politechniki Koszalińskiej”.

Do wyróżnień za osiągnięcia w zakresie innowacji i wdrożeń należą:

- tytuł I wicemistrza Techniki NOT w krajowym konkursie „Za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki”,
- Nagroda Prezydenta Miasta Koszalina „Za osiągnięcia w rozwoju regionu i miasta”,
- wyróżnienie „Menadżer Pomorza Środkowego”,
- trzykrotne wyróżnienie „Za wybitne osiągnięcia wynalazcze” - Złota Odznaka „DEDAL”,
- dziesięć nagród w regionalnych konkursach NOT w zakresie wdrożeń nowej techniki, dotyczących nowych metod precyzyjnego szlifowania elementów ceramicznych, automatycznych urządzeń technologicznych, nowych narzędzi oraz metod pomiarowych i systemów kontroli jakości,

- wyróżnienie tytułem „Człowiek Roku” na Pomorzu Środkowym,
- Senat Politechniki Poznańskiej po zasięgnięciu opinii senatów Politechniki Krakowskiej, Politechniki Łódzkiej oraz Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, uchwałą z dnia 28.04.2015 nadał profesorowi Wojciechowi Kacalakowi tytuł doktora honoris causa. Uroczystość nadania nastąpiła w dniu 21.10.2015.

Duże znaczenie mają również wyróżnienia w konkursach studenckich na najlepszego dydaktyka.

### **Magnificencjo Rektorze! Wysoki Senacie!**

Przedstawione przeze mnie dokonania profesora dr. hab. inż. dr. h.c. Wojciecha Kacalaka pozwalają uznać Go za wzór uczonego, inżyniera, nauczyciela i wychowawcy. We wszystkich przedstawionych obszarach działalności dorobek Profesora jest bogaty i wielostronny, świadczy o szerokich horyzontach, ścisłych związkach z potrzebami przemysłu, wielkiej pracowitości oraz życzliwości dla ludzi. Uzasadnia dokonany wybór, jako że wszech miar trafny, bowiem spełnione zostają w pełni najwyższe wymogi merytoryczne i formalne, podyktowane tradycją akademicką dla tej wysokiej godności.

Przez wiele lat miałem przyjemność współpracować z Panem Profesorem Wojciechem Kacalakiem, uczyć się metod zarządzania uczelnią i metodologii pracy naukowej oraz obserwować Jego dokonania a także wspólnie realizować nowatorskie idee Profesora. Poznałem Profesora nie tylko jako rzetelnego, rzeczowego naukowca o wysokim poziomie etyki zawodowej, ale również jako człowieka otwartego, serdecznego i życzliwego dla innych. Z tym większą pewnością mogę potwierdzić, że Profesor Wojciech Kacalak w pełni zasługuje na wyróżnienie tytułem doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej. Na zakończenie, chciałbym wspomnieć o jednym zdarzeniu, które miało miejsce na uroczystości z okazji zmiany statusu uczelni. Na pytanie zadane przez jednego z Profesorów „*Co trzeba zrobić żeby osiągnąć taki sukces?*” odpowiedź Profesora Wojciecha Kacalaka brzmiała: „*Po prostu trzeba zrobić wszystko!*” Ta odpowiedź świadczy o perfekcyjnym podejściu Profesora do rozwiązywanych problemów.

Profesor Wojciech Kacalak zawsze był postrzegany jako człowiek obdarzony wyjątkowym talentem, wyróżniający się przy tym nieprzecięt-

nym, błyskotliwym umysłem, bardzo pracowity, obdarzony pasją do szukania innowacyjnych rozwiązań, posiadający umiejętność przewidywania skutków działalności w przyszłości oraz obdarzony poczuciem humoru i życzliwym stosunkiem do innych. Dzięki temu w towarzystwie Profesora każdy czuje się bardzo dobrze. Koncentracja tych pozytywnych cech, w połączeniu z perfekcyjnym podejściem do rozwiązywanych problemów pozwoliły wznieść się na wyżyny ludzkich możliwości.

Wybitne osiągnięcia Profesora Wojciecha Kacalaka a zwłaszcza Jego nowatorskie prace sprawiają, że Profesor cieszy się uznaniem i autorytetem całego środowiska związanego z szeroko rozumianą budową maszyn. Profesor Wojciech Kacalak od wielu lat jest uważany w środowisku naukowym osób reprezentujących dyscyplinę „budowa i eksploatacja maszyn” za mentora. W Politechnice Koszalińskiej Profesor cieszy się ogromnym autorytetem i jest niekwestionowanym liderem w reprezentowanej dyscyplinie. Trzeba podkreślić, że zawsze służył i służy pomocą wszystkim pracownikom Wydziału Mechanicznego i Uczelni.

Wyróżniając, tą najwyższą godnością akademicką DOKTORA HONORIS CAUSA Politechniki Koszalińskiej, pragniemy wyrazić Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi wdzięczność i uznanie za znaczący wkład w rozwój polskiej nauki w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, nauczycielowi i wychowawcy kadr naukowych i studentów, zasłużonemu dla rozwoju i integracji krajowego i europejskiego środowiska akademickiego oraz w uznaniu osiągnięć w pracy naukowej i dydaktycznej a także zasług dla rozwoju nauki i techniki. Poprzez ten akt zapisujemy Profesora dr. hab. inż. dr. h. c. Wojciecha Kacalaka na trwałe w historii naszej Uczelni i nauki polskiej.

Zatem zwracam się do Jego Magnificencji prof. dr. hab. inż. Tadeusza Bohdala z prośbą o przeprowadzenie promocji i nadanie w obecności wszystkich zgromadzonych profesorowi Wojciechowi Kacalakowi godności Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej.

**Uchwała nr 57/2017**  
**Senatu Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza**  
**z dnia 20 kwietnia 2017 r.**

w sprawie poparcia wniosku o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa  
**Politechniki Koszalińskiej prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi**

Na podstawie art. 16 ustawy z dnia z 27 lipca 2005 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2016 r., poz. 1842 z późn. zm.) oraz §16 ust. 12 Statutu PRz z dnia 25 czerwca 2015 r. z późn. zm. Senat Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza uchwała, co następuje:

**§1**

Senat Politechniki Rzeszowskiej, po zapoznaniu się z recenzją dorobku naukowego, osiągnięć i zasług Kandydata opracowaną przez prof. dr hab. inż. Romanę Śliwę, postanawia poprzeć wniosek o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi.

**§2**

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

REKTOR



prof. dr hab. inż. Tadeusz Markowski

Prof. dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa  
Politechnika Rzeszowska

## OPINIA

**o całokształcie dorobku naukowego, osiągnięć i zasług Profesora  
zw. dr. hab. inż. Wojciecha KACALAKA przygotowana w imieniu  
Senatu Politechniki Rzeszowskiej na podstawie wniosku Wydziału  
Mechanicznego PK o przyznanie Doktoratu Honoris Causa  
Politechniki Koszalińskiej**

Podstawa opracowania opinii: pismo Rektora Politechniki Koszalińskiej nr R-103/01/2017 z dnia 30 stycznia 2017 r.

Prof. Wojciech Kacalak należy do grona uczonych, których niekwestionowane wybitne osiągnięcia pozostawiają trwałą ślad w danej dziedzinie nauki i w środowisku naukowym.

Aktywność Profesora W. Kacalaka na wszystkich polach: naukowym, dydaktycznym i organizacyjnym zasługuje na szczególne uznanie i wyróżnienie, stąd wniosek Wydziału Mechanicznego PK o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa, najwyższej godności tej Uczelni, uważam za nadzwyczaj uzasadniony. Powierzenie mi opracowania opinii wspierającej ten wniosek w oparciu o tak wybitne osiągnięcia profesora jest dla mnie szczególnym wyróżnieniem.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest profesorem zwyczajnym w Politechnice Koszalińskiej, której pracownikiem jest od 46 lat. Studia w Politechnice Łódzkiej ukończył w 1970 roku z wyróżnieniem. Otrzymał też nagrodę w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego („Złota Łódka”). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Instytucie Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej w 1974 roku a jego praca doktorska została wyróżniona. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1978 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej zostały wyróżnione indywidualną nagrodą Ministra. Tytuł naukowy profesora uzyskał w 1989 roku a w 1991 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego.

W latach 1978-1981 był prorektorem ds. kształcenia w Politechnice Koszalińskiej. Od 1982 roku przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego, następnie pełnił funkcję prorektora ds. nauki a w okresie 1993-1999 pełnił funkcję rektora tej Uczelni.

Obecnie jest kierownikiem Katedry Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych oraz kierownikiem studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym.

Najważniejsze osiągnięcia Profesora pragnę przedstawić w kilku częściach obrazujących ich zakres i znaczenie.

### **Osiągnięcia badawcze**

Dziedziną prac naukowych prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka jest budowa i eksploatacja maszyn a specjalnością naukową jest mechanika precyzyjna i technologia maszyn, diagnostyka, optymalizacja i automatyzacja procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ścierniej, w tym zwłaszcza materiałów trudno obrabialnych. Zakres realizowanych prac badawczych dotyczy również budowy i eksploatacji precyzyjnych urządzeń technologicznych.

Znaczna część prac naukowych prof. Wojciecha Kacalaka dotyczy teoretycznych i doświadczalnych podstaw modelowania procesów obróbki, kumulacji skutków wielkiej liczby zdarzeń losowych w procesach kształtowania topografii powierzchni podczas obróbki ścierniej a także zastosowań sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn, metod i zastosowań teorii zbiorów rozmytych oraz logiki rozmytej, a także hybrydowych, inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych.

Profesor jest autorem lub i współautorem ponad 400 publikacji naukowych, w tym 3 monografii autorskich, ponad 90 publikacji zagranicznych w czasopiśmie i wydawnictwach o światowym zasięgu. Kierował 16 projektami badawczymi KBN, NCBR, NCN oraz wieloma projektami przemysłowymi co przyczyniło się do opracowania wielu innowacyjnych rozwiązań w oparciu o wyniki realizowanych badań naukowych. Był opiniodawcą w 6 postępowaniach o nadanie tytułów i godności doktora honoris causa wielu wybitnym uczonym polskim i zagranicznym. Jest autorem ponad 90 recenzji i opinii wniosków o nadanie tytułu naukowego, nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora, również w przewodach zagranicznych. Do osiągnięć świadczących o wysokich kompetencjach Kandydata należy również zaliczyć opracowanie ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów badawczych (KBN) MNiSZW. Jest współautorem



75 raportów i kompleksowych opracowań naukowych oraz autorem lub współautorem 81 patentów a ponad 50% opatentowanych rozwiązań zostało wykorzystanych w budowie narzędzi, przekładni, zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego. Ponadto był kierownikiem zespołu dziesięciu ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych oraz współautorem trzech Polskich Norm dotyczących nowych metod badań narzędzi do obróbki ściernej i narzędzi do obróbki uzębień.

Ponadto należy zwrócić uwagę na efekty prac i wymierne osiągnięcia zespołu — szkoły Profesora Wojciecha Kacalaka, który wykształcił szkołę naukową w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ściernej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. W trzech zespołach, które zostały stworzone i ukształtowane przez Profesora, pracuje ponad 30 pracowników naukowych i doktorantów, w tym 3 profesorów, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak współpracuje również z licznymi zespołami krajowymi, a zwłaszcza z zespołami kierowanymi przez profesorów: Jana Kaczmarka z PAN, Krzysztofa Marchelka i Stefana Berczyńskiego, Mirosława Pajora, Andrzeja Błędzkiego z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu w Szczecinie, Józefa Gawlika, Wojciecha Zębali, Adama Ruszaja, Czesława Niżankowskiego z Politechniki Krakowskiej, Adama Hamrola, Jana Zurka, Mieczysława Kawalca<sup>+</sup>, Romana Stańka, Michała Wieczorowskiego z Politechniki Poznańskiej, Bogdana Kruszyńskiego, Andrzeja Gołąbczaka, Tadeusza Marciniaka, Mirosława Urbaniaka z Politechniki Łódzkiej, Edwarda Chlebusa, Henryka Żebrowskiego, Jana Kocha z Politechniki Wrocławskiej, Mieczysława Marciniaka i Lucjana Dąbrowskiego z Politechniki Warszawskiej, Stanisława Adamczaka z Politechniki Świętokrzyskiej, Włodzimierza Przybylskiego, Adama Barylskiego z Politechniki Gdańskiej, Jana Kosmola z Politechniki Śląskiej, a także Kazimierza Oczosia<sup>+</sup>, Andrzeja Kawalca, Janusza Porzyckiego i Tadeusza Markowskiego z Politechniki Rzeszowskiej.

Wśród najważniejszych osiągnięć naukowych z udziałem Profesora Kacalaka należy wymienić:

- opracowanie nowych metod zautomatyzowanego, precyzyjnego szlifowania elementów z materiałów trudno obrabialnych, stosowanych w przemyśle elektronicznym i obronnym,
- opracowanie podstaw budowy urządzeń do szlifowania elementów ceramicznych w warunkach produkcji masowej, między innymi cera-

micznych kondensatorów odpornych na zakłócenia oraz piezoceramicznych zapłonników do zastosowań specjalnych,

- opracowanie podstaw optymalizacji procesów szlifowania i wygładzania z uwzględnieniem probabilistycznego charakteru procesów i stochastycznie zmiennych warunków realizacji,
- opracowanie nowych narzędzi ściernych o budowie warstwowej z agregatami ściernymi i strefowo zróżnicowanymi właściwościami oraz opracowanie nowych narzędzi do mikrowygładzania ściernego.

Trzeba też zwrócić uwagę na duże znaczenie poznawcze realizowanych prace dotyczących:

- teoretycznych i doświadczalnych podstaw konstrukcji i technologii precyzyjnych, bezluzowych przekładni ślimakowych do zastosowań w precyzyjnych napędach i mikroinżynierii,
- podstaw precyzyjnego szlifowania powierzchni śrubowych i zaawansowanych metod kompensacji skutków odkształceń mechanicznych i cieplnych w układzie technologicznym, oraz kompleksowej charakterystyki procesu mikroskrawania, z określeniem wpływu ekstremalnych warunków a zwłaszcza badania tych procesów w niskich temperaturach (do 78 K) oraz w próżni.

Kandydat posiada też istotne osiągnięcia w zakresie charakteryzacji topografii powierzchni (charakterystyki stereometrycznej) polegającej na:

- opracowaniu podstaw oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych, z wykorzystaniem zbiorów parametrów, spełniających wymóg komplementarności, posiadających wysoką zdolność klasyfikacyjną i dużą przydatność technologiczną,
- oraz opracowaniu metod modelowania topografii powierzchni z zastosowaniem randomizowanego, asymetrycznego kumulowania składowych o różnym wymiarze fraktalnym.

Ważnym zastosowaniem wiedzy Profesora jest stworzenie unikatowego w skali międzynarodowej pakietu do modelowania i symulacji procesów obróbki ściernej, z uwzględnieniem zaawansowanych metod modelowania kształtu i położenia ziaren ściernych, probabilistycznych cech ich zużycia i wykruszeń oraz skutków złożonych mechanizmów kumulacji wielkich zbiorów zdarzeń losowych w postaci oddziaływań ziaren ściernych na warstwę wierzchnią obrabianego przedmiotu.

Najnowsze prace prof. W. Kacalaka dotyczą tworzenia podstaw budowy interaktywnych systemów wspomaganie projektowania, z zastosowaniem symbolicznego zapisu cech projektowanych elementów oraz zautomaty-

zwanego tworzenia graficznej reprezentacji projektu, z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i metod twórczego rozwiązywania problemów oraz badań nad nowymi generacjami narzędzi ściernych o innowacyjnych strukturach i wbudowanych komponentach diagnostycznych.

O znaczeniu osiągnięć naukowych Profesora i jego szkoły mogą świadczyć m.in. cytowania w znaczących czasopismach światowych w tym np.: The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Journal of Mechanisms and Robotics, Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Hermes (Francja), Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. ASME Press (USA), SCANNING, VDI Berichte - Bearbeitung neuer Werkstoffe, VDI Verlag, Dusseldorf, (Niemcy), Werkstatt und Betrieb - Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung, Carl Hanser Verlag (Niemcy), Industrie Diamanten Rundschau - IDR Dusseldorf (Niemcy), Zeitschrift für Industrielle Fertigung - Spanende Fertigung, Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Tokio ), WT Produktion und Management, Springer-Verlag, (Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Londyn, Paryż, Tokio), Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, New York), Series on Advances in Soft Computing, Springer-Verlag (Berlin Heidelberg, New York), Advances in Soft Computing, Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, New York), Elsevier Knowledge Based Systems, IEEE Intelligent Systems Magazine, Springer Lectures Notes in Artificial Intelligence, Series on Intelligent Engineering Systems & ANN, czy Engineering Mechanics International Journal for Theoretical and Applied Mechanics.

Ponadto należy zwrócić uwagę, że innowacyjne rozwiązania projektowe oraz patenty są często cytowane w opisach patentowych urzędów patentowych w Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

### **Osiągnięcia w zakresie dydaktyki i rozwoju kadry naukowej**

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest autorem wielu opracowań dydaktycznych służących wzbogacaniu procesu kształcenia studentów i inżynierów o podstawy kreatywności oraz metody innowacyjnego rozwiązywania różnorodnych problemów jako coraz bardziej docenianej umiejętności w budowaniu kariery zawodowej, osiąganiu sukcesów zawodowych i efektywnej kreatywności współpracowników.

Realizował wiele zadań w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej (zespół dydaktyczny MECHANIKA). Aktywnie praco-

wał w Komisji ds. Standardów Kształcenia w Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Akademickich.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był promotorem 17 doktorów, wśród nich 14 prac doktorskich zostało wyróżnionych. 7 pracowników zespołów kierowanych przez Profesora uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego.

### **Osiągnięcia w zakresie organizacji i popularyzacji nauki**

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn Oddziału PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki Komitetu Budowy Maszyn PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Polskiego Towarzystwa Informatycznego oraz uczestnikiem komitetów kilku innych stowarzyszeń naukowych. Przez wiele lat był przewodniczącym Rady Naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu.

Od 2007 roku jest zastępcą przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak od 2003 r. jest prezesem Koszalińskiego Towarzystwa Naukowego.

Uhonorowaniem osiągnięć i kompetencji Profesora przez środowisko naukowe jest wybór jego osoby na członka Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów, w kadencji od 2012 do 2016 r.

Od 1999 był członkiem sekcji T07D Komitetu Badań Naukowych a następnie od 2000 do 2002 r., jej przewodniczącym. Jest uznanym ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie.

Jest członkiem Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM“ oraz członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych konferencji. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji”.

Wymierne efekty działalności organizacyjnej Kandydata są związane m.in. z pełnieniem ważnych funkcji w uczelni. W okresie 1993-1999 Prof. W. Kacalak pełnił funkcję rektora. W 1996 roku Uczelnia została przekształcona w Politechnikę Koszalińską. W latach 1993-1999 nastąpił

bardzo istotny rozwój Uczelni. Powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, wielokrotnie wzrosła liczba studentów oraz profesorów i doktorów habilitowanych, uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych. Politechnika uzyskała status oraz znaczenie dobrej i dużej uczelni akademickiej, uznanie wśród innych ośrodków naukowych. Profesor wspierał rozwój naukowej i dydaktycznej współpracy również międzynarodowej a Uczelnia rozwinęła swoje funkcje i rolę centrum rozwoju i współpracy europejskiej, krajowej i regionalnej, co było i jest bardzo istotnym czynnikiem rozwoju również miasta Koszalina.

W okresie od 1999 do 2005 r., prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego. W tym okresie Wydział Mechaniczny uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego a Wydział i Politechnika dzięki temu wiele dodatkowych uprawnień akademickich. Wydział Mechaniczny rozpoczął kształcenie na studiach doktoranckich.

Profesor W. Kacalak przez wiele lat kierował Katedrą Mechaniki Precyzyjnej, a obecnie kieruje Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych.

### **Współpraca międzynarodowa**

Efekty działalności Kandydata w środowisku naukowym międzynarodowym widoczne są w wielu formach. Jest członkiem Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM“, członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych.

Współpracuje z ośrodkami naukowymi w Niemczech, Francji i na Węgrzech a wraz ze swoimi współpracownikami z ośrodkami akademickimi w Hiszpanii, Francji, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Rosji. Istotne są związki z organizacjami przemysłowymi w Niemczech rozwijane również w ramach projektu DAAD, obejmującego staże w zakładach grupy Volkswagena w Wolfsburgu, w zakładach Opel w Bochum, w zakładach firmy Mercedes-Benz w Stuttgarcie oraz BMW Group Research and Technology w Monachium.

Specjalne znaczenie ma współpraca z prof. dr hab. inż. Thomasem G. Mathia, dyrektorem naukowym zespołów „Surface Topography & Abrasion” - In Laboratory of Tribology and Dynamics of Systems, rektorem Ecole Nationale d'Ingenieurs de St. Etienne, której efektem jest wiele wspólnych prac naukowych i publikacji. Wiele publikacji powstało również we współpracy z zespołami, którymi kieruje prof. dr hab. inż. Pierre Joseph Marche z Ecole Nationale d'Ingenieurs de Bourges.

## **Osiągnięcia w obszarze współpracy z gospodarką**

Wiele osiągnięć naukowych oraz wdrożeniowych jest efektem współpracy z organizacjami przemysłowymi między innymi: Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski K.G. (Austria), GHW Grote & Hartmann GmbH w Wuppertalu, (Niemcy), Zakład Wytwarzania Artykułów Ściernych AN-DRE ABRASIVE ARTICLES Robert Andre, Saint-Gobain Abrasives i firmą NORTON, Holdingiem ZREMB (Gorzów) oraz Zakładami Ceramiki Radiowej CERAD (Warszawa).

Ponadto Kandydat współpracuje z licznymi zakładami i centrami badawczymi przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urządzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych.

Przez 15 lat prof. W. Kacalak pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej. Był członkiem zespołu ds. strategii rozwoju Regionu. Brał udział w wielu pracach zmierzających do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem wielu opracowań na rzecz integracji, samodzielności i rozwoju Pomorza Środkowego.

Jest Laureatem wyróżnionym Złotym Medalem Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych.

14 wykazanych w dorobku naukowym wdrożeń jako najważniejsze przemysłowe dobrze dokumentuje cenne cechy aplikacyjne opracowanych naukowych rozwiązań.

Wyjątkowo ważnym znaczeniem aplikacyjnym charakteryzują się prace dotyczące m.in.:

- nowych metod mikro- i nanoszlifowania z zastosowaniem ściernic hiperboloidalnej powierzchni czynnej i długiej strefie obróbki,
- hybrydowych narzędzi ściernych z mikroagregatami o adaptacyjnych strukturach, przydatnych zwłaszcza w trudnych operacjach szlifowania, w takich jak szlifowanie materiałów kompozytowych, materiałów o wysokiej plastyczności, materiałów wrażliwych na wysokie temperatury, stopów metali lekkich, nowych materiałów mineralno-żywiczych, tworzyw stosowanych w optyce,

oraz autorskich inteligentnych systemów minimalizacji niedokładności i kompensacji zakłóceń w procesach precyzyjnego szlifowania.

## **Nagrody i wyróżnienia**

Wśród wielu nagród i wyróżnień Profesora W. Kacalaka na szczególne zwrócenie uwagi zasługują:

- Złoty Medal Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych,
- Pięć nagród Ministra za osiągnięcia w działalności naukowej, w tym dwie nagrody stopnia II,
- Dwie nagrody Ministra za osiągnięcia w działalności dydaktycznej,
- Pięć nagród Ministra za osiągnięcia organizacyjne związane z rozwojem Politechniki Koszalińskiej,
- Tytuł I wicemistrza Techniki NOT w krajowym konkursie "na wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki",
- Nagroda Prezydenta Miasta Koszalina za osiągnięcia w rozwoju regionu i miasta,
- Wyróżnienie „Menadżer Pomorza Środkowego”,
- Dwukrotne wyróżnienie „za wybitne osiągnięcia wynalazcze” - Złota Odznaka 'DEDAL',
- Dziesięć nagród w regionalnych konkursach NOT w zakresie wdrożeń nowej techniki, dotyczących nowych metod precyzyjnego szlifowania elementów ceramicznych, automatycznych urządzeń technologicznych, nowych narzędzi oraz metod pomiarowych i systemów kontroli jakości,
- Wyróżnienie tytułem „Człowiek Roku” na Pomorzu Środkowym,
- Wyróżnienia w konkursach studenckich na najlepszego dydaktyka,
- 26 osiągnięć naukowych z udziałem Profesora zostało wyróżnionych nagrodami (Ministra Edukacji Narodowej), Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz część z nich uzyskało wyróżnienia w konkursach krajowych lub międzynarodowych,

oraz Tytuł Doktora Honoris Causa nadany przez Senat Politechniki Poznańskiej w dniu 21.10.2015 r.

## **Podsumowanie**

Zaprezentowane w opinii tylko wybrane, najważniejsze osiągnięcia Profesora dają pełne podstawy do wyrażenia opinii, że prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest wybitnym naukowcem o światowej renomie, uznanym nauczycielem akademickim i wychowawcą młodego pokolenia w tym młodej kadry naukowej oraz bardzo zaangażowanym organizatorem i popularyzatorem nauki i uznanym autorytetem w prezentowanej dziedzinie nauki w Polsce i zagranicą.

Reasumując, pragnę wyrazić pełne przekonanie, że przyznanie godności Doktora Honoris Causa Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi jest w pełni uzasadnione i zostanie bardzo dobrze przyjęte przez środowisko naukowe w kraju i zagranicą. Takie wyróżnienie będzie znakomitym wyrazem uznania Jego ogromnych zasług w budowaniu prestiżu Politechniki Koszalińskiej oraz osobistego wkładu Profesora w rozwój dziedziny budowa i eksploatacja maszyn i dziedzin pokrewnych.

Prof. dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa

Rzeszów, dnia 18 kwietnia 2017 r.



**Uchwała nr VII/56/16/17**  
**Senatu Politechniki Śląskiej**  
**z dnia 27 marca 2017 r.**

w sprawie zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Koszalińskiej  
o nadanie tytułu doktora honoris causa  
Panu prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi

Na podstawie art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym (tj. Dz. U. z 2016 r. poz. 1842, z późn. zm.) oraz § 38 ust. 2 pkt 4 Statutu Politechniki Śląskiej

**Senat Politechniki Śląskiej postanawia:**

- I. Po zapoznaniu się z opinią opracowaną przez Pana prof. dr. hab. inż. Arkadiusza Mężyka, pozytywnie zaopiniować wniosek Senatu Politechniki Koszalińskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa Panu prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi.
  
- II. Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Rektor  
Politechniki Śląskiej

Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk

Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk  
Politechnika Śląska

## OPINIA

dotycząca wniosku Senatu Politechniki Koszalińskiej o nadanie tytułu  
Doktora Honoris Causa Panu prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest naukowcem o ogromnym autorytecie naukowym, prowadzącym badania i działalność badawczo-wdrożeniową związane z dyscypliną naukową budowa i eksploatacja maszyn. Specjalizuje się w zagadnieniach mechaniki precyzyjnej i technologii maszyn, diagnostyki, optymalizacji i automatyzacji procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ścierniej materiałów trudno obrabialnych. Wiele prac naukowych Profesora dotyczy teoretycznych i doświadczalnych podstaw modelowania procesów obróbki, kumulacji skutków zdarzeń losowych w procesach kształtowania powierzchni podczas obróbki ścierniej, a także zastosowań metod sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn.

Urodził się 30.11.1945 roku w Zduńskiej Woli, natomiast studia wyższe ukończył z wyróżnieniem w 1970 roku na Politechnice Łódzkiej, uzyskując jednocześnie nagrodę „Złotej Łódki” w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego. Rozprawę doktorską, zakończoną nadaniem stopnia doktora nauk technicznych, obronił z wyróżnieniem przed Radą Instytutu Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej w 1974 roku, natomiast stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1978 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej zostały wyróżnione nagrodą indywidualną Ministra Szkolnictwa Wyższego. Tytuł naukowy profesora otrzymał w 1989 roku, natomiast w 1991 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego.

Od ponad 40 lat jest pracownikiem Politechniki Koszalińskiej, gdzie pełnił liczne zaszczytne funkcje akademickie, w tym prorektora ds. kształcenia (1978-1981), następnie funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego przez 2 kadencje oraz funkcję prorektora ds. nauki. Ukoronowaniem działalności organizacyjnej było objęcie funkcji rektora, którą pełnił w latach

1993-1999. W okresie Jego kadencji rektorskich Uczelnia została przekształcona w Politechnikę Koszalińską oraz nastąpił bardzo istotny rozwój Uczelni. Powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, znacznie wzrosła liczba samodzielnych pracowników naukowych, uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych, zwiększeniu uległa liczba studentów. W tym okresie Politechnika Koszalińska uzyskała status uczelni akademickiej oraz uznanie wśród innych ośrodków naukowych, rozwijając jednocześnie naukową i dydaktyczną współpracę międzynarodową. Miasto zyskało charakter akademicki, a Uczelnia stała się regionalnym centrum rozwoju i współpracy krajowej oraz europejskiej.

Po zakończeniu dwóch kadencji rektorskich, w latach 1999-2005, profesor Wojciech Kacalak ponownie objął funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego, a przez kolejne lata kierował także Katedrą Mechaniki Precyzyjnej oraz Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych. W tym okresie Wydział Mechaniczny uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego i rozpoczął kształcenie na studiach doktoranckich.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak może poszczycić się ogromnym autorytetem w środowisku naukowym i pełnieniem wielu prestiżowych funkcji w różnych gremiach naukowych. Jest m.in. członkiem Komitetu Budowy Maszyn, Oddziału PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki Komitetu Budowy Maszyn PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Polskiego Towarzystwa Informatycznego oraz uczestnikiem komitetów kilku innych stowarzyszeń naukowych. Od 2007 roku pełni funkcję zastępcy przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Przez wiele lat był także przewodniczącym rady naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu, od 1999 roku był członkiem sekcji Komitetu Badań Naukowych, a następnie jej przewodniczył w latach 2000 - 2002. Jest ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, ekspertem Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie. Realizował wiele zadań w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej. Aktywnie pracował w Komisji ds. Standardów Kształcenia w ramach Konferencji Rektorów Akademickich Szkół Polskich. Jest także członkiem prestiżowego niemieckiego towarzystwa naukowego Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM”, jak również członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych. W grudniu 2012 roku prof. Wojciech Kacalak

został członkiem Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów w kadencji 2012-2016.

Profesor Wojciech Kacalak jest naukowcem bardzo aktywnym i dobrze rozpoznawalnym w międzynarodowym środowisku naukowym, rozwija współpracę z wieloma ośrodkami naukowymi w Niemczech, Francji, na Węgrzech, w Hiszpanii, Stanach Zjednoczonych, Chinach i w Rosji. Szczególnie owocna jest współpraca z profesorem Thomasem G. Mathia, dyrektorem naukowym zespołów „Surface Topography & Abrasion” - In Laboratory of Tribology and Dynamics of Systems, rektorem Ecole Nationale d'Ingenieurs de St. Etienne oraz z zespołami kierowanymi przez profesora Pierre'a Josepha Marche z Ecole Nationale d'Ingenieurs de Bourges, której efektem jest wiele wspólnych prac naukowych i publikacji.

Współpraca międzynarodowa Profesora Wojciecha Kacalaka nie ogranicza się jednak tylko do badań naukowych. Rozwija On także intensywną współpracę z przemysłem, m.in. w ramach projektu DAAD, obejmującego staże w zakładach grupy Volkswagena w Wolfsburgu, Opla w Bochum, firmy Mercedes-Benz w Stuttgarcie oraz BMW Group Research and Technology w Monachium. Wiele cennych badań naukowych oraz prac wdrożeniowych jest efektem współpracy z przemysłem krajowym i zagranicznym, w tym z takimi znanymi markami jak: Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski K.G. Austria, GHW Grote & Hartmann GmbH w Wuppertalu, Niemcy, Zakład Wytwarzania Artykułów Ściernych ANDRE ABRASIVE ARTICLES Robert Andre, Saint-Gobain Abrasives, firma NORTON, Holding ZREMB Gorzów oraz Zakłady Ceramiki Radiowej CERAD w Warszawie. Są one również efektami współpracy z licznymi zakładami i centrami badawczymi przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urządzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak współpracuje naukowo także z wieloma zespołami krajowymi, a zwłaszcza z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu w Szczecinie, Politechniki Krakowskiej, Politechniki Poznańskiej, Politechniki Łódzkiej, Politechniki Wrocławskiej, Politechniki Warszawskiej, Politechniki Rzeszowskiej, Politechniki Świętokrzyskiej, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Śląskiej, jak również z zespołami badawczymi Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania. Był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych konferencji. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji”. Przez 15 lat

pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej, uzyskał tytuł I wicemistrza techniki NOT w krajowym konkursie „Na wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki”, dwukrotne wyróżnienie za wybitne osiągnięcia wynalazcze - Złota Odznaka DEDAL oraz 10 nagród w regionalnych konkursach NOT. Od 2003 roku pełni funkcję prezesa Koszalińskiego Towarzystwa Naukowego. Wielokrotnie przewodniczył komisjom konkursowym w konkursach technicznych i edukacyjnych, a jednocześnie był wyróżniany przez studentów tytułem najlepszego dydaktyka. Jest autorem wielu opracowań dydaktycznych służących kształceniu studentów i inżynierów w zakresie podstaw kreatywności oraz metod innowacyjnego rozwiązywania różnorodnych problemów, niezbędnych dla osiągania sukcesów zawodowych i rozwijania potencjału twórczego współpracowników.

Oprócz intensywnej działalności naukowej oraz wdrożeniowej w środowisku krajowym i międzynarodowym Profesor prowadzi współpracę z otoczeniem społeczno-gospodarczym, włączając się w działania na rzecz rozwoju regionu. Brał udział w wielu zespołach podejmujących działania zmierzające do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem wielu opracowań na rzecz integracji i samodzielności Pomorza Środkowego. Otrzymał Nagrodę Prezydenta Miasta Koszalina za osiągnięcia w rozwoju regionu i miasta oraz wyróżnienie „Menadżer Pomorza Środkowego” i wyróżnienie tytułem „Człowiek Roku” na Pomorzu Środkowym.

Entuzjazm, zaangażowanie, empatia i najwyższe kompetencje Profesora skupiają wokół Niego najzdolniejszych pracowników i studentów, co zaowocowało wykształceniem rozpoznawalnej w skali międzynarodowej szkoły naukowej w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ściernej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. W trzech zespołach, które zostały ukształtowane przez prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka, pracuje ponad 30 pracowników naukowych i doktorantów, w tym 3 profesorów, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów. Jest promotorem 17 doktorów (w tym 14 wyróżnionych), a 7 pracowników zespołów kierowanych przez prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego. Wyniki prac Profesora i Jego zespołu zostały opublikowane w ponad 400 publikacjach naukowych, w tym 3 monografiach autorskich, ponad 90 publikacjach zagranicznych w czasopiśmie i wydawnictwach światowym zasięgu. Liczne artykuły naukowe są publikowane oraz często cytowane w renomowanych wydawnictwach naukowych w USA, Francji i Niemczech.

Profesor kierował 16 projektami badawczymi KBN, NCBR, NCN oraz wieloma projektami przemysłowymi, co przyczyniło się do opracowania innowacyjnych technologii i urządzeń wdrożonych w przemyśle. Szczególnie imponujący jest dorobek wdrożeniowy Profesora Wojciecha Kacalaka. Jest autorem i współautorem 81 patentów (ponad połowa opatentowanych rozwiązań została wykorzystana w budowie narzędzi, przekładni, zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego) oraz zrealizował 10 ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych i ponad 75 opracowań naukowych. Innowacyjne rozwiązania projektowe oraz patenty Profesora Wojciecha Kacalaka są często cytowane w opisach patentowych urzędów patentowych w Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

Przytoczone wcześniej osiągnięcia naukowe potwierdzają ogromne kompetencje Profesora Wojciecha Kacalaka, a szczególnym wyrazem uznania środowiska naukowego jest powierzanie Mu sporządzania recenzji i opinii. Był opiniodawcą w 6 postępowaniach o nadanie tytułów i godności doktora honoris causa wybitnym uczonym polskim i zagranicznym, przygotował ponad 90 recenzji i opinii wniosków o nadanie tytułu naukowego, nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora. Ponadto opracował ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów.

Osiągnięciami naukowymi, które uzyskały szczególne wyróżnienia nagrodami Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także w konkursach krajowych lub międzynarodowych oraz posiadają znaczący zasięg publikacyjny w skali międzynarodowej, są między innymi: opracowanie podstaw optymalizacji procesów szlifowania i wygładzania z uwzględnieniem probabilistycznego charakteru procesów i zmiennych warunków realizacji oraz opracowanie niekonwencjonalnych narzędzi ściernych do obróbki stopów metali lekkich, jak również nowych metod kontroli kształtu złożonych powierzchni śrubowych. Szczególne znaczenie mają badania dotyczące procesu mikroskrawania w próżni, w różnych atmosferach oraz w bardzo niskich temperaturach, prowadzone z wykorzystaniem unikatowego stanowiska badawczego. Doskonalc proces precyzyjnego szlifowania, zastosował metody modelowania matematycznego i metody sztucznej inteligencji w sterowaniu procesami obróbki, minimalizacji niedokładności, w inteligentnych systemach diagnostyki oraz w systemach minimalizacji odkształceń cieplnych i kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu.

Efektem wieloletnich badań zespołu Profesora są także pakiety oprogramowania do modelowania i symulacji procesów obróbki ściernej z uwzględnieniem kształtu i położenia ziaren ściernych, probabilistycznych cech ich zużycia, stereometrii śladów skrawania oraz kinematyki, a także skutków różnorodnych zakłóceń. Ważnym osiągnięciem jest opracowanie metod modelowania topografii powierzchni z zastosowaniem randomizowanego, asymetrycznego kumulowania składowych o różnym wymiarze fraktalnym.

Opracowanie przez zespół Profesora Wojciecha Kacalaka podstaw tworzenia zbiorów parametrów do oceny cech stereometrycznych umożliwia algorytmizowanie procesów projektowo-konstrukcyjnych i opracowanie interaktywnych systemów wspomaganie projektowania oraz zautomatyzowanego tworzenia graficznej reprezentacji projektu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i metod twórczego rozwiązywania problemów.

Wiele wynalazków i osiągnięć badawczych, tworzonych w zespołach badawczych kierowanych przez Profesora Wojciecha Kacalaka, zostało z sukcesem wdrożonych w przemyśle, a w szczególności zastosowano w przemyśle elektronicznym nowe metody oraz wdrożono automatyczne linie do precyzyjnego, zautomatyzowanego szlifowania i obróbki małych elementów z materiałów trudno obrabialnych, w tym ceramiki i piezoceramiki. Wiele pracy Profesor poświęcił rozwojowi technologii wytwarzania, w szczególności szlifowania, stosowanych w przemyśle samochodowym. Ponadto należy podkreślić Jego udział w projektach dotyczących nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn i urządzeń stosowanych w procesach technologicznych. Uczestniczył w opracowaniu 3 Polskich Norm dotyczących narzędzi do obróbki ściernej i obróbki wiórowej kół zębatych.

Ogromne zaangażowanie Profesora oraz Jego działalność naukowa, dydaktyczna i organizacyjna były wielokrotnie nagradzane i wyróżniane w kraju i za granicą. Profesor otrzymał Złoty Medal Targów w Lipsku w zakresie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych, 5 nagród ministra za osiągnięcia w działalności naukowej, w tym dwie nagrody stopnia II, 2 nagrody ministra za osiągnięcia w działalności dydaktycznej oraz 5 nagród ministra za osiągnięcia organizacyjne związane z rozwojem Politechniki Koszalińskiej. W uznaniu zasług Profesora w działalności naukowej Senat Politechniki Poznańskiej w 2015 nadał Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi tytuł Doktora Honoris Causa.

Ograniczony zakres opinii uniemożliwia pełne przedstawienie wszystkich zasług Profesora Wojciecha Kacalaka dla rozwoju badań naukowych, a w szczególności w obszarze budowy i eksploatacji maszyn. Z pełnym przekonaniem należy podkreślić, że jest On wybitnym naukowcem, rozpoznawalnym w międzynarodowym środowisku naukowym oraz przemysłowym, posiadającym ogromne doświadczenie praktyczne i wdrożeniowe, osobą szczególnie zasłużoną dla Politechniki Koszalińskiej. Pomimo swojej bardzo wysokiej, ugruntowanej pozycji w środowisku naukowym i kontaktów z uczelniami oraz ośrodkami badawczymi w kraju i za granicą Profesor pozostaje w dalszym ciągu osobą życzliwą, o ogromnej empatii w stosunku do innych ludzi, chętną do nawiązywania nowych kontaktów i współpracy.

Nadanie przez Senat Politechniki Koszalińskiej Profesorowi Wojciechowi Kacalakowi najwyższej godności i tytułu Doktora Honoris Causa jest wyrazem uznania całego środowiska akademickiego Uczelni dla wartości Jego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz pozycji, którą zdobył w międzynarodowych gremiach naukowych, jak również szczególnego uznania wkładu w rozwój nauki i rozświetlanie imienia Politechniki Koszalińskiej w skali międzynarodowej.

Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk

Gliwice, dnia 27 marca 2017 r.



**Uchwała nr 79/XLIX/2017**  
**Senatu Politechniki Warszawskiej**  
**z dnia 22 marca 2017 r.**

w sprawie poparcia inicjatywy nadania tytułu doktora honoris causa  
prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi przez Politechnikę Koszalińską

Na podstawie § 45 ust. 1 pkt 7 Statutu PW, w związku z wystąpieniem  
Senatu Politechniki Koszalińskiej uchwała, co następuje:

§1

Po zapoznaniu się z dorobkiem naukowym prof. dr. hab. inż. Wojciecha  
Kacalaka, Senat Politechniki Warszawskiej postanawia poprzeć inicjatywę  
nadania mu tytułu doktora honoris causa przez Politechnikę Koszalińską.


§2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Sekretarz Senatu

  
mgr Beata Dobrzeńska

Rektor

  
prof. dr. hab. inż. Jan Szmidt

Prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski  
Politechnika Warszawska

## OPINIA

Senatu Politechniki Warszawskiej dla Senatu Politechniki Koszalińskiej  
w sprawie nadania prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Kacalakowi  
tytułu Doktora Honoris Causa tej Uczelni

Profesor Wojciech Kacalak urodzony w 1945 roku w Zduńskiej Woli ukończył studia wyższe na Politechnice Łódzkiej w 1970 roku, z wyróżnieniem i nagrodą w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Instytucie Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej 1974 roku. Praca doktorska została wyróżniona. Stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1978 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej zostały wyróżnione nagrodą indywidualną Ministra Szkolnictwa Wyższego. Tytuł naukowy profesora uzyskał w 1989 roku. W 1991 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego.

Całe swoje zawodowe życie i pracę naukową prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak związał z Politechniką Koszalińską z Wydziałem Mechanicznym tej uczelni, gdzie obecnie kieruje Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, wcześniej Katedrą Mechaniki Precyzyjnej. Pracownikiem Politechniki Koszalińskiej jest od 1970 r. W latach 1978-1981 był prorektorem ds. kształcenia. Od 1982 roku przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego, następnie pełnił funkcję prorektora ds. nauki.

Okres 1993-1999 kiedy prof. Wojciech Kacalak pełnił funkcję rektora, był szczególnie w rozwoju tej Uczelni. Między innymi w 1996 roku została przekształcona w Politechnikę Koszalińską, powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, wielokrotnie wzrosła liczba profesorów i doktorów habilitowanych, uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych. Równocześnie liczba studentów a następnie absolwentów osiągnęła poziom umożliwiający jakościową zmianę wpływu na cywilizacyjny rozwój regionu i znaczny udział w proce-

się przemian obejmujących cały kraj. Nastąpił rozwój naukowej i dydaktycznej współpracy międzynarodowej. W kolejnym okresie, od 1999 roku do 2005, prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego. Dziekan Wojciech Kacalak konsekwentnie realizował swoją wizję Wydziału Mechanicznego, jako jednostki łączącej w swej działalności funkcje naukowo-dydaktyczne z cywilizacyjnym oddziaływaniem na otoczenie: wydział otrzymuje uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego, a uczelnia dzięki temu również jako Politechnika wiele dodatkowych uprawnień akademickich; powołuje studium doktoranckie i rozszerza możliwości prowadzenia badań ściśle związanych z regionem i innymi ważnymi dla kraju ośrodkami. Przez wiele lat był przewodniczącym rady naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu. Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn Oddziału PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki Komitetu Budowy Maszyn PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Polskiego Towarzystwa Informatycznego. Bierze udział w pracach wielu komitetów i rad naukowych znaczących konferencji naukowych i naukowo-technicznych. Od 2007 roku jest zastępcą przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk.

Od 1999 był członkiem sekcji T07D Komitetu Badań Naukowych, a następnie od 2000 do 2002 roku, jej przewodniczącym. Jest ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, ekspertem Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie.

Realizował wiele zadań w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej (zespół dydaktyczny MECHANIKA). Aktywnie pracował w Komisji ds. Standardów Kształcenia w Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Akademickich.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych czasopism. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji”, członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych.

Współpracuje z ośrodkami naukowymi w Niemczech, Francji i na Węgrzech, a wraz ze swoimi współpracownikami z ośrodkami akademickimi w Hiszpanii, Francji, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Rosji.

Związki z organizacjami przemysłowymi w Niemczech rozwijane były również w ramach projektu DAAD, obejmującego staże w zakładach grupy

Volkswagena w Wolfsburgu, w zakładach Opel w Bochum, w zakładach firmy Mercedes-Benz w Stuttgarcie oraz BMW Group Research and Technology w Monachium. Jest członkiem Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM”. Szczególnie owocna jest współpraca z prof. dr hab. inż. Thomasem G. Mathia, dyrektorem naukowym zespołów „Surface Topography & Abrasion” - In Laboratory of Tribology and Dynamics of Systems, rektorem Ecole Nationale d'Ingenieurs de St. Etienne, której efektem jest wiele wspólnych prac naukowych i publikacji. Wiele publikacji powstało również we współpracy z zespołami, którymi kieruje prof. dr hab. inż. Pierre Joseph Marche z Ecole Nationale d'Ingenieurs de Bourges. Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak współpracuje również z licznymi zespołami krajowymi, a zwłaszcza z zespołami kierowanymi przez wybitnych profesorów: z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu w Szczecinie, i z wielu Politechnik: Krakowskiej, Poznańskiej, Łódzkiej, Wrocławskiej, Warszawskiej, Rzeszowskiej, Świętokrzyskiej, Gdańskiej, Śląskiej, a także z zespołami badawczymi Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania. Szczególne miejsce na tej liście znajduje Politechnika Warszawska. Wielość i jakość tych kontaktów przekłada się na szeroką ofertę badawczo-wdrożeniową, czego efektem są oferty współpracy z organizacjami przemysłowymi, między innymi: Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski K.G. Austria, GHW Grote & Hartmann GmbH w Wuppertalu, Niemcy, Zakład Wytwarzania Artykułów Ściernych ANDRE ABRASIVE ARTICLES Robert Andre, Saint-Gobain Abrasives i firmą NORTON, Holdingiem ZREMB Gorzów, Zakładami Ceramiki Radiowej CERAD w Warszawie, a ponadto z licznymi zakładami i centrami badawczymi przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urządzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych.

W centrum uwagi Profesora Wojciecha Kacalaka znajdują się sprawy i problemy otoczenia i rozwoju regionu. Był członkiem zespołu ds. strategii rozwoju Regionu. Brał udział w wielu pracach zmierzających do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem wielu opracowań na rzecz integracji, samodzielności i rozwoju Pomorza Środkowego. Przez 15 lat prof. W. Kacalak pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej, wielokrotnie przewodniczył komisjom konkursowym w konkursach technicznych i edukacyjnych. Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest autorem wielu opracowań dydaktycznych służących do wzbogacania procesu kształcenia studentów i inżynierów o podstawy kreatywności oraz metody innowacyjnego rozwiązywania różnorodnych problemów, jako coraz ważniejszej

umiejętności, niezbędnej dla osiągania sukcesów zawodowych i uwalniania potencjału twórczego współpracowników.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak od 2003 roku jest prezesem Koszalińskiego Towarzystwa Naukowego. W latach 2012-2016 prof. Wojciech Kacalak był członkiem Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów. Jest doktorem honoris causa Politechniki Poznańskiej. Uroczystość nadania odbyła się w 2015 roku.

Tak zróżnicowana działalność organizacyjna jest silnie skorelowana z Jego niezwykle szerokim spektrum zainteresowań naukowych obejmujących budowę i eksploatację maszyn, przede wszystkim precyzyjnych maszyn i urządzeń technologicznych ze szczególnym uwzględnieniem mechaniki precyzyjnej i technologii maszyn, w tym diagnostyki i automatyzacji procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ściernej w znacznej części odnoszących się do materiałów trudno obrabialnych, a także budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych.

Wiele prac naukowych prof. Wojciecha Kacalaka dotyczy teoretycznych i doświadczalnych podstaw modelowania procesów obróbki, kumulacji skutków wielkiej liczby zdarzeń losowych w procesach kształtowania topografii powierzchni podczas obróbki ściernej, a także zastosowań sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn, w tym zastosowań sztucznych sieci neuronowych, aplikacji metod teorii zbiorów rozmytych oraz logiki rozmytej, a także hybrydowych, inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest twórcą szkoły naukowej w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ściernej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. Obecnie zagadnieniami z tak zarysowanego obszaru badawczego szkoły zajmuje się 3 profesorów tytularnych, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów. Siedmiu pracowników zespołów kierowanych przez prof. dr hab. inż. Wojciecha Kacalaka uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego. Wypromował 17 doktorów (w tym 14 z wyróżnieniem). Autor i współautor ponad 400 publikacji naukowych, w tym 3 monografie autorskich, ponad 90 publikacji zagranicznych w czasopiśmie i wydawnictwach o światowym zasięgu. Prof. Wojciech Kacalak kierował 16 projektami badawczymi KBN, NCBR, NCN a wiele innych projektów przemysłowych stało się podstawą do opracowania wielu innowacyjnych rozwiązań i wdrożeń. Opiniodawca w sześciu postępowaniach o nadanie tytułów i godności doktora honoris

causa wybitnym uczonym polskim i zagranicznym, w ponad 90 postępowaniach o nadanie tytułu naukowego, nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora, w tym recenzje w przewodach zagranicznych.

Kandydat opracował ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów badawczych (KBN) MNiSZW. Współautor 75 raportów i kompleksowych opracowań naukowych Autor i współautor 74 patentów (ponad 50% opatentowanych rozwiązań zostało wykorzystanych w budowie narzędzi, przekładni, zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego). Autor lub kierownik zespołu dziesięciu ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych. Współautor trzech Polskich Norm dotyczących nowych metod badań narzędzi do obróbki ścierniej i narzędzi do obróbki uzębień. Laureat wyróżniony Złotym Medalem Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych.

Dla scharakteryzowania tematyki badawczej przytaczam kilka z piętnastu osiągnięć naukowych, które uzyskały potwierdzenie swojej nowości i znaczenia poprzez wyróżnienia nagrodami (Ministra Edukacji Narodowej), Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wyróżnienia w konkursach krajowych lub międzynarodowych:

- opracowanie nowych metod w pełni zautomatyzowanego, precyzyjnego szlifowania elementów z materiałów trudno obrabialnych, stosowanych w przemyśle elektronicznym i obronnym,
- opracowanie podstaw budowy wielu odmian zautomatyzowanych urządzeń do szlifowania elementów ceramicznych (wdrożone do produkcji masowej między innymi wiele automatycznych urządzeń do szlifowania ceramicznych kondensatorów odpornych na zakłócenia, piezoceramicznych zapłonników do zastosowań specjalnych, płytek ceramicznych do zaworów),
- opracowanie podstaw optymalizacji procesów szlifowania i wygładzania z uwzględnieniem probabilistycznego charakteru procesów i stochastycznie zmiennych warunków realizacji,
- opracowanie niekonwencjonalnych narzędzi ściernych o budowie warstwowej i pakietowej z agregatami ściernymi oraz strefowo zróżnicowanymi właściwościami, w tym hybrydowych narzędzi ściernych do obróbki stopów metali lekkich.

Podobnie z szeregu wdrożeń przemysłowych do najważniejszych można zaliczyć:

- zastosowanie w przemyśle elektronicznym nowych metod precyzyjnego, zautomatyzowanego szlifowania małych elementów z materiałów trudno obrabialnych;
- opracowanie i wdrożenie wielu generacji automatycznych linii o precyzyjnej obróbce ceramiki i piezo ceramiki;
- opracowanie i wdrożenie hydraulicznej gładzarki do cylindrów z bezstopniową regulacją parametrów kinematycznych i nacisków roboczych;
- współautorstwo i współpraca w opracowaniu i wdrożeniu rodziny zasilaczy elektrohydraulicznych o ciśnieniu 63 MPa;
- współautorstwo i współpraca w opracowaniu szlifierki do głowic i bloków silników spalinowych.

Wyniki uzyskane przez Pana Profesora i kierowany przez Niego zespół uzyskały uznanie w wielu środowiskach w postaci ważnych nagród wyróżnień w tym: Złoty Medal Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych; Pięć nagród Ministra za osiągnięcia w działalności naukowej, w tym dwie nagrody stopnia II; Dwie nagrody Ministra za osiągnięcia w działalności dydaktycznej; Pięć nagród Ministra za osiągnięcia organizacyjne związane z rozwojem Politechniki Koszalińskiej; tytuł I wicemistrza Techniki NOT w krajowym konkursie na wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki; Nagrodę Prezydenta Miasta Koszalina za osiągnięcia w rozwoju regionu i miasta.

Dla scharakteryzowania tematyki publikacyjnej przytaczam tytuły szczególnie często przywoływane w literaturze światowej: *Revue d'automatique et de productique appliquées*. Journal of Automation and CIM, Hermes, Francja; *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*. ASME Press, USA; *VDI Berichte - Bearbeitung neuer Werkstoffe*, VDI Verlag, Dusseldorf, Niemcy. Dodatkowo należy podkreślić, że innowacyjne rozwiązania projektowe oraz patenty Profesora są często cytowane w opisach patentowych urzędów patentowych w Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

Wśród publikacji warto zwrócić uwagę na następujące pozycje:

Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł., Lipiński D., Szafraniec F., Socha E.: Modelowanie i analiza procesów mikroskrawania agregatami ściernymi. *Mechanik*, 2016, nr 8-9/2016;

Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.,G.: A Method and New Parameters for Assessing the Active Surface Topography of Diamond Abrasive Films. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 16, No. 4, 2016;

Majewski M., Kacalak W.: Building Innovative Speech Interfaces using Patterns and Antipatterns of Commands for Controlling Loader Cranes. IEEE Xplore Digital Library - CSCI'2016. USA: IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA 90720, 2016. s. 525—530;

Majewski M., Kacalak W.: Intelligent Speech Interaction of Devices and Human Operators. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, T. 465, s. 471-482. DOI 10.1007/978-3-319-33622-0\_42;

Kacalak W., Kukiełka L., Krzyżyński T.: Application of Fuzzy Logic Algorithms to Irregular Disturbance Compensation in Technological Processes. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000);

Kacalak W., Krzyżyński T., Dziura Z., Ściegienka R., Lewkowicz R.: On Optimization of Automated Process of Fine Grinding Small Ceramic Elements. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen;

Kacalak W., Lewkowicz R.: Präzisionsschleifen Langer Schrauben und Spindeln. Werkstattstechnik WT Produktion und Management, Springer Verlag 11/12 1994, s. 526-529;

Kacalak W., Wawryn K.: Some aspects of the modified competitive self learning neural network algorithm. Materiały międzynarodowej konferencji "Artificial Intelligence Networks in Engineering ANNIE'94", St Louis, USA, listopad, 1994, wydanie książkowe; ASME, tom IV "Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks", s. 103-109;

Kacalak W.: Wybrane problemy konstrukcji i technologii precyzyjnych przekładni ślimakowych. Monografia Wydziału Mechanicznego. Politechnika Koszalińska, nr 51, 1995;

Kacalak W., Kukiełka L., Marche P.: Commande de processus de traitements superficiels utilisant la logique floue. Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Vol. 8, no 2- 3/1995, s. 377-382;

Szczególne uznanie budzi liczba uzyskanych patentów (74) , wśród których warto wymienić:

Kacalak W.: Układ połączeń funkcjonalnych urządzenia od rejestracji nierówności powierzchni. Patent nr 101668;

Kacalak W.: Sposób wyznaczania twardości ściernic. Patent nr 108628;

Kacalak W.: Urządzenie do pomiaru elastyczności ściernic polerskich. Patent nr 108622;

Kacalak W.: Narzędzie ścierne i sposób jego wytwarzania. Patent nr 118215;



Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent nr 128023;

Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: Obrabiarka do mikroskrawania albo wygładzania ściernego w komorze próżniowej. Politechnika Koszalińska Patent nr 217376;

Kacalak W., Ściegienka R., Lewkowicz R., Charkiewicz L., Bokiej S.: Głowica do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi zewnętrznymi powierzchni walcowych. Patent nr 217267;

Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi, Patent nr 393071.

Dodatkowo o aktywności Profesora na tym polu świadczą zgłoszenia patentowe (13) w tym:

Kacalak W., Majewski M.: Układ do rozpoznawania znaków pisma, zwłaszcza pisma odręcznego. Zgłoszenie nr P.415416 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015;

Kacalak W., Ponomarenkow J., Majewski M., Budniak Z.: Urządzenie do mechanicznego czyszczenia plaż, zwłaszcza nadmorskich. Zgłoszenie nr P.415417 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015;

Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Koło ślimakowe przekładni bezluzowej. Zgłoszenie nr P.415418 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.

W swojej pracy zawodowej Profesor zwraca szczególną uwagę na ścisłą korelację pomiędzy badaniami naukowymi a podejmowanymi zadaniami dydaktycznymi. Efektem takiego podejścia jest wielki udział w kształceniu młodej kadry.

Mając na względzie przedstawione wyróżniające się w każdym z analizowanych obszarów: dziedzinie naukowej, zawodowej i dydaktycznej działalności Pana Profesora stawiam wniosek o podjęcie uchwały o popierającej inicjatywę nadania tytułu Doktora Honoris Causa prof. Wojciechowi Kacalakowi przez Politechnikę Koszalińską w Koszalinie.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski

Warszawa, dnia 12 marca 2017 r.

# WYSTĄPIENIE

## DOKTORA HONORIS CAUSA

**Prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka, dr. h.c.**

## INNOWACJE INDUKOWANE BADANIAM NAUKOWYMI

### ISTOTA INNOWACJI

#### ODWOŁANIA

*Człowiek prawdy nie tworzy, tylko ją odkrywa – Św. Jan Paweł II.  
Tylko to dzieło czegoś jest warte, z którego człowiek może się poprawić i mądrości nauczyć – Adam Mickiewicz. Wyobraźnia jest ważniejsza od wiedzy, ponieważ wiedza jest ograniczona. (Phantasie ist wichtiger als Wissen, denn Wissen ist begrenzt) – Albert Einstein.*

---

Innowacje, same w sobie, nie są celem działalności twórczej. Innowacje są tylko cennym środkiem w rozwoju i zwiększaniu efektywności procesów, kształtowaniu nowych i lepszych właściwości wytworów materialnych i tworzeniu sprawniejszych metod działania, także w ulepszaniu umiejętności i możliwości ludzi, a w przyszłości również, pomocnych ludziom, zrobotyzowanych systemów o zaawansowanej sztucznej inteligencji.

O wartości innowacji, o tym na ile jest cenna dla nowych, a także odległych zastosowań, decydują głównie dwa czynniki.

Pierwszy czynnik ma aspekt wywodzący się ze stopnia nieoczywistości nowych rozwiązań w stosunku do stanu wiedzy i jej zastosowań oraz z poziomu wykorzystania kreatywności i nieznanych dotąd metod tworzenia.

Istota drugiego czynnika wywodzi się ze znaczenia aplikacyjnego opracowanych innowacji, ich zasięgu, znaczenia oraz efektów, a także z możliwości kreowania kierunków dalszych analiz i zastosowań.

W tworzeniu innowacji wykorzystuje się wiele zaawansowanych metod rozwiązywania problemów i realizacji zadań, w których wykorzystuje się wiedzę jawną i niejawną oraz umiejętności twórcy, do określania cech wytworu materialnego (lub metodyki działania), który dopiero powstanie, a jego właściwości będą skutkiem wielu złożonych procesów, pracy wielu wykonawców i będą przez użytkowników oceniane w różnych warunkach eksploatacji i różnym stanie technicznym.

Nie ma nic bardziej praktycznego od teorii (często niepotrzebnie dodaje się „dobrej”, a przecież inna nie istnieje), bo metoda prób i błędów jest kosztowną metodą poszukiwań innowacji.

Tworzenie przenosi człowieka do odmiennego stanu aktywnej kreatywności, najlepiej, gdy towarzyszy temu świadomość, iż osiągnięcie tego stanu nie jest stacją, do której zmierzamy, lecz sposobem ciągłego podróżowania.

Można tu przytoczyć słowa Edwarda Morgana Forstera, angielskiego prozaika, eseisty i krytyka literackiego: „W stanie kreatywnego uniesienia człowiek znajduje się poza czasem i przestrzenią. Opuszcza się na dno studni podświadomości, skąd wydobywa to, co zazwyczaj jest poza jej zasięgiem. Następnie łączy to z codziennym doświadczeniem, a efektem jego pracy jest dzieło sztuki.”

Innowacje mogą być indukowane badaniami naukowymi, kreatywnością zawodową, potrzebami ulepszania lub oszczędzania.

**Droga do innowacji indukowanych badaniami naukowymi jest najbardziej złożona, wymaga czasu i zastosowania wielu metod analizy, ale jej wyniki przenoszą powstałe rozwiązania na znacznie wyższy poziom jakości i użyteczności.**

Droga prowadząca do innowacji indukowanych wynikami badań naukowych, jest w części pierwszej podobna do tych dróg, jakie wybiera się w badaniach podstawowych, jedynie odmienny jest drugi jej odcinek, często trudniejszy i mniej komfortowy, na którym wyniki z pierwszego etapu przekształcają się w podstawy ich wykorzystania. W niniejszej pracy zostanie przedstawiony wybrany zbiór innowacji indukowanych badaniami naukowymi.

Tworzenie innowacji oznacza wyzwanie, w którym następuje ograniczenie zadowolenia z wiedzy, jaką posiada twórca, przy czym ograniczenie to ma dwa źródła.

Pierwszym jest potrzeba poszukiwania rozwiązań, które nie są tylko ulepszeniem znanych wytworów, lecz tworzą nową koncepcję. Drugim powodem jest świadomość, że innowacje mają, współcześnie lub w przyszłości, przeznaczenie i odbiorców, którzy zapewne wykorzystają swoje prawa do formułowania dodatkowych wymagań i wysokich oczekiwań, odnoszących się do wielu kryteriów.

**W tworzeniu innowacji nie występuje niekorzystne, dość często spotykane zjawisko, świadomego kreowania sztucznej złożoności poprawnie już rozwiązanych problemów (można to nazwać piruetyzacją nauki lub ornamentacją problemów), niekiedy bez znaczenia dla rozwoju wiedzy, tylko po to, by zyskać na pobieżnej formalnej ocenie własnych osiągnięć i wydłużać listę publikacji bez powiększania listy osiągnięć.**

Naukowiec jest poddany działaniu trzech żywiołów: najpierw głównie ciekawości, później również ukształtowanej własnej misji, i wreszcie wymagań pochodzących ze źródła finansowania pracy.

Na początku drogi do innowacji jest informacja, która nie jest materią, ani energią, ani przestrzenią, ale odnosi się do tych cech. Informacja staje się podstawą organizowania materii, energii i czasoprzestrzeni, a więc jest spoiwem rzeczywistości i opisuje relacje w niej występujące.

Bez automatyzacji zadań twórczych postęp byłby ograniczony, niestety towarzyszy temu zjawisko, polegające na tym, że samodzielność w myśleniu i rozwiązywaniu problemów maleje, a niedostatki wiedzy i kreatywności ukrywają się w wyniku odtwórczego przetwarzania danych bez wymaganych analiz.

W nauce nie chodzi o wydajne bieganie, lecz o wybory dobrych kierunków. Bieganie na taśmie treningowej, jak wiadomo, różni się od biegania do przodu.

Znaczenie nowych wynalazków polega na tym, że naukowcy przestają drążyć, modelować i opisywać problemy, które należą już do przeszłości, a zaczynają zajmować się tymi, które stają się ważne dla przyszłości.

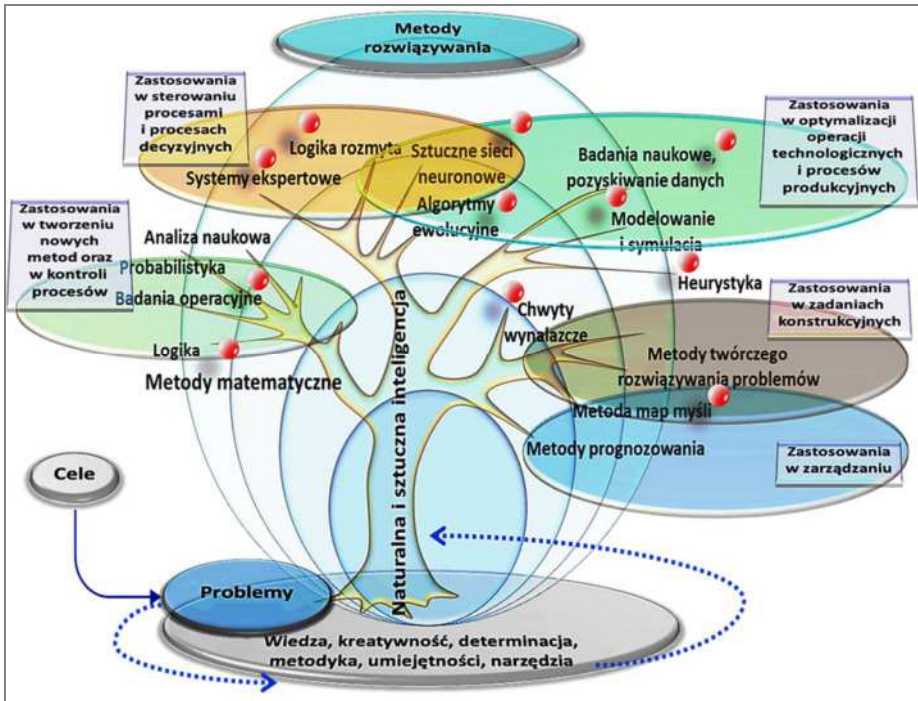
**Można postawić tezę, iż:**

**NAUKA TYM BARDZIEJ WZMACNIA SWOJE ZNACZENIE, IM SKUTECZ-  
NIEJ TWORZY NOWE WYNALAZKI, KTÓRE GENERUJĄ NOWE KIERUNKI  
BADAWCZE.**

Dziedziny i dyscypliny nauki, tworzące zbiory zasobów wiedzy, mają wspólne cechy dotyczące celu i sposobu tworzenia wiedzy. Mają też wiele cech wyróżniających.

Badania i zastosowania wyników w zakresie dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn, poza mnogością metod stosowanych do rozwiązywania problemów (rys. 1), wyróżniają się cechami, do których należą:

- **Wielka różnorodność produktów** wytwarzanych jednostkowo lub seryjnie, ale na indywidualne zamówienia klientów, np. produkcja samochodów.
- Wiele rozwiązań innowacyjnych z zakresu budowy maszyn dotyczy **unikatowych produktów stosowanych również w innych dziedzinach**, są to na przykład urządzenia technologiczne do produkcji układów elektronicznych, aparatury badawczej, aparatury medycznej, leków, robotów technologicznych, medycznych, ratowniczych, samolotów, uzbrojenia, urządzeń dla sportu, rehabilitacji, ochrony środowiska, wytwarzania i przetwarzania energii, (ogólniej do wytwarzania wszystkiego).
- **Zapotrzebowanie na prace badawcze z zakresu budowy maszyn i eksploatacji maszyn jest tym większe, im więcej jest wdrożeń w innych dziedzinach nauki i techniki** (efekty prac naukowych z dowolnej dziedziny (nawet matematyki), materializują się poprzez powstanie produktu, do czego zazwyczaj potrzebne są nowsze technologie i nowe urządzenia produkcyjne.
- Dużo rozwiązań opracowywanych z uwzględnieniem wielkiej różnorodności oczekiwanych cech i różnych wymagań odbiorców, oznacza **odmienność i zróżnicowanie opracowywanych technologii oraz konstrukcji produktów**, a z tego wynika duża liczba prac badawczych, duża liczba unikatowych wdrożeń, ale nie towarzyszy temu masowość zastosowań poszczególnych rozwiązań.



Rys. 1. Metody stosowane w rozwiązywaniu problemów w budowie i eksploatacji maszyn

## 1. INNOWACJE DOTYCZĄCE PROCESÓW SZLIFOWANIA PRECYZYJNYCH POWIERZCHNI ŚRUBOWYCH

Powierzchnie śrubowe znajdują szerokie zastosowanie w technice. W wielu współczesnych urządzeniach wymagana jest bardzo wysoka dokładność pozycjonowania układów pomiarowych i obróbkowych.

Dotyczy to zwłaszcza mechanizmów do precyzyjnych przemieszczeń, mechanizmów podziałowych oraz innych układów wspomagających równomierność ruchu i dobrego tłumienia drgań podczas pracy w warunkach zmiennych obciążeń. W wymienionych wyżej zastosowaniach najbardziej przydatne są przekładnie śrubowo-toczone oraz przekładnie ślimakowe, od których wymaga się dużej dokładności skoku oraz określonych cech powierzchni śrubowej.

Dlatego w wytwarzaniu przekładni o wysokiej dokładności kinematycznej niezbędne jest stosowanie metod zapewniających minimalizację odchyłek skoku i odchyłek zarysu [Bie2007, Kac1994-5, Kac1995-3].

Mechanizmy śrubowo-toczne (rys. 2), zwane także śrubami pociągowymi tocznymi, stosowane są powszechnie w układach napędów i pozycjonowania. Najważniejsze wymagania dotyczą wysokiej dokładności skoku, od czego zależy dokładność pozycjonowania przemieszczanych elementów (rys. 3). Od dokładności zarysu z kolei zależy obciążalność i trwałość takich przekładni.



Rys. 2. Deutscher Katalog "Gewindetriebe R999001184 (2016-11)



Rys. 3. Centrum obróbkowe do pięciostronnej obróbki DMG MORI Journal 1/2014, głowica narzędziowa duoBLOCK DMG MORI

Zarysy powierzchni śrubowych najczęściej stosowanych w technice są znormalizowane. Zarysem znamionowym powierzchni śrubowych większości gwintów jest zarys prostoliniowy w przekroju osiowym. Znormalizowane zarysy znamionowe powierzchni śrubowych elementów przekładni zębatych są prostoliniowe dla:

- ślimaka spiralnego (Archimedes) A, którego przekrojem znamionowym jest przekrój osiowy, a zarysem znamionowym zęba linia prosta,
- ślimaka normalnego, konwolutowego N, którego przekrojem znamionowym jest przekrój normalny, a zarysem znamionowym zęba linia prosta.

Zarysy krzywoliniowe są charakterystyczne dla:

- ślimaka osiowo-łukowego AR, którego zarysem znamionowym jest łuk koła w przekroju osiowym,

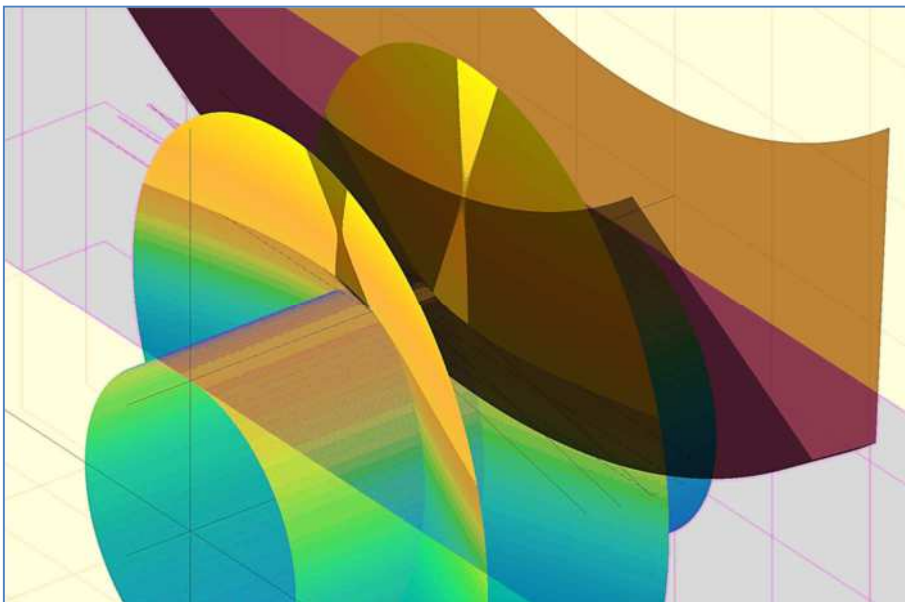


- ślimaka normalno-łukowego NR, którego zarysem znamionowym jest łuk koła w przekroju normalnym,
- ślimaka ewolwentowego E, który jest walcowym, ewolwentowym kołem śrubowym.

Ponadto można określić powierzchnie śrubowe, dla których definiuje się zarys znamionowy narzędzia krążkowego (powierzchnie te są nieprostokreślne):

- ślimak stożkopochodny K, którego przekrojem znamionowym jest przekrój normalny, a zarysem znamionowym narzędzia krążkowego linia prosta,
- ślimak toroidalnopochodny KR, którego przekrojem znamionowym jest przekrój normalny, a zarysem znamionowym narzędzia krążkowego łuk koła.

Szlifowanie powierzchni śrubowych ściernicami krążkowymi o stożkowej powierzchni czynnej daje w wyniku obróbki nieprostokreślne powierzchnie stożkopochodne. Zarys osiowy takich powierzchni (rys. 4) jest wypukły i w żadnym jej przekroju nie jest prostoliniowy.



Rys. 4. Obraz stref szlifowania dla stożkopochodnych powierzchni śrubowych, obrabianych wstępnie jako powierzchnie ślimaka spiralnego

Szlifowanie powierzchni śrubowych należy do procesów złożonych w zakresie doboru i kształtowania narzędzi jak również dokładności pozycjonowania oraz doboru parametrów szlifowania zapewniających uzyskanie wymaganej wydajności i dobrych właściwości warstwy wierzchniej.

Powierzchnie śrubowe można szlifować z wykorzystaniem różnych narzędzi, z których jedynie ściernice krążkowe wykazują dużą sztywność, dużą powierzchnię czynną oraz umożliwiają obróbkę obu stron wrębu jednocześnie, co zapewnia znaczną wydajność szlifowania, ale za to wymaga stosowania złożonych systemów kształtowania powierzchni czynnej ściernicy, zapewniających uzyskiwanie zarysu odpowiadającego zdefiniowanemu rodzajowi powierzchni śrubowej [Kac1994, Kac1995-3, Kac2016-2, Kac2017, Kru1995, Mar1998, Mar2013].

Wymagania dotyczące dokładności powierzchni śrubowych często dotyczą wartości 3-7 mikrometrów dopuszczalnej odchyłki skoku oraz 1-5 mikrometrów dopuszczalnej odchyłki zarysu [Kac1995-3, Czy1999].



Rys. 5. Obraz i wizualizacja procesu szlifowania powierzchni śrubowych

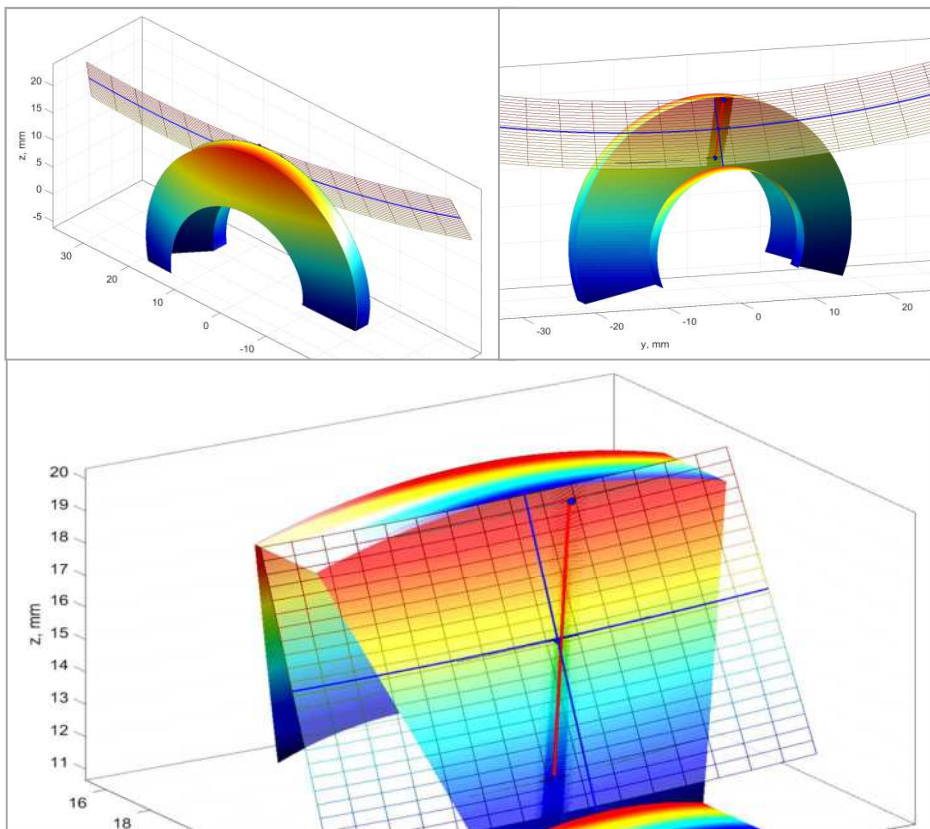
Głównymi przyczynami powstawania systematycznych zmian odchyłki skoku przedmiotu obrabianego są niedokładności geometryczne układu technologicznego OUPN, odkształcenia cieplne i mechaniczne szlifowanego przedmiotu oraz obrabiarki.

Ważniejszymi przyczynami, wywołującymi lokalne, losowe lub harmoniczne zmiany odchyłki skoku jest bicie osiowe wrzeciona przedmiotu i śruby pociągowej oraz niedokładność łańcucha kinematycznego obrabiarki).

Największy wpływ na odchyłkę skoku mają odkształcenia cieplne przedmiotu obrabianego, cieplne i mechaniczne odkształcenia śruby pociągowej oraz bicie osiowe śruby pociągowej i wrzeciona przedmiotu. Z kolei odchyłki zarysu powierzchni śrubowej spowodowane są niedokładnością geometryczną układu technologicznego OUPN, niedokładnością kinematyczną szlifierki, odkształceniami sprężystymi układu technologicznego, odchyłkami położenia i odchyłkami kształtu narzędzia.

Powierzchnia śrubowa ślimaka jest obwiednią przemieszczającej się względem niej ruchem śrubowym powierzchni czynnej ściernicy, dlatego od jej kształtu i jego zmiany podczas obróbki zależy dokładność wykonania przekładni i jej właściwości eksploatacyjne. Zarys osiowy stożkopochodnej powierzchni śrubowej jest wypukły. Wprawdzie wklęsłe zarysy powierzchni śrubowych wykazują korzystniejsze cechy eksploatacyjne, ale powierzchnie torusopochodne nie są często stosowane ze względu na złożone problemy kształtowania powierzchni czynnej narzędzi ściernych.

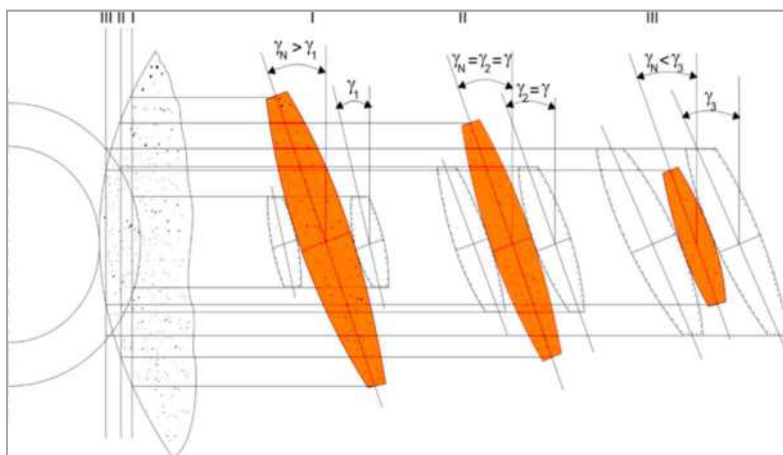
Zmiana promienia krzywizny zarysu powierzchni ma istotny wpływ na stan zazębienia przekładni. Jeżeli otrzymany promień krzywizny jest mniejszy od nominalnego, to przyczynia się to do niekorzystnego lokalnego wzrostu nacisków w strefie zazębienia, co jest powodem obniżenia obciążalności i trwałości przekładni oraz prowadzi do szybkiego pogarszania jej dokładności.



Rys. 6. Położenie strefy obróbki w procesie szlifowania stożkopochodnych powierzchni śrubowych

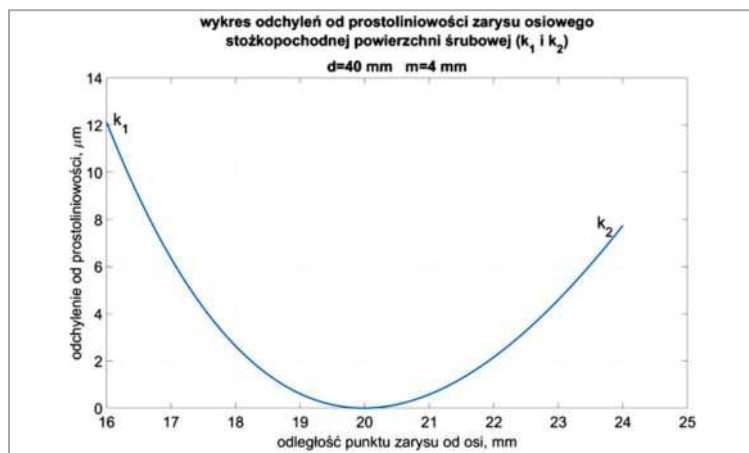
Tak, więc istotne jest, aby krzywizna zarysu nie była mniejsza od nominalnej i mieściła się równocześnie w polu tolerancji zarysu. To powoduje, iż stożkopochodne powierzchnie śrubowe mogą być korzystną modyfikacją powierzchni o innych zarysach nominalnych [Kac1984, Kac1986, Kac195-3, Kac2012-4].

Na rysunku 7 przedstawiono schemat do wyjaśnienia, dlaczego zarys osiowy stożkopochodnych powierzchni śrubowych, szlifowanych ściernicami krążkowymi o zarysie trapezowym, nie jest prostoliniowy, a obrobiona powierzchnia śrubowa nie jest prostokreślna. Nieprostokreślne powierzchni śrubowej nie jest jej wadą, a jedynie cechą, która współcześnie nie utrudnia zadań metrologicznych.

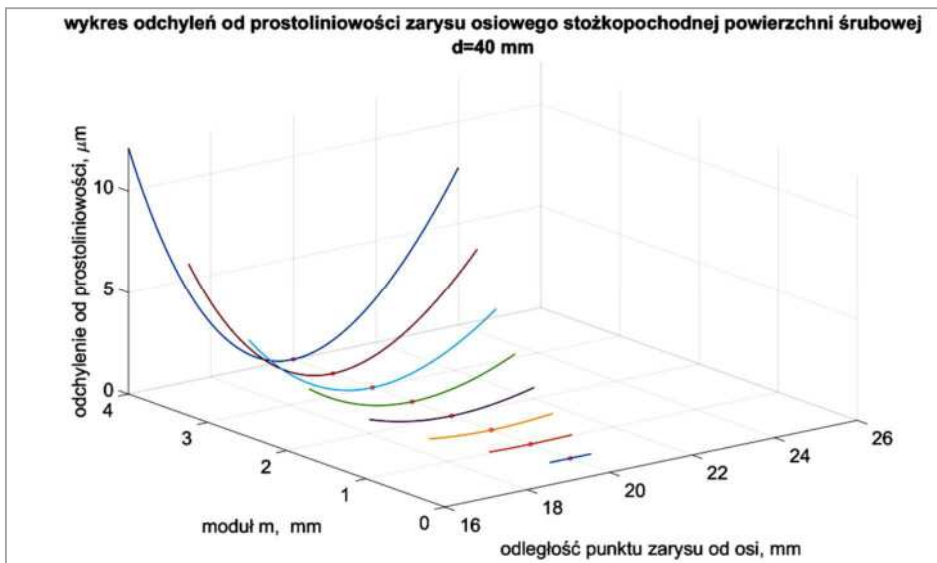


Rys. 7. Różnice kąta pochylenia osi ściernicy i kątów wzniosu linii śrubowych położonych na walcach różnej średnicy

W produkcji przemysłowej nie zawsze odstępstwa od właściwego, nominalnego zarysu ściernicy do szlifowania określonej powierzchni śrubowej są świadome, choć w pewnych wypadkach są akceptowalne. Mogą być dopuszczalne wtedy, gdy błąd zarysu powierzchni śrubowej, spowodowany odstępstwem od nominalnego zarysu ściernicy, jest mały w stosunku do dopuszczalnej odchyłki zarysu, a krzywizna zarysu nie ulega zmniejszeniu.



Rys. 8. Kształt zarysu osiowego stożkopochodnej powierzchni śrubowej (odchylenie od prostoliniowości w mikrometrach, odległość punktu zarysu od osi w milimetrach)



Rys. 9. Kształty zarysu stożkopochodnej powierzchni śrubowej dla różnych wartości modułu  $m$

W warunkach przemysłowych analiza geometryczna procesu szlifowania powierzchni śrubowych często jest zbyt pobieżna. Zależności matematyczne opisujące cechy geometryczne zarysów osiowych lub normalnych są złożone, zwłaszcza w przypadku powierzchni stożkopochodnych i torusopochodnych (uwikłane zbiory równań parametrycznych, o rozwiązaniach poprawnych jedynie w przestrzeni, obejmującej małą strefę styku narzędzia i obrabianej powierzchni).

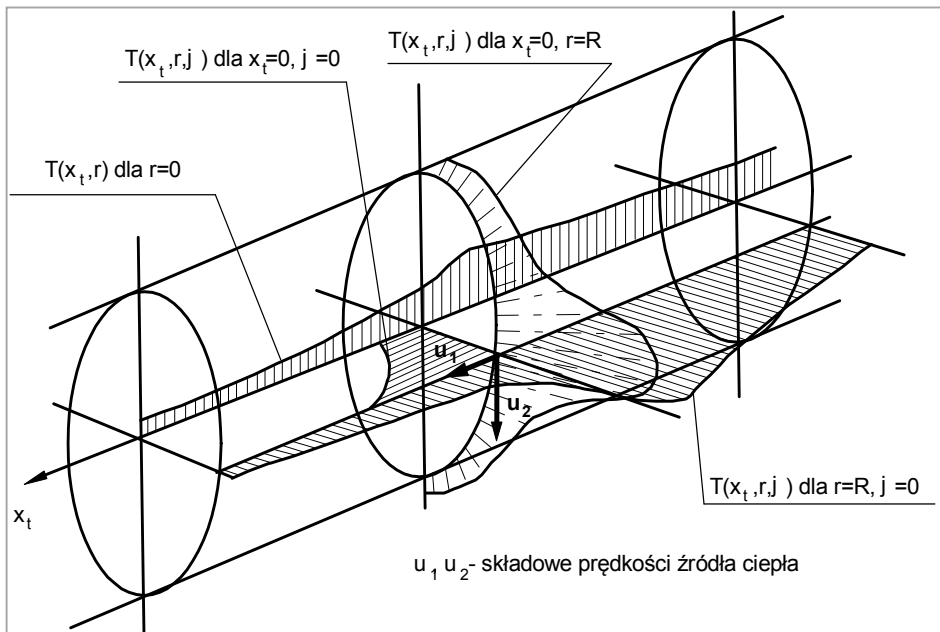
Modyfikacja zarysu powierzchni śrubowej powinna być poprzedzona analizą cech stereometrycznych i skutków eksploatacyjnych, a ponadto trzeba uwzględnić również wpływ nieuniknionych odchyłek zarysu powodowanych odchyłkami położenia i zużyciem kształtowym ściernicy.

W tym celu opracowano w systemie MATLAB oraz w systemie CAD/CAE aplikacje umożliwiające przeprowadzanie obliczeń cech geometrycznych szlifowanej powierzchni śrubowej, w tym współrzędnych zarysów osiowych i dowolnych innych, dla powierzchni będących obwiednią położenia narzędzia – stożkopochodnych, torusopochodnych oraz o dowolnych (dopuszczalnych) zarysach [Kac2016-2, Kac2017]. Możliwe jest przeprowadzanie analiz wpływu odchyłek położenia względnego narzędzia i szlifowanej powierzchni śrubowej na cechy geometryczne obrabianej powierzchni.

Pierwszy przykład innowacji dotyczy metody modyfikacji kształtu powierzchni śrubowych bez zmiany kształtu narzędzia. Stosując przedstawioną metodykę analiz oraz wykorzystując wyniki obliczeń z wykorzystaniem opracowanej aplikacji, unikając długotrwałych i kosztownych badań, można właściwie planować procesy szlifowania powierzchni śrubowych w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej lub też optymalizować parametry procesu w warunkach produkcji seryjnej. Poprzez zmianę kąta pochylenia osi ściernicy można zmieniać kształt zarysu oraz właściwości strefy zaszlifowania.

Drugi przykład dotyczy innowacji zapewniającej znaczne zmniejszenie odchyłek skoku długich powierzchni śrubowych.

Jedną z najważniejszych przyczyn odchyłek skoku szlifowanych powierzchni śrubowych są odkształcenia cieplne obrabianego przedmiotu. Odkształcenia te zależą nie tylko średniego przyrostu temperatury lecz przede wszystkim od rozkładu temperatury wzdłuż osi przedmiotu (rys. 10).

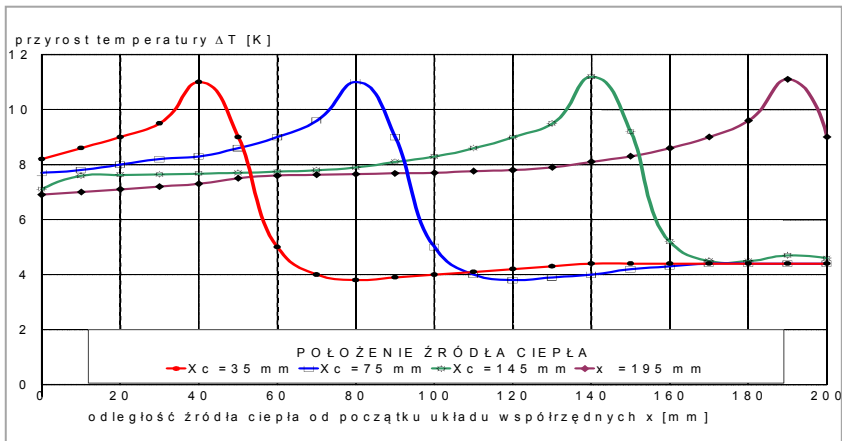


Rys. 10. Pole temperatur w szlifowanym przedmiocie

W układzie współrzędnych związanych ze źródłem ciepła (rys. 11), rozkład temperatur jest quasi-statyczny.

Cechą wynikającą z istoty wszystkich procesów szlifowania jest to, iż ze zmianą prędkości źródła ciepła zmieniają się nie tylko warunki przewodzenia ciepła w obrabianym przedmiocie, ale również zmieniają się warunki przejmowania ciepła przez otoczenie, a także zmienia się wydajność źródła ciepła, gdyż prędkość źródła ciepła jest prędkością posuwu wzdłużnego. To wszystko powoduje, że zależność przyrostu temperatury przedmiotu od prędkości posuwu obwodowego, a zatem i od wydajności szlifowania, nie jest zależnością monotoniczną, zwłaszcza w punktach odległych od szlifowanej powierzchni – leżących w pobliżu osi przedmiotu [Kac2014-1].

Przyrost temperatury w rdzeniu szlifowanego ślimaka niemonotonicznie zależy od prędkości obwodowej przedmiotu  $v_p$ . W obszarze najmniejszych prędkości ze wzrostem prędkości źródła ciepła  $v_p$  powiększa się przyrost temperatury nie tylko w pobliżu powierzchni przedmiotu, ale również w punktach leżących w osi przedmiotu. Dla większych wartości ze wzrostem prędkości  $v_p$  przyrost temperatury w pobliżu powierzchni leżących pod strefą szlifowania nadal się powiększa, ale przyrost temperatur w pobliżu osi już zaczyna się zmniejszać. Ma to duże znaczenie dla wyboru parametrów szlifowania, gdyż o odkształceniach cieplnych decydują przyrosty temperatur nie na samej powierzchni przedmiotu, lecz w jego rdzeniu.



Rys. 11. Przyrosty temperatur w osi szlifowanego przedmiotu w układzie związanym ze źródłem ciepła (strefą szlifowania)





**Innowacyjny sposób szlifowania precyzyjnych powierzchni śrubowych** polega na tym, że podczas szlifowania w pierwszym przejściu zmniejsza się stosunek sztywności osiowej konika do sztywności osiowej wrzeciennika przedmiotu, wraz z przemieszczaniem się ściernicy od prawego końca do lewego końca obszaru obróbki [Kac1993-2, Kac1994, Kac2014-1].

Najprościej uzyskuje się to albo przez obniżenie sztywności osiowej konika, lub lepiej poprzez wywołanie początkowego przemieszczenia przez dociśnięcie kła konika do przedmiotu siłą, której wartość byłaby zmniejszona wraz z przesuwanym się ściernicy do wrzeciennika.

W przejściu drugim i przejściach następnych szlifowany przedmiot posiada wyższą temperaturę i w związku z tym jego długość wskutek odkształceń cieplnych jest większa. Potrzebne jest zatem już od początku przejścia przemieszczenie konika w lewo o tę wartość. Następnie system wnioskowania rozmytego steruje położeniem konika podczas przemieszczania ściernicy.

**Dokładniejszy system kompensacji zakłóceń** polega na sterowaniu mikro przemieszczeniami obydwu kłów w ten sposób, iż kły konika i wrzeciennika o specjalnej konstrukcji mogą być wskutek odkształceń sprężystych lub cieplnych przemieszczane osiowo w granicach - 20 do 20  $\mu\text{m}$  mikrometrów, z zastosowaniem elementów piezoelektrycznych. Zapewnia to mikro przemieszczenia osiowe szlifowanej śruby zgodnie z potrzebą kompensacji jej odkształceń cieplnych.

## **2. INNOWACJE DOTYCZĄCE BUDOWY BEZLUZOWYCH PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWYCH**

### **Konstrukcyjne sposoby regulacji luzu bocznego**

W precyzyjnych układach pozycjonowania liniowego lub kątownego od występujących w nich mechanizmów oczekuje się pracy bez luzu, który jest przyczyną niedokładności. Nawet najdokładniejsze konwencjonalne przekładnie zębate nie zapewnią bezluzowej pracy urządzenia, ponieważ zawsze posiadają pewien luz wynikający z odchyłek wymiarów i niedokładności kształtu elementów przekładni oraz niedokładności montażu. Ponadto luz ten ulega powiększeniu wraz z postępującym zużyciem współpracujących powierzchni.

Problemy budowy i eksploatacji przekładni ślimakowych zostały opisane w wielu publikacjach [Kor1973, Yua1996, Mar1998, Sta2002, Sab2006,

Thy2009, Sko2010, Mar2013]. Przekładniami, które mogą zapewnić bezluzową pracę układu są specjalne przekładnie ślimakowe. Jednym z takich rozwiązań jest na przykład napęd ślimacznicy dwoma ślimakami, który zapewnia współpracę każdego ze ślimaków z inną stroną zębów ślimacznicy. Jednakże do ich napędu konieczne są skomplikowane mechanizmy wyrównawcze. Zastosowanie dwóch ślimaków stwarza problemy w smarowaniu jednej ze stref zazębienia oraz przyczynia się do zwiększenia objętości przekładni. Wadą tego rozwiązania jest złożoność i kosztowność konstrukcji.

Innym znanym już wcześniej rozwiązaniem jest zastąpienie typowego ślimaka ślimakiem dwuskokowym. W wyniku zastosowania dwóch różnych skoków obu stron zwoju, ślimak posiada zmienną grubość zębów. Zmniejszanie luzu w tej przekładni odbywa się poprzez osiowe przesuwanie ślimaka dwuskokowego względem ślimacznicy.

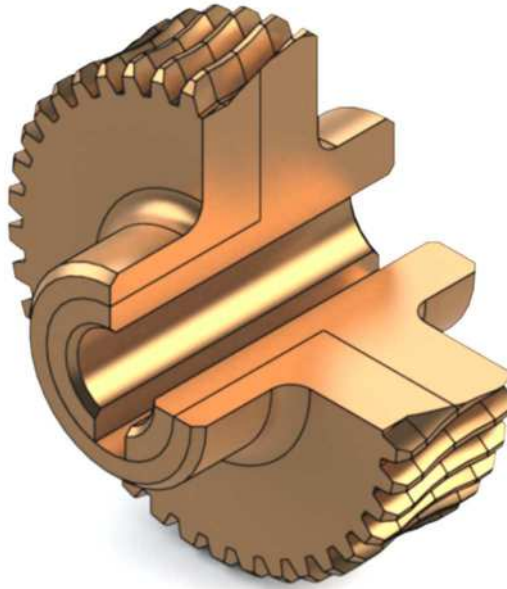
Do wad tego rodzaju przekładni możemy zaliczyć konieczność dużego przesuwu osiowego ślimaka, w celu zmniejszenia niewielkiego luzu, co może się przyczyniać do zwiększenia gabarytów przekładni. Przekładnia taka posiada zmniejszone pole przyporu, co wiąże się ze zmniejszoną obciążalnością tej przekładni lub szybszym zużyciem w czasie jej pracy pod dużym obciążeniem.

Opracowane nowe rodzaje przekładni ślimakowych z możliwością regulacji lub eliminowania luzu bocznego w zazębieniu nie posiadają wielu wad rozwiązań znanych wcześniej. Dlatego są one dobrą alternatywą dla drogich przekładni falowych lub precyzyjnych przekładni konwencjonalnych [Kac1988-4, Kac1989-2, Kac1989-3, Kac1990-1, Kac1990-2, Kac1990-3, Kac1990-4, Kac1990-5, Kac1990-6, Kac1990-7, Kac1990-8, Kac1992-2, Kac1992-3, Kac1992-4, Kac1993-1, Kac1993-4, Kac1993-5, Kac2004-3, Kac2005-3, Kac2014-6, Kac2014-7, Kac2014-8, Kac2014-9, Kac2014-10, Kac2014-11, Kac2014-12, Kac2015-1, Kac2015-4, Kac2015-5, Kac2015-6].

### **Przekładnia ślimakowa z dzieloną ślimacznicą**

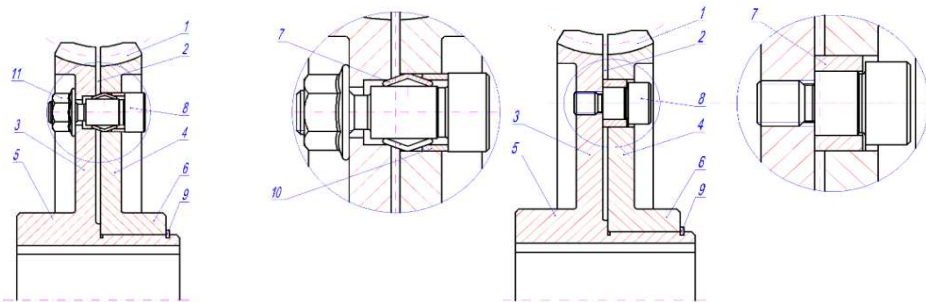
Rozwiązanie to charakteryzuje się tym, że ślimacznica podzielona jest płaszczyzną symetrii, prostopadłą do jej osi (rys. 14) i składa się wówczas z dwóch symetrycznych części, osadzonych na wspólnej piaście. Grubość zębów zwiększa się poprzez kątowe przemieszczenie podzielonych części. Wzrost grubości zębów ślimacznicy powoduje zmniejszenie luzów w zazębieniu współpracującej pary. Zmniejszanie luzu może odbywać się samoczynnie poprzez zastosowanie elementów sprężystych lub okresowo.

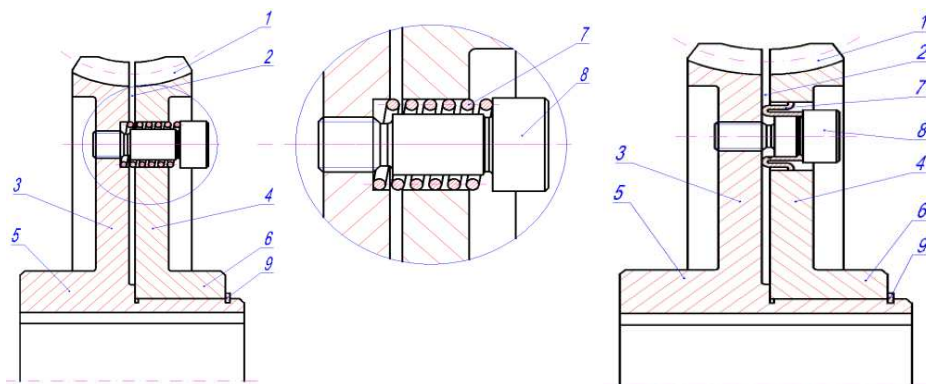
Nieciągłość linii zębów ślimacznicy jest wadą, ograniczającą zastosowanie tego rozwiązania do mechanizmów o małych obciążeniach. Zaletą tego rozwiązania jest natomiast duża zwartość konstrukcji i elastyczność pracy przekładni w warunkach zmiennych obciążeń. W celu zmniejszenia niekorzystnego wpływu nieciągłości linii zęba można nieznacznie zmniejszyć kąt pochylenia linii zębów ślimacznicy.



Rys. 14. Ukształtowanie elementów tworzących dzieloną ślimacznice

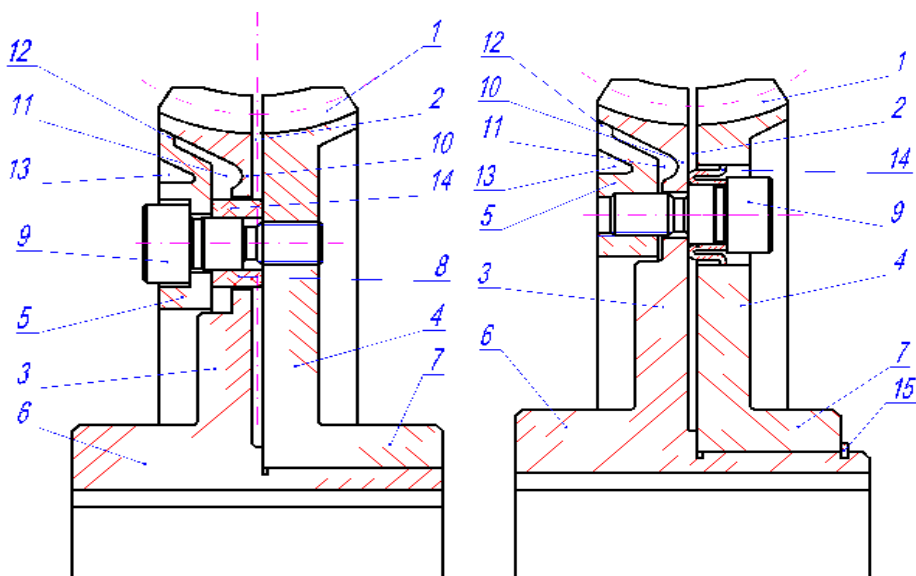
W innym rozwiązaniu przemieszczenie kątowe jednej z połówek ślimacznicy względem drugiej jest ograniczone oddziaływaniem elementów podatnych, korzystnie tłumiących drgania w postaci odkształcalnych elementów, uwidocznionych w przykładowych rozwiązaniach pokazanych na rysunku 15.





Rys. 15. Przykładowe rozwiązania ślimacznicy dzielonych z wzajemnym przemieszczeniem kątowym jej części

Kolejne opracowane rozwiązanie pozwala na regulację luzu bocznego poprzez jednoczesne odkształcenie wieńca i przemieszczenie kątowe jednej połowy wieńca ślimacznicy względem drugiej zawierającej elementy podatne tłumiące drgania (rys. 16).

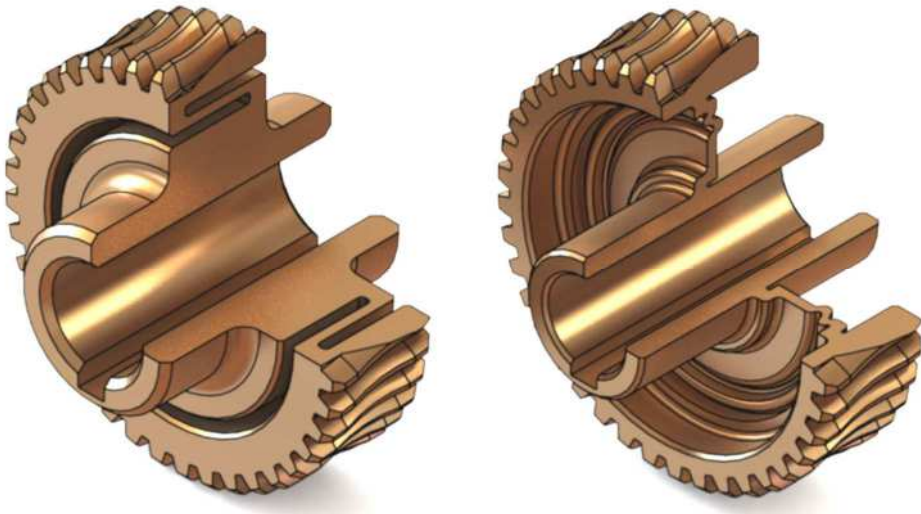


Rys. 16. Ślimacznica dzielona tłumiąca drgania posiadająca odkształcalny wieńiec

## Przekładnia ślimakowa z podatną ślimacznicą

Jednym z rozwiązań ze zmodyfikowaną ślimacznicą jest przekładnia opisana w patencie nr P.301669. Charakterystyczną cechą tej przekładni jest ślimacznica, która posiada na obu bocznych powierzchniach koła ślimakowego, głębokie pierścieniowe wgłębienia, współśrodkowe z otworem ślimacznicy (rys. 17). Celem wprowadzenia takiej modyfikacji jest otrzymanie podatności promieniowej i osiowej wieńca ślimacznicy.

Podatność taką można otrzymać również poprzez wykonanie ślimacznicy z dwóch elementów, osobno wieńca i piasty oraz połączenie ich za pomocą ścianki o cechach membrany.



Rys. 17. Podatna ślimacznica: nacięciami (po lewej) oraz z podatnym elementem o cechach membrany

Podatne ślimacznice (rys. 17) mogą być zastosowane w przekładni, w której odległość osi jest tak dobrana, że skutkuje to ustalonym, początkowym odkształceniem korpusu i wieńca ślimacznicy. Mogą też być wykorzystane w układzie z regulowanym mechanizmem zmiany rozstawu osi.

Innym z opracowanych rozwiązań jest przekładnia ślimakowa z regulowanym luzem międzyzębnym, wyposażona w mimośrodowy mechanizm zmiany odległości osi ślimacznicy i ślimaka.

## Przekładnia ślimakowa z wieńcem ślimacznicy rozdzielonym obwodową szczeliną

Przekładnia ślimakowa bezluzowa, według patentu nr P.169114 charakteryzuje się tym, iż wieńiec ślimacznicy jest umieszczony na przewężeniu i podzielony symetrycznie obwodową szczeliną sięgającą do średnicy dna przewężenia. W wyniku tego szerokość wieńca została podzielona na dwie równe części, które można zbliżyć do siebie w wyniku odkształcania wieńca za pomocą dociskowego elementu stożkowego, mającego kształt pierścienia.

Mogą to być różne rozwiązania konstrukcyjne (rys. 18, 19), w których w wyniku przemieszczania podzielnych części wieńca ślimacznicy następuje zmniejszanie luzu bocznego oraz przemieszczenie się strefy zazębienia w kierunku wierzchołków zębów ślimacznicy. Ten efekt można uwzględnić na etapie projektowania przekładni, zmniejszając pochylenie linii zębów ślimacznicy o wartość odpowiednią do przewidzianego zakresu regulacji.

Odkształcanie wieńca ślimacznicy może być realizowane z wykorzystaniem tarczy dociskowej o stożkowej powierzchni docisku z korzystnie podatną powierzchnią roboczą.

Korzystne cechy ma rozwiązanie (rys. 19), w którym element dociskający ma postać tarczy posiadającej wgłębienie obwodowe, powodujące zwiększenie podatności zewnętrznej krawędzi, poprzez którą dociska się odkształcalną stronę wieńca - zazębienia. Sprężysty docisk odkształcający część zazębienia powoduje, że możliwa jest lokalna kompensacja luzu bocznego.



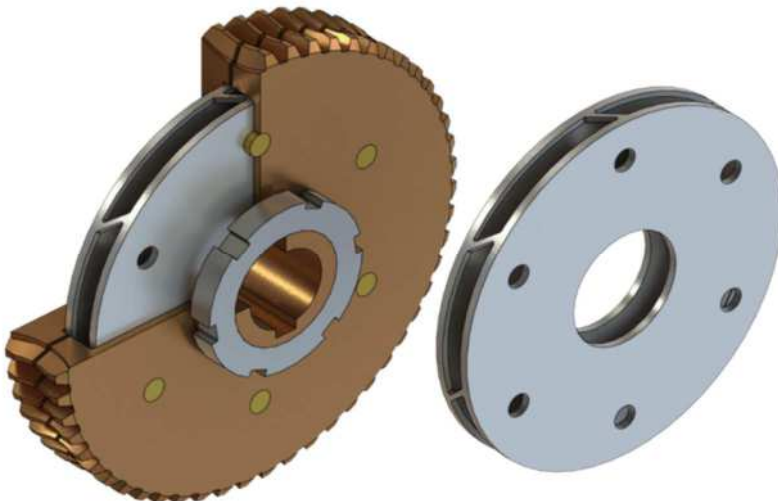
Rys. 18. Ślimacznica z wieńcem rozdzielonym obwodową szczeliną





Rys. 19. Ślimacznica z elementem dociskającym posiadającym wgłębienie obwodowe

Rozwiązanie przedstawione na rysunku 20 posiada wygodny mechanizm regulacji luzu bocznego. Ściskanie osiowe elementu dwutarczowego z ukośnymi żebrami powoduje [Kac1992-1], w wyniku odkształceń sprężystych, nieznaczny obrót tarcz względem siebie, co oznacza odpowiednie przemieszczenie jednej części wieńca ślimacznicy względem drugiej.



Rys. 20. Ślimacznica z tarczą wywołującą kątowe przemieszczenie względne uzębienia w wyniku ściskania osiowego



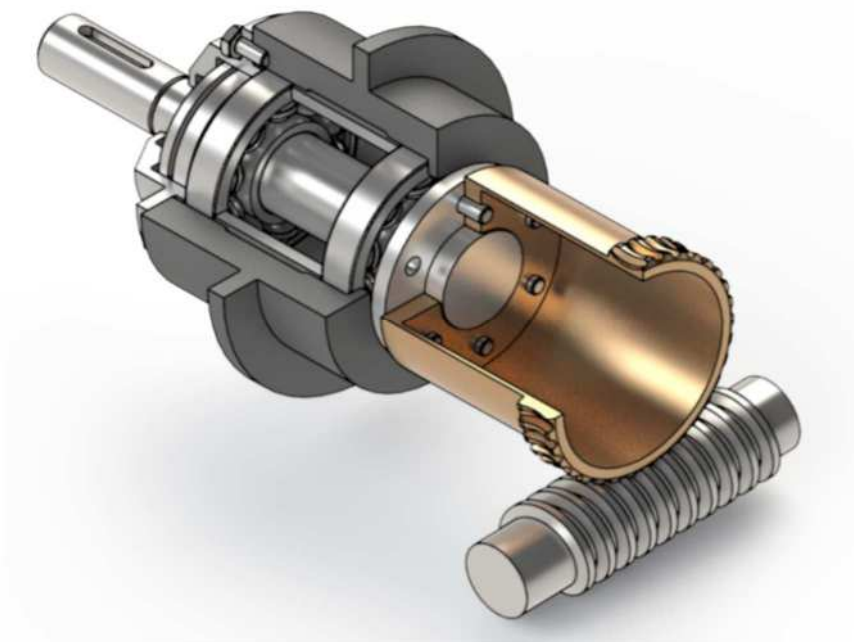
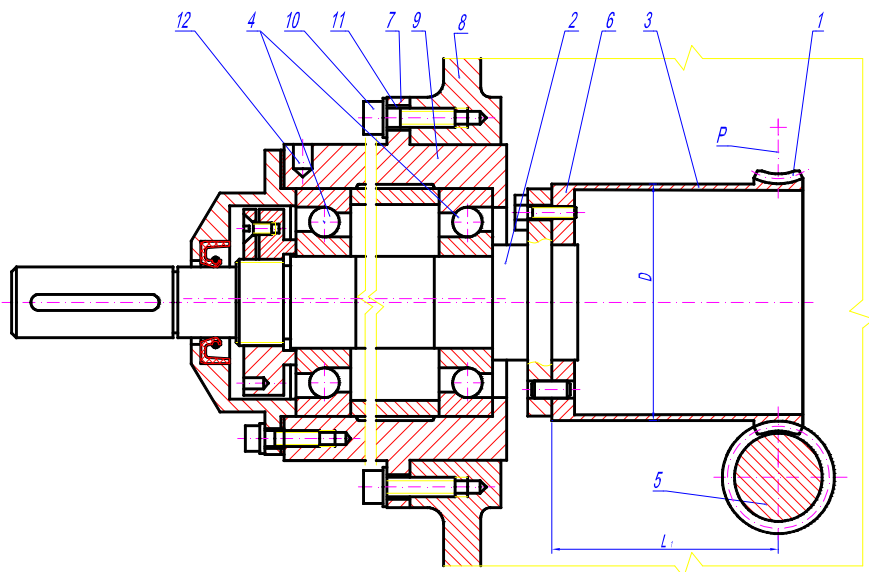
## **Przekładnia ślimakowa z wieńcem ślimacznicy usytuowanym na tulei cienkościennej**

Umieszczenie wieńca ślimacznicy na cienkościennej tulei jest następnym rozwiązaniem ułatwiającym zmniejszanie luzu bocznego w przekładni. To rozwiązanie konstrukcyjne może być wprowadzone na różne sposoby i uzyskano kilka patentów P.164102, P.164104, P.164105, P.163445 na rozwiązania, w których wieńiec ślimacznicy usytuowany jest na tulei cienkościennej.

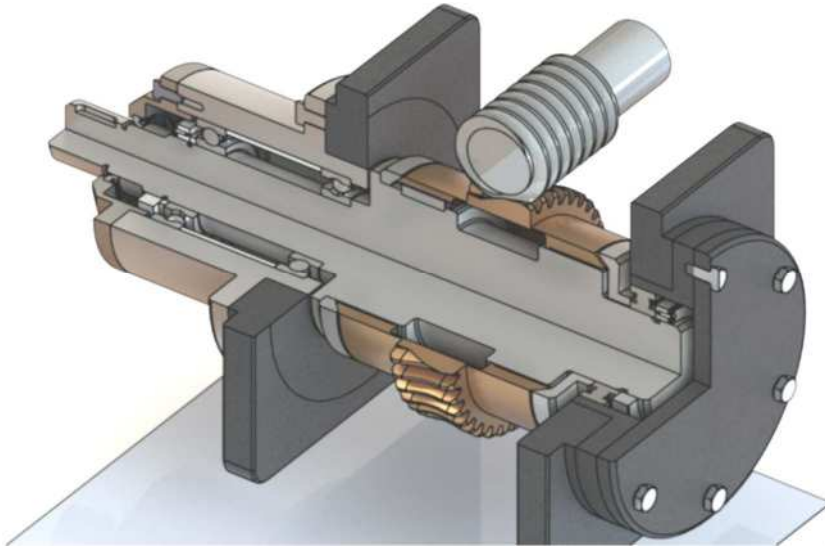
Przekładnia ślimakowa z regulowanym luzem międzyzębnym według patentu P.164102 (rys. 21) charakteryzuje się tym, że ślimacznica ze sprężystym elementem w postaci tulei cienkościennej połączona jest z wałkiem napędzanym.

Tuleja cienkościenne wyposażona jest w regulowany, mimośrodowy mechanizm dociskowy, za pomocą którego można dokonywać przemieszczania osi wałka napędzanego wraz z tuleją cienkościnną i wieńcem ślimacznicy w kierunku prostopadłym do osi ślimaka. W wyniku regulacyjnego przemieszczania całego zespołu wraz z wieńcem ślimacznicy, w strefie zazębienia następuje stopniowe zbliżanie ślimacznicy do osi ślimaka, z równoczesnym zmniejszaniem się luzów obwodowych przekładni, aż do obwodowego oparcia się powierzchni zębów ślimacznicy na zębach ślimaka.

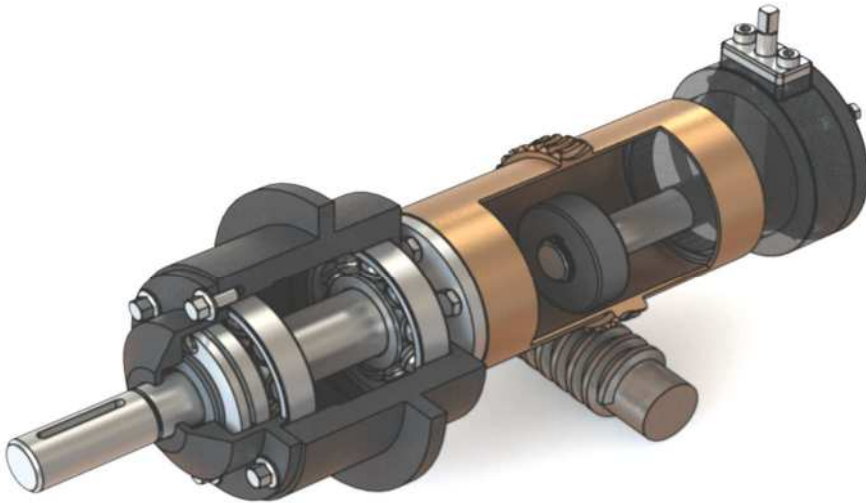
Dalsze zbliżanie współpracujących elementów powoduje sprężyste odkształcenie się tulei cienkościennej i wzrost nacisków powierzchniowych zębów proporcjonalnie do naprężeń tulei, co umożliwia całkowite wyeliminowanie luzów wynikających z geometrycznej niedokładności elementów przekładni spowodowanych niedokładnością wykonania lub zużyciem eksploatacyjnym. Inne rozwiązania przedstawiono na rysunkach 22 i 23.



Rys. 21. Przekładnia ślimakowa z wieniec ślimacznicą usytuowaną na tulei cienkościennej



Rys. 22. Przekładnia ślimakowa z wieńcem ślimacznicy usytuowanym na środkowej części tulei cienkościennej



Rys. 23. Przekładnia ślimakowa z wieńcem ślimacznicy usytuowanym na tulei cienkościennej odkształcanej promieniowo

## Przekładnia ślimakowa ze ślimakiem o powierzchni podziałowej o zmiennej średnicy

Kolejną grupą rozwiązań konstrukcyjnych przekładni ślimakowych z regulowanym luzem bocznym są przekładnie, w których wprowadzono modyfikacje ślimaków. Jedną z nich jest przekładnia ślimakowa według patentu P.160312, w której wprowadzono zmianę geometrii powierzchni podziałowej ślimaka. Posiada ona ślimak, który zamiast walcowej powierzchni podziałowej ma obrotową powierzchnię podziałową o stopniowo zmieniającej się średnicy. Powierzchnia wierzchołków zwojów ślimaka jest powierzchnią o kształcie zbliżonym do kształtu powierzchni podziałowej, przy czym zróżnicowanie średnic zewnętrznych na części uzębionej ślimaka jest mniejsze niż zróżnicowanie średnic podziałowych (rys. 24).

W innym rozwiązaniu ślimak ma powierzchnię podziałową o kształcie beczkowatym, przy czym różnice średnic zewnętrznych są mniejsze od różnic średnic podziałowych. Przekładnia tego rodzaju zalecana jest w przypadku, gdy kierunek obrotów pozostaje niezmienny, a położenie ślimaka względem ślimacznicy zależy od kierunku obrotów. W rozwiązaniu, w którym przekładnia ma jeden ustalony kierunek obrotów, większa średnica powierzchni podziałowej ślimaka powinna znajdować się w strefie wychodzenia zębów ślimaka z zazębienia ze ślimacznicą. Takie położenie ślimaka, zdaniem autora, pozwala na wydłużenie pola przyporu.



Rys. 24. Widok bezluzowej przekładni ślimakowej z dwoma przesuwными ślimakami

Zaletą tego rozwiązania jest to, że niewielkie przesunięcia osiowe gwarantują zmniejszenie luzu. Ważną zaletą tej przekładni jest możliwość regulacji luzu bez demontażu przekładni oraz jej efektywna praca w przypadku zmiany kierunku obrotów.

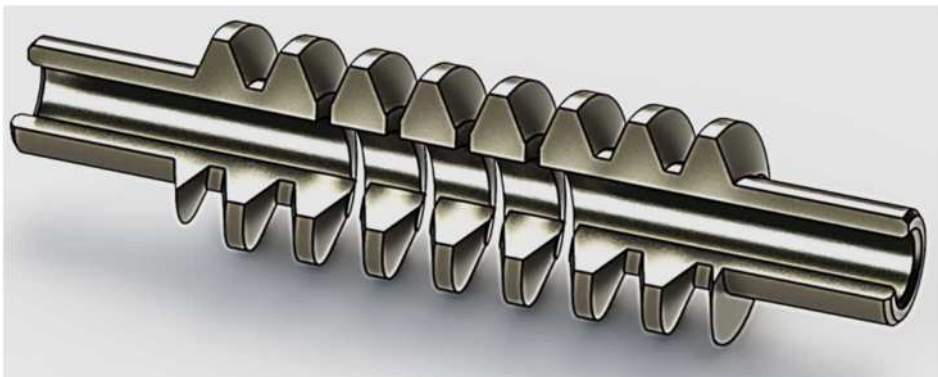
### **Przekładnia ślimakowa z lokalnie podatnym osiowo ślimakiem**

Przekładnia ślimakowa bezluzowa według patentu nr P137131 charakteryzuje się tym, że ślimak, osadzony na trzpieniu, ma w swej części środkowej wydrążony osiowy otwór o średnicy równej lub nieco większej od średnicy dna wrębów. Efektem tego jest przecięcie dna zwoju wzdłuż linii śrubowej tylko w środkowej części ślimaka (rys. 25). W innej odmianie otwór osiowy ślimaka na całej długości ma średnicę mniejszą od średnicy dna zwoju, ale w części środkowej ślimaka dno zwoju jest obniżone.

Dzięki temu ślimak w środkowej części staje się specyficzną sprężyną o utwierdzonych końcach, charakteryzującą się dużą sztywnością osiową. W wyniku tego przecięcia ślimak jest lokalnie podatny w kierunku osiowym i może być ściskany lub rozciągany.

Tak wykonany ślimak osadzony jest suwliwie na trzpieniu i jednym końcem ustalony osiowo oraz zabezpieczony przed obrotem względem trzpienia. Opisane zamocowanie ślimaka umożliwia przemieszczanie drugiego (swobodnego) końca w kierunku osiowym za pomocą mechanizmu przesuwu w celu zapewnienia odkształceń bezrzedzeniowej części ślimaka. Ściskając ślimak dokonuje się zmiany podziałki, a zatem reguluje się wartość luzu (rys. 26, 27).

Długość części ślimaka, która ma rozcięte dno wrębu wzdłuż linii śrubowej, zależy od długości strefy zazębienia, oraz od warunków eksploatacji i musi być mniejsza od długości części uzębionej ślimaka.

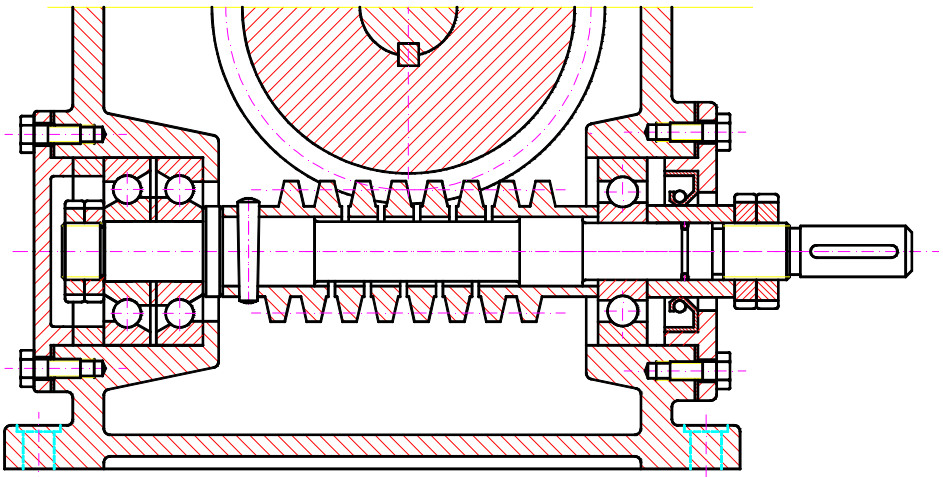


Rys. 25. Ślimak podatny lokalnie osiowo

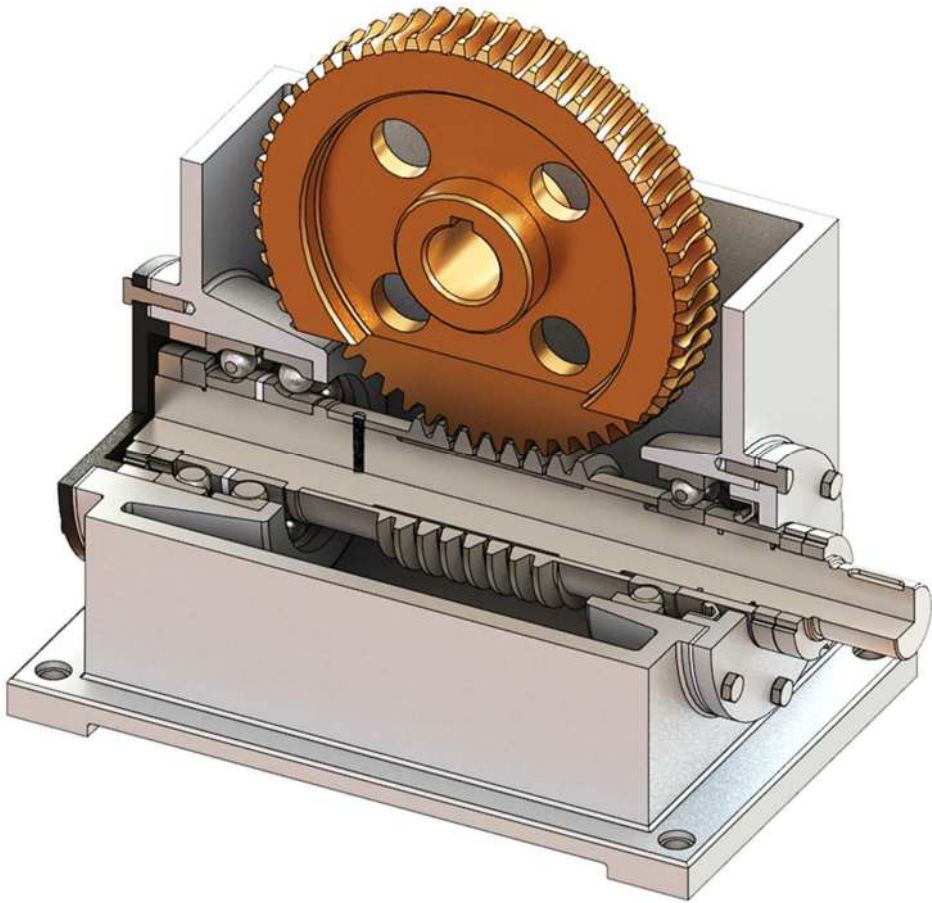
Zaletą tej przekładni jest prostota konstrukcji, łatwość regulacji luzu bocznej, której można dokonać nawet podczas pracy przekładni. Uzyskuje się dobre warunki smarowania między obciążonymi stronami zębów w strefie zazębienia niezależnie od kierunku pracy przekładni. Podatność bezrdzeniowej części uzębienia ślimaka (rys. 25) wpływa korzystnie na zmniejszenie nadwyżki dynamicznej i tłumienie drgań. Na tłumienie drgań można ponadto wpływać poprzez wprowadzenie elastycznego materiału w rowek powstały po przecięciu dna zwoju.

W przekładni tego typu w celu poprawienia jej właściwości eksploatacyjnych korzystne jest wprowadzenie dodatkowo modyfikacji zarysu zębów ślimaka. Polega ona na zmniejszeniu promienia krzywizny boków zębów, co spowoduje zwiększenie ich wypukłości. Wprowadzenie takiej modyfikacji sprzyja ograniczeniu lokalnych przemieszczeń rzeczywistej strefy zazębienia.

W innym rozwiązaniu, dla ograniczenia możliwości niekorzystnego zbyt dużego przesunięcia osiowego jednego z końców ślimaka, czyli zbyt dużego skrócenia skoku w części środkowej wprowadzono dodatkowo możliwość odkształceń promieniowych w tej strefie. Następuje to według rysunku 26, w wyniku osadzenia ślimaka na trzpieniu, który w części środkowej ma nieco mniejszą średnicę.



Rys. 26. Przekładnia ślimakowa ze ślimakiem podatnym lokalnie osiowo

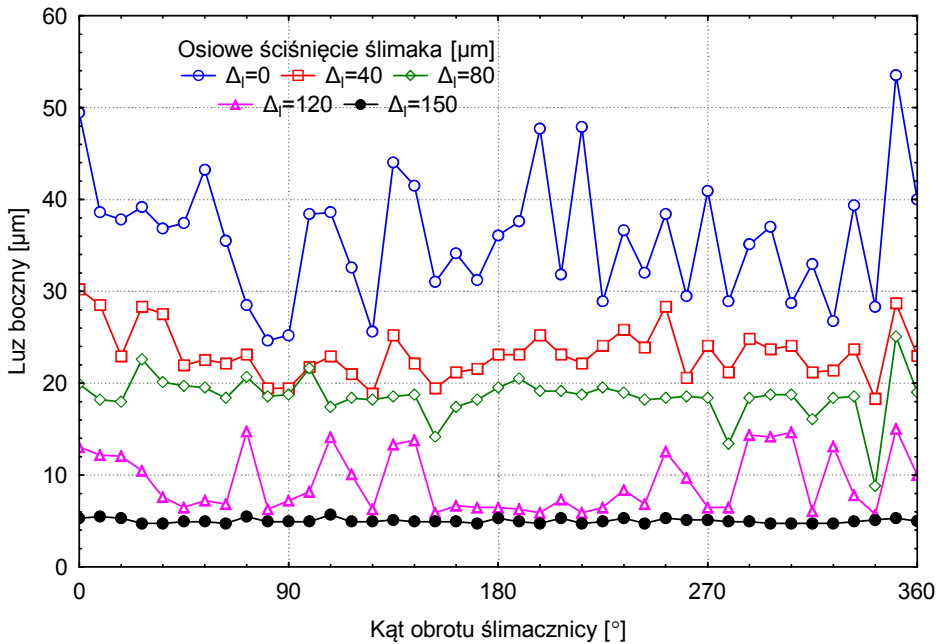


Rys. 27. Układ konstrukcyjny przekładni ślimakowej ze ślimakiem podatnym lokalnie osiowo i promieniowo

### **Przykładowe wyniki badań efektywności zmniejszania luzu bocznego**

Wyniki badań luzu bocznego dla jednej z badanych przekładni z osiowo i promieniowo podatnym ślimakiem dla różnych nastaw regulacyjnych przedstawiono na rysunku 28. Wartość luzu dla zerowej nastawy regulacji wynosiła średnio około  $40\ \mu\text{m}$ , a dla nastawy największej  $\Delta=150\ \mu\text{m}$  zmniejszyła się do poziomu około  $5\ \mu\text{m}$ , przy czym rozstęp wartości luzu zmniejszył się z  $30\ \mu\text{m}$  do  $2\ \mu\text{m}$ .





Rys. 28. Wykres zależności luzu bocznego od kąтового położenia ślimacznicy dla różnych nastaw regulacyjnych (ściśnięcia osiowego) przekładni

Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne opatentowanych wielu różnych przekładni ślimakowych pozwalają na regulację lub eliminowanie luzu bocznego poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań specjalnych konstrukcji ślimaków i ślimacznic. Opracowane rozwiązania stanowią dobrą alternatywę dla stosowanych przekładni falowych lub precyzyjnych przekładni konwencjonalnych.

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych i analiz numerycznych sformułowano następujące wnioski:

1. Analiza odchyłek wymiarów i kształtu współpracujących elementów oraz odchyłek ich wzajemnego położenia pozwala na prognozowanie wartości luzu bocznego przekładni przed jej montażem.
2. Opracowane nowe konstrukcje przekładni ślimakowej, w tym ze ślimakiem lokalnie podatnym osiowo i promieniowo, pozwalają na skuteczne, znaczne zmniejszenie luzu bocznego, a w tym, co ważne, również na znaczne zmniejszenie rozproszenia wartości luzu. Podatność osiowa w tych przekładniach przyczynia się do zmniejszenia średniej wartości luzu i rozproszenia jego wartości. Podatność



promieniowa ułatwia samoczynną zmniejszanie lokalnych zmian wartości luzu bocznego.

3. Przeprowadzone badania wykazały, że możliwe jest dla dokładnych przekładni o modułach  $m=2\div 4$ , zmniejszenie wartości średniej luzu bocznego do 7,5% wartości początkowej (od 40  $\mu\text{m}$  do wartości 3  $\mu\text{m}$ ) oraz zmniejszenie odchylenia standardowego luzu nawet dwudziestokrotne (od wartości 13  $\mu\text{m}$  do 0,6  $\mu\text{m}$ ).
4. Lokalne ugięcia promieniowe zwoju ślimaka nie wpływają niekorzystnie na dokładność kinematyczną przekładni, a powiększenie sztywności osiowej ślimaka z przeciętym lokalnie dnem zwoju, poprzez przyjęcie większej wartości modułu, pozwala uzyskać wystarczającą obciążalność przekładni. Znając wartość obciążenia przekładni oraz zakładając wartość wymaganej dokładności kinematycznej przekładni, można określić graniczną podatność ślimaka.
5. Opracowane przekładnie można z powodzeniem stosować w mechanizmach do precyzyjnego pozycjonowania stolików układów pomiarowych, w budowie precyzyjnych urządzeń technologicznych, oprzyrządowania technologicznego oraz w przypadku miniaturyzacji, również w mechanizmach odpornych na trudne warunki pracy.

### **3. INNOWACJE DOTYCZĄCE OCENY TOPOGRAFII POWIERZCHNI TECHNICZNYCH**

#### **Analiza problemów naukowych**

Analiza topografii powierzchni technicznych i ocena ich właściwości stereometrycznych jest coraz ważniejszym zadaniem w ocenie jakości procesów obróbki oraz w ocenie jakości produktów i prognozowaniu ich właściwości eksploatacyjnych.

Struktura geometryczna powierzchni ma znaczny wpływ między innymi na procesy tarcia i zużycia skojarzonych powierzchni, współpracujących tocznie i ślizgowo, na odkształcenia i sztywność stykową, koncentrację naprężeń i wytrzymałość zmęczeniową, odporność na oddziaływanie korozyjne, na tłumienie drgań, szczelność połączeń, rezystancję stykową, stykowe przewodnictwo ciepła, właściwości magnetyczne, zjawiska odbicia, pochłaniania i przenikania fal (światlnych, elektromagnetycznych itp.), procesy nanoszenia, przyczepność i wytrzymałość powłok uszlachetniających, właściwości aero- i hydrodynamiczne, na subiektywne wrażenia

dotyczące wyglądu, a także na preferencje nabywców określonych produktów.

W okresie ostatnich kilkunastu lat, nastąpił niezwykle postęp w metodach pomiaru i przetwarzania danych, charakteryzujących stereometrię powierzchni [Lub2000, Sta2004, Paw2005, Ber2007, Kac2007-1, Kac2007-2, Ber2010, Grz2010, Kac2010-1, Mat2011].

Wzrost wymagań w zakresie dokładności i właściwości elementów, a także minimalizacja zużycia materiałów, masy elementów i ich rozmiarów, wzrost obciążalności i wytrzymałości, a także rozwój technologii wytwarzania, spowodowały opracowanie wielu metod pomiarów i urządzeń do ich przeprowadzania oraz znaczne powiększenie liczby parametrów do wykorzystania w ocenie cech stereometrycznych powierzchni.

**Nadal jednak dobór parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych, tworzących komplementarny zbiór, zapewniających wysoką skuteczność klasyfikacyjną i łatwość interpretacji ocen dla określonych zastosowań powierzchni, jest trudnym zadaniem, wymagającym rozwiązania wielu problemów, opracowania oraz upowszechnienia systemów do wspomagania obliczeń i analiz oraz wspomagania podejmowania decyzji, odnoszących się do ustaleń konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych.**

Najważniejsze założenia, zadania oraz problemy, wymagające rozwiązania można sformułować następująco:

1. „Powierzchnia elementów materialnych” nie jest wyłącznie obiektem geometrycznym – jest obiektem „materialnym”, a zatem jej właściwości i przeznaczenie są ważnymi przesłankami do wielu analiz.
2. Podstawą wyboru parametrów, które zostaną wykorzystane do oceny określonej powierzchni, powinno być przeznaczenie elementu i warunki jego eksploatacji, przy czym przydatna jest też wiedza o procesie stosowanym do kształtowania powierzchni.
3. Kształtowanie powierzchni wielu dokładnych elementów następuje w procesach obróbki ściernej lub erozyjnej. Powierzchnie takie posiadają randomizowane cechy fraktalne, z niekiedy „obcą” składową główną.
4. Wiele parametrów chropowatości jest silnie skorelowanych dla pewnych klas powierzchni.
5. Zawartość informacyjna poszczególnych parametrów jest zróżnicowana.

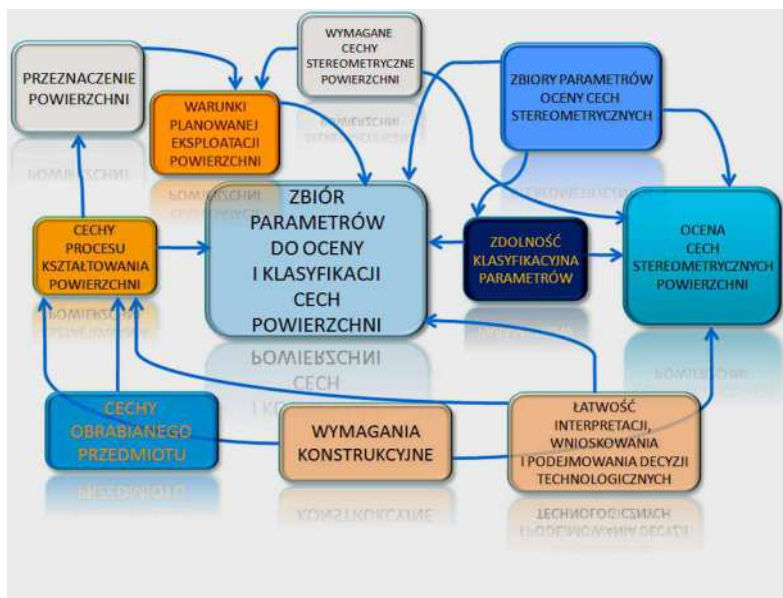
6. Wiele parametrów zyskuje na znaczeniu dopiero po integracji informacji w nich zawartej z informacją dostępną z wykorzystaniem innych parametrów.
7. Większość użytkowanych powierzchni przeznaczonych jest do współpracy z innymi powierzchniami, a zatem rozmieszczenie, rozmiary i cechy statystyczne potencjalnych pól kontaktu mają duże znaczenie.
8. Dla oceny jakości, klasyfikacji i interpretacji wyniku kształtowania powierzchni, wielkie znaczenie ma łatwość interpretacji wartości parametrów i ich odniesienia do cech i efektów procesu kształtowania powierzchni.
9. W ocenie cech stereometrycznych powierzchni za ważne należy uznać relacje między określonymi parametrami profilu (2D) we wzajemnie prostopadłych kierunkach, dlatego, iż szczególnie ważny jest kształt i rozmieszczenie obszarów prawdopodobnego styku kontaktujących się powierzchni.
10. Nie jest uzasadnione wskazywanie jednego uniwersalnego zbioru parametrów, zalecanego do oceny powierzchni o różnych przeznaczeniach, funkcjach użytkowych i zastosowaniach eksploatacyjnych.
11. W zależności od warunków planowanej eksploatacji oraz, w pewnym stopniu, również od cech procesu kształtowania powierzchni, należy tworzyć zbiór parametrów, które będą (rys. 29):
  - maksymalizować przydatność informacyjną,
  - spełniać warunek komplementarności,
  - zawierać informację o rozproszeniu i zmienności parametrów geometrycznych,
  - spełniać warunek, łatwych do interpretacji relacji, między wartościami parametrów, a określonymi cechami powierzchni,
  - umożliwiać wyznaczenie ewentualnych korekt procesu kształtowania powierzchni.

Powyższe analizy były podstawą opracowania i zastosowania nowych zbiorów parametrów do analizy cech stereometrycznych powierzchni [Kac2010-3, Kac2011-1, Kac2011-2 Tom2012-1, Tom2012-2, Tom2012-3, Kac2014-17, Kac2014-18, Lip2016-2, Kac2016-15], zależnych od:

- wartości i cech rozkładu pierwszej pochodnej zarysu (w tym cech statystycznych wartości zbliżonych do zera),
- rozkładu rzędnych wierzchołków powierzchni i zarysów,

- rozkładu odległości wzniesień i wgłębień w określonym kierunku,
- rozmiarów, położenia i odległości pól prawdopodobnego styku z powierzchnią współpracującą o określonej topografii lub z powierzchnią równoważną statystycznie, dla określonych warunków zbliżenia powierzchni (rys. 30),
- rozkładu kątów pochylenia linii łączących sąsiednie wierzchołki powierzchni,
- rozkładu wartości stosunku wysokości do pierwiastka z pola wzniesienia,
- rozkładu wartości stosunku obwodu do pierwiastka z pola wzniesienia powierzchni ponad określony poziom,
- cech opisujących kształt wierzchołków nierówności i pól ich przecięcia na określonym poziomie.

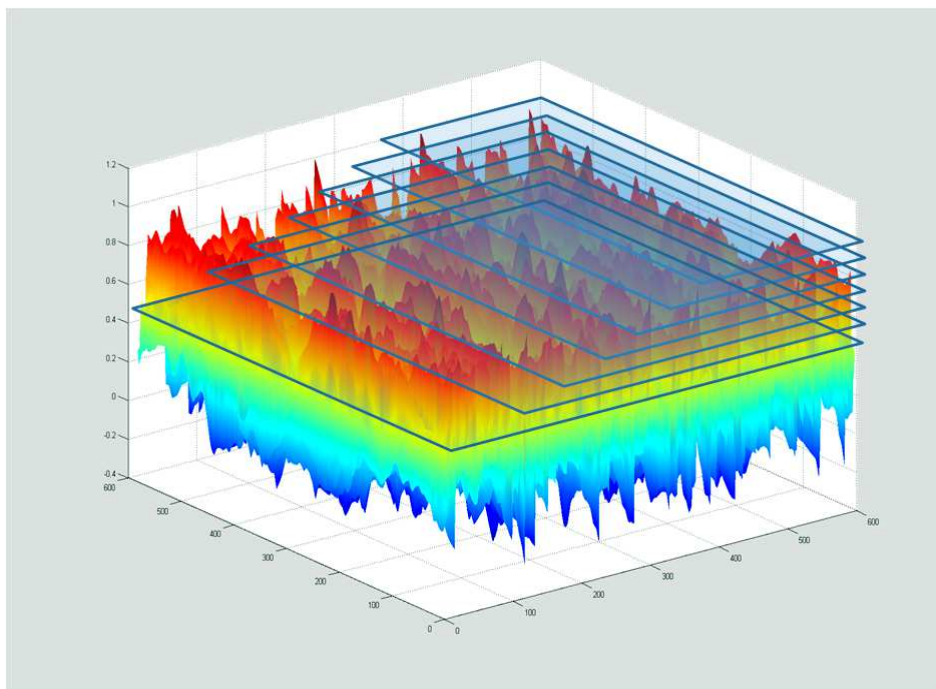
W tworzeniu syntetycznych wskaźników oceny powierzchni, z uwzględnieniem wielu parametrów elementarnych, niezbędna jest normalizacja wielkości wejściowych, a następnie wskazane jest wyznaczenie średniej geometrycznej [Kac2010-3, Kac2001-2, Kac2014-18, Kac2016-7], która w stosunku do średniej arytmetycznej w większym stopniu zależy od danych uznawanych za niekorzystne.



Rys. 29. Schemat do ilustracji problemów kompleksowej oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych

Zdolność klasyfikacyjna określonych parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni, dla określonego zbioru porównywanych powierzchni (normalizowanego dla danego zbioru), jest tym większa, im bardziej równomierny jest rozkład wartości ocen wszystkich powierzchni dla danego parametru (w przedziale 0, 1).

W przypadku, gdy oceny, z zastosowaniem danego parametru, są dla kilku powierzchni podobne, to parametr ten ma niską zdolność klasyfikacyjną. Wskaźnikiem zdolności klasyfikacyjnej może być średnia geometryczna różnic wartości kolejnych ocen w posortowanym ciągu ocen.



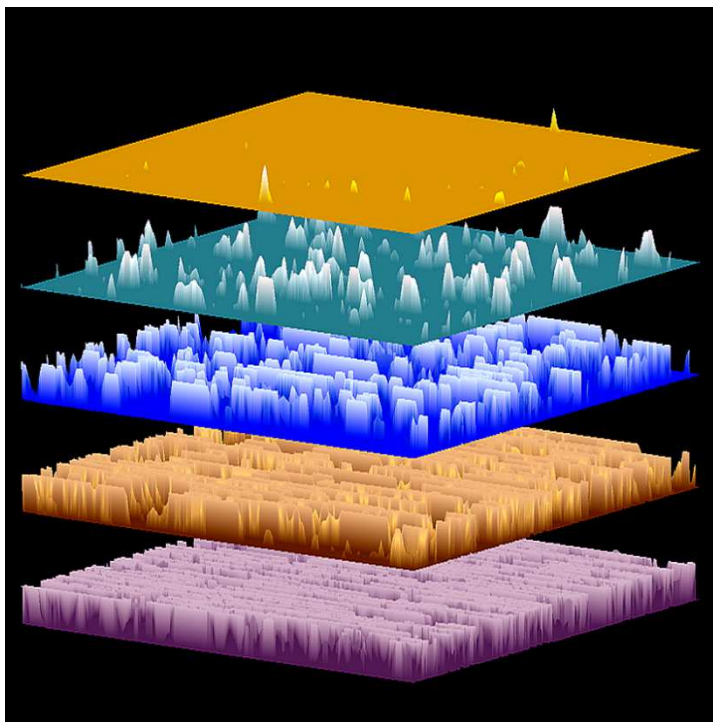
Rys. 30. Schemat do analizy cech wyniesień i obszarów możliwego kontaktu powierzchni współpracujących

Klasyfikacja powierzchni na podstawie ich cech stereometrycznych, z określeniem klasy przydatności do wyodrębnionej grupy zastosowań, wymaga zastosowania następującej metodyki:

- najpierw określa się zbiór różnych zastosowań i warunków pracy powierzchni,
- następnie określa się zbiór parametrów, wykorzystywanych do opisywania cech stereometrycznych powierzchni,

- w kolejnym kroku określa się wzorce cech stereometrycznych, typowe dla określonych zastosowań, wymagań i warunków pracy,
- w końcowym kroku, z zastosowaniem sztucznej sieci neuronowej Hamminga, z opracowanymi modyfikacjami, następuje zakwalifikowanie ocenianej powierzchni, na podstawie wartości parametrów, opisujących jej cechy stereometryczne, jako najbliższej jednego z wzorców, co oznacza przypisanie określonego wyróżnika klasyfikacyjnego.

Rekonstrukcja powierzchni z wykorzystaniem informacji z dwóch wzajemnie prostopadłych zarysów, umożliwia przeprowadzanie pełnego zakresu analiz cech stereometrycznych w przypadkach, gdy nie jest możliwe wykonywanie pomiarów przedmiotu w warunkach laboratoryjnych (przedmioty duże lub przedmioty, których nie można przemieszczać do stanowiska pomiarowego), a jedynie z wykorzystaniem przenośnych systemów pomiarowych.



Rys. 31. Ilustracja do metodyki i zastosowań opracowanych metod analizy cech stereometrycznych powierzchni

## **Innowacje dotyczące oceny topografii powierzchni technicznych**

### **Opis środowiska obliczeniowego**

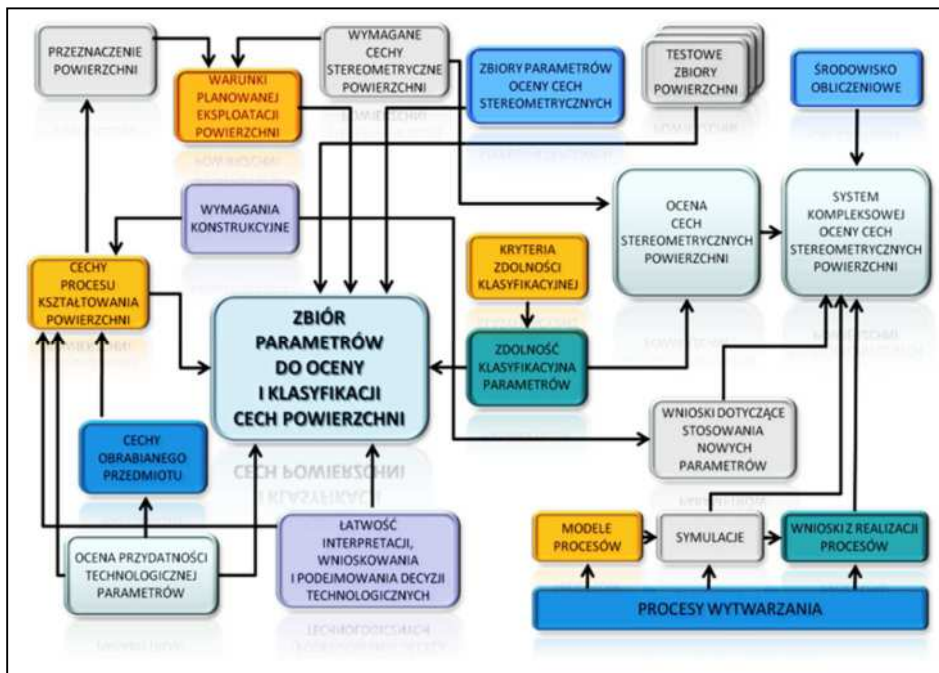
Opracowanie innowacji dotyczących oceny topografii powierzchni technicznych wymagało stworzenia dużej liczby (ponad 200) skryptów, funkcji i aplikacji w środowisku MATLAB z których można wyróżnić:

1. Aplikację do analizy i zarządzania danymi oraz transferu danych do urządzeń pomiarowych (profilografometry, mikroskopy konfokalne, mikroskopy skaningowe).
2. Zbiór aplikacji do wyznaczania znormalizowanych parametrów oceny struktury geometrycznej powierzchni (2D, 3D).
3. Zbiór aplikacji do filtrowania i wyodrębniania składowych o różnych cechach.
4. Zbiór aplikacji do wyznaczania wartości nowych parametrów oceny struktury geometrycznej powierzchni.
5. Zbiór aplikacji do klasyfikacji cech stereometrycznych i oceny ich przydatności.
6. Zbiór aplikacji do wyznaczania korelacji między parametrami 2D i 3D, w tym również dla nowych parametrów.
7. Zbiór aplikacji do oceny struktury geometrycznej powierzchni o wysokościach nierówności mniejszych od  $0,1 \mu\text{m}$ .
8. Aplikację do generowania współrzędnych i obrazów powierzchni z wykorzystaniem mechanizmu randomizowanego fraktalnego kumulowania wartości składowych pola losowego dla różnych metod obróbki i do analizy topografii powierzchni czynnej narzędzi ściernych.
9. Zbiór aplikacji do analizy potencjalnych pól kontaktu powierzchni współpracujących.

### **Nowe parametry oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych**

#### **Problemy wyboru zbioru parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej**

Problem wyboru zbioru parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej oraz łatwych interpretacji i przydatnych do doboru parametrów i warunków procesu obróbki, przedstawiono na rysunku 32.



Rys. 32. Schemat do metodyki wyboru zbioru parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej

Ocena zdolności klasyfikacji różnych parametrów możliwa jest z zastosowaniem następującej metodyki:

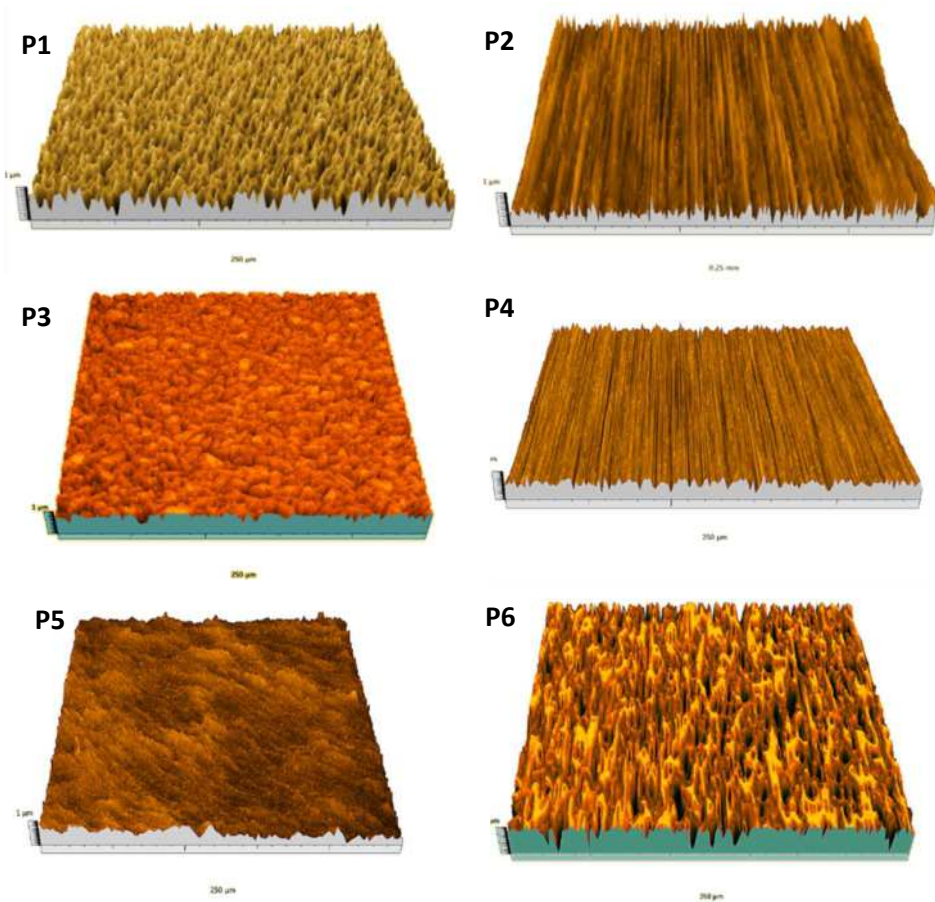
1. W pierwszym etapie tworzy się zbiór powierzchni, które planuje się różnicować z zastosowaniem różnych parametrów (32).
2. W kolejnym etapie wyznacza się wartości różnych parametrów dla wszystkich powierzchni w zbiorze testowym.
3. Przeprowadza się normalizację parametrów do przedziału  $\langle 0,1 \rangle$ , korzystnie z zastosowaniem metod wnioskowania rozmytego.
4. Dokonuje się wizualizacji znormalizowanych wartości parametrów na wykresie radarowym (rys. 34, 35).
5. Dokonuje się sortowania zbiorów wartości każdego z parametrów odrębnie  $\{St_1, St_2, \dots, St_n\}, \dots \{P_{1i}, P_{2i}, \dots, P_{ni}\}$ .
6. Wyznacza się różnice między kolejnymi wartościami dla każdego zbioru parametrów  $\Delta P_{ji} = P_{j_{i+1}} - P_{ji}$
7. Ustala się małą wartość  $\varepsilon \ll \Delta \bar{P}_{ji}$ , np.  $\varepsilon = (0,01 \div 0,1) \Delta \bar{P}_{ji}$ .

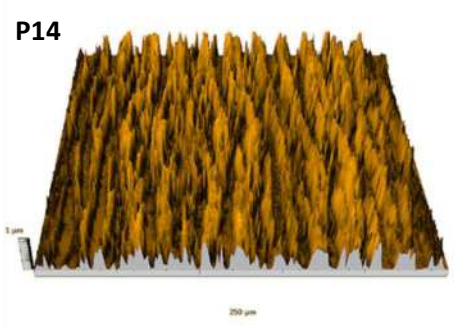
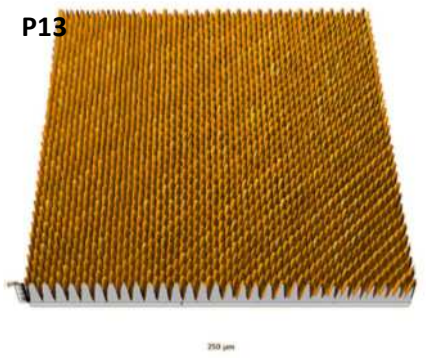
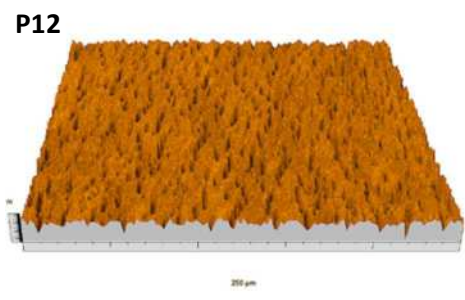
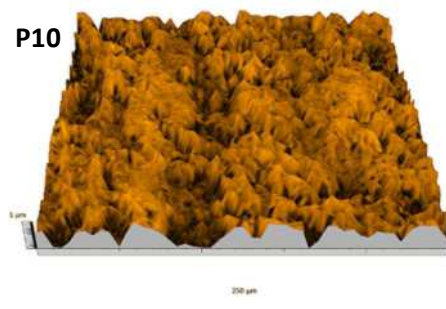
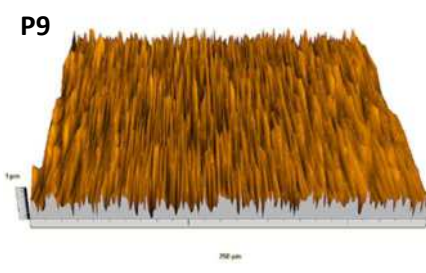
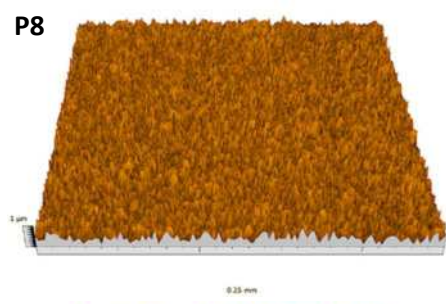
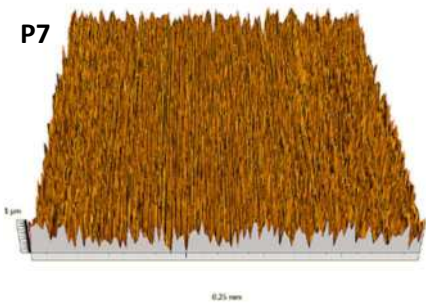


8. Wyznacza się średnią geometryczną w zbiorze wartości  $n\Delta P_{j_i} + \varepsilon$  według wzoru

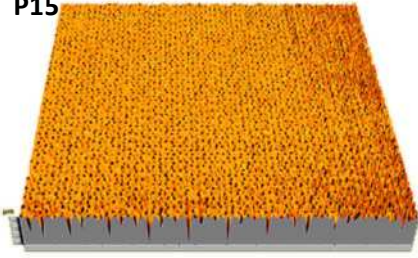
$$Wsk_{klas} = \left( \prod_{i=1}^n (n\Delta P_{j_i} + \varepsilon) \right)^{\frac{1}{n}}, \text{ dla wszystkich } j = 1, \dots, k.$$

9. Wartość  $0 < Wsk_{klas} < 1$  jest wyznacznikiem zdolności klasyfikacyjnej parametru  $j$ . Zdolność klasyfikacyjna jest tym większa, im większa jest wartość  $Wsk_{klas}$  (rys. 36).



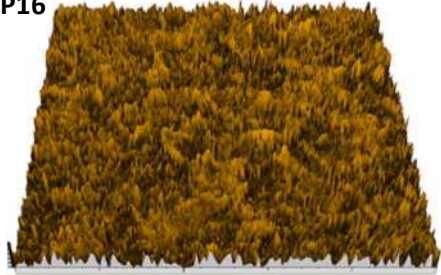


**P15**



0.25 mm

**P16**



250 µm

**P17**



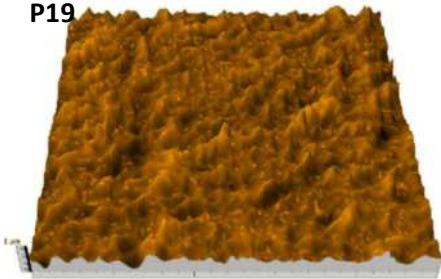
250 µm

**P18**



250 µm

**P19**



250 µm

**gE070027**





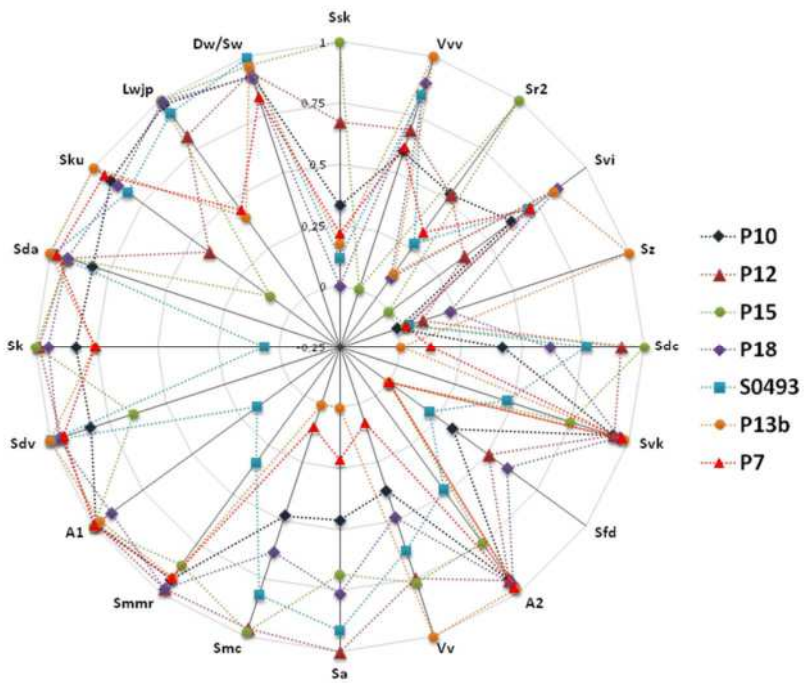
S0493



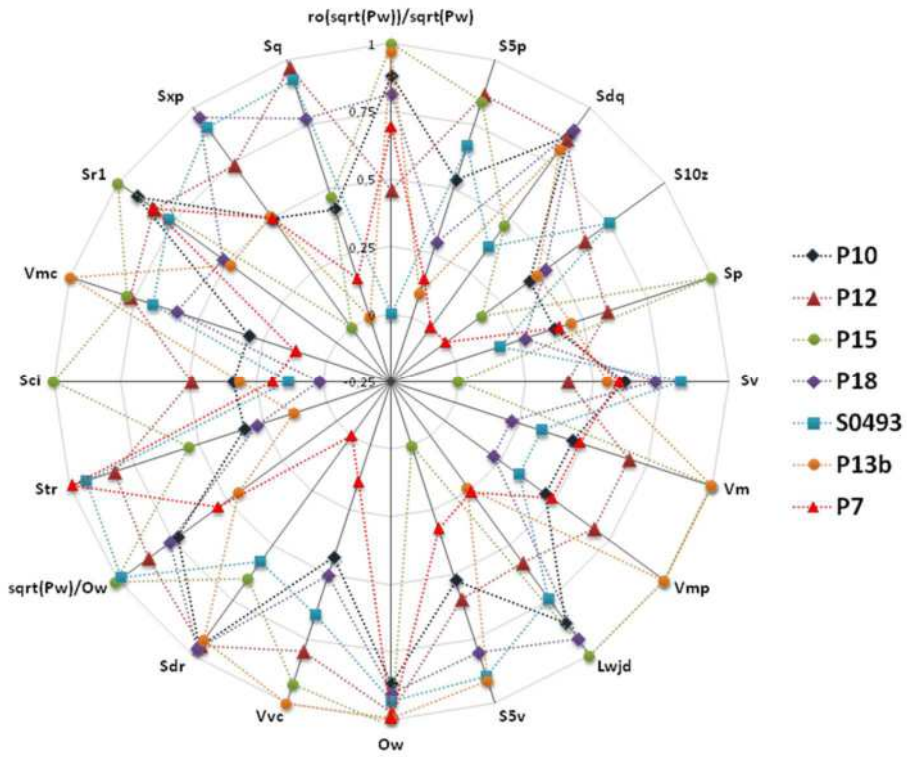
g030063



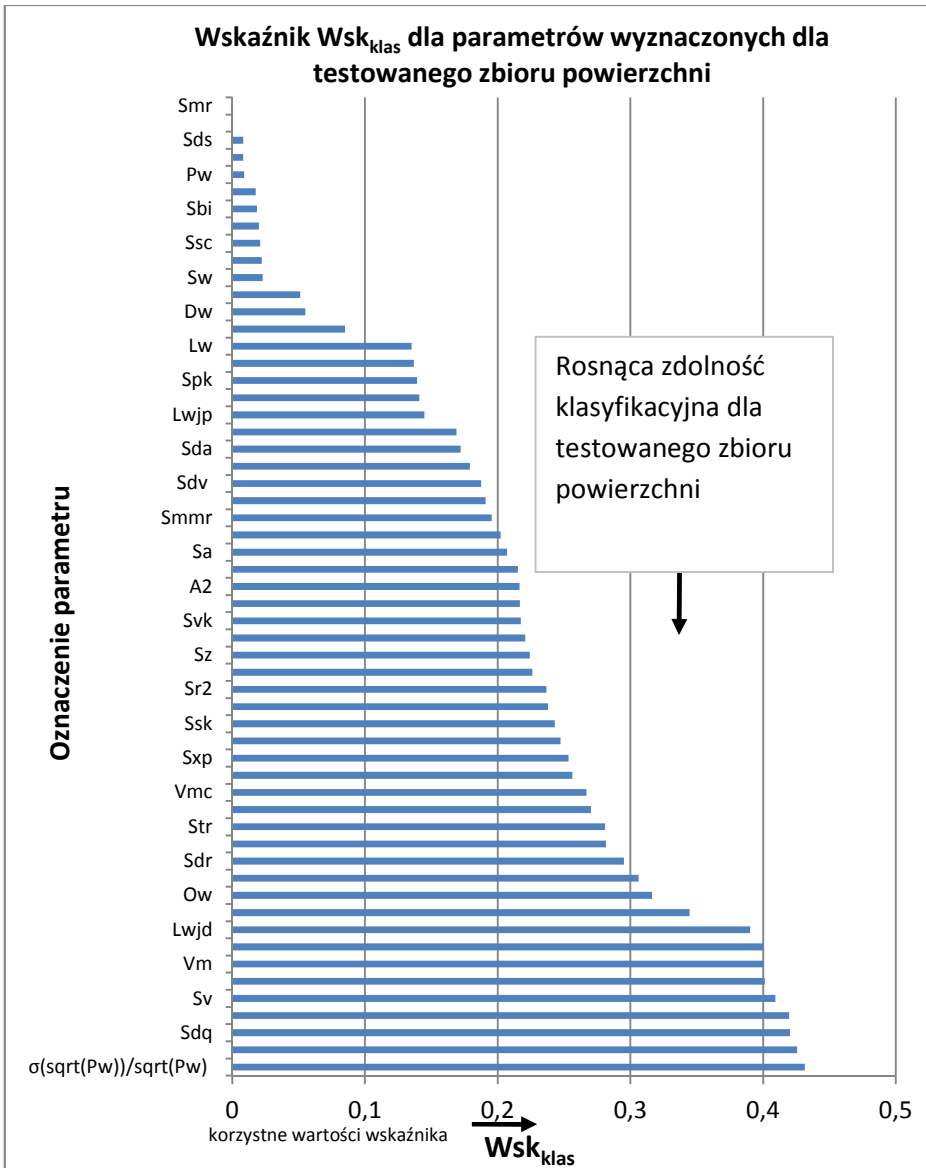
Rys. 33. Zbiór testowy powierzchni o zbliżonej wartości parametru  $St \cong 1\mu\text{m}$



Rys. 34. Znormalizowane wartości wybranych parametrów o średnim współczynniku  $Wsk_{\text{klas}}$  dla siedmiu wybranych powierzchni ze zbioru testowego P7, P10, P12, P13b, P15, P18, S0493



Rys. 35. Znormalizowane wartości wybranych parametrów o wysokim współczynniku  $Wsk_{klas}$  dla siedmiu wybranych powierzchni ze zbioru testowego P7, P10, P12, P13b, P15, P18, S0493



Rys. 36. Wartości wskaźnika zdolności klasyfikacyjnej wybranych parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni dla testowego zbioru ocenianych powierzchni

Tab. 1. Wykaz nowych i innych ważniejszych parametrów przestrzennych dla rysunku 36

Oznaczenie parametru	Jednostka	Kontekst	Opis
Dw	$\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia długość wyniesień ponad poziom $h$
Dw/Sw	$\mu\text{m}/\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek średniej długości wyniesienia do średniej szerokości
Lwjd	1/mm	$h = 0,2 \text{ St}$	Liczba wzniesienia na jednostkę długości
Lwjpc	1/mm <sup>2</sup>	$h = 0,2 \text{ St}$	Liczba wzniesienia na jednostkę powierzchni
Ow	$\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia odległość między wniesieniami
Pw	$\mu\text{m}^2$	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia powierzchnia wzniesienia
Sal	$\mu\text{m}$		Długość autokorelacji najszybszego zanikania
Sda	$\mu\text{m}^2$	przycinanie = 5%	Pole średniej doliny
Sdc	$\mu\text{m}$	$p = 10\%, q = 80\%$	Różnica wysokości między przekrojami
Sdq			Średniokwadratowy gradient powierzchni
Sdr	%		Współczynnik rozwinięcia obszaru powierzchni
Sds	1/ $\mu\text{m}^2$		Gęstość wierzchołków
Sdv	$\mu\text{m}^3$	przycinanie = 5%	Objętość średniej doliny
Sfd			Wymiar fraktalny powierzchni
Sha	$\mu\text{m}^2$	przycinanie = 5%	Obszar średniego wzniesienia
Shv	$\mu\text{m}^3$	przycinanie = 5%	Objętość średniego wzniesienia
Sk	$\mu\text{m}$	Filtr gaussowski, 0.8 mm	Głębokość chropowatości rdzenia
Sku			Kurtoza (eksces) powierzchni
Smmr	$\mu\text{m}$		Średnia objętość materiału wzniesień na jednostkowej powierzchni
Smq		Filtr gaussowski, 0.8 mm	Stosunek materiałowy na przejściu płaskowyż-dolina
Smvr	$\mu\text{m}$		Średnia objętość wgłębień na jednostkowej powierzchni
Sp	$\mu\text{m}$		Maksymalna wysokość wzniesienia
Spc	1/ $\mu\text{m}$	przycinanie = 5%	Średnia arytmetyczna krzywizna pików powierzchni
Spd	1/ $\mu\text{m}^2$	przycinanie = 5%	Gęstość pików powierzchni
Sq	$\mu\text{m}$		Średniokwadratowe odchylenie powierzchni
sqrt(Pw)/Ow	$\mu\text{m}/\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek pierwiastka średniego pola wzniesienia do średniej odległości między wzniesieniami
Ssc	1/ $\mu\text{m}$		Średnia arytmetyczna krzywizna wierzchołka
Ssk			Asymetria powierzchni
St	$\mu\text{m}$		Całkowita wysokość nierówności
Std	°		Kierunek struktury powierzchni
Str			Wydłużenie struktury powierzchni
Sv	$\mu\text{m}$		Maksymalna głębokość wgłębienia
Sw	$\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia szerokość wzniesienia
Sxp	$\mu\text{m}$	$p = 50\%, q = 97.5\%$	Skrajna wysokość szczytu
$\sigma(\text{sqrt}(Pw))/\text{sqrt}(Pw)$		$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek odchylenia standardowego z pierwiastka pola powierzchni wzniesienia do pierwiastka ze średniej powierzchni wzniesienia

Znaczenie technologiczne poszczególnych parametrów zależy od stopnia korelacji ich wartości i parametrów opisujących proces kształtowania obrabianej powierzchni, oraz parametrów opisujących cechy narzędzi i inne cechy obróbki. Z badań autorów wynika, iż w wielu przypadkach parametry mające wysoką zdolność klasyfikacyjną, również mają duże znaczenie technologiczne.

**W testowanym zbiorze powierzchni o zbliżonej wartości parametru  $St \cong 1\mu\text{m}$  (rys. 33), parametrami o najwyższej zdolności klasyfikacyjnej okazały się następujące:**

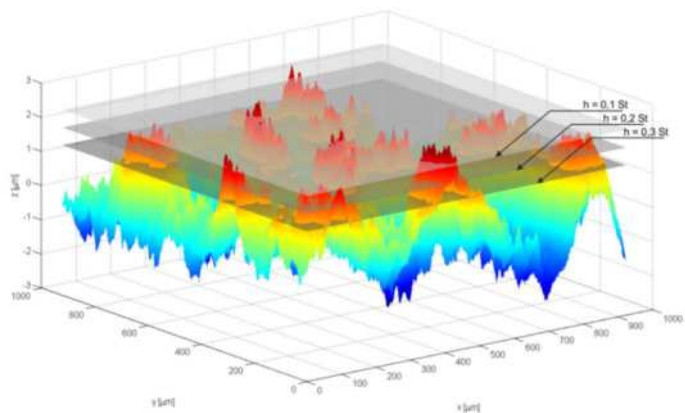
- $\sigma(\sqrt{Pw})/\sqrt{Pw}_{h=0,2St}$  – stosunek odchylenia standardowego z pierwiastka pola powierzchni wzniesienia do pierwiastka ze średniej powierzchni wzniesienia,
- S5p – wysokość pięciu punktów powierzchni,
- Sdq – średniokwadratowy gradient powierzchni,
- S10z – wysokość dziesięciu punktów powierzchni,
- Sv – maksymalna głębokość wgłębienia,
- Sp – maksymalna wysokość wzniesienia,
- Vm – objętość materiału powierzchni,
- Vmp – objętość piku materiału powierzchni,
- $Lwjd_{h=0,2St}$  – liczba wzniesienia na jednostkę długości,
- S5v – wysokość pięciu wgłębień powierzchni.

Do ważnych parametrów o dobrej zdolności klasyfikacyjnej można również zaliczyć parametry, które ponadto wyróżniają się łatwą interpretacją cech stereometrii powierzchni, takie jak średnia odległość między wzniesieniami  $Ow_{h=0,2St}$  (rys. 37), wartość stosunku pierwiastka średniego pola wzniesienia do średniej odległości między wzniesieniami  $\sqrt{Pw}/Ow_{h=0,2St}$ , średniokwadratowe odchylenie powierzchni Sq.

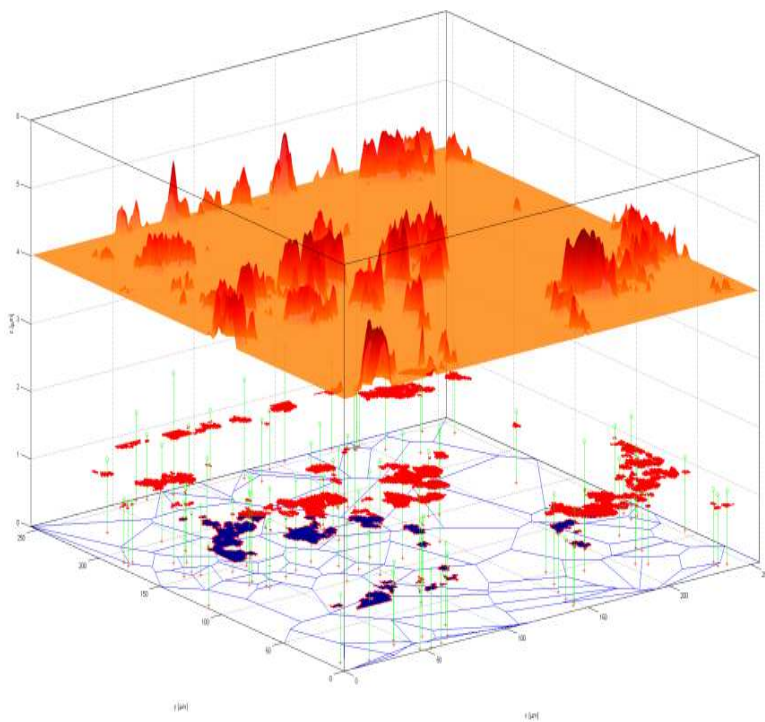
Dla zbiorów powierzchni różniących się wysokościami nierówności, dobrą zdolność klasyfikacyjną oraz łatwość interpretacji i istotne znaczenie technologiczne, będą również miały parametry St i Sz.

W analizie topografii powierzchni czynnej narzędzi ściernych przydatne są dekompozycje powierzchni narzędzia z wykorzystaniem komórek Voronoi w celu wyznaczenia odległości między wierzchołkami wzniesienia metodą najbliższych sąsiadów, których centralnymi punktami są wierzchołki ziaren.





Rys. 37. Wizualizacja wzniesienia powierzchni nad płaszczyzną na trzech poziomach  $h$  od najwyższego wierzchołka powierzchni



Rys. 38. Pola przecięcia (czerwone obszary) analizowanej powierzchni oraz rzut na płaszczyznę  $Oxy$  komórek Voronoi (linie niebieskie) dla wierzchołków wzniesienia (punkty zielone) nad płaszczyzną odległą od najwyższego wierzchołka o  $h = 1,0577 \mu\text{m}$

## 4. INNOWACJE DOTYCZĄCE NOWYCH NARZĘDZI ŚCIERNYCH

Procesy obróbki ścierniej znajdują powszechnie zastosowanie w produkcji precyzyjnych elementów maszyn i urządzeń, w przemyśle budowy maszyn, stoczniowym, samochodowym, lotniczym, kosmicznym, wojskowym, a także w budownictwie, w górnictwie, medycynie i w wielu innych.

Obrabiane materiały stanowią bardzo różnorodny zbiór – są to stale i stopy innych metali, w tym stopy metali lekkich, a także ceramika [Kac1996-1], węgliki spiekane, materiały kompozytowe [Gaw2014-1, Gaw2014-2], minerały między innymi takie jak granit i bazalt, szkło, beton, drewno, tworzywa sztuczne, a także kryształy kamieni szlachetnych takich jak diament, rubin, szafir, szmaragd, ponadto monokryształy krzemu i wiele innych materiałów o wysokiej twardości i odporności na ścieranie.

Odpowiednio do powszechności zastosowań i różnorodności obrabianych materiałów produkuje się narzędzia o bardzo zróżnicowanej budowie i strukturze, z zastosowaniem różnych materiałów ściernych oraz różnorodnych spoiw [Bor1997, Kac1987-2, Bor1990, Kac1991, Mat1997, Zar1998, Mam2002, Zha2002, Ści2005-1, Ści2005-2, Ści2005-3, Ści2008, Mak2008, Wim2012, Tan2014, nad2010, Nad2015, Kac2016-16].

Materiały ściernie wykorzystywane są również w obróbce strumieniowo-ścierniej oraz w obróbkach ścierno-erozyjnych i hybrydowych. Powszechnie stosowane są narzędzia zawierające ziarna diamentowe i z regularnego azotku boru.

Często wykorzystywane są również narzędzia z różnych odmian elektrokorundów mono i polikrystalicznych, elektrokorundów spiekanych oraz z węglika krzemu [Bor1979, Bor1990].

Rozmiary ziaren ściernych najczęściej zawierają się w zakresie od 0,5 mikrometra (folie ściernie, pasty do docierania i polerowania) do 300 mikrometrów (ściernice do wydajnego szlifowania dokładnego). Liczba ziaren w objętości 1 mm<sup>3</sup> zawiera się w zakresie od około 30 do miliona.

Energia właściwa w procesach obróbki ścierniej i erozyjnej wynosi zazwyczaj od 10–1000 J/mm<sup>3</sup> [Kac1997, Kac2000-6, Kac2014-2]. Temperatura w strefie oddziaływania ziaren przekracza często 1200°C, gradienty temperatur sięgają do jednego miliona °C/s i jednego tysiąca °C/mm. Skutkiem wysokiej energochłonności procesów wytwarzania są znaczne siły oraz zjawiska termiczne, powodujące odkształcenia przedmiotu, narzędzia i systemu obróbkowego.

Na niedokładność wytwarzania ma wpływ nie tylko energochłonność procesów i moc obróbki, ale także koncentracja lokalna energii oraz kształt i położenie strefy obróbki [Kac1994, Kac2000-3, Kac2000-4, Kac2014-1]. Zjawiska zachodzące w strefie szlifowania, są opisywane przez cechy o krótkim czasie występowania (około kilku milisekund) i obejmują obszary o małych powierzchniach lokalnych oddziaływań (o wielkości kilkunaśtu  $\mu\text{m}^2$ ) oraz występują z wielką częstotliwością (0,3–10 MHz) [Kac2012-1, Kac2014-4], co sprawia, że są trudne do eksperymentalnego obserwowania.

W procesach mikroskrawania, zwłaszcza w obróbce bardzo dokładnej, wiele zjawisk i czynników nabiera znaczenia decydującego o wynikach procesu [Ika1992, Kac2000-2, Kac2000-5, Kac2001-2]. Są nimi: losowe rozmiary i ukształtowanie ziaren ściernych, losowe ich rozmieszczenie na powierzchni narzędzia, złożone procesy zużywania się wierzchołków i całych ziaren ściernych, nieciągłość procesu tworzenia mikrowiórow (w mikro- i submikroskali), lokalne cieplne i mechaniczne odkształcenia narzędzi i materiału obrabianego [Kac1996-1, Kac2001-3], a zwłaszcza liniowe i kątowe przemieszczenia ziaren ściernych pod wpływem oporów skrawania i wreszcie losowość samego procesu mikroskrawania [Kac2001-2, Kac2002-1], tym wyższa, im mniejsze są średnie przekroje warstw skrawanych poszczególnymi ostrzami [Kac2014-3].

Zmienność zagłębienia ziaren ściernych w materiał obrabiany jest niekorzystną, choć nieuniknioną cechą procesów mikroskrawania. Trzeba przy tym zauważyć, iż energia właściwa obróbki zależy nie tylko od średnich wartości parametrów warstw skrawanych poszczególnymi ostrzami, ale także od zakresu zmienności i rozkładu wartości tych parametrów [Kró2003, Tom2013-1].

We wszystkich sposobach obróbki, ziarna ściernie w strefie styku z przedmiotem, przemieszczają się stycznie do obrabianej powierzchni, a ich zagłębienie w materiał jest zmienne wzdłuż toru skrawania [Bał2003]. Zmienność zagłębienia jest skutkiem wielu czynników. Do najważniejszych można zaliczyć [Kac2014-3]:

- zmienność zagłębienia nominalnego, która zależy od kinematycznych cech metody [Bał2003],
- nierówności powierzchni przedmiotu w strefie obróbki [Hec2003],
- podatność lokalną materiału obrabianego i ziaren ściernych [Plu1998],
- drgania narzędzia i ziaren ściernych [Alt2004, Trm2001, Wec1989, Wie2010],

- znaczne lokalne zróżnicowanie (w strefie oddziaływania ziarna) przyrostów temperatur [Pli1987], zwłaszcza podczas obróbki z bardzo dużymi prędkościami materiałów o małej przewodności cieplnej [Cha2008, Bri1992, Bri1999, Dom2006, Buc2014],
- zmienności właściwości materiału obrabianego w mikroobjętościach porównywanych z objętościami warstw skrawanych [Kru2003, Hec2007],
- makro- i mikronieciągłość procesu tworzenia wiórów i wypływek [And2011, And2012, Kac2009-1, Kac2014-4, Kac2014-15].

Przed ziarnem ściernym, między dolną częścią powierzchni natarcia, a powierzchnią ścinania materiału obrabianego, tworzy się strefa zastoju materiału, która nie może być stabilna w warunkach bardzo wysokich temperatur oraz nieciągłości naprzemiennego procesu narastania lokalnych odkształceń i oddzielania materiału. W tej strefie, zwłaszcza podczas obróbki stopów metali lekkich, tworzą się warstewki obrabianego materiału, które wypełniając trwale przestrzeń między wierzchołkami ziaren, drastycznie ograniczają trwałość narzędzi. Ograniczenie tego niekorzystnego zjawiska było celem prac nad wytworzeniem **nowych narzędzi ściernych o innowacyjnych, adaptacyjnych strukturach i specjalnych mikroagregatach**.

Siły tarcia, jakie występują między rozpatrywaną cząstką materiału, a powierzchnią ostrza są jedynie częścią składową oporów skrawania [Mar2004, Hec2007, Ika1992, Mar2004, Niż2013]. Rozpatrywana cząstka w swym ruchu stycznym do powierzchni ostrza poddawana jest ponadto oddziaływaniom cząstek sąsiednich, tych stykających się również z powierzchnią ostrza (te mają swoje sąsiednie cząstki itd.) jak również oddziaływaniu tych cząstek sąsiednich, które nie stykają się z powierzchnią ostrza. Ten mechanizm kumulacji wpływów decyduje o kierunkach przemieszczeń materiału w strefie obróbki.

Zjawiskiem charakterystycznym w początkowej strefie kontaktu ziarna z obrabianym materiałem (w układzie kinematycznym z rosnącym zagłębieniem wzdłuż drogi ostrza) jest nieciągłość procesu rozpoczynania i przerywania mikroskrawania [Bri1992, Row1993], zauważalna zwłaszcza dla większych podatności zamocowania ostrzy. Jest to zrozumiałe, skoro nawet proces skrawania z większymi zagłębieniami, uważany za proces ciągły, charakteryzuje się mikronieciągłością tworzenia wióra. Ponadto, jeżeli amplituda drgań ostrza jest porównywalna z zagłębieniami (np. poniżej 1  $\mu\text{m}$ ), to należy uwzględnić również i to źródło makronieciągłości procesu.

W procesach mikroskrawania zmniejszenie współczynnika tarcia między ziarnem a materiałem obrabianym, utrudnia formowanie wióra, a zwiększenie współczynnika tarcia powoduje korzystne zmiany rzeczywistego kąta natarcia oraz wyraźne zmniejszenie skutecznego promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej – co zwiększa możliwości skutecznego skrawania ziarnami płytko zagłębionymi w materiał obrabiany.

Skrawanie szeroką krawędzią równoległą do obrabianej powierzchni i położoną prostopadle do kierunku ruchu głównego, wydłuża drogę bocznych przemieszczeń materiału, co utrudnia tworzenie wypływek i korzystnie zmniejsza stosunek objętości wypływek bocznych do objętości usuwanego materiału [Kac2010-2].

Ze względu na zdolność do oddzielania materiału, wklęsła lub płaska powierzchnia natarcia ziarna, jest korzystniejsza od wypukłej. Najwyraźniej czynniki te uwidaczniają się podczas mikroskrawania monokrystalicznymi ziarnami węgla krzemu [Bor1979, Bor1990], które mają nie tylko małe promienie naroży, ale także płaską powierzchnię natarcia i tworzą szerokie mikrorowki.

Skrawanie krawędzią równoległą do obrabianej powierzchni i w przybliżeniu prostopadłą do kierunku ruchu ostrza jest korzystne zwłaszcza podczas obróbki materiałów o dużej plastyczności. Możliwe jest wówczas zmniejszenie stosunku objętości wypływek bocznych do objętości usuwanego materiału.

Ważne konkluzje poznawcze i wnioski do nowych rozwiązań można wyprowadzić z badań procesów w warunkach ekstremalnych w próżni oraz niskich temperaturach [Kac1996-2, Kac2001-1, Kac2001-4, Kac2002-2, Ści1995, Ści2015-1, Ści2015-2]. Zmieniają się wówczas właściwości powierzchni narzędzia (ziaren ściernych) i materiału obrabianego oraz ich fizyczne i chemiczne oddziaływania.

Wysoka próżnia zmienia właściwości przypowierzchniowej warstwy elementów z wielu metali i ich stopów, prowadząc do zwiększenia ich plastyczności. Wzrost plastyczności metali w próżni wynika z faktu, że błona tlenkowa występująca na powierzchni metalu w atmosferze otoczenia, spełnia rolę bariery zabezpieczającej przed dyslokacjami. Obniżenie ciśnienia powietrza korzystnie wpływa na wytrzymałość zmęczeniową metali. W środowisku próżniowym następuje również zmiana właściwości adhezyjnych metali. Szczepianie adhezyjne rozpoczyna się już przy znacznie mniejszych obciążeniach i deformacjach plastycznych.

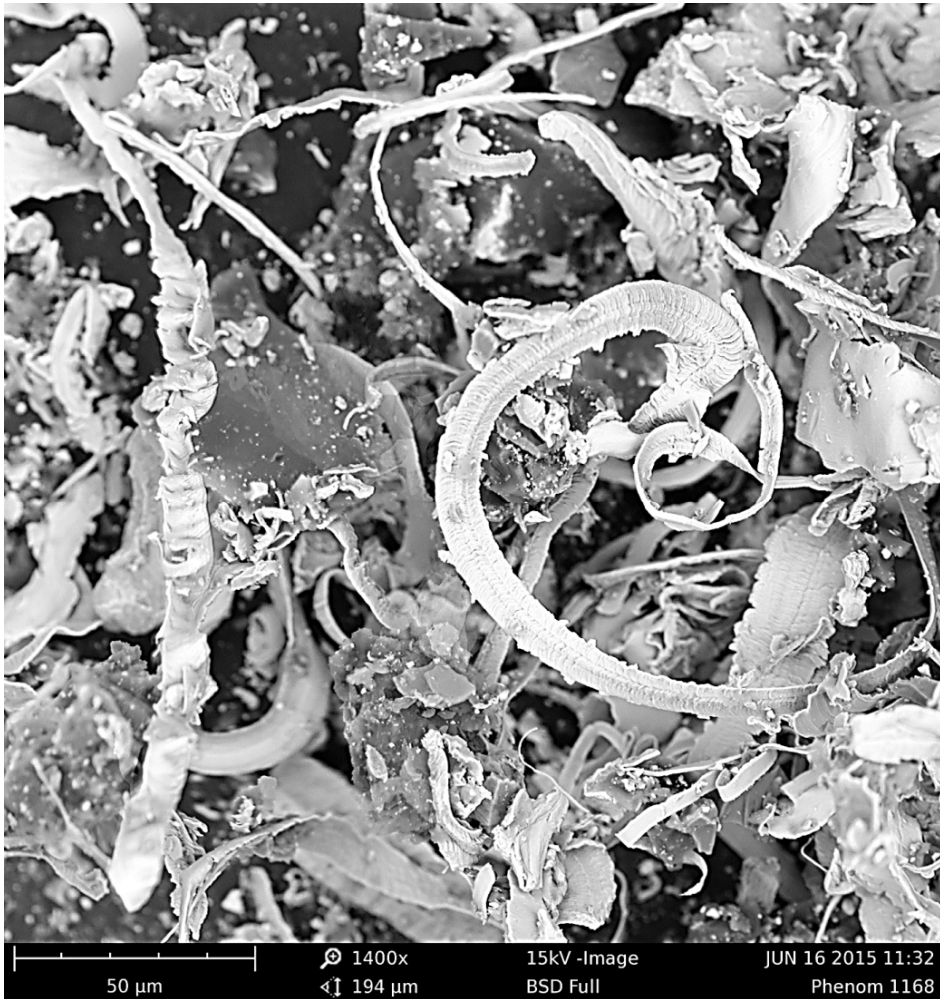
W procesie mikroskrawania, o niekorzystnym zjawisku występowania wypływek na bokach rowka, tworzonego narożem ziarna ściernego,

decyduje relacja między oporem bocznym przepływu materiału, a oporem przemieszczania materiału wzdłuż powierzchni natarcia ostrza [Ocz1986, Kas2005, Lia2000, Niż2013, Kac2016-18, Kac2016-19, Kac2016-20]. Obniżanie ciśnienia, powodując wzrost współczynnika tarcia, sprzyja ograniczeniu bocznych przepływów materiału.

Na podstawie obserwacji budowy wiórów (rys. 39) wykazano, że częstotliwość mikronieciągłości procesu tworzenia wióra w procesach szlifowania sięga kilku MHz, a więc przekracza częstotliwości uzyskiwane przez wymuszenie w układach mechanicznych. Może to przyczyniać się do korzystnego lokalnego obniżenia granicy wytrzymałości obrabianego materiału. Ten kierunek badań zapewne będzie ważny dla rozwoju nanoobróbki ścierniej.

Wpływ temperatury na proces mikroskrawania jest niemonotoniczny. W zakresie temperatur 300-1000°C dla stopów stali, tytanu i niklu względne zmniejszenie wytrzymałości jest większe od względnego zmniejszenia twardości. Oznacza to korzystne warunki dla mikroskrawania. Dla wyższych temperatur zmniejszają się opory bocznego przemieszczania materiału. Może to znacznie ograniczyć skuteczność mikroskrawania, zwłaszcza dla ostrzy, których położenie jest w przybliżeniu takie, iż krawędź klinowej powierzchni natarcia leży w płaszczyźnie prostopadłej do obrabianej powierzchni i równoległej do kierunku skrawania.

W literaturze spotyka się znaczne rozbieżności w wynikach badań, dotyczących warunków, jakie muszą być spełnione, aby nastąpiło oddzielenie materiału, a nie tylko odkształcanie sprężyste i plastyczne [Maj1991, Mat1997, Kac2009-1, Kac2010-2, Kac2012-3, Kac2013-1]. Jest kilka powodów tych rozbieżności. Przede wszystkim należy zauważyć, iż w mikroobróbce dominują boczne (względem toru mikroskrawania) przepływy materiału [Kac2013-4, Kac2015-11], podczas gdy zwykle analizuje się tylko geometryczne warunki tworzenia wióra, w przekroju prostopadłym do powierzchni przedmiotu i równoległym do kierunku ruchu ostrza.



Rys. 39. Obrazy SEM mikrowiórów powstałych w procesie szlifowania stali żył-skowej X153CrMoV12 (NC11LV)

Najmniejsza grubość warstwy, dla której następuje już oddzielenie materiału, zależy od geometrii i cech mikrogeometrii ostrzy i może być szacowana w obróbce ściernej, jako zbliżona do wartości 0,05 - 0,1 μm (50 do 100 nm).

Rosnące zastosowanie stopów metali lekkich zwiększa zapotrzebowanie na operacje efektywnej obróbki dokładnych elementów, głównie operacji precyzyjnego szlifowania. Materiały te należą do trudnoobrabialnych ze względu na zapełnianie przestrzeni między ziarnami produktami obróbki,

wysoką energię właściwą szlifowania i trudności w stabilizowaniu właściwości narzędzia w okresie trwałości, który byłby akceptowalny ze względów ekonomicznych i technologicznych.

**Opracowane nowe narzędzia ścierne o innowacyjnych, adaptacyjnych strukturach i specjalnych mikroagregatach, pozwalają w porównaniu ze ściernicami konwencjonalnymi na uzyskiwanie wyższej efektywności operacji szlifowania, są nowym rozwiązaniem technologicznym i mogą być stosowane do obróbki stopów metali lekkich.**

Zapewniają znaczny postęp technologiczny w wyniku wyższego poziomu różnicowania właściwości narzędzi, odpowiednio do rodzaju materiału i cech procesu, pozwalają na ograniczenie w procesach obróbki stopów aluminium, magnezu i tytanu niekorzystnych skutków w postaci zalepień czynnej powierzchni ściernic, zapewniają wyższą trwałość narzędzi i obniżenie energii właściwej obróbki, a także zwiększają stabilność procesów.

Narzędzia te dla określonych zakresów parametrów charakteryzujących ich strukturę, pozwalają również na podwyższenie efektywności procesów szlifowania innych materiałów, takich jak stal łożyskowa i stopy stali o wysokiej wytrzymałości.

**Nowe narzędzia ścierne będą przydatne ponadto w wielu innych operacjach szlifowania, które obecnie są uważane za trudne do realizacji, w takich jak szlifowanie materiałów kompozytowych, materiałów o wysokiej plastyczności, materiałów wrażliwych na wysokie temperatury, stopów metali lekkich, nowych materiałów mineralno-żywiczych, tworzyw stosowanych w optyce.**

### **Narzędzia ścierne o budowie mikroagregatowej**

Nowe hybrydowe narzędzia ścierne o budowie mikroagregatowej i podwyższonej porowatości, zapewniają zmniejszenie energii właściwej szlifowania, zwłaszcza w obróbce stopów metali lekkich, eliminują zjawiska zapychania przestrzeni między ziarnami warstwami obrabianego materiału oraz zapewniają możliwość wytwarzania ściernic o charakterystykach precyzyjnie dostosowanych do zadań technologicznych.

Nowość zastosowanych rozwiązań polega na tym, że w narzędziach ściernych, zawierających ziarna ścierne określonej wielkości połączone spoiwem i tworzące porowatą strukturę, zawierają dodatkowo specjalne



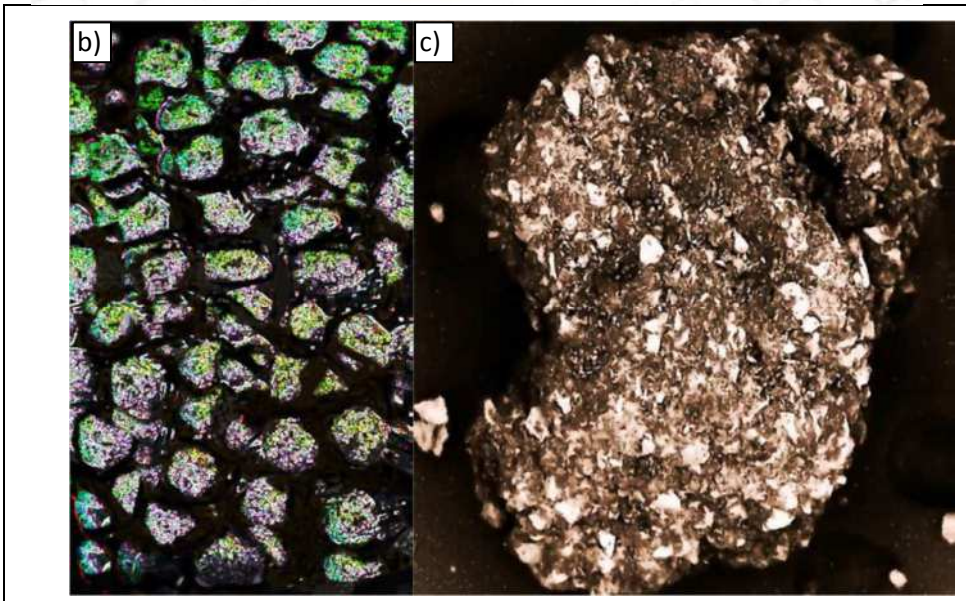
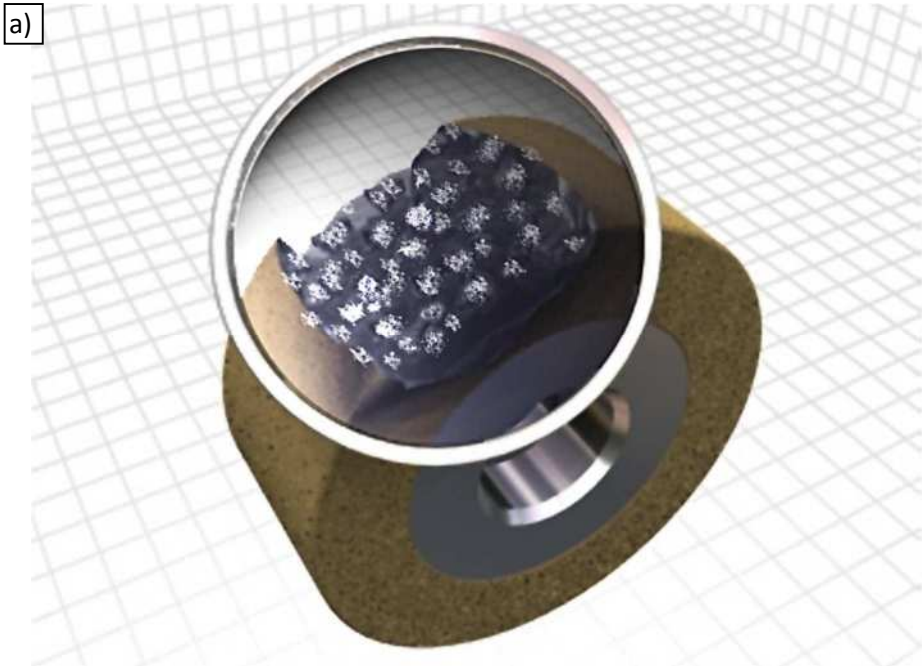
mikroagregaty, złożone z ziaren o znacznie mniejszym wymiarze niż frakcja podstawowa (rys. 40, 41, 42). Mikroagregaty mogą zawierać ziarna ściernie z innych materiałów niż ziarna frakcji podstawowej.

Mikroagregat tworzą mikroziarna połączone spoiwem, o cechach zależnych od zastosowań. W zależności do wielkości mikroziaren oraz rozmiaru wytworzonego agregatu, w jego skład wchodzi kilkanaście do kilkudziesięciu mikroziaren połączonych spoiwem. Te specjalne ziarna agregatowe wraz z ziarnami tworzącymi frakcję podstawową, połączone są spoiwem głównym, tworząc porowatą strukturę ściernicy.

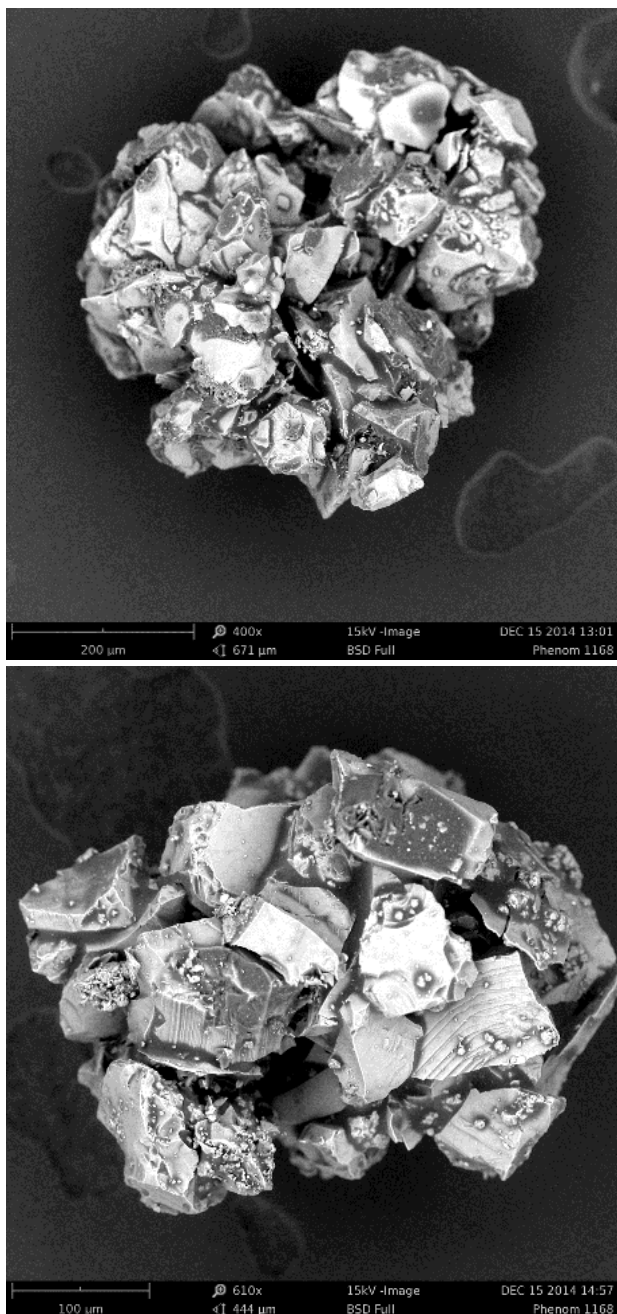
Zastosowanie określonego udziału mikroagregatów przyczynia się do uzyskania powierzchni obrobionej o korzystniejszych wartościach parametrów stereometrycznych w odniesieniu do ściernicy konwencjonalnej [Kac2016-9, Kac2016-10, Kac2016-11].

Mikroagregaty zapewniają stabilną pracę ściernicy wzdłuż torów poszczególnych ziaren. Małe ostrza ziaren, o małych kątach wierzchołkowych rozmieszczone na różnych promieniach w danym mikroagregacie zapewniają znacznie większą powtarzalność warunków skrawania, co jest obserwowalne między innymi poprzez podobne kształty mikrowiórów [Kac2015-13, Kac2015-14, Kac2016-3, Kac2016-8]. Natomiast duże ziarna w ściernicach konwencjonalnych tworzą zróżnicowane wióry, różniące się kształtem i strukturą, co świadczy o dużej zmienności warunków usuwania obrabianego materiału.

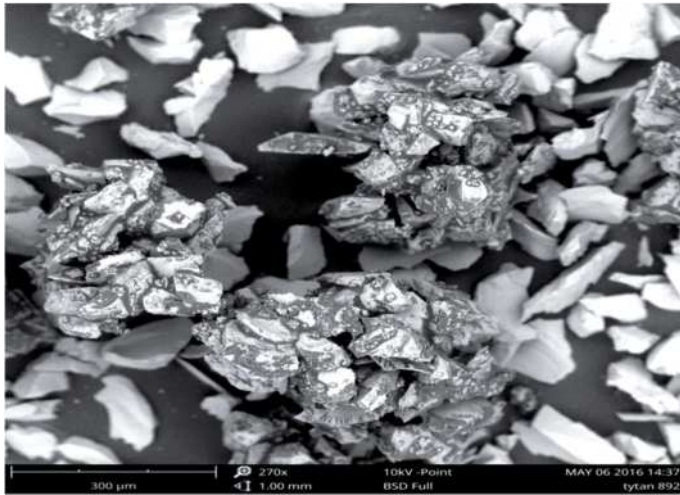
Mikroelementy ściernie, będące składnikiem narzędzi o budowie hybrydowej mogą również zawierać domieszkę ziaren supertwardych, pozwalających na obróbkę materiałów ekstremalnie trudnoobrabialnych.



Rys. 40. Wizualizacja narzędzi spojonych o budowie mikroagregatowej: a) widok ogólny, b) powierzchnia ściernicy, c) mikroagregat ścierny



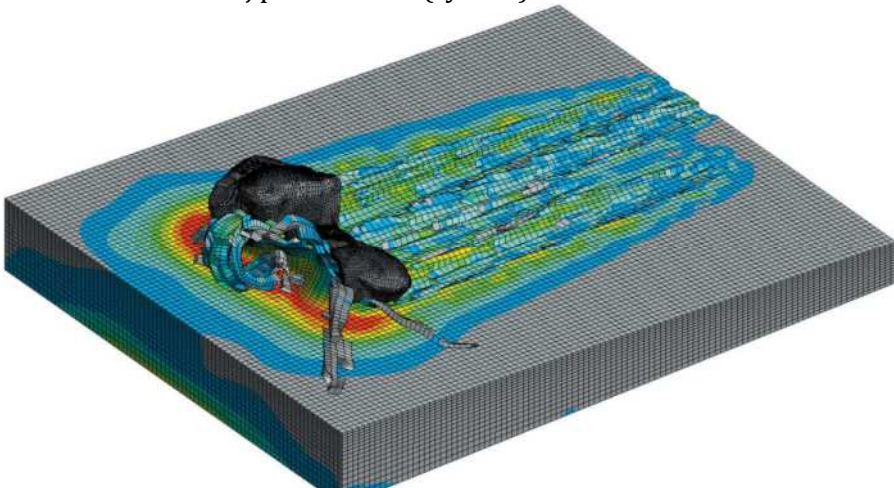
Rys. 41. Przykłady grupy ziaren elektrokorundu specjalnego w mikroagregacie ściernym



Rys. 42. Obrazy mikroagregatów i ziaren frakcji podstawowej

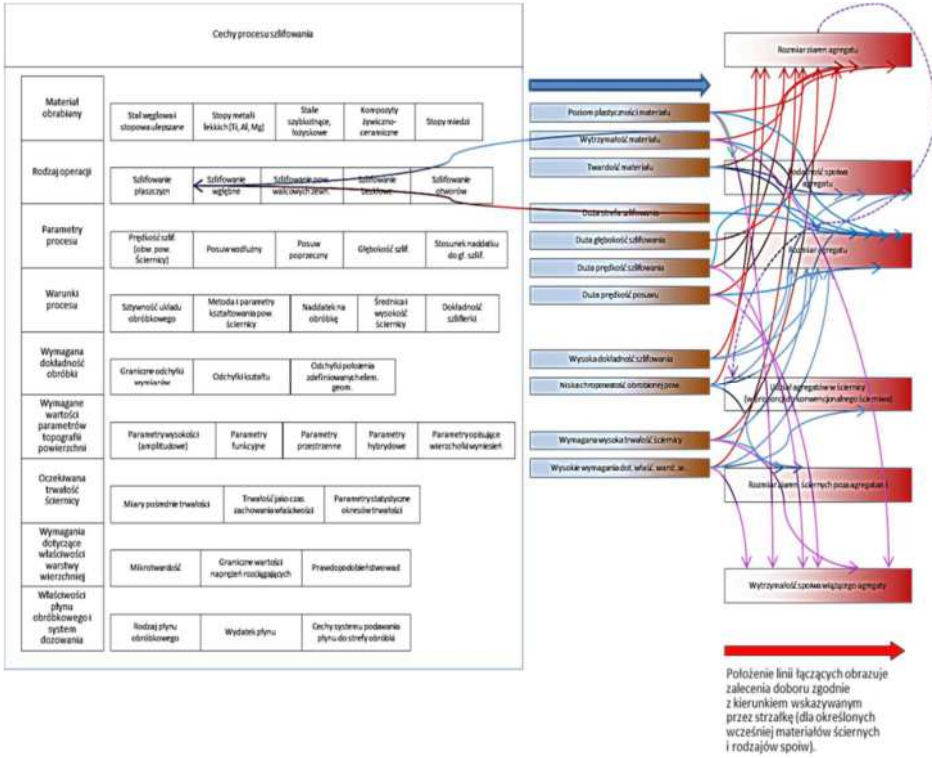
Decydujące znaczenie dla energochłonności procesu mikroskrawania agregatami ściernymi mają ich cechy geometryczne, które w znaczący sposób utrudniają i zmniejszają boczne przemieszczenia materiału.

Duża szerokość strefy mikroskrawania agregatem ściernym powoduje, że opory bocznego przepływu materiału są znaczne, a dzięki temu tworzą się tylko bardzo małe wypływki i prawie cała warstwa skrawana jest usuwana z obrabianej powierzchni (rys. 43).

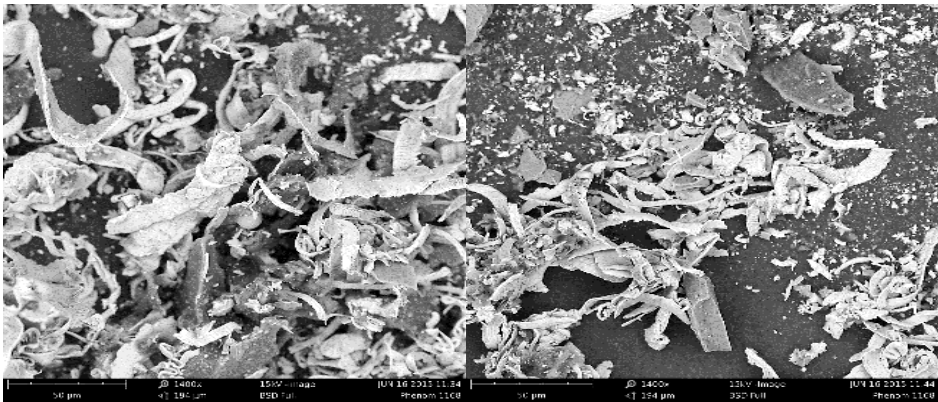


Rys. 43. Obraz strefy mikroskrawania agregatem ściernym z widocznymi mikro-wiórami i bardzo niewielkimi wypływkami bocznymi





Rys. 44. Schemat doboru cech narzędzi o innowacyjnych, adaptacyjnych strukturach z mikroagregatami i zróżnicowaną strefowo strukturą

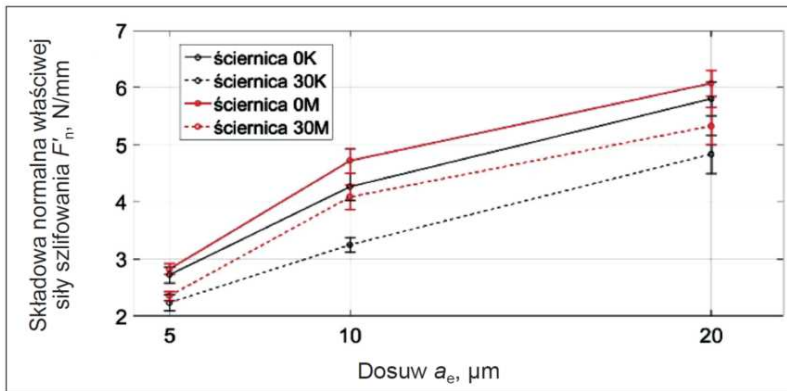


Rys. 45. Porównanie postaci i cech geometrycznych mikrowiórów po szlifowaniu stali łożyskowych ściernicą konwencjonalną (górny obraz) i ściernicą z mikroagregatami

Poprzez wprowadzenie do struktury narzędzi ściernych opracowanych mikroagregatów następuje skokowy wzrost możliwości dostosowania właściwości narzędzi do wymagań różnorodnych operacji technologicznych. Stosowane obecnie narzędzia ściernie mogą być różnicowane poprzez zmiany – w określonych granicach – tylko rodzaju i wielkości ziaren ściernych, spoiwa i struktury. W znanych dotąd narzędziach ściernych z zastosowaniem polikrystalicznych ziaren spiekanych możliwości różnicowania cech ziaren spiekanych są również ograniczone.

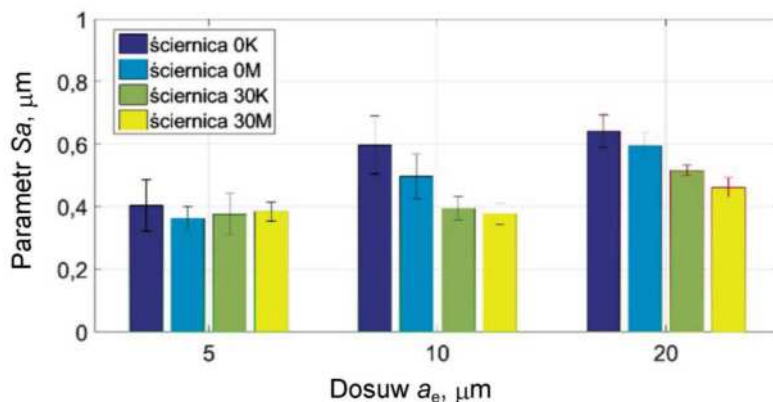
**W nowych narzędziach możliwe jest różnicowanie cech narzędzi ściernych również poprzez dobór wielkości mikroagregatów, wielkości ziaren i właściwości spoiw tworzących te agregaty, a także poprzez różnicowanie typów agregatów i ich udziału w ściernicy (rys. 44) [Kac2016-13, Kac2016-14, Kac2016-16, Kac2016-17].**

Zastosowanie ściernic z agregatami ściernymi do szlifowania stopu tytanu Ti-6Al-4V pozwala na prowadzenie procesu obróbki z mniejszymi siłami szlifowania i tym samym z mniejszą energią właściwą (rys. 46). Z punktu widzenia efektywności procesu skrawania agregatami ściernymi decydujące znaczenie mają te cechy geometryczne agregatów, które znacząco utrudniają i zmniejszają boczne przemieszczenia materiału. W rezultacie szlifowanie stopu tytanu Ti-6Al-4V ściernicami z agregatami ściernymi zapewnia uzyskanie mniejszej chropowatości powierzchni obrobionej (określonej parametrem Sa) niż w przypadku szlifowania ściernicami konwencjonalnymi (rys. 47).



Rys. 46. Wpływ głębokości szlifowania na wartość składowej normalnej siły szlifowania w procesie szlifowania ściernicami konwencjonalnymi oraz ściernicami o twardości K i M z 30-procentowym udziałem agregatów

Do szlifowania stopu tytanu Grade 5 zaleca się stosowanie ściernic z mikroagregatami 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i 10% SiC, gdyż charakteryzują się one dwukrotnie mniejszym zużyciem promieniowym w porównaniu ze ściernicami zawierającymi wyłącznie mikroagregaty z elektrokorundu. Konwencjonalna ściernica o twardości M z ziarnami z elektrokorundu szlachetnego ulega bardzo szybkiemu zalepieniu i długotrwała obróbka nie była możliwa.



Rys. 47. Zestawienie wpływu głębokości szlifowania na wartość parametru chropowatości Sa powierzchni obrobionej ściernicami konwencjonalnymi i ściernicami o twardości K i M z 30-procentowym udziałem agregatów

Posumowanie badań tworzących podstawy wytwarzania mikroagregatów ściernych oraz innowacyjnych narzędzi ściernych o budowie hybrydowej, zawierających kompozycje mikroagregatów o różnych właściwościach, dobieranych do zastosowań użytkownika, zapewniających uzyskanie korzystnych wyników, zawartych w szczegółowym sprawozdaniu merytorycznym zawiera następujące wnioski:

1. Zastosowanie mikroagregatów zwiększa umiarkowanie wartości składowych sił szlifowania oraz przyczynia się do uzyskania korzystnych parametrów oceny struktury stereometrycznej powierzchni obrobionej. **Za graniczny wyrażony w procentach wagowych udział agregatów należy przyjąć 30%.**
2. Do szlifowania stali łożyskowej ŁH15 (1.3505) w stanie utwardzonym (65HRC), z uwagi na zużycie narzędzia ściernego, korzystniej jest stosować narzędzia z mikroagregatami o twardości P i wyższej.
3. **W przypadku konieczności stosowania narzędzi z większym udziałem mikroagregatów, rozmiar mikroagregatów powinien**

być mniejszy lub należy zwiększyć wytrzymałość mostków międzyziarnowych w mikroagregatach.

4. Zastosowanie 30% udziału mikroagregatów przyczynia się do uzyskania powierzchni obrobionej o korzystniejszych wartościach parametrów stereometrycznych w odniesieniu do ściernicy konwencjonalnej oraz ściernicy z 50% udziałem mikroagregatów.
5. Do szlifowania stopów aluminium i stopów magnezu korzystne jest zastosowanie 40% udziału mikroagregatów.
6. Do szlifowania stopów tytanu korzystne jest zastosowanie 40-50% udziału mikroagregatów.
7. Mikroagregaty zapewniają stabilną pracę ściernicy wzdłuż torów poszczególnych ziaren. Małe ostrza ziaren, o małych kątach wierzchołkowych rozmieszczone na różnych promieniach w danym mikroagregacie dają porównywalne warunki skrawania i podobne kształty mikrowiórów. Natomiast duże ziarna wzdłuż śladów skrawania tworzą zróżnicowane wióry, różniące się kształtem i strukturą.

## **CECHY NARZĘDZI ŚCIERNYCH O INNOWACYJNYCH, ADAPTACYJNYCH STRUKTURACH I SPECJALNYCH MIKROAGREGATACH, ZWIĘKSZAJĄCYCH EFEKTYWNOŚĆ OPERACJI SZLIFOWANIA**

Nowość opracowanych rozwiązań polega na następujących cechach:

1. Poprzez wprowadzenie do struktury narzędzi ściernych opracowanych mikroagregatów następuje skokowy wzrost możliwości dostosowania właściwości narzędzi do wymagań różnorodnych operacji technologicznych. Stosowane obecnie narzędzia ściernic mogą być różnicowane poprzez zmiany – w określonych granicach – tylko rodzaju i wielkości ziaren ściernych, spoiwa i struktury. W znanych dotąd narzędziach ściernych z zastosowaniem polikrystalicznych ziaren spiekanych możliwości różnicowania cech ziaren spiekanych są również ograniczone.
2. **W nowych narzędziach możliwe jest różnicowanie cech narzędzi ściernych również poprzez dobór wielkości mikroagregatów, wielkości ziaren i właściwości spoiw tworzących te agregaty, a także poprzez różnicowanie typów agregatów i ich udziału w ściernicy.**



3. **Owe narzędzia są przydatne w operacjach szlifowania, które obecnie są uważane za trudne do realizacji**, w takich jak szlifowanie materiałów kompozytowych, materiałów o wysokiej plastyczności, materiałów wrażliwych na wysokie temperatury, stopów metali lekkich, nowych materiałów mineralno-żywiczych, tworzyw stosowanych w optyce.
4. **Zastosowanie mikroagregatów pozwala na uzyskanie adaptacyjnych struktur ściernic, gdyż specyficzny mechanizm samoostrzenia mikroagregatów może być wykorzystany do samoczynnego tworzenia na powierzchni czynnej narzędzia podwyższonej porowatości w postaci wgłębień.** Możliwe jest również lokalne (strefowe) różnicowanie udziału i rodzaju agregatów w objętości narzędzia.
5. Wraz z mikroagregatami mogą być, w następnych rozwiązaniach, wprowadzane dodatki zmniejszające energię właściwą szlifowania, dodatki ograniczające oddziaływanie otoczenia na obrabianą powierzchnię oraz dodatki sprzyjające uzyskiwaniu specjalnych struktur w postaci regularnej makrogeometrii, o określonym znaczeniu eksploatacyjnym lub dekoracyjnym.
6. Mikroagregaty mogą również, w przyszłych zastosowaniach do szczególnie ważnych operacji, zawierać substancje wykorzystywane w celach diagnostycznych procesu i oceny stanu narzędzia.
7. W najbardziej zaawansowanych rozwiązaniach narzędzia ścierne posiadałyby wbudowane sensory do oceny mocy lub temperatury szlifowania oraz bezprzewodowe nadajniki sygnałów kontrolnych. Obecny stan techniki już umożliwia wprowadzanie takich rozwiązań do praktyki przemysłowej.

Opracowane rozwiązania dotyczą produkcji ściernic o spoiwie ceramicznym oraz o spoiwie żywicznym, zawierających specjalne mikroagregaty ściernic. Mikroagregaty te, charakteryzując się korzystnymi cechami: rozwiniętą powierzchnią, dużą liczbą ostrzy aktywnych, określoną efektywnością samoczynnego mikroostrzenia, a także możliwością korzystnych zmian czynnej powierzchni agregatu, pozwalają na znaczne zwiększenie efektywności operacji szlifowania i lepsze dostosowanie właściwości narzędzi w zależności od cech procesu oraz wymagań dotyczących jakości i wydajności obróbki, a także trwałości narzędzi.

Przeprowadzone badania wskazują na znaczne możliwości kształtowania korzystnych cech takich narzędzi. Udział wagowy mikroagregatów w narzędziach hybrydowych wynosiłby w większości przypadków

maksymalnie 30%. W przypadku wytwarzania i stosowania narzędzi z większym udziałem mikroagregatów, rozmiar mikroagregatów powinien być mniejszy lub należy zwiększyć wytrzymałość mostków międzyziarnowych w mikroagregatach.

Korzystną innowacyjną cechą opracowanych rozwiązań jest to, że mikroagregaty posiadające wiele aktywnych ostrzy, zapewniają stabilne warunki mikroskrawania wzdłuż torów poszczególnych ostrzy.

Wierzchołki małych ziaren, tworzących mikroagregat, o małych kątach wierzchołkowych, rozmieszczone na różnych promieniach w mikroagregacie zapewniają stabilne warunki skrawania wzdłuż całej długości kontaktu z materiałem obrabianymi, na co wskazują badania postaci mikrowiórów.

W przeciwieństwie do tego, podczas szlifowania z zastosowaniem ściernic konwencjonalnych, duże ziarna w zależności od zmiennego zagłębienia w materiał obrabiany, pracują w zróżnicowanych warunkach, niekorzystnych w aspekcie energetycznym.

Można oczekiwać ponadto, w przyszłych rozwiązaniach, dodatkowego zmniejszenia energii szlifowania, w przypadku ściernic o spoiwie żywicznym z mikroagregatami, o ok. 4-8% w wyniku dodania mikrogranulek grafitu, jako dodatkowych agregatów. To może być korzystne również ze względu na tworzenie cienkiej warstwy grafitu na powierzchni, zapewniającej lepsze warunki współpracy ślizgowej, zwłaszcza w mikromechanizmach.

Możliwe jest również wykorzystanie dodatków silikonu do impregnacji mikroagregatów, co korzystnie wpływać może na ochronę tworzonej powierzchni, korzystnie w zastosowaniach do obróbki materiałów łatwo ulegających oddziaływaniu otoczenia.

Dodatkową cechą innowacji jest możliwość wytwarzania specjalnych struktur narzędzi przeznaczonych do tworzenia na obrabianej powierzchni, regularnej makrogeometrii nierówności w postaci mirorys lub innych regularnych wgłębień, ważnych ze względów eksploatacyjnych. Możliwe jest wówczas wykorzystywanie obok mikroagregatów podstawowych, dodatkowo do 2-5% udziału wagowego mikroagregatów o większych rozmiarach i większej twardości.

W najbardziej zaawansowanych kolejnych innowacyjnych rozwiązaniach narzędzi, na bocznej powierzchni ściernic, zwłaszcza o większych rozmiarach, pod odpowiednio ukształtowaną etykietą z oznaczeniami cech narzędzia, może być umieszczany płaski miniaturowy czujnik naprężeń (w najprostszej wersji tensometryczny), z bezprzewodowym nadajnikiem umieszczanym w tarczy mocującej, co umożliwić będzie wyższy poziom

diagnostyki, zwłaszcza w wyniku oceny siły bocznej w szlifowaniu z posuwem poprzecznym. Rozwiązanie to byłoby elementem nie tyle samego narzędzia, co układu narzędzie-uchwyt-szlifierka-system diagnostyczny.

## **5. NOWE METODY SZLIFOWANIA INDUKOWANE WYNIKAMI MODELOWANIA PROCESÓW**

### **MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESÓW SZLIFOWANIA**

Opracowane modele procesu i bardzo złożone procedury symulacji potrzebne były do poznania tych cech procesu, w eksploracji których empiryzm nie dostarcza narzędzi, ze względu na liczbę, szybkość zdarzeń oraz nanometryczność obszarów, w których zdarzenia te zachodzą [Stę1984, Ina1996, Kac2000-3, Kac2001-2, Bał2007, Stę2009, Goł2010, Kac2011-3, Kac2012-2, Kac2012-3, Kac2015-12, Kas2005, Kas2007, Liu2004, McC1986, Nie2015-1, Nie2015-2, Row1993, Ryp2015, Zha1993].

Cele modelowania i symulacji procesów szlifowania były następujące:

- Wyznaczenie lokalnych (również w mikrostrefach) i chwilowych wartości parametrów charakteryzujących kształtowanie powierzchni obrabianego przedmiotu (lokalnych – w różnych miejscach strefy szlifowania, chwilowych – w kolejnych momentach procesu, w ustalonych przedziałach czasu).
- Wyznaczenie zmian stereometrii obrabianej powierzchni i topografii powierzchni ściernicy dla zbiorów parametrów procesu i warunków wykraczających poza obecne lub standardowe zastosowania.
- Wyznaczenie lokalnych i chwilowych oraz globalnych parametrów charakteryzujących obciążenie poszczególnych ziaren, wykonaną pracę (i jej zmiany lokalne oraz zmiany w czasie), rozkład strumieni energii.
- Wyznaczenie wpływu cech narzędzi oraz parametrów i warunków obróbki (w tym również wyizolowanych zmian) na wartości lokalnych i chwilowych wartości parametrów charakteryzujących kształtowanie powierzchni obrabianego przedmiotu.
- Wyznaczenie wpływu zakłóceń na realizację i wyniki procesu szlifowania.

- Analiza procesów obróbki z zastosowaniem nowych typów narzędzi o strukturze zmiennej strefowo, z ziarnami agregatowymi i hybrydowymi, o strefowo oraz kierunkowo zmiennych właściwościach, narzędzi o zmiennej podatności, narzędzi o odmiennych cechach statystycznych dotyczących kształtu i rozmieszczenia ziaren na powierzchni narzędzia.
- Wyznaczenie licznych zbiorów powierzchni po obróbce dla analizy cech stereometrycznych, oceny przydatności nowych parametrów oceny i klasyfikacji, a także opracowania założeń do korzystnych modyfikacji narzędzi oraz doboru parametrów i warunków obróbki.

W opracowanej metodzie symulacji procesu szlifowania [Kac2011-3, Kac2015-12], powierzchnia ściernicy tworzona jest w czasie rzeczywistym, jako zbiór powierzchni ziaren ściernych i spoiwa, z uwzględnieniem procesu jej kształtowania i odnawiania oraz zużywania się ziaren (rys. 48). Opracowane modele, których podstawy opisano powyżej zostały zaimplementowane wraz z procedurami wyprowadzania wyników w środowisku Matlab.

Proces budowy modeli obejmował następujące etapy:

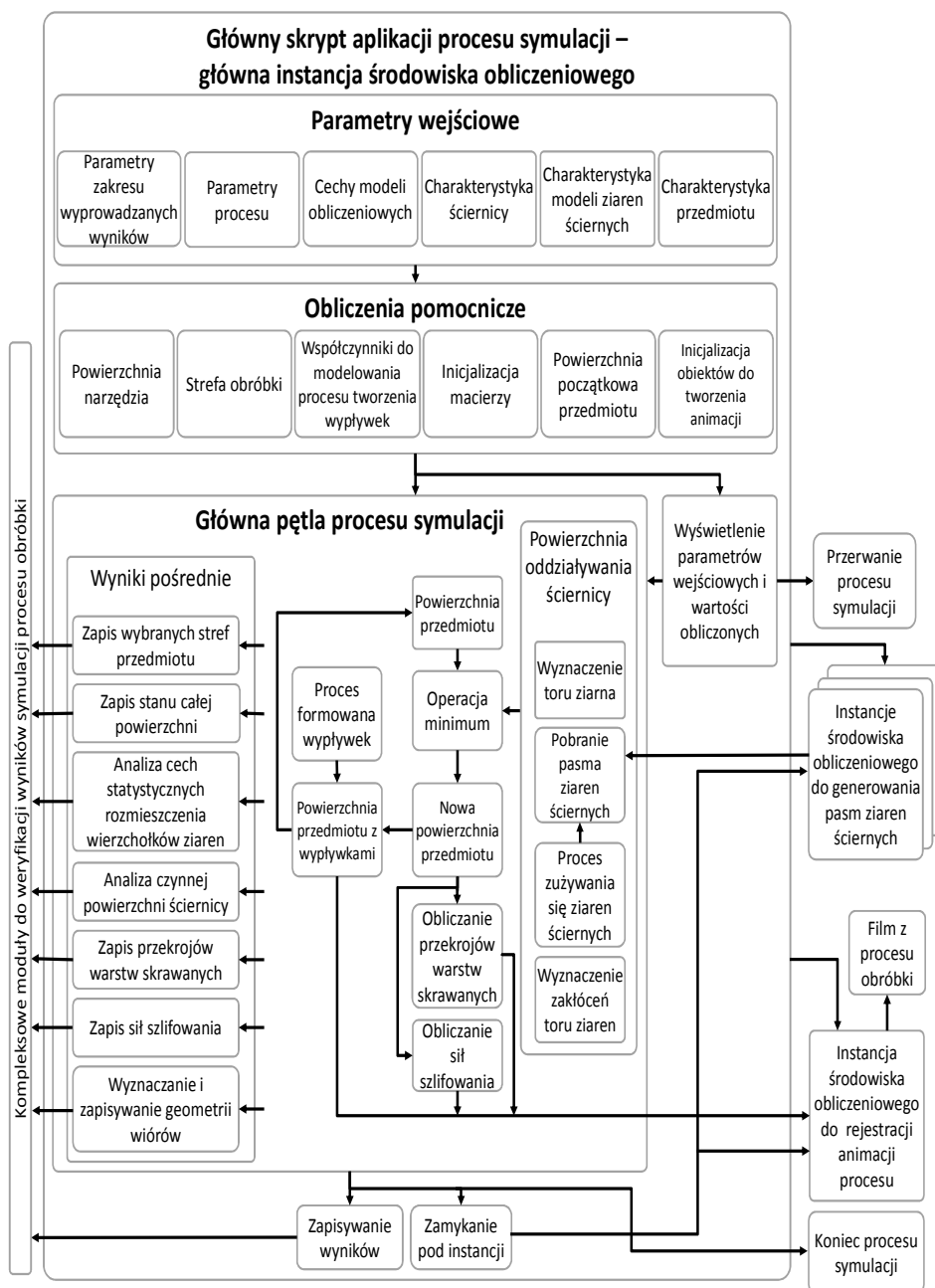
- Określenie wielkości wejściowych i wyjściowych (etap tworzenia modelu).
- Określenie zasad doboru parametrów i warunków realizowanych symulacji.
- Określenie skal wymiarów i czasu. Określenie zasad doboru geometrycznej precyzji prezentacji wyników.
- Określenie zasad wyboru generowanych wyników z pełnego zbioru możliwych wyników (dobór wydajności i zapotrzebowania na pamięć).
- Dobór założeń i ograniczeń oraz uproszczeń (wybór poziomu uproszczeń).
- Obliczanie cech charakteryzujących symulowany proces.
- Wybór modelu i modelowanie wielkości pomocniczych i tworzenie bazy danych.
- Kontrola statystyczna cech obiektów pomocniczych.
- Generowanie relacji między obiektami pomocniczymi, a głównymi.
- Kontrola statystyczna wyników pośrednich i wielkości kontrolnych.
- Testowanie modeli poza typowym zakresem zastosowań.
- Ocena potrzeby ulepszenia modeli.

- Ocena potrzeby optymalizacji procedur obliczeniowych.
- Określenie programu rozwoju modeli i procedur symulacyjnych.

Opracowane modele i procedury symulacji [Kac2011-3, Kac2015-12] umożliwiają modelowanie topografii powierzchni ściernic, o różnych cechach geometrycznych, takich jak:

- Określone cechy rozmieszczenia ziaren ściernych na powierzchni narzędzia.
- Zadane rozkłady wysokości wierzchołków ziaren.
- Występowanie określonych form nieciągłości czynnej powierzchni ściernicy.
- Różne cechy ukształtowania powierzchni tworzonej przez spoiwo.

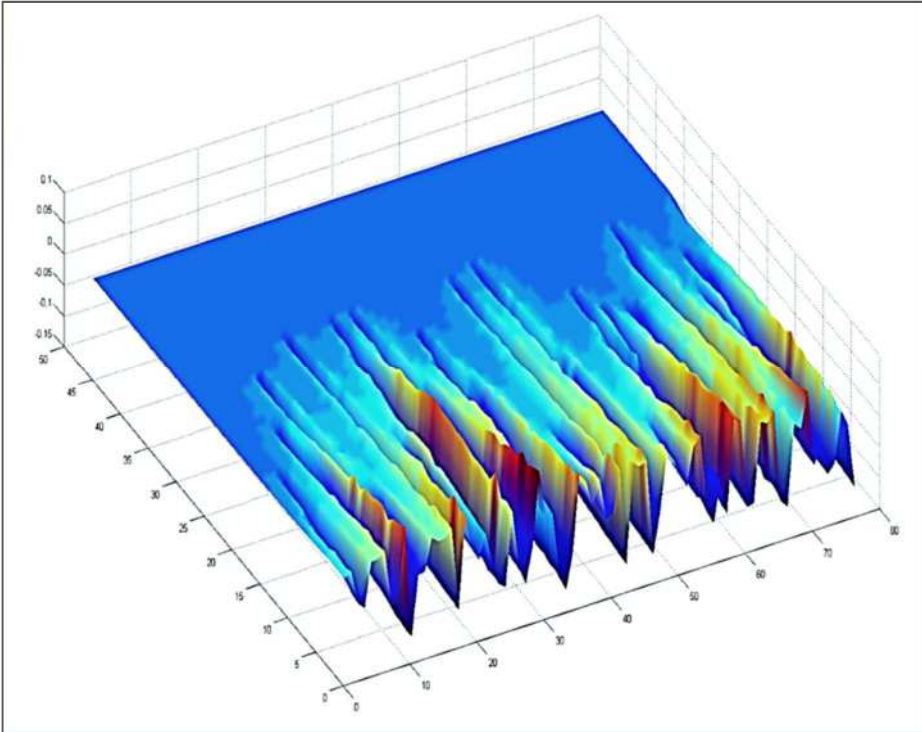
Liczny zbiór przykładowych filmów z symulacji procesu kształtowania topografii powierzchni w procesach szlifowania, dla różnych warunków i parametrów procesu, zamieszczono w Internecie (<http://www.youtube.com/user/PrecisionMechanics>) [Kac2015], jako materiały zachęcające do stosowania opracowanych modeli i procedur oraz przydatne w procesie dydaktycznym.



Rys. 48. Ogólny schemat procesu modelowania i symulacji procesów szlifowania

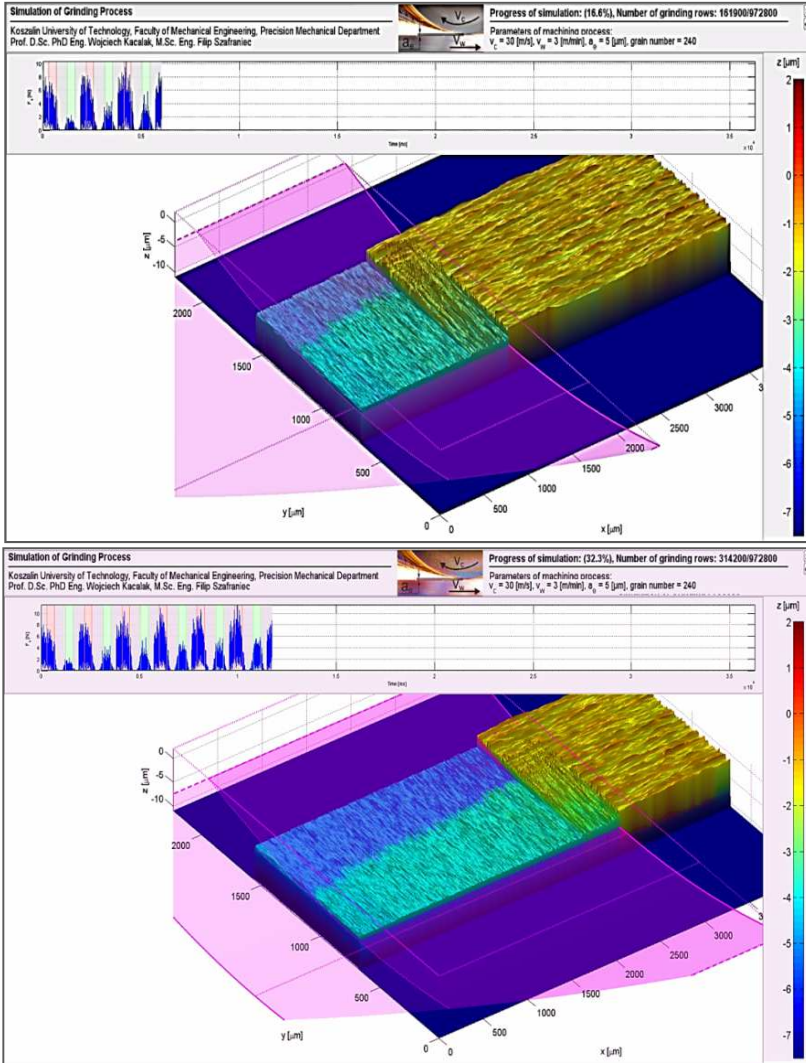
Opracowane zostały ponadto nowe sposoby chłodzenia strefy szlifowania [Kac2014-15], nowe narzędzia oraz folie ściernie do mikrowygładzania powierzchni [Kac2014-5, Kac2014-16, Ście2005-1, Ście2006-2, Ście2005-3, Ście2015-1, Ście2015-2, Ście2015-3, Ście2015-4], nowe metody obróbki [Kac1987-1, Kac1988-1, Kac1988-2, Kac1988-3, Kac1993, Kac1996-1, Kac2004-4, Ście2008], metody nadzorowania procesów precyzyjnego szlifowania [Lip2005, Lip2008, Lip2012, Lip2013-1, Lip2013-2, Lip2013-4, Lip2015, Lip2016-1, Lip2016-2].

Początkową (przed obróbką) topografię kolejnych zarysów przedmiotu obrabianego uzyskuje się w wyniku pomiarów profilometrycznych powierzchni rzeczywistych lub poprzez generowanie powierzchni o cechach zgodnych z powierzchniami rzeczywistymi. Na rysunku 49 powierzchnię początkową zdefiniowano jako płaszczyznę w celu uwidocznienia charakterystycznych cech pierwszych śladów obróbkowych.



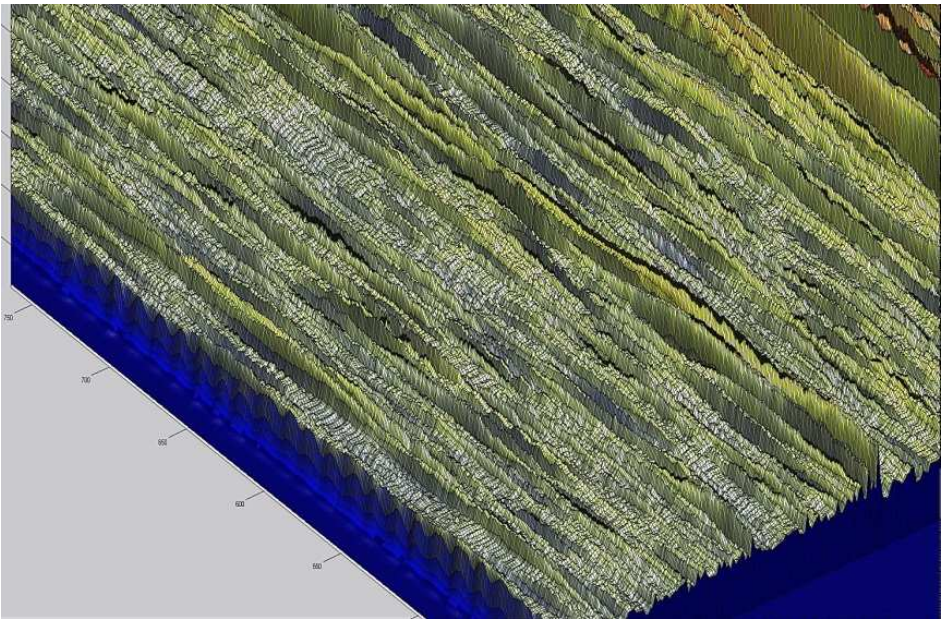
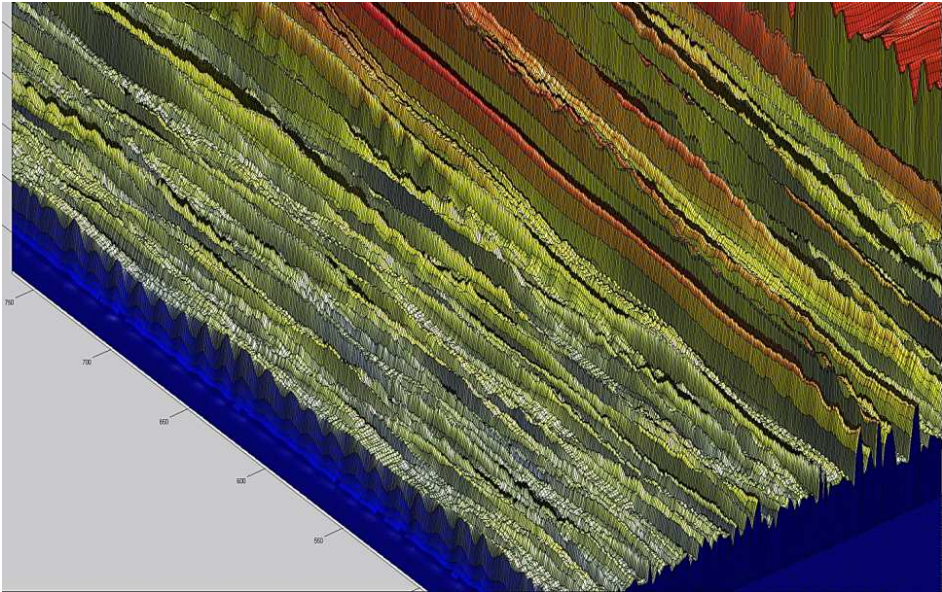
Rys. 49. Obraz pierwszych śladów obróbkowych dla szlifowania ściernicami z ziarnami numerze ziarna 320 (wymiar średni ziaren  $29 \mu\text{m}$ ), dla głębokości szlifowania  $0,5 \mu\text{m}$ ; odległość średnia między wierzchołkami ziaren  $80 \mu\text{m}$  (wszystkie wymiary w  $\mu\text{m}$ )

Przykładowe obrazy kształtowania topografii powierzchni w procesie szlifowania płaszczyzn z posuwem poprzecznym, dla dwóch wybranych położeń narzędzia, przedstawiono na rysunkach (50 i 51), na których zaznaczono położenie ściernicy oraz zamieszczono wykresy sił szlifowania podczas przejścia roboczego i powrotu.



Rys. 50. Wizualizacja wybranych stanów topografii powierzchni oraz zmienności sił podczas procesu szlifowania



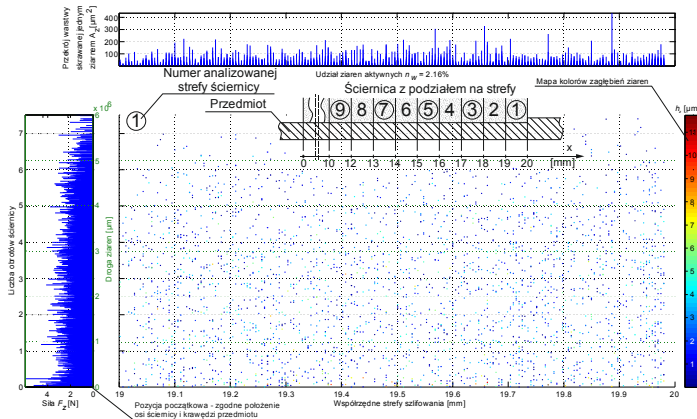


Rys. 51. Obrazy topografii obrabianej powierzchni podczas szlifowania płaszczyzn z posuwem poprzecznym 0,3 mm; po dwóch przesuwach – obraz górny oraz po trzech przesuwach poprzecznych – obraz dolny

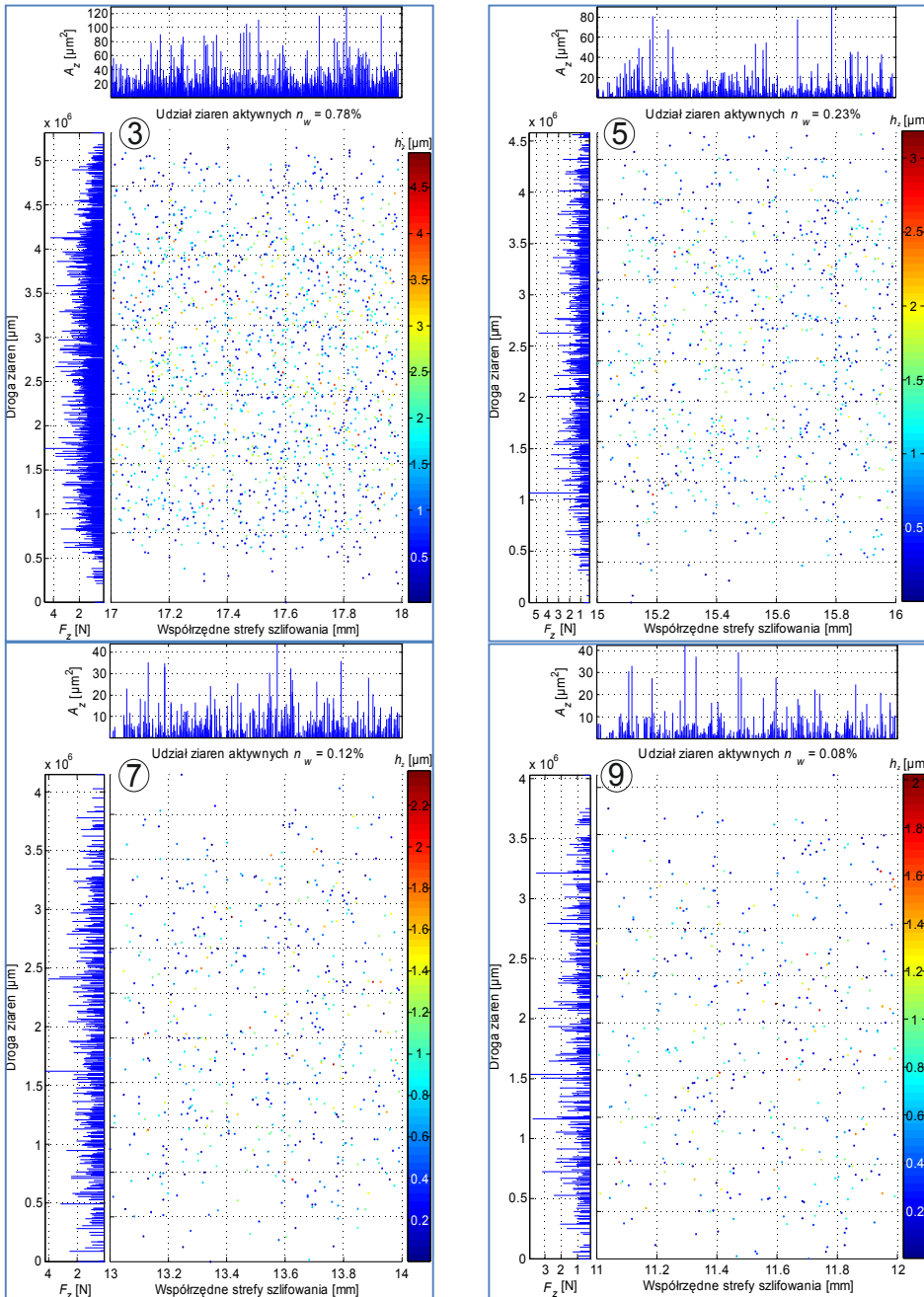
## ANALIZA AKTYWNOŚCI I OBCIĄŻENIA ZIAREN ŚCIERNYCH

Opracowane procedury symulacji znacznie ułatwiają wyznaczenie zbiorów danych do analizy aktywności i obciążenia ziaren ściernych [Kac2013-2, Kac2013-3, Kac2014-3]. Na rysunku 52 przedstawiono położenie ziaren aktywnych na czynnej powierzchni ściernicy w strefie numer 1 o szerokości równej wartości posuwu poprzecznego. Po lewej stronie rysunku przedstawiono wartości siły dla danego ziarna. Po prawej stronie przedstawiono mapy kolorów zagłębień ziaren w mikrometrach. W górnej części rysunku zawarto dane o przekrojach warstw skrawanych ziarnami oraz wyróżniono strefy na powierzchni ściernicy. Dane te wyznaczono dla poniższych parametrów i warunków szlifowania. Na rysunku 53 i 54 pokazano zmiany aktywności w poszczególnych strefach, zaś na rysunku 55 obciążenie ziaren w tych strefach.

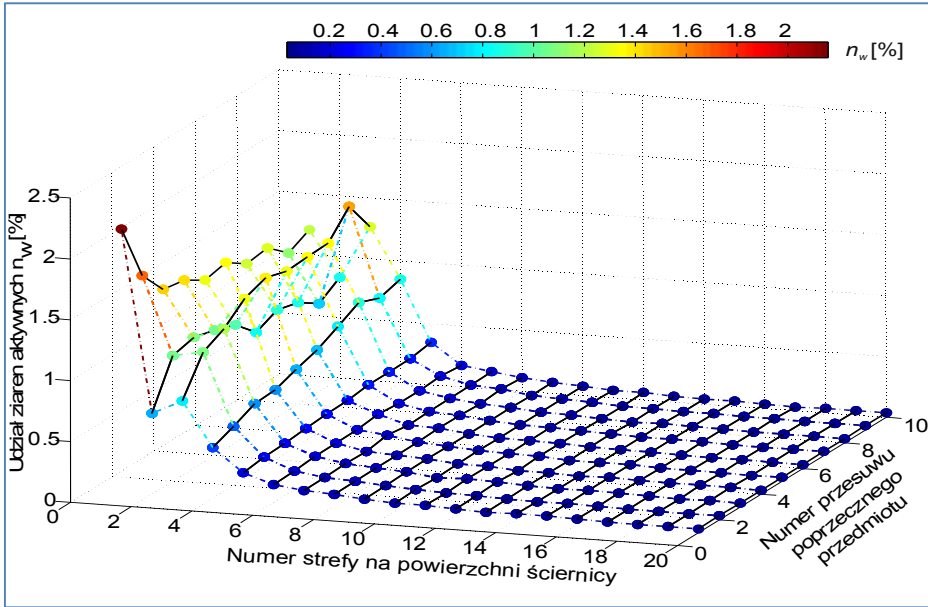
Symbol	Opis	Wartość	J. m.
$v_i$	Prędkość szlifowania	35	m/s
$v_{ft}$	Prędkość wzdłużna przedmiotu	2	m/min
$a_p$	Posuw poprzeczny	1	mm
$a_s$	Dosuw	20	$\mu\text{m}$
D	Średnica ściernicy	250	mm
-	Numer ziarna	120	-
-	Rodzaj ziarna	99A	-
-	Szerokość przedmiotu	10	mm
-	Długość przedmiotu	6,5	mm
St	Wartość parametru St powierzchni początkowej	4,01	$\mu\text{m}$
Sa	Wartość parametru Sa powierzchni początkowej	2,83	$\mu\text{m}$



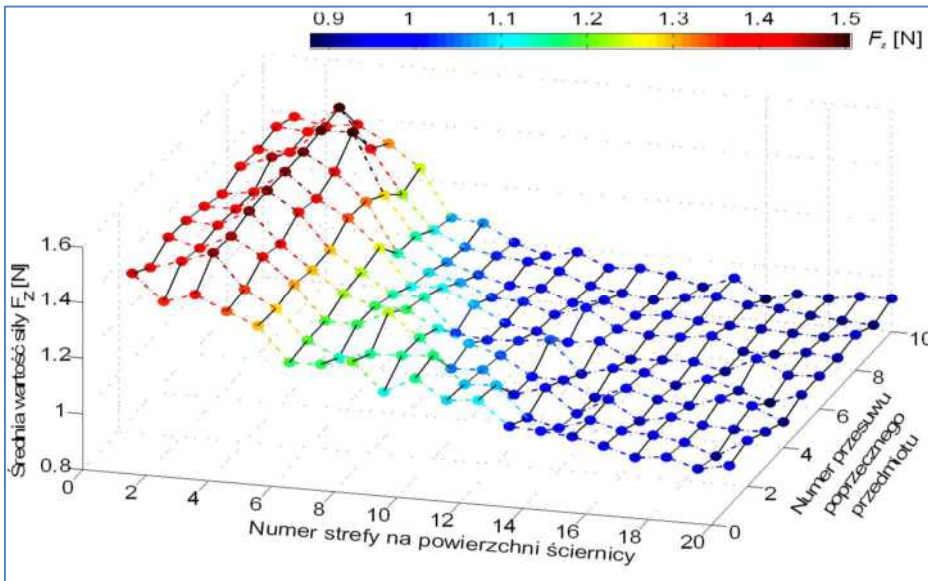
Rys. 52. Mapa aktywności ziaren w pierwszej strefie podczas szlifowania płaszczyzn z posuwem poprzecznym



Rys. 53. Mapy aktywności ziaren w strefach 3, 5, 7, 9 (wg rys. 52) – szerokość strefy jest równa wartości posuwu poprzecznego (1 mm)



Rys. 54. Stosunek liczby ziaren aktywnych do liczby ziaren na powierzchni ściernicy w zależności od numeru strefy na powierzchni narzędzia



Rys. 55. Średnia wartość siły na jedno ziarno aktywne w zależności od numeru strefy na powierzchni ściernicy



## WYKORZYSTANIE MODELOWANIA I PROCEDUR SYMULACJI DO DOSKONALENIA PROCESÓW MIKROSZLIFOWANIA

Typowe procesy precyzyjnego szlifowania nie są odpowiednie dla operacji mikro- i nanoszlifowania. W typowych procesach głębokość szlifowania (grubość usuwanej warstwy materiału) jest wielokrotnie większa od parametru  $St$ , charakteryzującego wysokość nierówności powierzchni. Odchyłki kształtu i falistość, zwłaszcza dla przedmiotów o małych rozmiarach, są również znacznie mniejsze od stosowanych głębokości szlifowania.

Stosowanie głębokości szlifowania, znacznie większych od grubości warstwy, koniecznej do usunięcia w wyniku ukształtowania powierzchni w operacjach obróbki poprzedzającej, było i jest nadal wadą metody wynikającą ze stosowania układów technologicznych przeznaczonych do realizacji operacji szlifowania przedmiotów z różnych materiałów, o różnej masie i wielkości, po operacjach obróbki poprzedzającej o różnej dokładności, z zastosowaniem typowych narzędzi o znacznym rozproszeniu promieni działania wierzchołków ziaren, w warunkach stosowania ściernic z ziarnami ściernymi o rozmiarach (najczęściej) od 60 – 300 mikrometrów.

Siły i moc szlifowania, w wyniku stosowania nadmiernych głębokości szlifowania, są wielokrotnie wyższe od tych, jakie można byłoby uzyskać podczas usuwania warstwy materiału o minimalnej grubości. To powoduje niekorzystne skutki w postaci odkształceń układu technologicznego, a także w postaci niekorzystnych właściwości warstwy wierzchniej przedmiotu lub nawet uszkodzenia powierzchni.

Rozwiązanie problemu szlifowania z bardzo małymi grubościami usuwanej warstwy, nie jest ani proste, ani łatwe. W przeciwnym wypadku, technologie mikro- i nanoszlifowania byłyby już stosowane, jako niezbędne, w bardzo precyzyjnej obróbce mikroelementów i części z materiałów o dużej twardości, od których wymaga się najwyższej dokładności, takich jak prowadnice w przyrządach pomiarowych (np. profilometry), elementy napędów i mikroprzekładni, elementy układów optycznych, pamięci masowych itp.

Szczególnego znaczenia nabierają wówczas problemy nadzorowania procesów, optymalizacji układów konstrukcyjnych i cech kinematycznych oraz kompensacji zakłóceń [Kac1987-1, Kac1988-1, Kac1988-2, Kac1988-3, Kac1993-3, Kac1995-1, Kac1995-2, Ham2000, Kac2001-1, Kac3003, Kac2004-1, Kac2004-2, Kac2004-4, Maj2004, Kac2005-1, Kac2005-2, Maj2005-1, Maj2005-2].

Zastosowanie modelowania i symulacji do doskonalenia procesów mikroszlifowania zaowocowało opracowaniem metod (rys. 56), zapewniających wysoką efektywność usuwania warstwy materiału, o grubości jedynie nieznacznie większej niż wysokość nierówności po obróbce poprzedzającej – czyli 0,3 – 1 mikrometra. Dążenie do tego celu wynika z konieczności zmniejszenia sił i mocy szlifowania w obróbce przedmiotów wrażliwych na oddziaływanie pól temperatur o wysokich gradientach oraz z potrzeby ograniczenia obciążeń przedmiotu siłami obróbki w procesach mikro- i nanoszlifowania.

Naukowe i aplikacyjne znaczenie prowadzonych badań wynika z następujących przesłanek:

Stosowanie bardzo małej głębokości szlifowania pozwala znacznie zmniejszyć energię procesu, co sprzyja uzyskiwaniu korzystniejszych cech warstwy wierzchniej po obróbce.

Mała głębokość szlifowania skutkuje małą gęstością strumieni ciepłych, krótkim czasem ich oddziaływania lokalnego i małymi gradientami temperatury. Znacznie zmniejsza się głębokość wnikania ciepła do warstwy przypowierzchniowej przedmiotu.

Stosowanie małych głębokości szlifowania zmniejsza siły, co może być ważne dla obróbki przedmiotów o małych wymiarach i dużej podatności.

W obróbce z małymi głębokościami szlifowania niekorzystnie zmniejsza się udział ziaren aktywnych, które kształtują obrabianą powierzchnię – aby temu zapobiegać należy:

- Zmniejszyć rozproszenie promieni działania wierzchołków ziaren (konieczne jest opracowanie specjalnych metod kształtowania powierzchni ściernic).
- Stosować mikroziarna o małych wymiarach, co skutkuje koniecznością modyfikacji technologii narzędzi lub stosować specjalne mikroagregaty ziaren o podwyższonej podatności spoiwa.
- Zmniejszyć odległość między aktywnymi ziarnami.

### Hiperboloidalna powierzchnia czynna ściernicy konfiguracja kątów $\alpha < 0, \beta < 0, \epsilon = \epsilon_p$

Opis oznaczeń na rysunku:

$\alpha$  - kąt prostopadły w płaszczyźnie stycznej do ruchu przedmiotu,

$\beta$  - kąt w płaszczyźnie stycznej do ruchu przedmiotu,

$\epsilon$  - kąt między rzutem tworzącej na płaszczyznę podstawy a kierunkiem osiowym,

$l_s$  - długość strefy szlifowania,

$b_s$  - szerokość ściernicy,

$a$  - naddatek,

$w_p$  - wysokość przedmiotu,

$v_s$  - prędkość obrotowa ściernicy,

$v_p$  - prędkość posuwu wzdłużnego przedmiotu,

$p_p$  - posuw poprzeczny przedmiotu,

$O_s$  - punkt zerowy osi,

$O_p$  - punkt zerowy płaszczyzny,

$O_k$  - punkt końca szlifowania w przekroju,

$O_w$  - punkt wewnętrzny najniższej tworzącej,

$O_z$  - punkt zewnętrzny najniższej tworzącej,

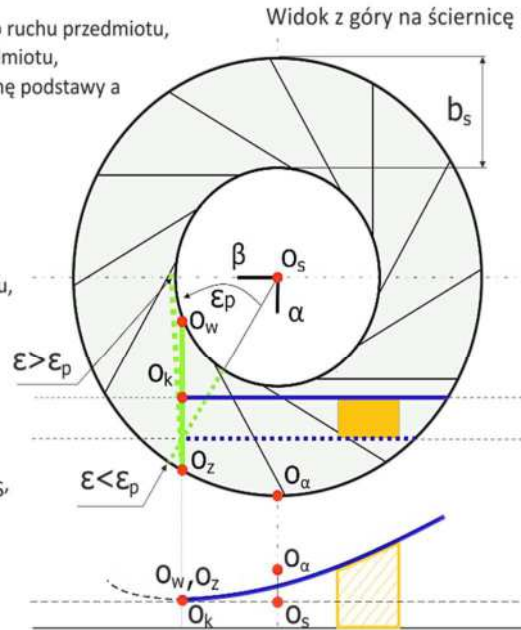
$O_\alpha$  - punkt zewnętrzny w płaszczyźnie  $P_1P_2O_s$ ,

— Pozioma tworząca równoległa do płaszczyzny ruchów,

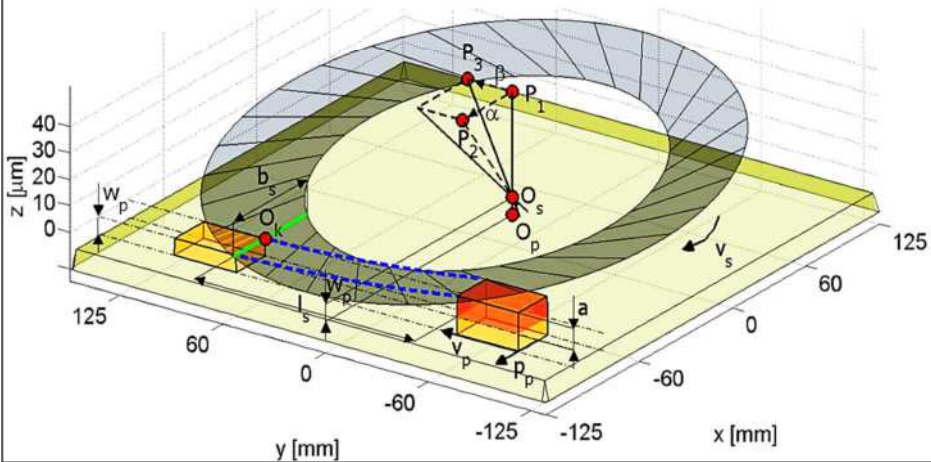
..... Przekrój powierzchni czynnej przez przedmiot,

Przedmiot obrabiany,

Powierzchnia czynna ściernicy.



Trójwymiarowa ilustracja metody mikroszlifowania płaszczyzn czołem ściernicy



Rys. 56. Parametry geometryczne i kinematyczne do metody mikroszlifowania płaszczyzn ściernicą o hiperboloidalnej powierzchni czynnej dla  $\alpha < 0, \beta < 0, \epsilon = \epsilon_p$

Dla unikatowej [Kac1996-1, Kac-P142132, Kac1998-2, Kac2000-2] metody precyzyjnego szlifowania czołem ściernicy z zastosowaniem interaktywnej komunikacji z operatorem [Kac 2004-1, Kac2004-2, Kac2005-1, Kac2005-2, Kac 2006, Maj2005-1, Maj2005-2], opracowano innowacyjną odmianę z zastosowaniem hiperboloidalnej powierzchni czynnej i wyznaczono podstawy jej stosowania, a zwłaszcza wyznaczono zależności opisujące kształt powierzchni czynnej ściernicy i strefy szlifowania w funkcji parametrów określających cechy geometryczne metody [Kac1996-1, Kac2000-2, Kac2000-4, Kac2016-12]. **Innowacje te zostały rozwinięte w obszernym opracowaniu stanowiącym pracę doktorską Filipa Szafráncá.**

W prezentowanej metodzie obróbki, ós ściernicy, z założenia, nie jest prostopadła do płaszczyzny zawierającej tor przedmiotu i jest odchylona od kierunku prostopadłego o kąty  $\alpha$  i  $\beta$ .

Najniższa tworząca hiperboloidalnej powierzchni czynnej ściernicy jest prostą wchrowatą względem osi ściernicy i jest równoległa do płaszczyzny zawierającej tor ruchu przedmiotów.

**Cechą opisywanej metody jest wielokrotne wydłużenie strefy obróbki w stosunku do typowego szlifowania czołem ściernicy, a w stosunku do szlifowania obwodem ściernicy, nawet kilkudziesięciokrotnie. Dzięki temu można zapewnić małą prędkość usuwania naddatku, dużą równomierność lokalnego obciążenia przedmiotu w strefie szlifowania, krzyżowanie się śladów obróbkowych, postępujące wraz z przemieszczaniem przedmiotu w strefie obróbki i łagodne wychodzenie przedmiotu ze strefy szlifowania.**

Efektom wymienionych powyżej cech metody jest możliwość, w zależności od kątów  $\alpha$  i  $\beta$ , zarówno usuwania dużego naddatku w jednym zabiegu, jak również realizacja operacji mikro- i nanoszlifowania i usuwania naddatku o wartości 0,5-10  $\mu\text{m}$ .

**W opisywanej metodzie, podczas przemieszczania się przedmiotu wzdłuż strefy szlifowania, nad powierzchnią przedmiotu, przesuwa się kilka do kilkunastu milionów ziaren na każdy milimetr szerokości strefy obróbki. Oznacza to, że naddatek jest usuwany w zależności od udziału ziaren aktywnych, przez ziarna w liczbie do 100 razy większej niż innych metodach szlifowania (dla ustalonych prędkości posuwu wzdłużnego przedmiotu i prędkości obrotowej ściernicy).**

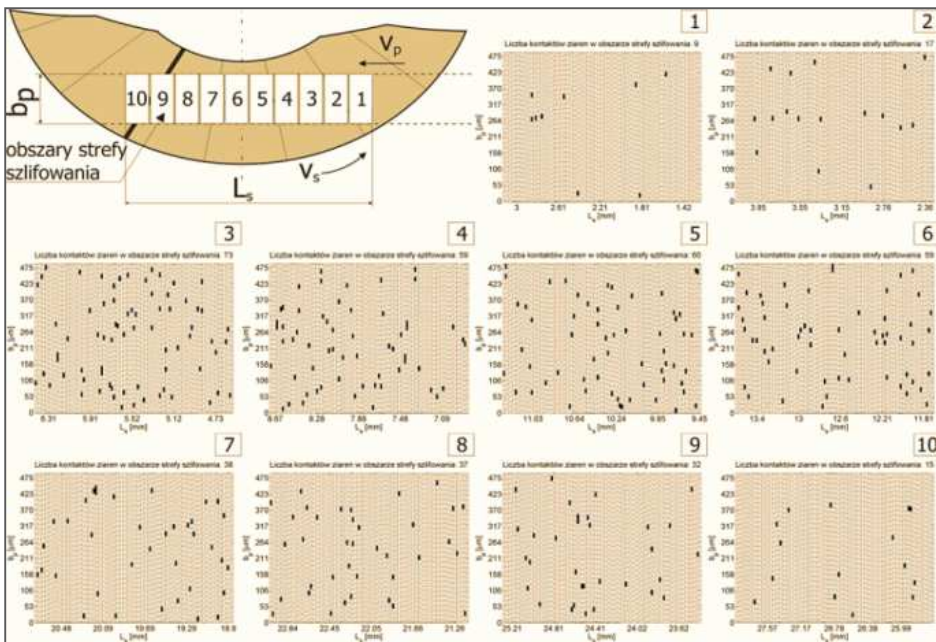
W zależności od wymagań technologicznych mogą być stosowane różne odmiany opisywanej metody, w których występuje zróżnicowanie wartości



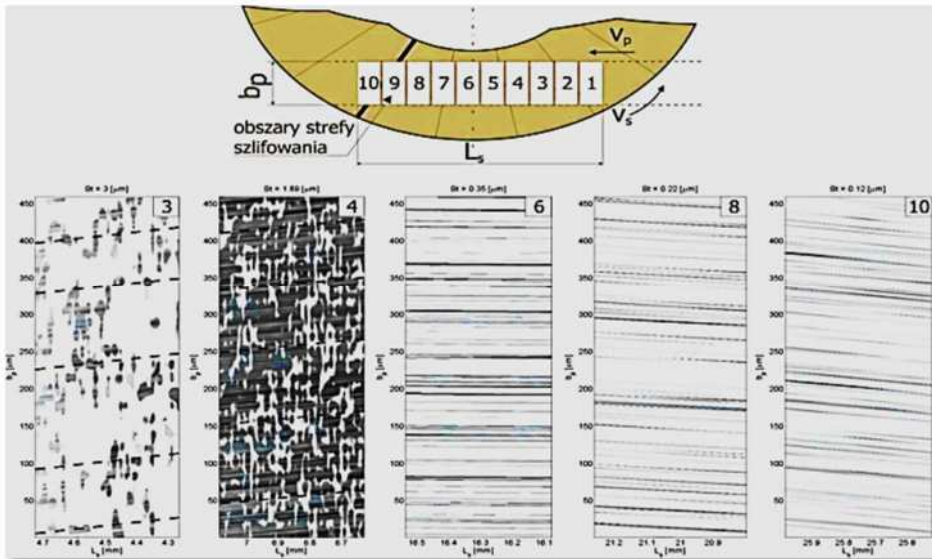
kątów pochylenia osi oraz odpowiednio zróżnicowane położenie, w którym tworząca hiperboloidalnej powierzchni czynnej jest równoległa do płaszczyzny ruchu posuwowego przedmiotu.

Korzystną cechą opisywanej metody jest możliwość uzyskania bardzo małych prędkości wnikania powierzchni ściernicy w obrabianą warstwę – dla analizowanych danych i średniej prędkości usuwania nadmiaru  $v_a = 0,125 \mu\text{m}/\text{mm}$ , dosuw powierzchni ściernicy do powierzchni przedmiotu na jeden obrót ściernicy wynosi tylko około 0,04 mikrometra, co uzyskuje się bez konieczności stosowania specjalnych systemów przemieszczania wrzeciennika ściernicy.

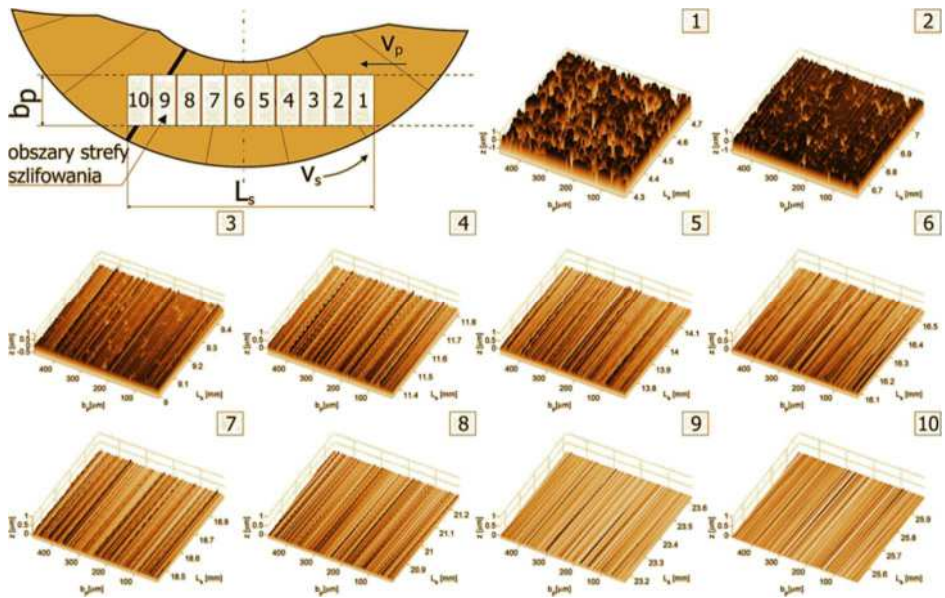
Proces szlifowania rozpoczyna się narastająco, od małej aktywności ziaren do maksymalnej i kończy zmniejszającą się do zera prędkością usuwania nadmiaru (rys. 57). Zmiany topografii powierzchni przedmiotu podczas przemieszczania się wzdłuż strefy szlifowania (rys. 58 i 59) wskazują na efektywność metody, korzystne skutki zmiany kierunku torów ziaren względem toru przedmiotu oraz efektywność obróbki nawet dla bardzo małych nadadtków obróbkowych.



Rys. 57. Wizualizacja aktywności ziaren ściernych w procesie mikroszlifowania płaszczyzn ściernicą o hiperboloidalnej powierzchni czynnej dla różnych położeń przedmiotu w strefie szlifowania

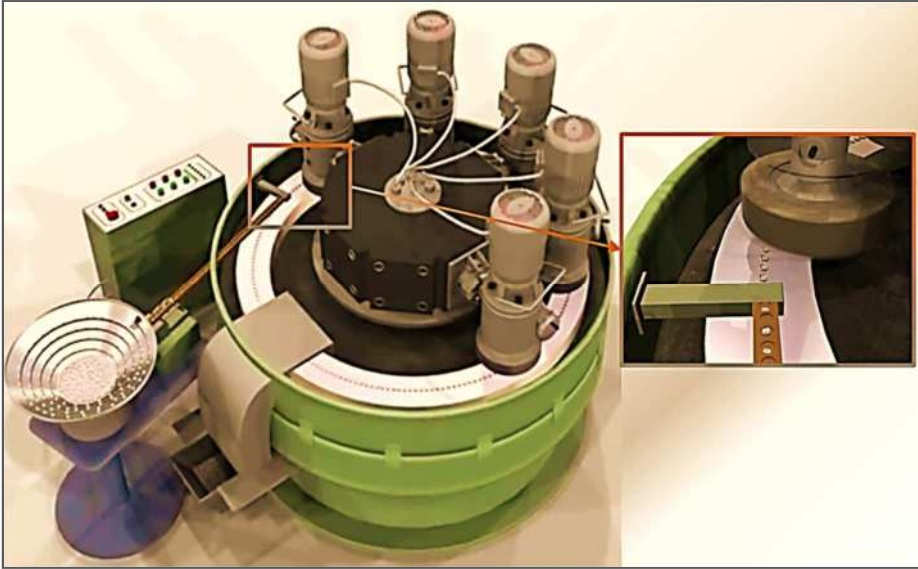


Rys. 58. Obraz śladów obróbkowych w strefach (od lewej) 3, 4, 6, 8, i 10



Rys. 59. Topografia powierzchni przedmiotu dla położenia w poszczególnych strefach

Opracowane i wdrożone liczne odmiany szlifierek automatycznych do szlifowania ceramicznych elementów kondensatorów odpornych na zakłócenia (rys. 60), specjalnych piezoceramicznych zapłonników oraz ceramicznych zaworów płytkowych, są przemysłowym potwierdzeniem przydatności opracowanej i rozwijanej metody mikroszlifowania.



Rys. 60. Automatyczna szlifierka do obróbki małych elementów ceramicznych z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnych powierzchniach czynnych

## **6. PODSTAWY AUTOMATYZACJI PROCESÓW PROJEKTOWANIA ELEMENTÓW I ZESPOŁÓW MASZYN Z ZASTOSOWANIEM SZTUCZNEJ INTELIGENCJI, W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI I NIEPOWTARZALNOŚCI PROCESÓW**

Celem zrealizowanego projektu było opracowanie teoretycznych podstaw nowych procesów interaktywnego projektowania elementów maszyn na wyższym poziomie automatyzacji zadań projektowych z zastosowaniem sztucznej inteligencji oraz opracowanie symbolicznego i hipertekstowego opisu cech elementów [Rie1996, Kac2006-1, Kac2012-5, Kac2012-6 Kac2014-13, Kac2014-14, Kac2015-2, Kac2015-3, Kac2015-7, Kac2015-8, Kac215-9, Kac215-10, Kac2016-4, Kac2016-5, Kac2016-6, Lip2013-3, Maj2006-1, Maj2006-2, Maj2008, Maj2016-1 Maj2016-2,

Maj2016-3, Maj2016-4, Maj2016-5, Tuc2015], przydatnego do interpretacji w samoczynnym tworzeniu rysunków konstruowanych elementów.

W prowadzonych badaniach uwzględniono, że realizacja tych procesów następuje w warunkach niepewności i niepowtarzalności zadań.

Potwierdzono, że obiektowe ujęcie zadań definiowania, zapisu i przetwarzania danych pozwala usprawnić procesy integracji wiedzy [Kac2009-3, Kac1010-4, Pie2003, Stu2007-1, Stu2007-2, Stu2011, Sza2005] i tworzenia projektów (rys.61 i 62), a głosowa komunikacja projektanta i systemu [Kac2005-2, Kac2006-3, Kac2009-2] jest jednym z wygodnych i efektywnych sposobów wprowadzania danych.

Uwzględniono także, że wykorzystywanie antywzorców projektowych [Bro2000, Kac2015-2, Kac2015-3, Kac2015-8, Kac2016-4, Kac2016-5, Tuc2015], zapewnia duży zakres poszukiwań innowacyjnych rozwiązań i może być wystarczającym ograniczeniem dla kreowania rozwiązań obarczonych błędami.

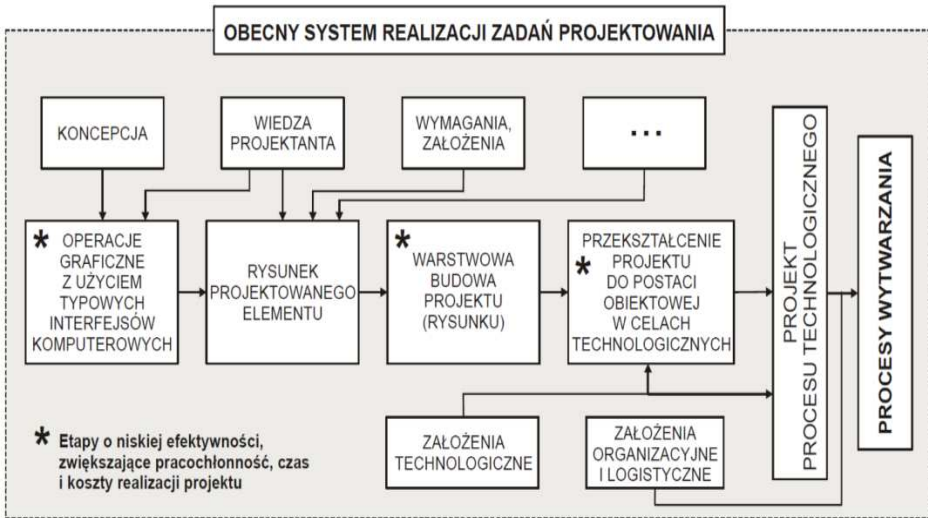
Weryfikacja efektywności samoczynnego tworzenia rysunków konstrukcyjnych z wykorzystaniem symbolicznego lub hipertekstowego zapisu cech konstrukcyjnych elementów nastąpiła w wyniku opracowania algorytmów interpretacji danych i ich implementacji w postaci programu wykonywalnego (rys. 63).

Opracowane zostały również podstawy wyznaczania cech konstrukcyjnych dla wybranej klasy urządzeń (głowice do wygładzania powierzchni otworów foliami ściernymi) z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych, uczonych z wykorzystaniem zbioru rozwiązań sprawdzonych poprzez ich wykonanie i ocenę wyników obróbki.

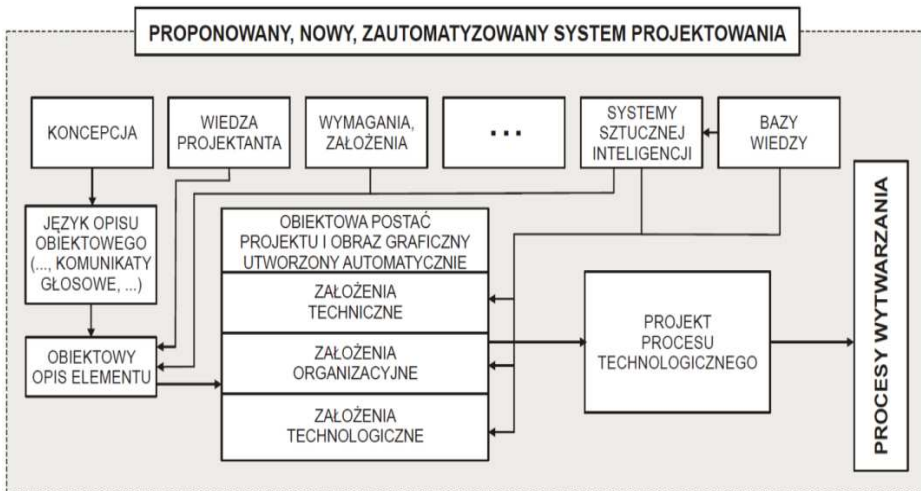
Koncepcja wykorzystywania antywzorów oraz metod twórczego rozwiązywania problemów konstrukcyjnych została sprawdzona między innymi w zadaniach projektowania nowych rozwiązań przekładni ślimakowych, zapewniających regulację i eliminację luzu bocznego, co czyni je przydatnymi w zastosowaniach w układach precyzyjnego pozycjonowania. W wyniku badań weryfikacyjnych opracowano 11 zgłoszeń patentowych.

Efektom realizacji projektu są liczne publikacje i zgłoszenia patentowe oraz wiedza i oprogramowanie, które mogą być podstawą do tworzenia systemów wspomaganie projektowania o wyższym poziomie automatyzacji, w których projektant jest w mniejszym stopniu obciążony zadaniami budowania obrazu graficznego projektu i może w większym stopniu skupić się na tworzeniu koncepcji z wykorzystaniem oczekiwanych i koniecznych niezgodności z obszernym zbiorem antywzorców oraz wspomaganie

wykorzystującym sztuczną inteligencję w procesie przetwarzania wiedzy, analizy danych i weryfikacji wyników.

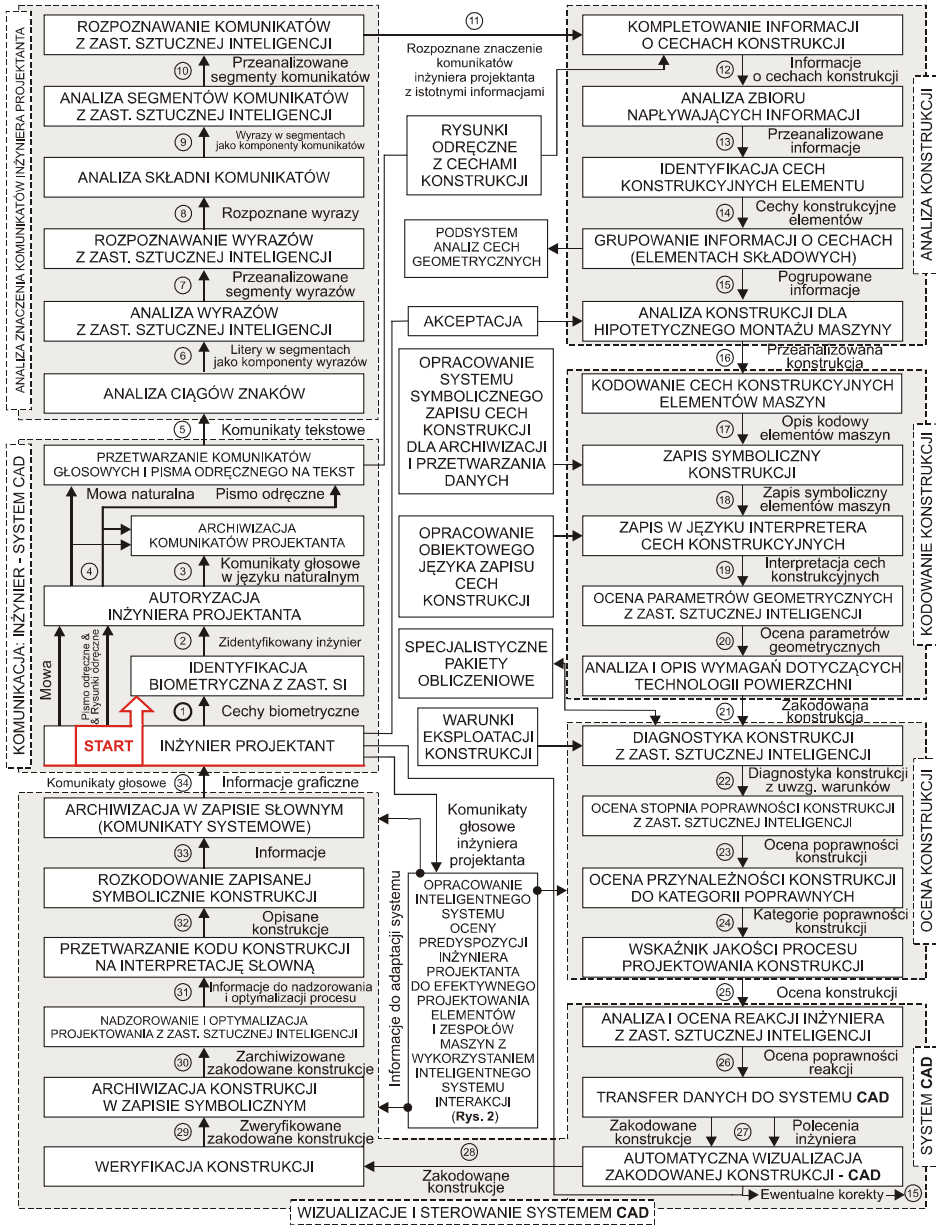


Rys. 61. Schematy obecnego systemu projektowania



Rys. 62. Schematy opracowanej nowej metodyki projektowania





Rys. 63. Schemat modułów w systemie projektowania elementów maszyn na podstawie ich cech opisywanych w języku naturalnym, symbolicznym lub hipertekstowym

Przedstawione powyżej przykłady innowacji w budowie i eksploatacji maszyn, indukowanych wynikami badań naukowych, wybrane z różnych obszarów działalności naukowej własnej i zespołowej, zostały opisane w uproszczeniu, bez pełnej analizy problemów, ale uwarunkowane to było ograniczeniami wydawnictwa oraz jego specyfiką. Dość obszerna literatura może stanowić potrzebne uzupełnienie. Wszystkim pracownikom zespołów z którymi współpracuję, a zwłaszcza zespołu którym kieruję, należy się uznanie za wiele wspólnych osiągnięć.

Lista współpracowników z Politechniki Koszalińskiej w działalności naukowej jest długa i znajduje prawie wyczerpujące udokumentowanie w spisie literatury. Przytaczam to zestawienie dla pełniejszego obrazu (jedynie współautorów prac i publikacji wymienionych w tym opracowaniu):

Prof. dr hab. inż. **Tomasz Krzyżyński**, Prof. dr hab. inż. **Leon Kukiełka**, prof. dr hab. inż. **Krzysztof Wawryn**, dr hab. inż. **Błażej Bałasz**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Andrzej Czyżniewski**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Tomasz Królikowski**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Ryszard Lewkowicz**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Czesław Łukianowicz**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Maciej Majewski**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Ryszard Ściegienka**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr hab. inż. **Piotr Stępień**, prof. ndzw. Politechniki Koszalińskiej, dr inż. **Artur Bernat**, dr inż. **Daniel Biedny**, dr inż. **Zbigniew Budniak**, dr inż. **Mariusz Kasprzyk**, dr inż. **Dariusz Lipiński**, dr inż. **S. Makuch**, dr inż. **Zdzisław Pluta**, dr inż. **Łukasz Rypina**, dr inż. **Stanisława Plichta**, dr inż. **Tomasz Szatkiewicz**, dr inż. **Katarzyna Tandecka**, dr inż. **Robert Tomkowski**, mgr inż. **Filip Szafraniec**, inż. **Stanisław Bokiej**, mgr inż. **Leon Charkiewicz**, mgr inż. **Andrzej Derkacz**, mgr inż. **Zbigniew Dziura**, mgr inż. **Tomasz Kamienik**, mgr inż. **Radosław Kunc**, mgr inż. **Andrzej Markiewicz**, inż. **Ryszard Piotrowski**, mgr inż. **Tomasz Romanowski**, mgr inż. **Anna Tomkowska**, mgr inż. **Andrzej Tuchołka**, mgr inż. **Wojciech Zawadka**, mgr inż. **Stanisław Ziółkowski**.

---

## LITERATURA

- [Alt2004] Altintas Y., Weck M.: *Chatter stability of metal cutting and grinding*. Ann. CIRP 2, 2004, 619-642.
- [And2011] Anderson D., Warkentin A., Bauer R., *Experimental and numerical investigations of single abrasive-grain cutting*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 51 (2011), 898-910.
- [And2012] Anderson D., Warkentin A., Bauer R., *Comparison of spherical and truncated cone geometries for single abrasive-grain cutting*, Journal of Materials Processing Technology 212 (2012), 1946-1953.
- [Bał2003] Bałasz B.: *Analiza kształtowania topografii powierzchni przedmiotu i obciążenia ziaren aktywnych w procesie szlifowania*, 2003, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Bał2007] Bałasz B., Szatkiewicz T., Królikowski T.: *Grinding Wheel Topography Modeling with Application of an Elastic Neural Network*. Lecture Notes in Computer Science Volume 4682, 2007, 83-90.
- [Ber2007] Bernat A., Kacalak W.: *Problem soft 3D reconstruction methods in visual inspection of surfaces of abrasive tools*. CSM 2007, Computer Methods and Systems, Kraków 2007, str. 247-252.
- [Ber2010] Bernat A.: *Ocena cech stereometrycznych powierzchni narzędzi ściernych na podstawie danych, zawartych w obrazach tych powierzchni*, 2010, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Bie2007] Biedny D.: *Podstawy regulacji luzu bocznego i doboru parametrów geometrycznych przekładni ślimakowej ze ślimakiem strefowo podatnym osiowo i promieniowo*, 2007, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Bor1979] Borkowski J.: *Podstawy stosowania monokrystalicznych ziaren węgla krzemu w obróbce ściernej*. Monografie Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie, 1979.
- [Bor1990] Borkowski J. A.: *Zużycie i trwałość ściernic*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1990, Warszawa.
- [Bri1992] Brinksmeier E., Werner F.: *Monitoring of grinding wheel wear*. Ann. CIRP 41(2), 1992, 373-376.
- [Bri1999] Brinksmeier E., Heinzl C., Wittmann M.: *Friction, cooling and lubrication in grinding*. Ann. of the CIRP 48, 1999, 581-598.
- [Bro2000] Brown W.J., McCormick H.W., Thomas S.W.: *AntiPatterns in Project Management*, John Wiley & Sons 2000.
- [Buc2014] Buchkremer S., Wu B., Lung D., Münstermann, Klocke F., Bleck W., FE-simulation of machining processes with a new material model, Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 599-611.



- [Cha2008] Chang H.C., Wang J.J.: *A stochastic grinding force model considering random grit distribution*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 48, 2008, 1335–1344.
- [Czy1999] Czyżniewski A.: *Wpływ dokładności wykonania frezów ślimakowych na zużycie i trwałość ostrzy pokrytych warstwą azotku tytanu*, 1999, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Dom2006] Doman D., A., Warkentin A., Bauer R., A.: *Survey of recent grinding wheel topography models*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 343-352, 2006.
- [Gaw2014-1] Gawlik J., Kiełbus A., Karpisz D.: *Application of an Integrated Database System for Processing Difficult Materials*. Solid State Phenomena (Volume 223), Advances in Manufacturing Engineering, Chapter 1: Innovative Materials and Materials Processing Technologies in Mechanical Engineering, 2014, 35-45.
- [Gaw2014-2] Gawlik J., Niemczewska-Wójcik M., Krajewska J., Sokhan S. V., Paščenko E. A., Žuk T. S.: *The Influence of Tool Composite's Structure During Process of Diamond Grinding of Ceramic Materials*. Management and Production Engineering Review Volume 5, Number 4, 2014, 9–17.
- [Goł2010] Gołąbczak M.: *Polerowanie struktur półprzewodnikowych na bazie węgla krzemu*. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź, 2010.
- [Grz2010] Grzesik W., Kruszyński B., Ruszaj A.: *Surface Integrity of Machined Surfaces*. Surface Integrity in Machining, Springer-Verlag London, 2010, 143-179.
- [Ham2000] Hamrol A.: *Process diagnostic as a means of improving the efficiency of quality control*. Production Planning & Control, Vol. 11 nr 8/2000.
- [Hec2003] Hecke R.,L., Liang S.,Y.: *Predictive modeling of surface roughness in grinding*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003), 755–761.
- [Hec2007] Hecke R.,L., et al.: *Grinding force and power modeling based on chip thickness analysis*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 33, 2007, 449–459.
- [Ika1992] Ikawa N., Shimada S., Tanaka H.: *Minimum Thickness of Cut in Micromachining*. Nanotechnology 3, 1992, 6–9.
- [Ina1996] Inasaki I.: *Grinding process simulation based on the wheel topography measurement*. CIRP Ann. Manuf. Technol. 45(1), 1996, 347–350.
- [Kac1983] Kacalak W.: *Narzędzie ścierne*. Patent nr 118215, 1983.
- [Kac1984] Kacalak W.: *Profilmodifikation geschliffener Gewindeschnecken*. Werkstatt und Betrieb 117 (1984), pp. 85-88.
- [Kac1986] Kacalak W., Lewkowicz R., Lechowski T.: *Sposób pomiaru niedokładności zarysu powierzchni śrubowej ślimaka oraz urządzenie do jego realizacji*. Patent nr 137523, 1986.
- [Kac1987-1] Kacalak W., Kacalak A.: *Sposób sterowania procesem wzdłużnego szlifowania wałków*. Patent nr 137418.

- [Kac1987-2] Kacalak W., Poletajew B., Pluta Z.: *Sposób i narzędzie ściernie do kształtowania regularnej makrogeometrii obrabianej powierzchni w postaci równomiernie rozmieszczonych wgłębień*. Patent nr 137405.
- [Kac1988-1] Kacalak W. i inni: *Sposób i urządzenie do gładkościowej obróbki płaszczyn przedmiotów drobnych, zwłaszcza elementów ceramicznych pokrytych cienkimi warstwami innych materiałów*. Patent nr 141138.
- [Kac1988-2] Kacalak W. i inni: *Sposób szlifowania płaskiego, zwłaszcza drobnych elementów ceramicznych oraz urządzenie do szlifowania płaskiego zwłaszcza drobnych elementów ceramicznych*. Patent nr 142132.
- [Kac1988-3] Kacalak W., Ściegienka, Pluta Z., Śmiałek W., Ziółkowski S.: *Sposób i narzędzie do gładkościowej obróbki powierzchni*. Patent nr 141828.
- [Kac1988-4] Kacalak W.: *Przekładnia ślimakowa*. Patent nr 137131, 1988.
- [Kac1989-1] Kacalak W.: *Narzędzie ściernie do wykonywania płytkich wgłębień na powierzchniach*. Patent 145286.
- [Kac1989-2] Kacalak W., Lubiński A.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 160312, 1989.
- [Kac1989-3] Kacalak W., Derkacz A., Tatoń J.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 160314, 1989.
- [Kac1990-1] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa z regulowanym luzem międzyzębnym*. Patent nr 288495.
- [Kac1990-2] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 288498.
- [Kac1990-3] Kacalak W., Ryckiewicz J.: *Precyzyjna przekładnia ślimakowa*. Patent nr 288496.
- [Kac1990-4] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa do bezluzowego przenoszenia momentów obrotowych*. Patent nr 288497.
- [Kac1990-5] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa z regulowanym luzem międzyzębnym*. Patent nr 164102, 1990.
- [Kac1990-6] Kacalak W., Ryckiewicz J.: *Precyzyjna przekładnia ślimakowa*. Patent nr 164104, 1990.
- [Kac1990-7] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa do bezluzowego przenoszenia momentów obrotowych*. Patent nr 164105, 1990.
- [Kac1990-8] Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*". Patent nr 163 445, 1990.
- [Kac1991] Kacalak W.: *Narzędzie ściernie do kształtowania regularnej makrogeometrii obrabianej powierzchni*. Patent nr 152827.
- [Kac1992-1] Kacalak W.: *Moduł mikronapędu*. Patent nr 296377.
- [Kac1992-2] Kacalak W.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 169114, 1992.
- [Kac1992-3] Kacalak W.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 296444.

- [Kac1993-1] Kacalak W., Lewkowicz R.: *Nowe rozwiązania przekładni ślimakowych z regulowanym luzem bocznym*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna: Koła Zębate KZ' 1993 – Wytwarzanie, pomiar, eksploatacja; PAN, Poznań 1993, s. 59-73.
- [Kac1993-2] Kacalak W., Lubiński A.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 160312.
- [Kac1993-3] Kacalak W., Lubiński A.: *Sposób szlifowania dokładnych powierzchni śrubowych, zwłaszcza długich gwintów*. Patent nr 160799.
- [Kac1993-4] Kacalak W., Ściegienka R.: *Sposób precyzyjnej obróbki płaskich powierzchni, zwłaszcza obróbki drobnych przedmiotów ceramicznych w cyklu automatycznym*. Patent nr 161481.
- [Kac1993-5] Kacalak W.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 301669.
- [Kac1994-1] Kacalak W., Lewkowicz R.: *Neue Lösungen für Schneckengetriebe mit geregelter Seitenspielraum*. ANT Antriebstechnik Mainz, Niemcy, 1994.
- [Kac1994-2] Kacalak W., Lewkowicz R.: *Präzisionsschleifen Langer Schrauben und Spindeln*. Werkstattstechnik WT Produktion und Management, Springer Verlag 11/12 1994, s. 526-529.
- [Kac1995-1] Kacalak W., Kukiełka L., Marché P.: *Commande de processus de traitements superficiels utilisant la logique floue*. Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Vol. 8, no 2-3/1995, s. 377-382.
- [Kac1995-2] Kacalak W., Wawryn K.: *A fuzzy compensation of disturbances in automated manufacturing*. Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. Vol.5. Fuzzy Logic And Evolutionary Programming. ASME Press, 1995, s. 291-296.
- [Kac1995-3] Kacalak W.: *Wybrane problemy konstrukcji i technologii precyzyjnych przekładni ślimakowych*. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 51, Koszalin 1995.
- [Kac1996-1] Kacalak W., Lewkowicz R., Dziura Z.: *Methoden und Probleme bei der Präzisionsbearbeitung kleiner Keramikformstücke*. VDI Berichte 1276, Bearbeitung neuer Werkstoffe - 2nd International Conference On Machining Of Advanced Materials. VDI Verlag, Düsseldorf, 1996, s. 53-74.
- [Kac1996-2] Kacalak W., Lewkowicz R., Bałasz B., Zawadka W.: *Optimierung der Schleifprozesse schwer zerspanbarer Werkstoffe bei niedrigen Temperaturen und im Vakuum*. VDI Berichte 1276, Bearbeitung neuer Werkstoffe - 2nd International Conference On Machining Of Advanced Materials. VDI Verlag, Düsseldorf, 1996, s.617-640.
- [Kac1997] Kacalak W.: *Teoretyczne podstawy minimalizacji energii właściwej w procesach obróbki ściernej*. XX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Poznań 1997, s. 77-81.
- [Kac2000-1] Kacalak W., Kukiełka L., Krzyżyński T.: *Application of Fuzzy Logic Algorithms to Irregular Disturbance Compensation in Technological Processes*. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).

- [Kac2000-2] Kacalak W., Krzyżyński T., Dziura Z., Ściegienka R., Lewkowicz R.: *On Optimization of Automated Process of Fine Grinding Small Ceramic Elements*. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen.
- [Kac2000/-3] Kacalak W.: *Modelowanie, diagnostyka i optymalizacja procesów obróbki ściernej*. Zbiór prac, XXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów-Myczkowce, wrzesień 2000, strony 76-88.
- [Kac2000-4] Kacalak W., Krzyżyński T., Romanowski T., Kamienik T., Lipiński D.: *On Thermal Minimization and Deviation Compensation in the Process of Super-Fine Grinding Long Helical Surfaces*. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen.
- [Kac2000-5] Kacalak W., Lewkowicz R., Krzyżyński T.: *Random Components Auto-Correlation and its Influence on Estimation of Grinding Process Models*. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).
- [Kac2000-6] Kacalak W., Lewkowicz R., Krzyżyński T.: *Specific Energy Minimization in Processes of Abrasive Machining*. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).
- [Kac2001-1] Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T., Lewkowicz R., Ściegienka R.: *Selected Problems of Micro-Smoothing Process in Extra Low Temperatures*. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining – June, 2001 – METZ (Francja).
- [Kac2001-2] Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T.: *Selected Problems of Stochastic Processes Modelling of Abrasive Wear and Durability of Grinding Wheel*. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining – June, 2001 – METZ (Francja) Vol. II s.184-188.
- [Kac2001-3] Kacalak W., Krzyżyński T., Lipiński D., Kamienik T.: *Intelligent Systems of Inaccuracies Minimization and Disturbance Compensation in Process of Fine Grinding*. 15th European Simulation Multiconference, June 6-9 2001, Praga.
- [Kac2001-4] Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T., Lewkowicz R., Ściegienka R.: *Methods and Characteristics of Micro-Cutting and Micro-Smoothing Processes in a Vacuum*. Proc. Third International Conference on "Metal Cutting and High Speed Machining" Metz, France (2001) Vol. II, pp. 189-192.
- [Kac2002-1] Kacalak W., Lipinski, D., Krzyżyński, T.: *On hybrid systems of monitoring of machining processes*. GAMM Annual Meeting 2002, Augsburg, 2002.
- [Kac2002-2] Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T., Lewkowicz R., Ściegienka R.: *On Modelling and Experimental Verification of Micro-Smoothing Process in Extra Low Temperatures*. International Conference GAMM 2002, Augsburg, Niemcy.
- [Kac2003] Kacalak W., Majewski M.: *Intelligent Two-Sided Voice Communication System Between the Machining System and the Operator*. Proceedings of the ANNIE 2003 Conference, Artificial Neural Networks in Engineer-

ing ANNIE 2003, Vol. 13: Smart Engineering Systems Design, 2003, St. Louis, ASME Press, New York 2003, 969-974.

- [Kac2004-1] Kacalak W., Lipiński D.: *Adaptive system of quality supervising in technological processes*. Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 28, No 2, 2004, str. 7-16.
- [Kac2004-2] Kacalak W., Majewski M., *Automatic recognition and safety estimation of voice commands in natural language given by the operator of the technical device using artificial neural networks*. Proceedings of the ANNIE 2004 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2004, Vol. 14: Smart Engineering Systems Design, 7-10 November 2004, St. Louis, ASME Press, New York 2004, p. 831-836.
- [Kac2004-3] Kacalak W., Biedny D.: *Selected problems of side play adjustment in worm gear with zonary flexible worm*. „Advances in manufacturing science and technology”, Vol. 28, No. 3, 2004, s. 5-17.
- [Kac2004-4] Kacalak W., Ściegienka R., Pluta Z., Derkacz A., Ziółkowski S., Kundzicz W., Piotrowski W.: *Sposób i urządzenie do dwustronnego szlifowania płaskich powierzchni czołowych, zwłaszcza małych walcowych przedmiotów ceramicznych*. Patent nr 285396.
- [Kac2005-1] Kacalak W., Majewski M., *Intelligent Layer of Two-Way Speech Communication of the Technological Device with the Operator*. Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence ICAI 2005, Las Vegas, USA, 27-30 June 2005, CSREA, Georgia 2005.
- [Kac2005-2] Kacalak W., Majewski M.: *Selected Problems of Automatic Recognition and Evaluation of Voice Commands in Natural Language given by the Operator using Artificial Neural Networks*. 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, USA, 10-13 July 2005.
- [Kac2005-3] Kacalak W., Biedny D.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Patent nr 207801, 2005.
- [Kac2006-1] Kacalak W., Majewski M.: *A New Method for Handwriting Recognition using Artificial Neural Networks*. Proceedings of the ANNIE 2006 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2006, Vol. 16: Smart Engineering System Design, St. Louis, 2006, ASME Press, New York 2006.
- [Kac2006-2] Kacalak W., Stuart K., Majewski M.: *Intelligent natural language processing*, ICNC 2006, Xi'an, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4221 - Advances in Natural Computation, Springer 2006, pp. 584-587.
- [Kac2006-3] Kacalak W., Majewski M.: *Intelligent system for automatic recognition and evaluation of speech commands*, ICONIP 2006, Hong Kong, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4232 - Neural Information Processing, Springer 2006, pp. 298-305.
- [Kac2007-1] Kacalak W., Tomkowska A., Tomkowski R.: *Metody generowania powierzchni ziaren ściernych do zastosowań w analizie i symulacji*

*procesów szlifowania*. Podstawy i technika obróbki ścierniej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007, 211-218.

- [Kac2007-2] Kacalak W., Bernat A.: *Practical and theoretical aspects of abrasive tool surface reconstruction based on photometric stereo*. *Pomiary Automatyka Kontrola* vol. 53, nr 8/2007, str. 21-24.
- [Kac2009-1] Kacalak W., Bałasz B., Królikowski T., Lipiński D.: *Kierunki rozwoju mikro- i nanoszlifowania*. Współczesne problemy obróbki ścierniej, Monografie - Szkoła Naukowa Obróbki Ścierniej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009, 13-40.
- [Kac2009-2] Kacalak W., Majewski M.: *Natural Language Human-Robot Interface Using Evolvable Fuzzy Neural Networks for Mobile Technology*, ICIC 2009, Ulsan, South Korea, Lecture Notes in Computer Science Vol. 5754, Springer 2009, pp. 480-489.
- [Kac2009-3] Kacalak W., Majewski M.: *E-learning systems with artificial intelligence in engineering*, ICIC 2009, Ulsan, South Korea, Lecture Notes in Computer Science Vol. 5754 - Emerging Intelligent Computing Technology and Applications, Springer 2009, pp. 918-927.
- [Kac2010-1] Kacalak W., Szafraniec F., Kunc R., Remelska H.: *Zastosowanie teorii fraktali do tworzenia i wizualizacji powierzchni o określonej topografii*. Rozdział w monografii *Podstawy i Technika Obróbki Ścierniej*. Łódź, 2010.
- [Kac2010-2] Kacalak W., Królikowski T., Bałasz B.: *Analiza przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania*. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ścierniej, Łódź, 2010.
- [Kac2010-3] Kacalak W., i inni: *System do analizy i oceny topografii powierzchni technicznych*. Projekt R03 040 03, 2010.
- [Kac2010-4] Kacalak W., Majewski M., Zurada J.M.: *Intelligent e-learning systems for evaluation of user's knowledge and skills with efficient information processing*, ICAISC 2010, Zakopane, Poland, Lecture Notes in Computer Science Vol. 6114 - Artificial Intelligence and Soft Computing, Springer 2010, pp. 508-515.
- [Kac2011-1] Kacalak W., Tandecka K.: *Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania*. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 5/2011.
- [Kac2011-2] Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz., *Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 57, 2011, str. 542-546.
- [Kac2011-3] Kacalak W.: *Modele i procedury symulacji procesów szlifowania w środowisku MATLAB – 2009-2011 – praca niepublikowana*.
- [Kac2012-1] Kacalak W., Tandecka K.: *Budowa mikrowiórów oraz skutki mikronieciągłości ich tworzenia w procesach wygładzania powierzchni z zastosowaniem folii ściernych*. *Innovative Manufacturing Technology 2*, Kraków 2012, str. 181-192.

- [Kac2012-2] Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R.: *Metodyka modelowania powierzchni ziaren określonych materiałów ściernych*. Innovative Manufacturing Technology 2, Kraków 2012, str. 555-562.
- [Kac2012-3] Kacalak W., Szafraniec F.: *Metodyka i algorytmy modelowania i symulacji oraz badań i analizy procesów obróbki ściernej*. Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernej, Prace naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, 2012, str. 205-234.
- [Kac2012-4] Kacalak W., Kunc R.: *Algorytmy i procedury optymalizacji procesu szlifowania powierzchni śrubowych*, INNOVATIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY 2, Kraków 2012, str. 597-609.
- [Kac2012-5] Kacalak W., Majewski M.: *New Intelligent Interactive Automated Systems for Design of Machine Elements and Assemblies*, ICONIP2012, Doha, Qatar, Lecture Notes in Computer Science 7666, Part IV, Springer 2012, pp. 115-122.
- [Kac2012-6] Kacalak W., Majewski M.: *Effective Handwriting Recognition System Using Geometrical Character Analysis Algorithms*, ICONIP2012, Doha, Qatar, Lecture Notes in Computer Science 7666, Part IV, Springer 2012, pp. 248-255.
- [Kac2013-1] Kacalak W., Królikowski T., Rypina Ł.: *Modelowanie naprężeń i przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania z wykorzystaniem środowiska LS-DYNA*. Mechanik nr 8-9/2013.
- [Kac2013-2] Kacalak W., Szafraniec F.: *Modelowanie obciążeń ziaren aktywnych i sił w procesie szlifowania*. Mechanik nr 8-9/2013.
- [Kac2013-3] Kacalak W., Szafraniec F.: *Metodyka i algorytmy modelowania i symulacji oraz badań i analizy procesów obróbki ściernej*, Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernej, Prace naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej 2013, str. 205-234.
- [Kac2013-4] Kacalak W., Tandecka K., Sempruch R.: *Badania modelowe procesu mikroskrawania*, Mechanik nr 8-9/2013.
- [Kac2014-1] Kacalak W., Majewski M., Lipiński D.: *Minimalizacja odkształceń cieplnych i kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie szlifowania długich powierzchni śrubowych*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 1/2014, str. 36-40.
- [Kac2014-2] Kacalak W., Bałasz B., Tomkowski R., Lipiński D., Królikowski T., Szafraniec F., Tandecka K., Rypina Ł.: *Problemy naukowe i kierunki rozwoju procesów mikroobróbki ściernej*, Mechanik, Zeszyt: 8 - 9, str. 157-170/724, 2014.
- [Kac2014-3] Kacalak W., Szafraniec F., Lipiński D.: *Probabilistyczna analiza aktywności ziaren na czynnej powierzchni ściernicy*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 176-184.
- [Kac2014-4] Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Mathia T. G.: *Micro and nano - discontinuities of chips formations in diamond foils abrasive finishing process*, 2nd International Conference on Abrasive Processes - ICAP 2014, str. 25, Cambridge UK, 2014.

- [Kac2014-5] Kacalak W., Szafraniec F., Tandecka K.: *Metodyka modelowania powierzchni czynnej narzędzi ściernych z uwzględnieniem korelacji przestrzennego rozmieszczenia ich wierzchołków dla określonych ściernic rzeczywistych*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 255-262.
- [Kac2014-6] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Koło ślimakowe przekładni bezluzowej*. Zgłoszenie nr P.410406 z dnia 2014.12.05. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-7] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Koło ślimakowe przekładni bezluzowej*. Zgłoszenie nr P.410407 z dnia 2014.12.05. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-8] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Zgłoszenie nr P.408392 z dnia 2014.06.02. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-9] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Zgłoszenie nr P.408933 z dnia 2014.07.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-10] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Zgłoszenie nr P.409050 z dnia 2014.07.31. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-11] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Zgłoszenie nr P.409516 z dnia 2014.09.15. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-12] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnie ślimakowe z regulowanym luzem bocznym*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny MECHANIK, nr 7/2014, str. 526-533.
- [Kac2014-13] Kacalak W., Majewski M.: *Handwriting recognition in intelligent design systems*, Archives of Mechanical Technology and Automation, vol. 34, nr 3, 2014, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, ATMiA Poznań. 3-12.
- [Kac2014-14] Kacalak W., Majewski M.: *Interactive design of machine elements and assemblies*, Archives of Mechanical Technology and Automation, vol. 34, nr 3, 2014, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, ATMiA Poznań. 13-22.
- [Kac2014-15] Kacalak W., Ściegienka R., Bałasz B., Bokiej S.: *Układ do podawania płynu chłodzącego na powierzchnie ściernicy tarczowej*. Zgłoszenie nr P.409126 z dnia 2014.08.07. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-16] Kacalak W., Tandecka K.: *Folia ścierna do procesu mikrowygładzania powierzchni*. Zgłoszenie nr P.407465 z dnia 2014.03.10. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
- [Kac2014-17] Kacalak W., Tandecka K.: *Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej (The effects of the use of discontinuous active surface of microfinishing films for superfinishing proces)*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 36-40.



- [Kac2014-18] Kacalak W., Tomkowski R., Lipiński D., Szafranec F.: *System oceny struktury geometrycznej powierzchni po obróbce ściernej*. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 219-226.
- [Kac2015-1] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Innovative design of non-backlash worm drives*. Civil and Mechanical Engineering, 2015.
- [Kac2015-2] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Intelligent Automated Design of Machine Components Using Antipatterns*. 16th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning - IDEAL 2015, Wrocław, Poland, 14-16 October 2015. Lecture Notes in Computer Science Volume 9375. Springer International Publishing 2015. 248-255.
- [Kac2015-3] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Intelligent Design of Machine Elements using Antipatterns*. The 28th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems - IEA/AIE 2015, Seoul, Korea, 10-12 June 2015. Lecture Notes in Computer Science. Springer 2015.
- [Kac2015-4] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Koło ślimakowe przekładni bezluzowej*. Zgłoszenie nr P.415418 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
- [Kac2015-5] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Przekładnia ślimakowa bezluzowa*. Zgłoszenie nr P.415419 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
- [Kac2015-6] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Worm gear drives with adjustable backlash*. ASME Journal of Mechanisms and Robotics. ASME Press 2015.
- [Kac2015-7] Kacalak W., Majewski M., Stuart K., Budniak Z.: *Interactive Systems for Designing Machine Elements and Assemblies*. Management and Production Engineering Review, vol. 6, nr 3, September 2015. 21-34.
- [Kac2015-8] Kacalak W., Majewski M., Tuchołka A.: *Intelligent Assessment of Structure Correctness Using Antipatterns*. International Conference on Computational Science and Computational Intelligence - CSCI'2015, 7-9 December 2015, Las Vegas, USA. IEEE Computer Society, IEEE Xplore Digital Library 2015. 559-564.
- [Kac2015-9] Kacalak W., Majewski M.: *Intelligent Interactive Systems for Design of Machine Elements and Assemblies in Uncertainty and Unrepeatability*. The 28th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems - IEA/AIE 2015, Seoul, Korea, 10-12 June 2015. Lecture Notes in Computer Science. Springer 2015.
- [Kac2015-10] Kacalak W., Majewski M.: *Sposób rozpoznawania znaków pisma, zwłaszcza pisma odręcznego*. Zgłoszenie nr P.415415 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
- [Kac2015-11] Kacalak W., Rypina Ł., Lipiński D., Bałasz B.: *Analiza wpływu cech geometrycznych strefy mikroskrawania pojedynczym ostrzem ściernym na proces oddzielania obrabianego materiału*. Inżynieria Maszyn 2015, T. 20, nr 1, s. 7-18.

- [Kac2015-12] Kacalak W., Szafranec F.: Modele i procedury symulacji procesów szlifowania w środowisku MATLAB – 2012-2015 – praca niepublikowana.
- [Kac2015-13] Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł.: *Evaluation of Micromachining Processes Using Data in the Format and Geometric Characteristics of Micro-Chips*, Journal of Machine Engineering, Vol. 15, No. 4, 2015, str. 59-68.
- [Kac2015-14] Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł.: *Analiza zjawiska nieciągłości tworzenia mikrowiórów w procesie wygładzania foliami ściernymi*, Mechanik, Numer 8-9/2015, str. 179-184, 2015.
- [Kac2016-1] Kacalak W., Budniak Z., Majewski M.: *Stateczność żurawia dla różnych stanów obciążeń i różnych trajektorii przemieszczeń ładunku*. Mechanik, nr 12/2016.1820-1823. DOI 10.17814/mechanik.2016.12.571.
- [Kac2016-2] Kacalak W., Budniak Z., Szafranec F.: *Analiza kształtowania powierzchni śrubowych w procesie szlifowania ściernicami krążkowymi z wykorzystaniem systemów CAD/CAE*. Mechanik. 2016, nr 10, s. 1368-1370. OI 10.17814/mechanik.2016.10.365.
- [Kac2016-3] Kacalak W., Lipiński, D., Rypina Ł., Szafranec F.: *Analiza procesu szlifowania stopu tytanu Ti-6Al-4V ściernicami z agregatami ściernymi*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1150-1151. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.292.
- [Kac2016-4] Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: *Analysis of similarities between structural features of designed machine elements and corresponding antipatterns*. IV International Scientific-Technical Conference – Manufacturing 2014, Poznań 2014. p. 135-142.
- [Kac2016-5] Kacalak W., Majewski M., Tuchołka A.: *A Method of Object-oriented Symbolical Description and Evaluation of Machine Elements Using Antipatterns*. Journal of Machine Engineering, Vol. 16, No. 4, 2016.
- [Kac2016-6] Kacalak W., Majewski M.: *Interactive design of machine elements in uncertainty and unrepeatability*. IV International Scientific-Technical Conference – Manufacturing 2014, 8-10, December 2014, Poznań 2014. Selected Conference Proceedings in Web of Science – Poznan University of Technology 2016, Thomson Reuters - Conference Proceedings Citation Index. p. 57-64.
- [Kac2016-7] Kacalak W., Różański R., Lipiński D.: *Evaluation of Classification Ability of the Parameters Characterizing Stereometric Properties of Technical Surfaces*. Journal of Machine Engineering, Vol. 16, No. 2, 2016, s. 86-94.
- [Kac2016-8] Kacalak W., Rypina Ł., Tandecka K., Lipiński D., Szafranec F.: *Analiza struktur powierzchni mikrowiórów kulistych powstających w procesach obróbki ściernej*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1148-1149. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.291.
- [Kac2016-9] Kacalak W., Rypina Ł., Tandecka, K., Bałasz B.: *Modelowanie w środowisku Ansys procesów mikroskrawania materiałów o różnych właściwościach*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1134-1135. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.284.

- [Kac2016-10] Kacalak W., Szafraniec F., Budniak Z.: *Podstawy doboru parametrów szlifowania z uwzględnieniem liczby ziaren kształtujących określony fragment powierzchni*. Mechanik. 9 2016, nr 8-9, s. 1182–1184. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.308.
- [Kac2016-11] Kacalak W., Szafraniec F., Lipiński D.: *Metodyka analizy i modelowania sił w procesie szlifowania płaszczyzn dla małych głębokości obróbki*. Mechanik. 2016, nr 8-9, s. 1194–1196. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.314.
- [Kac2016-12] Kacalak W., Szafraniec F., Ściegienka R.: *Topografia powierzchni elementów ceramicznych szlifowanych z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnej powierzchni czynnej*. Mechanik. 2016, nr 8-9, s. 1180–1182. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.307.
- [Kac2016-13] Kacalak W., Szafraniec F., Tandecka, K.: *Kierunki rozwoju i podstawy optymalizacji procesów obróbki ściernej*. Mechanik 2016, nr 10/2016, s. 1398–1399. DOI 10.17814 /mechanik.2016.10.380.
- [Kac2016-14] Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Szafraniec F., Rypina Ł., Socha E.: *Ocena zużycia promieniowego nowych narzędzi do szlifowania zawierających mikroagregaty ściernic z wykorzystaniem metody skanowania przestrzennego*. Mechanik. 2016, nr 8-9/2016, s. 1174–1175. DOI 10.17814/mechanik.2016.8-9.304.
- [Kac2016-15] Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.,G.: *A Method and New Parameters for Assessing the Active Surface Topography of Diamond Abrasive Films*. Journal of Machine Engineering, Vol. 16, No. 4, 2016, s. 95–108.
- [Kac2016-16] Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł., Lipiński D., Grzesiak D., Socha E.: *Procesy szlifowania kompozytów żywiczno-ceramicznych z zastosowaniem narzędzi zawierających mikroagregaty ściernic*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1198–1199. DOI 10.17814/ mechanik.2016.8-9.316.
- [Kac2016-17] Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł., Lipiński D., Szafraniec F., Socha E.: *Modelowanie i analiza procesów mikroskrawania agregatami ściernymi*. Mechanik, 2016, nr 8-9/2016, s. 1172–1173
- [Kac2016-18] Kacalak W., Tandecka, K.: *Analiza procesów mikrowygładzania stopów niklowo-chromowych z wykorzystaniem wyników badań topografii powierzchni i cech powstających mikrowiórów*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1170–1171. DOI 10.17814 /mechanik.2016.8-9.302.
- [Kac2016-19] Kacalak W., Tandecka, K.: *Charakterystyka procesu mikrowygładzania z zastosowaniem diamentowych folii ściernych. Cz. 1. Stal, Metale, Nowe Technologie*. 2016, T. 1-2, s. 74–78.
- [Kac2016-20] Kacalak W., Tandecka, K.: *Charakterystyka procesu mikrowygładzania z zastosowaniem diamentowych folii ściernych – cz. II. Stal, Metale, Nowe Technologie*. 2016, T. 3-4/2016, s. 70–73.
- [Kac2017] Kacalak W., Budniak Z., Szafraniec F.: *Analysis of the forming process of conical-like helical surfaces with roller tools*. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2017.

- [Kas2005] Kasprzyk M.: *Probabilistyczne modele trwałości i zużycia ściernic z ziarnami z elektrokorundu szlachetnego*, 2005, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Kas2007] Kasprzyk M., Kacalak W.: *Probabilistyczne modele trwałości narzędzi ściernych. Podstawy i technika obróbki ściernej*. Monografia Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, str. 227-234.
- [Kor1973] Kornberger Z.: *Przekładnie ślimakowe*. WNT Warszawa 1973.
- [Kró2003] Królikowski T.: *Analiza wpływu mikro- i makro topografii powierzchni czynnej ściernicy na cechy energetyczne procesów szlifowania*, 2003, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Kru1995] Kruszyński B.: *Model of gear grinding process*. Annals of the CIRP, 44(1995)1, 321-324.
- [Kru2001/1] Kruszyński B., Wójcik R.: *Residual stress in grinding*. Journal of Materials Processing Technology, Volume 109, Issue 3, 2001, 254-257.
- [Kru2001/2] Kruszyński B.: *Surface Integrity in Grinding*. The Technical University Press. A Series of Monographs, 2001, Łódź.
- [Kru2003] Kruszyński B., Pazgier J.: *Temperatures in Grinding of Magnetic Composites - Theoretical and Experimental Approach*. Annals of the CIRP 52 (2003)1, 263-266.
- [Lia2000] Liao T.,W., Li K., Mcspadden S., B.: *Wearmechanisms of diamond abrasives during transition and steady stages in creep-feed grinding of structural ceramics*. Wear, 2000, 242(1/2), 28-37.
- [Lip2005] Lipiński D.: *Nadzorowanie jakości w procesach automatycznego szlifowania małych elementów ceramicznych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji*, 2005, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Lip2008] Lipiński D., Kacalak W.: *Assessment of the Accuracy of the Process of Ceramics Grinding with the Use Fuzzy Interference*. Springer, Lecture Notes in Computer Science 4432, 2008, s. 596-603.
- [Lip2012] Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R.: *Application of the laser scanning microscopy to evaluation of abrasive tool wear*. Journal of Machine Engineering, Vol. 12, No. 4, 2012, 99-105.
- [Lip2013-1] Lipiński D., Kacalak W., Tandecka K.: *Zastosowanie systemu skanowania przestrzennego do oceny zużycia narzędzi ściernych*. Pomiar Automatyka Kontrola, vol. 59, nr 11, 2013, 1227-1231.
- [Lip2013-2] Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R.: *Methodology of evaluation of abrasive tool wear with the use of laser scanning microscopy*, SCANNING, 2013 (DOI:0.1002/sca.21088).
- [Lip2013-3] Lipinski D., Majewski M.: *System for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-Machining Processes Using Intelligent Voice and Visual Communication*, IDEAL 2013, Hefei, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 8206 - Intelligent Data Engineering and Automated Learning, Springer 2013, pp. 16-23.

- [Lip2013-4] Lipinski D., Majewski M.: *Interactive Hybrid Systems for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-machining Processes*, ICONIP 2013, Daegu, Korea, Lecture Notes in Computer Science Vol. 8227 - Neural Information Processing, Springer 2013, pp. 360-367.
- [Lip2015] Lipinski D., Majewski M.: *Intelligent Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-Machining Processes*, Mechatronics 2014, Lodz, Poland, Advances in Intelligent Systems and Computing Vol. 317 - Mechatronics - Ideas for Industrial Application, Springer International Publishing 2015, pp. 101-110.
- [Lip2016-1] Lipiński, D., Kacalak W.: *Metrological Aspects of Abrasive Tool Active Surface Topography Evaluation*. Metrology and Measurements Systems. 2016, Vol. 23, Issue 4, pp. 567-578. DOI 10.1515/mms-2016-0043.
- [Lip2016-2] Lipiński, D., Kacalak W.: *Zastosowanie metod analizy obrazu do oceny powierzchni czynnej narzędzia ściernego*. Mechanik 2016, nr 8-9/2016, s. 1152-1153. DOI 10.17814 /mechanik. 2016.8-9.293.
- [Liu2004] Liu, X., DeVor, R.E., Kapoor, S.G., Ehmann K.F.: *The Mechanics of Machining at the Microscale: Assessment of the Current State of the Science*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 126/4, 2004, 666-678.
- [Lub2000] Lubimow W., Oczóś K. E., Łabudzki R. K.: *Klasyfikacja struktur geometrycznych powierzchni (SGP)*. Obróbka ścierna, podstawy i technika. Zbiór prac XIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, 2000.
- [Maj1991] Majumdar A., Bhushan B.: *Fractal model elastic-plastic contact between rough surfaces*. J. Tribol. 113, 1991, 1-11.
- [Maj2004] Majewski M.: *Inteligentny system obustronnej głosowej komunikacji urządzeń technologicznych z operatorem w zautomatyzowanych procesach szlifowania małych elementów ceramicznych*, 2004, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Maj2005-1] Majewski M., Kacalak W.: *Intelligent human-machine speech communication system*. International Journal of Information Technology Vol. 11 No. 5, 2005, p. 220-229.
- [Maj2005-2] Majewski M., Kacalak W.: *Selected problems of automatic evaluation of commands given by the operator using artificial neural networks*. International Journal of Information Technology Vol. 11 No. 5, 2005, p. 302-311.
- [Maj2006-1] Majewski M., Kacalak W.: *Intelligent interface for recognition and verification of natural language commands*, ICIC 2006, Kunming, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4114 - Computational Intelligence, Springer 2006, pp. 717-723.
- [Maj2006-2] Majewski M., Kacalak W.: *Intelligent system for natural language processing*, ICIC 2006, Kunming, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4114 - Computational Intelligence, Springer 2006, pp. 742-747.

- [Maj2008] Majewski M., Zurada J.M.: *Sentence recognition using artificial neural networks*, Knowledge-Based Systems, vol. 21, issue 7, October 2008, Elsevier 2008, pp. 629-635.
- [Maj2016-1] Majewski M., Kacalak W.: *Building Innovative Speech Interfaces using Patterns and Antipatterns of Commands for Controlling Loader Cranes*. IEEE Xplore Digital Library - CSCI'2016. USA: IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA 90720, 2016. s. 525-530.
- [Maj2016-2] Majewski M., Kacalak W.: *Conceptual Design of Innovative Speech Interfaces with Augmented Reality and Interactive Systems for Controlling Loader Cranes*. 5th Computer Science On-line Conference 2016 - CSOC 2016, 27-30 April 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 464, Artificial Intelligence Perspectives in Intelligent Systems. Springer International Publishing Switzerland 2016. 237-247.
- [Maj2016-3] Majewski M., Kacalak W.: *Human-Machine Speech-Based Interfaces with Augmented Reality and Interactive Systems for Controlling Mobile Cranes*. Lecture Notes in Computer Science [online]. 2016, T. 9812, s. 89-98. DOI 10.1007/978-3-319-43955-6\_12.
- [Maj2016-4] Majewski M., Kacalak W.: *Intelligent Speech Interaction of Devices and Human Operators*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, T. 465, s. 471-482. DOI 10.1007/978-3-319-33622-0\_42.
- [Maj2016-5] Majewski M., Kacalak W.: *Intelligent Speech-Based Interactive Communication Between Mobile Cranes and Their Human Operators*. 25th International Conference on Artificial Neural Networks 2016 - ICANN 2016, 6-9 September 2016, Barcelona, Spain. Lecture Notes in Computer Science - Artificial Neural Networks and Machine Learning, Volume 9887. Springer International Publishing Switzerland 2016. 523-530.
- [Mak2008] Makuch S.: *Analiza procesów wygładzania elastycznymi narzędziami ściernymi o podatności zróżnicowanej lokalnie*, 2008, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Mam2002] Mamalis A.,G., Kundrak J., Gyani K., Horvath M.: *On the precision grinding of advanced ceramics*. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 20, 2002, 255-258.
- [Mar1998] Marciniak T.: *Geometrical Analysis of Tools for Worm Wheels Cutting*. International Conference Development of Metal Cutting DMC 98, Koszyce, Słowacja 1998, pp. 89-90.
- [Mar2004] Marinescu I.,D., Rowe W.,B., Dimitrov B., Inasaki I.: *Tribology of Abrasive Machining Processes*. William Andrew Publishing, New York, 2004.
- [Mar2013] Marciniak T.: *Technologia przekładni ślimakowych*. Politechnika Łódzka, Łódź, Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 2013.
- [Mat1997] Matsuo T., Touge M., Yamada H.: (1997) *High-precision surface grinding of ceramics with superfine grain diamond cup wheels*. Ann CIRP 46(1),1997, 249-252
- [Mat2011] Mathia T. G., Pawlus P., Wieczorowski M.: *Recent trends in surface metrology*. Wear, Volume 271, Issues 3-4, 2011, 494-508.

- [McC1986] McCool J.I.: *Comparison of models for the contact of rough surfaces*. Wear 107, 1986, 37–60.
- [Nad2010] Nadolny K., Plichta J., Bałasz B.: *Application of computer Modeling and simulation for designing of grinding wheels with zone-diversified structure*. Management and Production Engineering Review, Volume 1, Number 4, 2010, 38–45.
- [Nad2015] Nadolny K., Kapłonek W.: *Analysis of the effects of the single abrasive-grain microcutting scratch on INCOLOY® Alloy 800HT® by using advanced CLSM-SEM techniques*. Journal of Engineering Tribology, 2015.
- [Nie2015-1] Niesłony P., Grzesik W., Chudy R., Habrat W., *Meshing strategies in FEM simulation of the machining process*, Archives of Civil and Mechanical Engineering 15 (2015) 62-70.
- [Nie2015-2] Niesłony P., Grzesik W., Laskowski P., Żak K., *Numerical 3D FEM simulation and experimental analysis of tribological aspects in turning nconel 718 Alloy*, Journal of Machine Engineering, Vol. 15, No.1, 2015.
- [Niż2013] Niżankowski C.: *Influence of the abrasant's composition on the selected physical properties in the process of front grinding of surfaces with microcrystalline sintered corundum grinding wheels*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, Volume 69, Issue 1-4, 499-507.
- [Ocz1986] Oczóś K., Porzycki J.: *Szlifowanie. Podstawy i technika*. WNT Warszawa 1986.
- [Out2006] Outeiro J.C., Umbrello D., M'Saoubi R.: *Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006), 1786–1794.
- [Paw2005] Pawlus P., *Topografia powierzchni – pomiar, analiza, oddziaływanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2005, 165–168.
- [Pie2003] Pielka D.: *Wybrane problemy zastosowań sztucznych sieci neuronowych do optymalizacji trajektorii przemieszczeń narzędzi w procesach technologicznych*, 2003, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Pli1987] Plichta S.: *Zmiany topografii roboczej powierzchni ściernicy podczas szlifowania i ich wpływ na właściwości fizyczne warstwy wierzchniej przedmiotów*", 1987, Politechnika Wrocławska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Plu1998] Pluta Z.: *Wybrane zagadnienia procesu skrawania pojedynczym ziarnem ściernym utwardzonym podatnie*, 1988, Politechnika Wrocławska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Rie1996] Riel A.J.: *Object-Oriented Design Heuristics*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1996.
- [Row1993] Rowe W.B., et al.: *The effect of deformation on the contact area in grinding*. Annals of the CIRP 42 (1), 1993, 409–412.

- [Ryp2015] Rypina Ł., Królikowski T.: *Modele i procedury symulacji procesów mikro-skrwania w systemie ANSYS*, 2015. Praca niepublikowana.
- [Sab2006] Sabiniak H.G.: *Teoria i praktyka eksploatacji przekładni ślimakowych*. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2006.
- [Sch1988] Schajer G.S.: *Measurement of non-uniform residual-stresses using the hole-drilling method. 1. Stress calculation procedures*. (1988), ASME J. Eng. Mater. Technol. 110,338-343.
- [Stu2007-1] Stuart K., Majewski M.: *A new method for intelligent knowledge discovery*, IFSA 2007, Cancun, Mexico, Advances in Soft Computing Vol. 42 - Theoretical Advances and Applications of FL and Soft Computing, Springer 2007, pp. 721-729.
- [Stu-2007-2] Stuart K., Majewski M.: *Selected problems of knowledge discovery using artificial neural networks*, ISSN 2007, Nanjing, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4493 - Advances in Neural Networks, Springer 2007, pp. 1049-1057.
- [Stu2011] Stuart K., Majewski M., Botella-Trelis A.: *Intelligent semantic-based system for corpus analysis through hybrid probabilistic neural networks*, ISSN 2011, Guilin, China, Lecture Notes in Computer Science Vol. 6675 - Advances in Neural Networks, Springer 2011, pp. 83-92.
- [Ści1995] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W.: *Stanowisko do badań procesu mikro-skrwania w próżni i niskich temperaturach*. Politechnika Koszalińska, 1995. Praca niepublikowana.
- [Ści2005-1] Ściegienka R., Kacalak W., Lewkowicz R., Plichta S.: *Małogabarytowa głowica do mikrowygładzania foliami ściernymi*. Patent nr 181922.
- [Ści2005-2] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi*. Patent nr 190466.
- [Ści2005-3] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi*. Patent nr 190467.
- [Ści2008] Ściegienka R.: *Podstawy doboru warunków i parametrów procesu mikrowygładzania powierzchni z zastosowaniem foliowych taśm ściernych*, 2008, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Ści2015-1] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S., Markiewicz A.: *Przyrząd do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi wałków umieszczonych w komorze próżniowej*. Patent nr 217377.
- [Ści2015-2] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: *Obrabiarka do mikro-skrwania albo wygładzania ściernego w komorze próżniowej*. Politechnika Koszalińska Patent nr 217376.
- [Ści2015-3] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Charkiewicz L., Bokiej S.: *Głowica do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi zewnętrznych powierzchni walcowych*. Patent nr 217267.
- [Ści2015-4] Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W.: *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi W*. Patent nr 216967.



- [Ści1980] Ściegienka R., Kacalak W., Pluta Z., Derkacz A., Ziółkowski S., Kundzicz W., Piotrowski R.: *Sposób i urządzenie do dwustronnego szlifowania płaskich powierzchni czołowych, zwłaszcza małych walcowych elementów ceramicznych*. Patent nr 161 480.
- [Shi1994] Shimada S., Ikawa N., Tanaka H., Uchikoshi J.: *Structure of Micromachined Surface Simulated by Molecular Dynamics Analysis*. CIRP Annals, 43/1, 1994, 51-54.
- [Sim2010] Sima M., Özel T., *Modified material constitutive models for serrated chip formation simulations and experimental validation in machining of titanium alloy Ti-6Al-4V*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 50 (2010) 943-960.
- [Sko2010] Skoczylas L.: *Synteza geometrii ząbienia walcowych przekładni ślimakowych ze ślimakiem o dowolnym zarysie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
- [Sta2002] Staniek R.: *Poprawa dokładności i dynamiki pozycjonowania stołów obrotowych sterowanych numerycznie*". Mechanik 2002, nr 2, s. 109-112.
- [Sta2004] Stachowiak G.W., Posiadło P., *Classification of tribological surfaces*. W: Tribology International, 2004.
- [Stę1984] Piotr Stępień P.: *Wybrane zagadnienia procesu kształtowania topografii powierzchni szlifowanej*, 1984, Politechnika Wrocławska (praca doktorska – promotor Wojciech Kacalak).
- [Stę2009] Stępień P.: *Applied a probabilistic model of the grinding proces*. Mathematical Modelling, 33 2009, 3863–3884.
- [Sza2005] Szatkiewicz T.: *Hybrydowy, adaptacyjny system optymalizacji przemieszczeń względnych narzędzi i przedmiotów w systemach technologicznych*, 2005, Politechnika Koszalińska (praca doktorska – promotor Wojciech Kacalak).
- [Tan2014] Tandecka K.: *Badania procesów mikrowygładzania z zastosowaniem folii ściernych o nieciągłej powierzchni oraz rolek dociskowych o strefowo zmiennej podatności*", 2014, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Thy2009] Thyssen W., Sackingen B.: *Process and device for dressing a grinding worm and for grinding pre-cut toothed workpiece*. Patent nr US 6379217 (2002), DE19905136 (2000, 2009).
- [Tom2012-1] Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D., *Evaluation of the surface topography after precision machining*. Journal of Machine Engineering, Vol. 12, No. 4, 2012, 71-80.
- [Tom2012-2] Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D., *Methodology of evaluation of extra smooth surfaces with the use of new evaluation parameters*. Proceedings of the International Conference on Surface Metrology, 2012, France, 64-71.
- [Tom2013-1] Tomkowski R., Lipiński D., Kacalak W., *Pomiary i analiza naprężeń resztkowych w stopie tytanu Ti6Al5 z zastosowaniem elektronicznej*

*interferometrii plamkowej (ESPI)*. *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 59, nr 11 2013, 1223-1226.

- [Tom2013-2] Tomkowski R.: *Analiza cech stereometrycznych powierzchni po obróbce ściernej z zastosowaniem nowych parametrów oceny*, 2013, Politechnika Koszalińska (praca doktorska - promotor Wojciech Kacalak).
- [Trm2001] Trmal G.J., Holesovsky F.: *Wave-shift and its effect on surface quality in super-abrasive grinding*. *Int. J. Mach. Tools. Manuf.* 7, (2001), 979–989.
- [Tuc2015] Tuchołka A., Majewski M., Kacalak W.: *Zorientowany obiektowo, symboliczny zapis cech, relacji i struktur konstrukcyjnych*. *Inżynieria Maszyn*. 2015, T. 20, nr 1, s. 112–120.
- [Wec1989] Weck M, Alldieck J.: *The originating mechanisms of wheel generative grinding vibration*. *Ann. CIRP* 1, 1989, 381–384.
- [Wie2010] Wieczorowski M., Cellary A., Majchrowski R.: *The analysis of credibility and reproducibility of surface roughness measurement results*. *Wear*, Volume 269, Issues 5–6, 2010, 480–484.
- [Win2012] Winiarski B., Withers P.J.: *Micron-Scale Residual Stress Measurement by Micro-Hole Drilling and Digital Image Correlation*. *Experimental Mechanics*, 52, 2012, 417–428.
- [Yua1996] Yuan Q., Sun D.C., Brewse D.E.: *Effect of worm gear geometry on its contact properties*. *Tribology Transactions*, vol. 39, nr 1 (1996), pp. 139-147.
- [Zar1998] Zarudi I., Zhang L.,C.: *Effect of ultraprecision grinding on the microstructural change in silicon monocrystals*. *J. Mater. Process. Technol.* 84, 1998, 149–158.
- [Zha1993] Zhang L.,C., et al.: *Applied mechanics in grinding – III. A new formula for contact length prediction and a comparison of available models*. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 33, 1993, 587–597.
- [Zha2002] Zhang B., Liu X., Brown C.,A., Bergstrom T.,S.: *Microgrinding of Nanostructured Material Coatings*. *Annals of the CIRP*, 2002, 51/1, 251-254.

**Szanowny Panie Rektorze,  
Szanowny Senacie, Szanowny Panie Promotorze,  
Szanowni Państwo**

Rzecz systemów wydobywania i przetwarzania informacji umożliwił niezwykle, o kilkanaście rzędów wielkości, zwiększenie natężenia strumieni danych, jakie mogą być kierowane do ludzi. Strumienie te zazwyczaj nie przepływają w nicłość, lecz odwzorowują się i pozostają w pamięciach systemów. Z wielkiej liczby danych nie wynika jednak wprost wyższy poziom wiedzy, a jedynie potencjał do jej tworzenia.

Zwiększenie liczby danych nie oznacza, że łatwiej podejmować decyzje, bo złożoność problemów rośnie, a wymagania dotyczące jakości decydowania są coraz wyższe. Niedawno problemem był brak danych, choć oczekiwaniu na te dane towarzyszyła ludziom świadomość, że konieczne będzie analizowanie danych niepełnych, niepewnych i nieściślych. Ludzie się tego nauczyli i dane te przetwarzają sprawnie, choć najczęściej bez jawnego i ścisłego algorytmu.

Ograniczenia w przetwarzaniu danych przez człowieka powodują, że obecnie problemem staje się wnioskowanie na podstawie wielkich zbiorów informacji nadal niepełnych, niepewnych i nieściślych, tylko w innej skali. Przetwarzanie informacji w wiedzę ma głęboki sens, bo od tego zależy rozwój cywilizacji. Jest to jednak proces niezwykle trudny, bywa niekiedy nie do końca zrealizowany i wtedy treścią publikacji są informacje, prezentowane może z nadzieją, że inni przekształcą je w wiedzę.

Zwiększanie szczegółowości opisu, bez dążenia do uogólnienia i znalezienia konkluzji jest opisywaniem problemu, a nie jego rozwiązywaniem. Ornamentacja problemów również ich rozwiązania nie tworzy.

W pracach naukowych, polegających na przekształcaniu danych w wiedzę i jej zastosowania, wykonuje się wiele zadań, obejmujących wnioskowanie statystyczne, regresję i klasyfikację, poszukiwanie asocjacji, techniki optymalizacji, wnioskowanie heurystyczne, analizę skupień, analizę szeregów czasowych, wyszukiwanie anomalii. Znaczna część informacji ma postać symboliczną, przy czym spektrum reprezentacji może być szerokie – od postaci lingwistycznej, po zbiory symboli będących dowolnie zakodowaną informacją.

Tworzenie wiedzy i innowacji jest kosztowne. Wiedzą o tym najlepiej wielkie globalne firmy, z których każda corocznie przeznacza miliardy dolarów na prace rozwojowe. Z długoletnich doświadczeń wynika, że nauka i szkolnic-

two wyższe zazwyczaj są przed reformą. Zwiększanie nakładów przed reformą nie jest uzasadnione, a po reformie nie wiadomo, czy już jest konieczne.

Współcześnie, a zapewne jeszcze wyraźniej w przyszłości, wyzwaniem cywilizacyjnym staje się już niezwykła mobilność ludzi, rzeczy i informacji, coraz większa liczba zdarzeń i danych wymagających interpretacji oraz potrzeba podejmowania wielu ważnych decyzji szybko, często i odpowiedzialnie, ze świadomością szerokiego zasięgu skutków. To powoduje, że integracja wiedzy zespołów ludzi i systemów technicznych w przetwarzaniu danych oraz rozwój metod automatyzacji wspomagania człowieka w poszukiwaniu konsensusu w wyborze najlepszych decyzji, w coraz bardziej złożonej rzeczywistości, staje się warunkiem harmonijnego rozwoju.

W potrzebnym racjonalizmie naszego działania, w poszukiwaniu właściwych relacji teorii i jej zastosowań, ważne jest, by innowacje tworzyły nowe kierunki rozwoju i wówczas wypełniamy oczekiwania naszej cywilizacji.

Politechnika Koszalińska jest miejscem mojej własnej i zespołowej twórczości, do którego przybyłem z Politechniki Łódzkiej, gdzie wielu wyśmienitych profesorów tworzyło wysoki poziom akademicki. W Politechnice Wrocławskiej uzyskałem stopnie naukowe doktora i doktora habilitowanego. W Politechnice Poznańskiej zostałem wyróżniony godnością doktora honoris causa, a z licznymi innymi ośrodkami akademickimi współpracuję nieustannie. Uzyskanie tej godności w uczelni macierzystej jest szczególnie niezwykle, za co serdecznie dziękuję całemu środowisku akademickiemu.

Dziękuję Jego Magnificencji Rektorowi prof. dr hab. inż. Tadeuszowi Bohdowskiemu, promotorowi prof. dr hab. inż. Leonowi Kukielce oraz Senatowi Politechniki Koszalińskiej.

Dziękuję Panom recenzentom: prof. dr hab. inż. Arkadiuszowi Mężykowi – rektorowi Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Romanie Śliwie – z Politechniki Rzeszowskiej i prof. dr hab. inż. Stanisławowi Radkowskiemu – dziekanowi Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej oraz senatom uczelni, które opiniowały wniosek Politechniki Koszalińskiej.

Dziękuję również wszystkim obecnym bezpośrednio w Politechnice Koszalińskiej, obecnym wirtualnie w przestrzeni informacyjnej, zorganizowanej przez nasze media oraz w przestrzeni myśli, która organizuje się sama.

Wojciech Kacalak

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak dr h.c.

## **ŻYCIORYS DOKTORA HONORIS CAUSA**

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak, lat 71 (ur. 30.11.1945 w Zduńskiej Woli), absolwent Politechniki Łódzkiej (1970). Studia ukończył z wyróżnieniem i nagrodą w konkursie na najlepszego studenta łódzkiego środowiska akademickiego (laureat „Złotej Łódki”).

**Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Instytucie Budowy Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej w 1974 roku.** Praca doktorska została wyróżniona.

**Stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1978 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.** Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie habilitacyjnej zostały wyróżnione nagrodą indywidualną Ministra Szkolnictwa Wyższego.

**Tytuł naukowy profesora uzyskał w 1989 roku.** W 1991 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego.

Od 46 lat jest pracownikiem Politechniki Koszalińskiej. W latach 1978-1981 był prorektorem ds. kształcenia. Od 1982 roku przez dwie kadencje pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego, następnie pełnił funkcję prorektora ds. nauki.

**W okresie 1993-1999 pełnił funkcję rektora.** W 1996 roku Uczelnia została przekształcona w Politechnikę Koszalińską. W latach 1993-1999 nastąpił bardzo istotny rozwój Uczelni. Powstały nowe kierunki studiów magisterskich, utworzono nowe wydziały, wielokrotnie wzrosła liczba profesorów i doktorów habilitowanych, uzyskano kolejne uprawnienia do nadawania stopni naukowych. Liczba studentów wzrosła do poziomu zapewniającego możliwości silnego oddziaływania cywilizacyjnego w regionie i kraju.

Politechnika uzyskała status oraz znaczenie dobrej i dużej uczelni akademickiej, uznanie wśród innych ośrodków naukowych. Korzystnie rozwinęła się naukowa i dydaktyczna współpraca międzynarodowa. Koszalin stał się miastem akademickim, a Uczelnia rozwinęła swoją funkcję i rolę centrum rozwoju i współpracy europejskiej, krajowej i regionalnej.

W kolejnym okresie, od 1999 roku do 2005, prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak pełnił funkcję dziekana Wydziału Mechanicznego. Przez wiele lat

kierował Katedrą Mechaniki Precyzyjnej, a obecnie kieruje Katedrą Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, powstałą w wyniku integracji trzech katedr i zakładów.

W okresie pełnienia przez prof. Wojciecha Kacalaka funkcji dziekana Wydział Mechaniczny uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego, a Wydział i Politechnika dzięki temu wiele dodatkowych uprawnień akademickich. Wydział Mechaniczny rozpoczął kształcenie na studiach doktoranckich. Politechnika nadała pierwsze tytuły i najwyższe akademickie godności doktora honoris causa.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn Oddziału PAN w Poznaniu, członkiem Sekcji Technologii Maszyn i Sekcji Mechatroniki Komitetu Budowy Maszyn PAN, członkiem Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Polskiego Towarzystwa Informatycznego oraz uczestnikiem komitetów kilku innych stowarzyszeń naukowych.

Przez wiele lat był przewodniczącym rady naukowej Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu.

**Od 2007 roku jest zastępcą przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk.**

Od 1999 był członkiem sekcji T07D Komitetu Badań Naukowych, a następnie od 2000 do 2002 roku, jej przewodniczącym. Jest ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie, ekspertem Narodowego Centrum Nauki w Krakowie oraz Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości w Warszawie.

Realizował wiele zadań w zespołach programowych Ministerstwa Edukacji Narodowej (zespół dydaktyczny MECHANIKA). Aktywnie pracował w Komisji ds. Standardów Kształcenia w Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Akademickich. Jest członkiem Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik „GAMM”, członkiem kilkudziesięciu komitetów naukowych konferencji krajowych i zagranicznych.

**Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak był przewodniczącym i członkiem rad programowych wielu prestiżowych konferencji. Jest członkiem Rady Naukowej czasopisma „Mechanik” oraz czasopisma „Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji”.**

Współpracuje z ośrodkami naukowymi w Niemczech, Francji i na Węgrzech, a wraz ze swoimi współpracownikami z ośrodkami akademickimi w Hiszpanii, Francji, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Rosji.

Związki z organizacjami przemysłowymi w Niemczech rozwijane były również w ramach projektu DAAD, obejmującego staże w zakładach grupy Volkswagena w Wolfsburgu, w zakładach Opel w Bochum, w zakładach firmy Mercedes-Benz w Stuttgarcie oraz BMW Group Research and Technology w Monachium.

**Szczególnie owocna jest współpraca z prof. dr hab. inż. Thomasem G. Mathia, dyrektorem naukowym zespołów „Surface Topography & Abrasion” - In Laboratory of Tribology and Dynamics of Systems, rektorem Ecole Nationale d'Ingénieurs de St. Etienne, której efektem jest wiele wspólnych prac naukowych i publikacji.** Wiele publikacji powstało również we współpracy z zespołami, którymi kieruje prof. dr hab. inż. Pierre Joseph Marché z Ecole Nationale d'Ingénieurs de Bourges.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak współpracuje również z licznymi zespołami krajowymi, a zwłaszcza z zespołami kierowanymi przez profesorów: Jana Kaczmarka<sup>+</sup> z PAN, Krzysztofa Marchelka i Stefana Berczyńskiego, Mirosława Pajora, Andrzeja Błędzkiego z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu w Szczecinie, Józefa Gawlika, Wojciecha Zębałę, Adama Ruszaja, Czesława Niżankowskiego z Politechniki Krakowskiej, Adama Hamrola, Jana Żurka, Mieczysława Kawalca<sup>+</sup>, Romana Stańka, Michała Wieczorowskiego z Politechniki Poznańskiej, Bogdana Kruszyńskiego, Andrzeja Gołąbczaka, Tadeusza Marciniaka, Mirosława Urbaniaka z Politechniki Łódzkiej, Edwarda Chlebusa, Henryka Żebrowskiego, Jana Kocha z Politechniki Wrocławskiej, Mieczysława Marciniaka i Lucjana Dąbrowskiego z Politechniki Warszawskiej, Kazimierza Oczosia<sup>+</sup>, Tadeusza Markowskiego, Andrzeja Kawalca, Janusza Porzyckiego z Politechniki Rzeszowskiej, Stanisława Adamczaka z Politechniki Świętokrzyskiej, Włodzimierza Przybylskiego, Adama Barylskiego z Politechniki Gdańskiej, Jana Kosmola z Politechniki Śląskiej, a także z zespołami badawczymi Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania.

Wiele efektów naukowych oraz wdrożeniowych jest efektem współpracy z organizacjami przemysłowymi między innymi: Tyrolit Schleifmittelwerke Swarovski K.G. Austria, GHW Grote & Hartmann GmbH w Wuppertalu, Niemcy, Zakład Wytwarzania Artykułów Ściernych ANDRE ABRASIVE ARTICLES Robert Andre, Saint-Gobain Abrasives i firmą NORTON, Holdingiem ZREMB Gorzów, Zakładami Ceramiki Radiowej CERAD w Warszawie, a ponadto z licznymi zakładami i centrami badawczymi przemysłu narzędziowego, produkcji obrabiarek i urządzeń technologicznych, przemysłu obronnego, samochodowego i maszyn roboczych.

Przez 15 lat prof. W. Kacalak pełnił funkcję przewodniczącego Środkowopomorskiej Rady Naczelnej Organizacji Technicznej.

Był członkiem zespołu ds. strategii rozwoju Regionu. Brał udział w wielu pracach zmierzających do opracowania strategii i programów rozwoju Pomorza Środkowego. Jest autorem wielu opracowań na rzecz integracji, samodzielności i rozwoju Pomorza Środkowego.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak wielokrotnie przewodniczył komisjom konkursowym w konkursach technicznych i edukacyjnych. Wielokrotnie był wyróżniany tytułem najlepszego dydaktyka.

**Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak od 2003 roku jest prezesem Koszalińskiego Towarzystwa Naukowego.**

**W grudniu 2012 roku prof. Wojciech Kacalak na podstawie wyników wyborów został członkiem Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów w kadencji 2012-2016.**

**Senat Politechniki Poznańskiej po zasięgnięciu opinii senatów Politechniki Krakowskiej, Politechniki Łódzkiej oraz Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, uchwałą z dnia 28.04.2015 nadał profesorowi Wojciechowi Kacalakowi tytuł doktora honoris causa. Uroczystość nadania nastąpiła w dniu 21.10.2015.**

### **Dziedzina prac naukowych**

**Dziedziną prac naukowych prof. dr. hab. inż. Wojciecha Kacalaka jest budowa i eksploatacja maszyn, specjalnością naukową jest mechanika precyzyjna i technologia maszyn, diagnostyka, optymalizacja i automatyzacja procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ściernej, w tym zwłaszcza materiałów trudno obrabialnych, a także budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych.**

Wiele prac naukowych prof. Wojciecha Kacalaka dotyczy teoretycznych i doświadczalnych podstaw modelowania procesów obróbki, kumulacji skutków wielkiej liczby zdarzeń losowych w procesach kształtowania topografii powierzchni podczas obróbki ściernej, a także zastosowań sztucznej inteligencji w budowie i eksploatacji maszyn, a w tym przede wszystkim zastosowań sztucznych sieci neuronowych, metod i zastosowań teorii zbiorów rozmytych oraz logiki rozmytej, a także hybrydowych, inteligentnych systemów diagnostyki, kompensacji zakłóceń oraz optymalizacji procesów i systemów technicznych.

**Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest autorem wielu opracowań dydaktycznych służących do wzbogacania procesu kształcenia**



**studentów i inżynierów o podstawy kreatywności oraz metody innowacyjnego rozwiązywania różnorodnych problemów, jako coraz ważniejszej umiejętności, niezbędnej dla osiągania sukcesów zawodowych i uwalniania potencjału twórczego współpracowników.**

### **Dorobek naukowy**

Dorobek naukowy prof. dr hab. inż. Wojciecha Kacalaka, w syntetycznym zestawieniu, jest następujący:

1. Wykształcenie szkoły naukowej w zakresie nowych metod precyzyjnej obróbki ścierniej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w technologii maszyn. W trzech zespołach, które zostały stworzone i ukształtowane przez prof. dr hab. inż. Wojciecha Kacalaka, pracuje ponad 30 pracowników naukowych i doktorantów, w tym 3 profesorów, 6 doktorów habilitowanych, 12 doktorów i kilkunastu doktorantów.
2. Promotor 17 doktorów (w tym 14 prac doktorskich wyróżnionych).
3. Siedmiu pracowników zespołów kierowanych przez prof. dr hab. inż. Wojciecha Kacalaka uzyskało stopnie naukowe doktora habilitowanego.
4. Autor i współautor ponad 400 publikacji naukowych, w tym 3 monografii autorskich, ponad 90 publikacji zagranicznych w czasopismach i wydawnictwach o światowym zasięgu.
5. Kierowanie 16 projektami badawczymi KBN, NCBR, NCN oraz wieloma projektami przemysłowymi przyczyniło się do opracowania wielu innowacji indukowanych badaniami naukowymi.
6. Opiniodawca w postępowaniu o nadanie tytułów i godności doktora honoris causa wielu wybitnym uczonym polskim i zagranicznym:
  - Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych **prof. zw. dr. hab. inż. dr. h.c. Jana Kocho** z Politechniki Wrocławskiej w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej – 01/2002.
  - Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych **prof. zw. dr. inż. dr. h.c. Jerzego Wojciecha Doerffera** z Politechniki

Gdańskiej, w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej - 03/2003.

- Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej **prof. zw. dr. hab. inż. dr. h.c. Janowi Kaczmakowi** z Polskiej Akademii Nauk – 06/2003.
  - Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej **prof. zw. dr. hab. inż. dr. h.c. Henrykowi Hawrylakowi** z Politechniki Wrocławskiej – 04/2005.
  - Uzasadnienie wniosku o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Koszalińskiej dla **prof. dr. hab. inż. Pierre Joseph Marché** z Instytutu Technologicznego w Bourges (Uniwersytet w Orleanie) i Państwowej Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Bourges – 05/2005.
  - Opinia o dorobku naukowym, efektach kształcenia kadr naukowych, reprezentacji nauki polskiej i współpracy międzynarodowej oraz o osiągnięciach dydaktycznych i organizacyjnych **prof. zw. dr. hab. inż. Krzysztofa Marchelka** z Politechniki Szczecińskiej w związku z postępowaniem o nadanie tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Poznańskiej - 06/2006.
7. Autor ponad 90 recenzji i opinii wniosków o nadanie tytułu naukowego, nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i doktora, w tym recenzje w przewodach zagranicznych.
  8. Opracowanie ponad 280 recenzji dorobku naukowego, monografii, artykułów naukowych, w tym ponad 140 recenzji projektów badawczych (KBN) MNiSZW.
  9. Współautor 75 raportów i kompleksowych opracowań naukowych.
  10. Autor i współautor 81 patentów (ponad 50% opatentowanych rozwiązań zostało wykorzystanych w budowie narzędzi, przekładni, zautomatyzowanych urządzeń technologicznych i oprzyrządowania technologicznego).
  11. Autor lub kierownik zespołu dziesięciu ważnych kompleksowych wdrożeń przemysłowych.
  12. Współautor trzech Polskich Norm dotyczących nowych metod badań narzędzi do obróbki ściernej i narzędzi do obróbki uzębień.

13. Laureat wyróżniony Złotym Medalem Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych.

### **Kształcenie kadr naukowych**

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak jest promotorem 17 doktorów (w tym 14 prac doktorskich zostało wyróżnionych).

### **Wykaz wypromowanych doktorów**

1. **Dr inż. Piotr Stępień**, „Wybrane zagadnienia procesu kształtowania topografii powierzchni szlifowanej”, 1984, Politechnika Wrocławska. (obecnie dr hab. prof. nazw. Politechniki Koszalińskiej).
2. **Dr inż. Stanisława Plichta**, „Zmiany topografii roboczej powierzchni ściernicy podczas szlifowania i ich wpływ na właściwości fizyczne warstwy wierzchniej przedmiotów”, 1987, Politechnika Wrocławska.
3. **Dr inż. Zdzisław Pluta**, „Wybrane zagadnienia procesu skrawania pojedynczym ziarnem ściernym utwierdzonym podatnie”, 1988, Politechnika Wrocławska.
4. **Dr inż. Andrzej Czyżniewski**, „Wpływ dokładności wykonania frezów ślimakowych na zużycie i trwałość ostrzy pokrytych warstwą azotku tytanu”, 1999, Politechnika Koszalińska.
5. **Dr inż. Błażej Bałasz**, „Analiza kształtowania topografii powierzchni przedmiotu i obciążenia ziaren aktywnych w procesie szlifowania”, 2003, Politechnika Koszalińska (obecnie dr hab. prof. nazw. Politechniki Koszalińskiej).
6. **Dr inż. Tomasz Królikowski**, „Analiza wpływu mikro- i makrotopografii powierzchni czynnej ściernicy na cechy energetyczne procesów szlifowania”, 2003, Politechnika Koszalińska (obecnie dr hab. prof. nazw. Politechniki Koszalińskiej).
7. **Dr Dariusz Pielka**, „Wybrane problemy zastosowań sztucznych sieci neuronowych do optymalizacji trajektorii przemieszczeń narzędzi w procesach technologicznych”, 2003, Politechnika Koszalińska.
8. **Dr inż. Maciej Majewski**, „Inteligentny system obustronnej głosowej komunikacji urządzeń technologicznych z operatorem w zautomatyzowanych procesach szlifowania małych elementów

- ceramicznych”, 2004, Politechnika Koszalińska. (obecnie dr hab. prof. nadzw. Politechniki Koszalińskiej).
9. **Dr inż. Dariusz Lipiński**, „Nadzorowanie jakości w procesach automatycznego szlifowania małych elementów ceramicznych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji”, 2005, Politechnika Koszalińska.
  10. **Dr inż. Tomasz Szatkiewicz**, „Hybrydowy, adaptacyjny system optymalizacji przemieszczeń względnych narzędzi i przedmiotów w systemach technologicznych”, 2005, Politechnika Koszalińska.
  11. **Dr inż. Mariusz Kasprzyk**, „Probabilistyczne modele trwałości i zużycia ściernic z ziarnami z elektrokorundu szlachetnego”, 2005, Politechnika Koszalińska.
  12. **Dr inż. Daniel Biedny**, „Podstawy regulacji luzu bocznego i doboru parametrów geometrycznych przekładni ślimakowej ze ślimakiem strefowo podatnym osiowo i promieniowo”, 2007, Politechnika Koszalińska.
  13. **Dr inż. Sławomir Makuch**, „Analiza procesów wygładzania elastycznymi narzędziami ściernymi o podatności zróżnicowanej lokalnie”, 2008, Politechnika Koszalińska.
  14. **Dr inż. Ryszard Ściegienka**, „Podstawy doboru warunków i parametrów procesu mikrowygładzania powierzchni z zastosowaniem foliowych taśm ściernych”, 2008, Politechnika Koszalińska.
  15. **Dr inż. Artur Bernat**, „Ocena cech stereometrycznych powierzchni narzędzi ściernych na podstawie danych, zawartych w obrazach tych powierzchni”, 2010, Politechnika Koszalińska.
  16. **Dr inż. Robert Tomkowski**, „Analiza cech stereometrycznych powierzchni po obróbce ścierniej z zastosowaniem nowych parametrów oceny”, 2013, Politechnika Koszalińska.
  17. **Dr inż. Katarzyna Tandecka**, „Badania procesów mikrowygładzania z zastosowaniem folii ściernych o nieciągłej powierzchni oraz rolek dociskowych o strefowo zmiennej podatności”, 2014, Politechnika Koszalińska.

### **Najważniejsze osiągnięcia naukowe**

**Osiągnięciami naukowymi, które uzyskały potwierdzenie swojej nowości i znaczenia poprzez wyróżnienia nagrodami (Ministra**

**Edukacji Narodowej), Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wyróżnienia w konkursach krajowych lub międzynarodowych oraz znaczącym zasięgiem publikacji zagranicznych są między innymi:**

1. Opracowanie nowych metod w pełni zautomatyzowanego, precyzyjnego szlifowania elementów z materiałów trudno obrabialnych, stosowanych w przemyśle elektronicznym i obronnym.
2. Opracowanie podstaw budowy wielu odmian zautomatyzowanych urządzeń do szlifowania elementów ceramicznych (wdrożone do produkcji masowej między innymi wiele automatycznych urządzeń do szlifowania ceramicznych kondensatorów odpornych na zakłócenia, piezoceramicznych zapłonników do zastosowań specjalnych, płytek ceramicznych do zaworów).
3. Opracowanie podstaw optymalizacji procesów szlifowania i wygładzania z uwzględnieniem probabilistycznego charakteru procesów i stochastycznie zmiennych warunków realizacji.
4. Opracowanie niekonwencjonalnych narzędzi ściernych o budowie warstwowej i pakietowej z agregatami ściernymi oraz strefowo zróżnicowanymi właściwościami, w tym hybrydowych narzędzi ściernych do obróbki stopów metali lekkich.
5. Opracowanie nowych metod kontroli kształtu stożkopochodnych powierzchni śrubowych.
6. Opracowanie teoretycznych i doświadczalnych podstaw konstrukcji i technologii precyzyjnych, bezluzowych przekładni ślimakowych (kilkanaście rozwiązań).
7. Opracowanie podstaw oceny właściwości narzędzi ściernych, z uwzględnieniem probabilistycznych cech ich budowy, zużywania się i stochastycznie zmiennych warunków ich eksploatacji.
8. Opracowanie podstaw nowych metod intensyfikacji procesów szlifowania trudno obrabialnych materiałów ceramicznych.
9. Opracowanie nowych głowic do mikrowygładzania powierzchni otworów foliowymi taśmami ściernymi.
10. Opracowanie unikatowego stanowiska badawczego do badań procesu mikroskrawania w próżni, w różnych atmosferach i w bardzo niskich temperaturach.
11. Opracowanie kompleksowej charakterystyki procesu mikroskrawania materiałów trudno obrabialnych, z określeniem wpływu ekstremalnych warunków pracy ziarna, a zwłaszcza badania procesów mikroskrawania w niskich temperaturach (do 78 K) oraz w próżni.

12. Opracowanie podstaw optymalizacji cykli zautomatyzowanej obróbki wielonarzędziowej z uwzględnieniem zróżnicowanej wydajności szlifowania i zmian stanu czynnych powierzchni wszystkich ściernic w układzie technologicznym,
13. Opracowanie zautomatyzowanego stanowiska do badań naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotów po obróbce ścierniej.
14. Opracowanie nowej, efektywnej odmiany algorytmu konkurencyjnego uczenia sztucznych sieci neuronowych bez nadzorowania.
15. Opracowanie nowych inteligentnych systemów minimalizacji niedokładności i kompensacji zakłóceń w procesach precyzyjnego szlifowania.
16. Opracowanie nowych inteligentnych systemów diagnostyki w procesach precyzyjnego szlifowania.
17. Opracowanie inteligentnego systemu minimalizacji odkształceń cieplnych i kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie precyzyjnego szlifowania długich powierzchni śrubowych.
18. Opracowanie inteligentnego systemu minimalizacji odkształceń mechanicznych i wyrównywania obciążeń przedmiotów w układzie obróbkowym z wieloma ściernicami diamentowymi oraz kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie zautomatyzowanego precyzyjnego szlifowania małych elementów ceramicznych.
19. Opracowanie podstaw tworzenia zbiorów parametrów do oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych spełniających wymagania komplementarności, wysokiej zdolności klasyfikacyjnej i dużej przydatności technologicznej.
20. Opracowanie pakietu do modelowania i symulacji procesów obróbki ścierniej z uwzględnieniem zaawansowanych metod modelowania kształtu i położenia ziaren ściernych, probabilistycznych cech ich zużycia i wykruszeń, stereometrii śladów skrawania i wpływów oraz kinematyki, a także skutków różnorodnych zakłóceń.
21. Opracowanie podstaw budowy interaktywnych systemów wspomagania projektowania z zastosowaniem symbolicznego zapisu cech projektowanych elementów i zautomatyzowanym tworzeniem graficznej reprezentacji projektu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i metod twórczego rozwiązywania problemów.

22. Opracowanie innowacyjnej metody cynkowania z wykorzystaniem specjalnych generatorów wibracji.
23. Opracowanie metod modelowania topografii powierzchni z zastosowaniem randomizowanego, asymetrycznego kumulowania składowych o różnym wymiarze fraktalnym.
24. Opracowanie metod podwyższania efektywności chłodzenia w procesie szlifowania z zastosowaniem spiralnych kanałów w obudowie narzędzi.
25. Opracowanie nowych metod mikro- i nanoszlifowania z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnej powierzchni czynnej i długiej strefie obróbki,
26. Opracowanie wielu obrabiarek i urządzeń wdrożonych do produkcji: nowych gładzarek, szlifierek do zaworów i głowic oraz bloków silników spalinowych, sprężarek, pomp do hydrauliki siłowej i hydraulicznych urządzeń ratowniczych.

### **Najważniejsze zastosowania wyników badań**

#### **Do najważniejszych wdrożeń przemysłowych można zaliczyć:**

1. Zastosowania w przemyśle elektronicznym nowych metod precyzyjnego, zautomatyzowanego szlifowania małych elementów z materiałów trudno obrabialnych.
2. Opracowanie i wdrożenie wielu generacji automatycznych linii do precyzyjnej obróbki ceramiki i piezoceramiki.
3. Opracowanie i wdrożenie hydraulicznej gładzarki do cylindrów z bezstopniową regulacją parametrów kinematycznych i nacisków roboczych.
4. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu i wdrożeniu rodziny zasilaczy elektrohydraulicznych o ciśnieniu 63 MPa.
5. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu szlifiarki do głowic i bloków silników spalinowych.
6. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu szlifiarki do zaworów.
7. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu pomp hydraulicznych o ciśnieniu do 63 MPa.
8. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu specjalnych pras i rozpieraczy hydraulicznych.
9. Współautorstwo i współpraca w opracowaniu sprężarki z wirującym tłokiem.

10. Współautorstwo w opracowaniu nowych metod i głowic do mikro-wygładzania otworów z zastosowaniem foliowych taśm ściernych.
11. Opracowanie konstrukcji wielu odmian przekładni ślimakowych z regulacją luzu bocznego, do zastosowań w precyzyjnych mechanizmach i napędach.
12. Opracowanie i zastosowanie w badaniach naukowych wielu kompleksowych stanowisk badawczych.
13. Opracowanie i zastosowanie w pracach naukowych wielu programów obliczeniowych i narzędziowych napisanych w języku C/C++ oraz w środowisku Matlab.
14. Opracowanie 3 Polskich Norm dotyczących narzędzi do obróbki ścierniej i obróbki wiórowej kół zębatych.

### **Ważniejsze wyróżnienia**

- Złoty Medal Targów w Lipsku w dziedzinie zautomatyzowanych urządzeń technologicznych.
- Pięć nagród Ministra za osiągnięcia w działalności naukowej, w tym dwie nagrody stopnia II.
- Dwie nagrody Ministra za osiągnięcia w działalności dydaktycznej.
- Pięć nagród Ministra za osiągnięcia organizacyjne związane z rozwojem Politechniki Koszalińskiej.
- tytuł I wicemistrza Techniki NOT w krajowym konkursie "za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki".
- Nagroda Prezydenta Miasta Koszalina za osiągnięcia w rozwoju regionu i miasta.
- Wyróżnienie „Menadżer Pomorza Środkowego”.
- Dwukrotne wyróżnienie „za wybitne osiągnięcia wynalazcze” – Złota Odznaka ‘DEDAL’.
- Dziesięć nagród w regionalnych konkursach NOT w zakresie wdrożeń nowej techniki, dotyczących nowych metod precyzyjnego szlifowania elementów ceramicznych, automatycznych urządzeń technologicznych, nowych narzędzi oraz metod pomiarowych i systemów kontroli jakości.
- Wyróżnienie tytułem „Człowiek Roku” na Pomorzu Środkowym.
- Wyróżnienia w konkursach studenckich na najlepszego dydaktyka.



## Publikacje i cytowania publikacji

- The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Journal of Mechanisms and Robotics,
- Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Hermes, Francja,
- Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. ASME Press, USA,
- SCANNING,
- VDI Berichte - Bearbeitung neuer Werkstoffe, VDI Verlag, Düsseldorf, Niemcy,
- Werkstatt und Betrieb - Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung, Carl Hanser Verlag, Niemcy,
- Industrie Diamanten Rundschau - IDR Düsseldorf, Niemcy,
- Zeitschrift für Industrielle Fertigung - Spanende Fertigung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Tokio,
- WT Produktion und Management, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Nowy Jork, Londyn, Paryż, Tokio,
- Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik,
- Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York,
- Series on Advances in Soft Computing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- Advances in Soft Computing, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York,
- Elsevier Knowledge Based Systems,
- IEEE Intelligent Systems Magazine,
- Springer Lectures Notes in Artificial Intelligence, Series on Intelligent Engineering Systems & ANN,
- Engineering Mechanics International Journal for Theoretical and Applied Mechanics.
- Innowacyjne rozwiązania projektowe oraz patenty są często cytowane w opisach patentowych urzędów patentowych w Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

## Ważniejsze publikacje

1. Kacalak W., Lewkowicz R.: Präzisionsschleifen Langer Schrauben und Spindeln. Werkstattstechnik WT Produktion und Management, Springer Verlag 11/12 1994, s. 526-529.
2. Kacalak W., Wawryn K.: Some aspects of the modified competitive self learning neural network algorithm. Materiały międzynarodowej konferencji "Artificial Intelligence Networks in Engineering ANNIE'94", St Louis, USA, listopad, 1994, wydanie książkowe ASME, tom IV "Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks", s. 103-109 .
3. Kacalak W.: Wybrane problemy konstrukcji i technologii precyzyjnych przekładni ślimakowych. Monografia Wydziału Mechanicznego. Politechnika Koszalińska, nr 51, 1995.
4. Kacalak W., Kukielka L., Marché P.: Commande de processus de traitements superficiels utilisant la logique floue. Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Vol. 8, no 2-3/1995, s. 377-382.
5. Kacalak W., Wawryn K.: Artificial neural network optimisation of mobile manipulator trajectories. Revue d'automatique et de productique appliquées. Journal of Automation and CIM, Vol. 8, no 2-3/1995, 259-264.
6. Kacalak W., Wawryn K.: A fuzzy compensation of disturbances in automated manufacturing. Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. Vol.5. Fuzzy Logic And Evolutionary Programming. ASME Press, 1995, s. 291-296.
7. Kacalak W., Lewkowicz R., Dziura Z.: Methoden und Probleme bei der Präzisionsbearbeitung kleiner Keramikformstücke. VDI Berichte 1276, Bearbeitung neuer Werkstoffe - 2nd International Conference On Machining Of Advanced Materials. VDI Verlag, Düsseldorf, 1996, s. 53-74.
8. Kacalak W., Lewkowicz R., Bałasz B., Zawadka W.: Optimierung der Schleifprozesse schwer zerspanbarer Werkstoffe bei niedrigen Temperaturen und im Vakuum. VDI Berichte 1276, Bearbeitung neuer Werkstoffe - 2nd International Conference On Machining Of Advanced Materials. VDI Verlag, Düsseldorf, 1996, s. 617-640.

9. Kacalak W.: Selected aspects of fuzzy logic algorithms and system design. Materiały XX konferencji CIRCUT THEORY and ELECTRONIC NETWORKS. Koszalin 1997, Vol1, s. 1-12.
10. Kacalak W.: Teoretyczne podstawy minimalizacji energii właściwej w procesach obróbki ściernej. XX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Poznań 1997, s. 77-81.
11. Kacalak W.: Methodes et applications de l'intelligence artificielle pour le diagnostic, l'optimisation et la commande du processus d'abrasion. Materiały Międzynarodowego Sympozjum Naukowego, Koszalin 1998.
12. Kacalak W., Kukielka L., Krzyżyński T.: Application of Fuzzy Logic Algorithms to Irregular Disturbance Compensation in Technological Processes. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).
13. Kacalak W., Krzyżyński T., Dziura Z., Ściegienka R., Lewkowicz R.: On Optimization of Automated Process of Fine Grinding Small Ceramic Elements. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen.
14. Kacalak W.: Modelowanie, diagnostyka i optymalizacja procesów obróbki ściernej. Zbiór prac, XXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów-Myczkowce, wrzesień 2000, strony 76-88.
15. Kacalak W., Krzyżyński T., Romanowski T., Kamienik T., Lipiński D.: On Thermal Minimization and Deviation Compensation in the Process of Super-Fine Grinding Long Helical Surfaces. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen.
16. Kacalak W., Krzyżyński T., Zachara A., Lipiński D.: On Hybrid Compensation System of Irregular Disturbances in a Process of Fine Machining. Annual Scientific Conference GAMM 2000, Goettingen.
17. Kacalak W., Lewkowicz R., Krzyżyński T.: Random Components Auto\_Correlation and its Influence on Estimation of Grinding Process Models. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).
18. Kacalak W., Lewkowicz R., Krzyżyński T.: Specific Energy Minimization in Processes of Abrasive Machining. GAMM Annual Meeting, Metz 1999. Zeitschrift f. angew. Math. Mech. 80 (2000).

19. Kacalak W., Kasprzyk M.: Wybrane problemy modelowania stochastycznych procesów zużycia i trwałości ściernic. Zbiór prac, XXIII Naukowa Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów-Myczkowce, wrzesień 2000.
20. Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T., Lewkowicz R., Ściegienka R.: Selected Problems of Micro-Smoothing Process in Extra Low Temperatures. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining – June, 2001 – METZ (Francja).
21. Kacalak W., Kasprzyk M., Krzyżyński T.: Selected Problems of Stochastic Processes Modelling of Abrasive Wear and Durability of Grinding Wheel. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining – June, 2001 – METZ (Francja).
22. Kacalak W., Krzyżyński T., Lipiński D., Kamienik T.: Intelligent Systems of Inaccuracies Minimization and Disturbance Compensation in Process of Fine Grinding, 15th European Simulation Multi-conference, June 6-9 2001, Praga.
23. Królikowski T., Bałasz B., Kacalak W.: The Influence of Micro and Macro Topography of the Active Grinding Surface on the Energy Consumption in the Grinding Process. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining June, 2001 – METZ (Francja).
24. Bałasz B., Królikowski T., Kacalak W.: Method of Complex Simulation of Grinding Process. Third International Conference on Metal Cutting and High Speed Machining – June, 2001 – METZ (Francja).
25. Kacalak W., Lipinski, D., Krzyżyński, T.: On hybrid systems of monitoring of machining processes, GAMM Annual Meeting 2002, Augsburg, marzec 2002.
26. Lipiński D., Kacalak W., Krzyżyński T.: On the Hybrid System of Complex Diagnosis of Machining Processes. Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks, Volume 12, New York 2002, pp. 951-957.
27. Kacalak W., Majewski M.: Intelligent Two-Sided Voice Communication System Between the Machining System and the Operator, Proceedings of the ANNIE 2003 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2003, Vol. 13: Smart Engineering Systems Design, 1-4 November 2003, St. Louis, ASME Press, New York 2003, 969-974.

28. Kacalak W., Szatkiewicz T.: New algorithms for trajectory optimisation of displacement of tools and objects in production systems. II Międzynarodowa Konferencja CAMT „Modern Trends in Manufacturing”, Wrocław 2003, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej pp. 182-190.
29. Kacalak W., Lipiński D., Krzyżyński T.: On the hybrid system of quality supervising in the automated grinding process. II Międzynarodowa Konferencja CAMT „Modern Trends in Manufacturing”, Wrocław 2003, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, pp. 167-174.
30. Kacalak W., Domagała P.: Using Cult 3d technology and VRML modelling for visualization and simulation of technical devices with autonomous robot as an example. II Międzynarodowa Konferencja CAMT „Modern Trends in Manufacturing”, Wrocław 2003, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
31. Kacalak W., Biedny D.: Selected problems of side play adjustment in worm gear with zonary flexible worm, *Advances in Manufacturing Science and Technology* vol. 28, 3/2004.
32. Kacalak W., Lipiński D.: Adaptive system of quality supervising in technological processes, *Advances in Manufacturing Science and Technology*, Vol. 28, No 2,2004, str. 7-16.
33. Kacalak W., Makuch S., Bałasz B., Cincio R.: The Simulation of Polishing Processes as Basis for Designing New Grinding Tools, *Industrial Simulation Conference 2004*, Malaga, Hiszpania, str. 61-65.
34. Szatkiewicz T., Królikowski T., Bałasz B., Kacalak W.: New Algorithms for Trajectory Optimisation of Displacement of Tools And Objects In The Production Systems, *Industrial Simulation Conference 2004*, Malaga, Hiszpania, str. 349-352.
35. Kacalak W., Majewski M., Automatic recognition and safety estimation of voice commands in natural language given by the operator of the technical device using artificial neural networks, *Proceedings of the ANNIE 2004 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2004*, Vol. 14: Smart Engineering Systems Design, 7-10 November 2004, St. Louis, ASME Press, New York 2004, p. 831-836.
36. Bernat A., Kacalak W.: The Problems of Determining of the Parameters of Stereometric Structure of Abrasive Tool Surface with Use of

- 2D Optical Images. International Conference on Mechatronics, Robotics and Biomechanics MRB 2005, Trest, Czech Republic, 26-29 September 2005, Engineering Mechanics International Journal for theoretical and applied mechanics, Vol. 12, 2005, No. 3, pp. 165-172.
37. Bernat A., Kacalak W.: Problems of determination of stereometry of abrasive tools cutting surface, based on analysis of 2D optical images with use of PS method. International Conference Computer Methods and Systems, CMS'05, AGH Kraków 14-16 listopada 2005, Kraków 2005, Vol. II, pp. 271-274.
  38. Makuch S., Kacalak W., Cincio R.: Estimation of possibility obtained the specified geometry of surface structure in polishing process of the flexible grinding tools. International Conference on Mechatronics, Robotics and Biomechanics MRB 2005, Trest, Czech Republic, 26-29 September 2005, Engineering Mechanics International Journal for theoretical and applied mechanics, Vol. 12, 2005, No. 3, p. 127-134.
  39. Kacalak W., Majewski M., Automatic recognition and verification of voice commands in natural language given by the operator of the technological device using artificial neural networks, 4th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2005, Rydzyna 22-25 maj 2005, Series on Advances in Soft Computing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2005, 689-696.
  40. Kacalak W., Majewski M., Intelligent Layer of Two-Way Speech Communication of the Technological Device with the Operator, Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence ICAI 2005, Las Vegas, USA, 27-30 June 2005, CSREA, Georgia 2005.
  41. Kacalak W., Majewski M., Selected Problems of Automatic Recognition and Evaluation of Voice Commands in Natural Language given by the Operator using Artificial Neural Networks, 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, USA, 10-13 July 2005.
  42. Majewski M., Kacalak W., Intelligent human-machine speech communication system, International Conference on Intelligent Computing ICIC2005, Hefei Anhui, China 23-26 August 2005, China, p. 3441-3450.

43. Majewski M., Kacalak W., Selected problems of automatic evaluation of commands given by the operator using artificial neural networks, International Conference on Intelligent Computing ICIC2005, Hefei Anhui, China 23-26 August 2005, China, p. 3605-3614.
44. Majewski M., Kacalak W., Intelligent Layer of Two-Way Voice Communication of the Technological Device with the Operator, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 9th International Conference, KES 2005, Melbourne, Australia, 14-16 September 2005, Lectures Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science 3683, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2005, p. 930-936.
45. Majewski M., Kacalak W., Selected problems of automatic evaluation of commands given by the operator using artificial neural networks, International Conference on Mechatronics, Robotics and Biomechanics MRB 2005, Trest, the Czech Republic, 26-29 September 2005, Engineering Mechanics International Journal for theoretical and applied mechanics, Vol. 12, 2005, No. 3, p. 185-192.
46. Majewski M., Kacalak W., Intelligent human-machine speech communication system, International Journal of Information Technology Vol. 11 No. 5, 2005, p. 220-229.
47. Majewski M., Kacalak W., Selected problems of automatic evaluation of commands given by the operator using artificial neural networks, International Journal of Information Technology Vol. 11 No. 5, 2005, p. 302-311.
48. Majewski M., Kacalak W., Intelligent Two-Way Speech Communication System between the Technological Device and the Operator, Proceedings of the ANNIE 2005 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2005, Vol. 15: Smart Engineering System Design, St. Louis 6-9 November 2005, ASME Press, New York 2005.
49. Kacalak W., Douglas Stuart K., Majewski M., Intelligent Natural Language Processing, Second International Conference on Natural Computation ICNC2006, Xi'an, China, 24-28 September 2006, Lectures Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2006.

50. Kacalak W., Majewski M., Intelligent System for Automatic Recognition and Evaluation of Speech Commands, 13th International Conference on Neural Information Processing ICONIP2006, Hong Kong, China, 3-6 October 2006, Lectures Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science 4232, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2006, p. 298-305.
51. Kacalak W., Majewski M., A New Method for Handwriting Recognition using Artificial Neural Networks, Proceedings of the ANNIE 2006 Conference, Artificial Neural Networks in Engineering ANNIE 2006, Vol. 16: Smart Engineering System Design, St. Louis 5-8 November 2006, ASME Press, New York 2006.
52. Kacalak W., Majewski M., A New Written Language Recognition Metod using Artificial Neural Networks, 5th International Symposium on Robotics and Automation ISRA2006, San Miguel Regla, Hidalgo, Mexico, 25-28 August 2006, ISBN 970-769-070-4, Mexico 2006, p. 415-419.
53. Lipiński D., Kacalak W.: Assessment of the Accuracy of the Process of Ceramics Grinding with the Use Fuzzy Interference, Adaptive and Natural Computing Algorithms, 8th International Conference, ICANNAGA 2007, Part II, LNCS 4432, str. 596-603.
54. Kacalak W., Tomkowska A., Tomkowski R., Metody generowania powierzchni ziaren ściernych do zastosowań w analizie i symulacji procesów szlifowania, Podstawy i technika obróbki ścierniej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007, 211-218.
55. Makuch S., Kacalak W.: Estimation of a geometrical structure surface in the polishing process of flexible grinding tools with zone differentiation flexibility of a grinding tool, VII International Conference Mechatronics 2007, Recent Advances in Mechatronics, str. 375-380.
56. Bernat A., Kacalak W.: Problems in Derivation of Abrasive Tools Cutting Properties with Use of Computer Vision, Recent Advances in Mechatronics, Warszawa 2007, str. 431-437.
57. Kacalak W., Makuch S.: Estimation of a geometrical surface structure using a new method of polishing of flexible grinding tool, zone differentiation of the macrogeometry of the active surface of the grinding tool, VII International Congress on Precision Machining, Sandomierz-Kielce 2007, str. 153-158.



58. Bernat A., Kacalak W.: Problem soft 3D reconstruction methods In Visual inspection of surfaces of abrasive tools, CSM 2007, Computer Methods and Systems, Kraków 2007, str. 247-252.
59. Bernat A., Kacalak W.: Problems of acquiring of the parameters of cutting surface of abrasive tools, used in grinding of ceramics, CSM 2007, Computer Methods and Systems, Kraków 2007, str. 253-258.
60. Kacalak W., Bernat A.: Practical and theoretical aspects of abrasive tool surface reconstruction based on photometric stereo, *Pomiary Automatyka Kontrola* vol. 53, nr 8/2007, str. 21-24.
61. Kasprzyk M., Kacalak W.: Probabilistyczne modele trwałości narzędzi ściernych, *Podstawy i technika obróbki ścierniej*. Monografia Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, str. 227-234.
62. Kacalak W., Douglas Stuart K., Majewski M., Selected Problems of Intelligent Handwriting Recognition, World Congress of Theory and Applications of Fuzzy Logic and Soft Computing IFSA 2007, Cancun, Mexico, 18-21 June 2007, Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques, Book series of Advances in Soft Computing, vol. 41/2007, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2007, p. 298-305.
63. Lipiński D., Kacalak W.: Assessment of the Accuracy of the Process of Ceramics Grinding with the Use Fuzzy Interference, Springer, Lecture Notes in Computer Science 4432, 2008, s. 596-603.
64. Kacalak W., Bałasz B., Królikowski T., Lipiński D.: Kierunki rozwoju mikro- i nanoszlifowania, *Współczesne problemy obróbki ścierniej*, Monografie - Szkoła Naukowa Obróbki Ścierniej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009, str. 13-40.
65. Bernat A., Kacalak W.: Visual inspection in estimation of stereometric parameters of cutting surface of abrasive tools, overview of the methodology in the approach to the problem, *Współczesne problemy obróbki ścierniej*, Monografie - Szkoła Naukowa Obróbki Ścierniej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009, str. 147-158.
66. Kacalak W., Majewski M.: Natural language human-robot interface using evolvable fuzzy neural networks for mobile technology. International Conference on Intelligent Computing ICIC 2009, South Korea, 2009. Lecture Notes In Computer Science 5754. Springer 2009, s. 480-489.

67. Kacalak W., Majewski M.: E-learning systems with artificial intelligence In engineering. International Conference on Intelligent Computing ICIC 2009, South Korea, 2009. Lecture Notes In Computer Science 5754. Springer 2009, s. 918-927.
68. Majewski M., Kacalak W., Zurada J.M.: Intelligent Human-Robot Speech Communication. IEEE Intelligent Systems Magazine, 2010.
69. Kacalak W., Tandecka K., Tomkowski R.: Metodyka analizy i oceny topografii powierzchni czynnej folii ściernych. Rozdział w monografii Podstawy i technika obróbki ściernej. Łódź, 2010.
70. Lewkowicz R., Kacalak W., Ściegienka R.: Wykończeniowe mikrowygładzanie super gładkich powierzchni elementów ceramicznych. Rozdział w monografii Podstawy i technika obróbki ściernej. Łódź, 2010.
71. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D.: Analiza właściwości stereometrycznych powierzchni w procesach mikro- i nanowygładzania. Rozdział w monografii Podstawy i technika obróbki ściernej. Łódź, 2010.
72. Kacalak W., Królikowski T., Bałasz B.: Analiza przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania. Rozdział w monografii Podstawy i technika obróbki ściernej. Łódź, 2010.
73. Kacalak W., Szafraniec F., Kunc R., Remelska H.: Zastosowanie teorii fraktali do tworzenia i wizualizacji powierzchni o określonej topografii. Rozdział w monografii Podstawy i technika obróbki ściernej. Łódź, 2010.
74. Kacalak W., Tandecka K.: Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania. Pomiary Automatyka Kontrola, 5/2011.
75. Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz.: Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni. Pomiary Automatyka Kontrola, 5/2011.
76. Kacalak W., Tandecka K.: Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania. Pomiary Automatyka Kontrola, 5/2011.
77. Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz.: Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charak-

- teryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 5/2011.
78. Kacalak W., Majewski M.: Ocena predyspozycji operatora w zadaniach decyzyjnych w inteligentnym systemie interakcji z urządzeniami technicznymi. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 5/2011.
  79. Kacalak W., Majewski M.: Wybrane problemy efektywnego rozpoznawania pisma odręcznego. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 5/2011.
  80. Kacalak W., Tandecka K., Budowa mikrowiórów oraz skutki mikro-nieciągłości ich tworzenia w procesach wygładzania powierzchni z zastosowaniem folii ściernych, *Innovative Manufacturing Technology 2*, Kraków 2012, str. 181-192.
  81. Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Metodyka modelowania powierzchni ziaren określonych materiałów ściernych, *Innovative Manufacturing Technology 2*, Kraków 2012, str. 555-562.
  82. Tomkowski R., Kapłonek W., Kacalak W., Łukianowicz Cz., Lipiński D., Cincio R., Metody filtracji cyfrowej w ocenie topografii powierzchni, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Tom 59, Nr 06, 2013, 507-510.
  83. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D., Evaluation of the surface topography after precision machining, *Journal of Machine Engineering*, 2012; 12(4), 71-79.
  84. Kacalak W., Tandecka K., Podstawy prognozowania cech stereometrycznych powierzchni wygładzanych z zastosowaniem folii ściernych, *Innovative Manufacturing Technology 2*, Kraków 2012, str. 563-577.
  85. Kacalak W., Majewski M., New Intelligent Interactive Automated Systems for Design of Machine Elements and Assemblies, *ICONIP 2012, Part IV, LNCS 7666*, pp. 115-122, 2012, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2012.
  86. Kacalak W., Tandecka K.: Basis of the Superfinishing Results Prognostication by the Diamond Lapping Films, *Journal of Machining Engineering*, vol. 12, no. 4 2012, 49-62.

87. Kacalak W., Tandecka K.: Effect of Superfinishing Methods Kinematic Features on the Machined Surface, *Journal of Machining Engineering*, vol. 12, no. 4 2012, 35-48.
88. Lipiński D., Kacalak W., Tandecka K., Zastosowanie systemu skanowania przestrzennego do oceny zużycia narzędzi ściernych, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 59, nr 11, 2013, 1227-1231.
89. Tomkowski R., Lipiński D., Kacalak W., Pomiary i analiza naprężeń resztkowych w stopie tytanu Ti6Al5 z zastosowaniem elektronicznej interferometrii plamkowej (ESPI), *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 59, nr 11 2013, 1223-1226.
90. Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R., Application of the laser scanning microscopy to evaluation of abrasive tool wear, *Journal of Machine Engineering*, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 99-105.
91. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D., Evaluation of the surface topography after precision machining, *Journal of Machine Engineering*, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 71-80.
92. Kacalak W., Kunc R., Analiza wpływu parametrów kształtowania powierzchni czynnej na parametry statystyczne oceny aktywności ziaren ściernych, *Mechanik*, Vol. 8-9/2012, str. 25-36.
93. Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz., Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 57, 2011, str. 542-546.
94. Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R., Methodology of evaluation of abrasive tools' wear with the use of laser scanning, *Proceedings of the International Conference on Surface Metrology*, 2012, France, pp.: 72-78.
95. Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D., Methodology of evaluation of extra smooth surfaces with the use of new evaluation parameters, *Proceedings of the International Conference on Surface Metrology*, 2012, France, pp.: 64-71.
96. Kacalak W., Szafraniec F., Metodyka i algorytmy modelowania i symulacji oraz badań i analizy procesów obróbki ściernej, Problemy i tendencje rozwoju obróbki ściernej, *Prace naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej*, str. 205-234.

97. Kacalak W., Kunc R., Algorytmy i procedury optymalizacji procesu szlifowania powierzchni śrubowych, Innovative Manufacturing Technology 2, Kraków 2012, str. 597-609.
98. Kacalak W., Tandecka K., Sempruch R., Badania modelowe procesu mikroskrawania, Mechanik nr 8-9/2013.
99. Kacalak W., Królikowski T., Rypina Ł., Modelowanie naprężeń i przemieszczeń materiału w strefie mikroskrawania z wykorzystaniem środowiska LS-DYNA, Mechanik nr 8-9/2013.
100. Kacalak W., Szafraniec F., Modelowanie obciążeń ziaren aktywnych i sił w procesie szlifowania, Mechanik nr 8-9/2013.
101. Lipiński D., Kacalak W., Tomkowski R., Methodology of evaluation of abrasive tool wear with the use of laser scanning microscopy, SCANNING, 2013 (DOI:0.1002/sca.21088).
102. Kacalak W., Majewski M., Lipiński D.: Minimalizacja odkształceń cieplnych i kompensacji odchyłek położenia ściernicy i przedmiotu w procesie szlifowania długich powierzchni śrubowych. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 1/2014, str. 36-40.
103. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnie ślimakowe z regulowanym luzem bocznym. Miesięcznik Naukowo-Techniczny MECHANIK, nr 7/2014, str. 526-533.
104. Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł.: Evaluation of Micromachining Processes Using Data in the Format and Geometric Characteristics of Micro-Chips, Journal of Machine Engineering, Vol. 15, No. 4, 2015, str. 59-68.
105. Kacalak W., Tandecka K.: Efekty mikrowygładzania foliami ściernymi o nieciągłej powierzchni czynnej (The effects of the use of discontinuous active surface of microfinishing films for superfinishing proces). Miesięcznik Naukowo-Techniczny MECHANIK, nr 8-9/2014, str. 36-40.
106. Kacalak W., Szafraniec F., Lipiński D.: Probabilistyczna analiza aktywności ziaren na czynnej powierzchni ściernicy. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 176-184.
107. Kacalak W., Tomkowski R., Lipiński D., Szafraniec F.: System oceny struktury geometrycznej powierzchni po obróbce ścierniej. Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik, nr 8-9/2014, str. 219-226.

108. Kacalak W., Majewski M.: Handwriting recognition in intelligent design systems, *Archives of Mechanical Technology and Automation*, vol. 34, nr 3, 2014, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, ATMiA Poznań*. 3-12.
109. Kacalak W., Majewski M.: Interactive design of machine elements and assemblies, *Archives of Mechanical Technology and Automation*, vol. 34, nr 3, 2014, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, ATMiA Poznań*. 13-22.
110. Kacalak W., Majewski M.: Interactive design of machine elements in uncertainty and unrepeatability. IV International Scientific-Technical Conference – Manufacturing 2014, 8-10, December 2014, Poznań 2014. Selected Conference Proceedings in Web of Science – Poznan University of Technology 2016, Thomson Reuters - Conference Proceedings Citation Index. p. 57-64.
111. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Analysis of similarities between structural features of designed machine elements and corresponding antipatterns. IV International Scientific-Technical Conference – Manufacturing 2014, 8-10 December 2014, Poznań 2014. Selected Conference Proceedings in Web of Science - Poznan University of Technology 2016, Thomson Reuters - Conference Proceedings Citation Index. p. 135-142.
112. Kacalak W., Majewski M.: Intelligent Interactive Systems for Design of Machine Elements and Assemblies in Uncertainty and Unrepeatability. The 28th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems - IEA/AIE 2015, Seoul, Korea, 10-12 June 2015. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer 2015.
113. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Innovative design of non-backlash worm drives. *Civil and Mechanical Engineering*, 2015.
114. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Intelligent Design of Machine Elements using Antipatterns. The 28th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems - IEA/AIE 2015, Seoul, Korea, 10-12 June 2015. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer 2015.
115. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Worm gear drives with adjustable backlash. *ASME Journal of Mechanisms and Robotics*. ASME Press 2015.

116. Kacalak W., Majewski M., Stuart K., Budniak Z.: Interactive Systems for Designing Machine Elements and Assemblies. *Management and Production Engineering Review*, vol. 6, nr 3, September 2015. 1-34.
117. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Intelligent Automated Design of Machine Components Using Antipatterns. 16th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning - IDEAL 2015, Wroclaw, Poland, 14-16 October 2015. *Lecture Notes in Computer Science Volume 9375*. Springer International Publishing 2015. 248-255.
118. Kacalak W., Majewski M., Tuchołka A.: Intelligent Assessment of Structure Correctness Using Antipatterns. International Conference on Computational Science and Computational Intelligence - CSCCI'2015, 7-9 December 2015, Las Vegas, USA. *IEEE Computer Society, IEEE Xplore Digital Library 2015*. 559-564.
119. Kacalak W., Róžański R., Lipiński D.: Evaluation of Classification Ability of the Parameters Characterizing Stereometric Properties of Technical Surfaces. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 16, No. 2, 2016.
120. Kacalak W., Majewski M., Tuchołka A.: A Method of Object-oriented Symbolical Description and Evaluation of Machine Elements Using Antipatterns. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 16, No. 4, 2016.
121. Majewski M., Kacalak W.: Conceptual Design of Innovative Speech Interfaces with Augmented Reality and Interactive Systems for Controlling Loader Cranes. 5th Computer Science On-line Conference 2016 - CSOC 2016, 27-30 April 2016. *Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 464, Artificial Intelligence Perspectives in Intelligent Systems*. Springer International Publishing Switzerland 2016. 237-247.
122. Majewski M., Kacalak W.: Human-Machine Speech-Based Interfaces with Augmented Reality and Interactive Systems for Controlling Mobile Cranes. International Conference on Interactive Collaborative Robotics - ICR 2016, 24-26 August 2016, Budapest, Hungary. *Lecture Notes in Computer Science, Volume 9812*. Springer International Publishing Switzerland 2016. 89-98.
123. Majewski M., Kacalak W.: Intelligent Speech-Based Interactive Communication Between Mobile Cranes and Their Human Opera-

tors. 25th International Conference on Artificial Neural Networks 2016 - ICANN 2016, 6-9 September 2016, Barcelona, Spain. Lecture Notes in Computer Science - Artificial Neural Networks and Machine Learning, Volume 9887. Springer International Publishing Switzerland 2016. 523-530.

124. Kacalak W., Tandecka K., Rypina Ł., Lipiński D., Szafraniec F., Socha E.: Modelowanie i analiza procesów mikroskrawania agregatami ściernymi. *Mechanik*, 2016, nr 8-9/2016.
125. Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.,G.: A Method and New Parameters for Assessing the Active Surface Topography of Diamond Abrasive Films. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 16, No. 4, 2016.
126. Majewski M., Kacalak W.: Building Innovative Speech Interfaces using Patterns and Antipatterns of Commands for Controlling Loader Cranes. *IEEE Xplore Digital Library - CSCI'2016*. USA: IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA 90720, 2016. s. 525–530.
127. Majewski M., Kacalak W.: Intelligent Speech Interaction of Devices and Human Operators. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, T. 465, s. 471–482. DOI 10.1007/978-3-319-33622-0\_42.
128. Kacalak W., Budniak Z., Szafraniec F.: Analysis of the forming process of conical-like helical surfaces with roller tools. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2017.

### **Ważniejsze patenty**

1. Kacalak W.: Układ połączeń funkcjonalnych urządzenia od rejestracji nierówności powierzchni. Patent nr 101668.
2. Kacalak W.: Sposób wyznaczania twardości ściernic. Patent nr 108628.
3. Kacalak W.: Urządzenie do pomiaru elastyczności ściernic polerskich. Patent nr 108622.
4. Kacalak W.: Narzędzie ściernie i sposób jego wytwarzania. Patent nr 118215.
5. Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent nr 128023.
6. Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent nr 128112.



7. Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent nr 137130.
8. Kacalak W., Lewkowicz R., Lechowski T.: Sposób pomiaru niedokładności zarysu powierzchni śrubowej ślimaka oraz urządzenie do jego realizacji. Patent nr 137523.
9. Kacalak W., Opaliński W.: Końcówka przewodu pneumatycznego, zwłaszcza do łączenia z zaworem powietrza w ogumieniu pojazdu samochodowego. Patent nr 123826.
10. Kacalak W., Opaliński W.: Rozpylacz do cieczy, zwłaszcza do aparatu lakierniczego. Patent nr 129714.
11. Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent nr 128113.
12. Kacalak W., Śmiałek W.: Urządzenie próżniowe do mocowania przedmiotów z materiałów niemagnetycznych. Patent 132509.
13. Ziółkowski S., Kacalak W.: Zawieszenie wrzeciennika zwłaszcza szlifierki do płaszczyzn pracującej czołem ściernicy. Patent nr 136506.
14. Kacalak W.: Przekładnia ślimakowa. Patent nr 137131.
15. Kacalak W., Kacalak A.: Sposób sterowania procesem wzdłużnego szlifowania wałków. Patent nr 137418.
16. Kacalak W., Poletajew B., Pluta Z.: Sposób i narzędzie ściernie do kształtowania regularnej makrogeometrii obrabianej powierzchni w postaci równomiernie rozmieszczonych wgłębień. Patent nr 137405.
17. Pluta Z., Kacalak W.: Uchwyt do mocowania pakietów płytek, zwłaszcza ceramicznych. Patent nr 137132.
18. Ziółkowski S., Kacalak W.: Wrzeciennik z osiowo przesuwным wrzecionem zwłaszcza do szlifierki pracującej czołem ściernicy. Patent nr 136507.
19. Kacalak W. i inni: Sposób szlifowania płaskiego, zwłaszcza drobnych elementów ceramicznych oraz urządzenie do szlifowania płaskiego zwłaszcza drobnych elementów ceramicznych. Patent nr 142132.
20. Kacalak W. i inni: Sposób i urządzenie do gładkościowej obróbki płaszczyzn przedmiotów drobnych, zwłaszcza elementów ceramicznych pokrytych cienkimi warstwami innych materiałów. Patent nr 141138.

21. Kacalak W., Ściegienka, Pluta Z., Śmiałek W., Ziółkowski S.: Sposób i narzędzie do gładkościowej obróbki powierzchni. Patent nr 141828.
22. Kacalak W.: Narzędzie ściernie do wykonywania płytkich wgłębień na powierzchniach. Patent 145286.
23. Kacalak W.: Urządzenie do frezowania obwiedniowego stycznego ślimacznic. Pa-tent nr 147824.
24. Kacalak W., Ściegienka, Ziółkowski S., Konfisz J.: Zawieszenie wrzeciennika, zwłaszcza szlifierki ze stołem obrotowym. Patent nr 147222.
25. Ziółkowski S., Konfisz J., Ściegienka, Kacalak W.: Zawieszenie wrzeciennika zwłaszcza szlifierki do płaszczyzn pracującej czołem ściernicy. Patent nr 147152.
26. Ziółkowski S., Ściegienka, Kacalak W., Konfisz J.: Wrzeciennik z osiowo przesuwным wrzecionem zwłaszcza szlifierki do ceramiki elektronicznej Patent nr 147223.
27. Ziółkowski S., Ściegienka, Kacalak W., Konfisz J.: Układ przeniesienia napędu na przesuwne osiowo wrzeciono obrabiarki, zwłaszcza szlifierki pracującej czołem ściernicy. Patent nr 146616.
28. Ściegienka R., Kacalak W., Pluta Z., Derkacz A., Ziółkowski S., Kundzicz W., Piotrowski R.: Sposób i urządzenie do dwustronnego szlifowania płaskich powierzchni czołowych, zwłaszcza małych walcowych elementów ceramicznych. Patent nr 161 480.
29. Kacalak W., Ściegienka R., Pluta Z.: Tarcza podająca z gniazdami ustalającymi do elementów obrabianych. Patent nr 285386.
30. Kacalak W., Konfisz J., Derkacz A., Bokiej S.: Stół obrotowy szlifierki z gniazdami ustalającymi do obróbki płaskich przedmiotów. Patent P 285 765.
31. Kacalak W., Ściegienka, Konfisz J., Derkacz A.: Stół obrotowy szlifierki z gniazdami ustalającymi do precyzyjnej obróbki drobnych płaskich przedmiotów. Patent nr 285766.
32. Kacalak W., Ściegienka, Piotrowski: Stół obrotowy szlifierki z gniazdami ustalającymi do precyzyjnej obróbki drobnych płaskich przedmiotów. Patent nr 287493.
33. Kacalak W., Ściegienka, Pluta Z., Derkacz A., Ziółkowski S., Kundzicz W., Piotrowski: Sposób i urządzenie do dwustronnego szlifowania płaskich powierzchni czołowych, zwłaszcza małych walcowych przedmiotów ceramicznych. Patent nr 285396.

34. Kacalak W., Ryckiewicz J.: Precyzyjna przekładnia ślimakowa. Patent nr 288496.
35. Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: Przekładnia ślimakowa do bezluzowego przenoszenia momentów obrotowych. Patent nr 288497.
36. Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: Przekładnia ślimakowa z regulowanym luzem międzyzębnym. Patent nr 288495.
37. Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Patent nr 288498.
38. Kacalak W.: Nożyce, zwłaszcza hydrauliczne. Patent nr 289293.
39. Kacalak W.: Obsada ściernicy. Patent nr 137 918.
40. Kacalak W.: Sposób obciążania ściernicy. Patent 152828.
41. Kacalak W., Derkacz A., Markiewicz A.: Urządzenie do oczyszczania cieczy, zwłaszcza chłodząco - smarującej. Patent nr 289036.
42. Kacalak W.: Narzędzie ściernicze do kształtowania regularnej makrogeometrii obrabianej powierzchni. Patent nr 152827.
43. Kacalak W., Łukianowicz Cz.: Sposób i układ do pomiaru nierówności powierzchni. Patent nr 140791.
44. Kacalak W.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Patent nr 296444.
45. Kacalak W.: Moduł mikronapędu. Patent nr 296377.
46. Kacalak W., Ściegienka, Ziółkowski S., Konfisz J.: Sposób szlifowania płaskiego, zwłaszcza drobnych przedmiotów o małej wysokości. Patent nr 154419.
47. Kacalak W., Lewkowicz R., Ściegienka R.: Taśma ścierna. Patent nr 301670.
48. Kacalak W.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Patent nr 301669.
49. Kacalak W., Derkacz A.: Układ napędowy stołu obrotowego obrabiarki. Patent nr 160800.
50. Kacalak W., Derkacz A.: Układ nośny obrabiarki z obrotowym stołem, zwłaszcza do obróbki drobnych przedmiotów. Patent nr 161644.
51. Kacalak W., Konfisz T., Markiewicz A.: Stół obrotowy szlifierki z gniazdami ustalającymi do precyzyjnej obróbki drobnych płaskich przedmiotów. Patent nr 161790.
52. Kacalak W., Lubiński A.: Sposób szlifowania dokładnych powierzchni śrubowych, zwłaszcza długich gwintów. Patent nr 160799.

53. Kacalak W., Lubiński A.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Patent nr 160312.
54. Kacalak W., Ściegienka,: Sposób precyzyjnej obróbki płaskich powierzchni, zwłaszcza obróbki drobnych przedmiotów ceramicznych w cyklu automatycznym. Patent nr 161481.
55. Kacalak W., Tatoń J., Derkacz A.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Patent nr 160314.
56. Ściegienka, Kacalak W., Pluta Z., Derkacz A., Ziółkowski S., Kundzicz W., Piotrowski: Sposób i urządzenie do dwustronnego szlifowania płaskich powierzchni czołowych, zwłaszcza małych walcowych elementów ceramicznych. Patent nr 161480.
57. Kacalak W., Lubiński A.: Końcówka przewodu pneumatycznego, zwłaszcza do urządzeń do pompowania opon samochodowych. Patent nr 160033.
58. Kacalak W., Lubiński A.: Urządzenie do składowania i transportu przedmiotów. Patent nr 161788.
59. Kacalak W., Tatoń J.: Urządzenie do frezowania rowków w tynku. Patent nr 160025.
60. Kacalak W., Konfisz J., Bokiej S., Derkacz A., Tomaszewicz M.: Mechanizm do umieszczania płaskich przedmiotów w gniazdach stołu obrabiarki. Patent nr 161479.
61. Kacalak W., Ściegienka R., Lange A.: Zbiornik osadczy. Patent nr 161176.
62. Kacalak W., Ryckiewicz J.: Precyzyjna przekładnia ślimakowa. Pat. Nr 164104.
63. Kacalak W., Ryckiewicz J., Ziółkowski S.: Przekładnia ślimakowa do bezluzowego przenoszenia momentów obrotowych. Patent nr 164105.
64. Kacalak W., Derkacz A., Konfisz J., Bokiej S., Frąckowiak P.: Urządzenie do odwracania płaskich przedmiotów obrabianych. Patent nr 162320.
65. Kacalak W., Derkacz A.: Układ nośny obrabiarki z obrotowym stołem, zwłaszcza do obróbki drobnych przedmiotów. Patent nr 161643.
66. Ściegienka R., Kacalak W., Lewkowicz R., Plichta S.: Małogabarytowa głowica do mikrowygładzania foliami ściernymi. Patent nr 181922.

67. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi. Patent nr 190466.
68. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi. Patent nr 190467.
69. Kacalak W., Derkacz A., Markiewicz A.: Urządzenie do oczyszczania cieczy, zwłaszcza chłodząco-smarującej. Patent nr 164402.
70. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W.: Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi W. Patent nr 216967.
71. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S.: Obrabiarka do mikroskrawania albo wygładzania ściernego w komorze próżniowej. Politechnika Koszalińska Patent nr 217376.
72. Kacalak W., Ściegienka R., Lewkowicz R., Charkiewicz L., Bokiej S.: Głowica do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi zewnętrznych powierzchni walcowych. Patent nr 217267.
73. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Charkiewicz L., Bokiej S.: Przyrząd do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi wałków umieszczonych w komorze próżniowej. Patent nr 217377.
74. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi, Patent nr 393071.

#### **Ważniejsze zgłoszenia patentowe:**

1. Kacalak W., Tandecka K.: Folia ścierna do procesu mikrowygładzania powierzchni. Zgłoszenie nr P.407465 z dnia 2014.03.10. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
2. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Zgłoszenie nr P.408392 z dnia 2014.06.02. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
3. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Zgłoszenie nr P.408933 z dnia 2014.07.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
4. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Zgłoszenie nr P.409050 z dnia 2014.07.31. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
5. Kacalak W., Ściegienka R., Bałasz B., Bokiej S.: Układ do podawania płynu chłodzącego na powierzchnie ściernicy tarczowej. Zgłoszenie

- nr P.409126 z dnia 2014.08.07. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
6. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Zgłoszenie nr P.409516 z dnia 2014.09.15. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
  7. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Koło ślimakowe przekładni bezluzowej. Zgłoszenie nr P.410406 z dnia 2014.12.05. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
  8. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Koło ślimakowe przekładni bezluzowej. Zgłoszenie nr P.410407 z dnia 2014.12.05. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2014.
  9. Kacalak W., Majewski M.: Sposób rozpoznawania znaków pisma, zwłaszcza pisma odręcznego. Zgłoszenie nr P.415415 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
  10. Kacalak W., Majewski M.: Układ do rozpoznawania znaków pisma, zwłaszcza pisma odręcznego. Zgłoszenie nr P.415416 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
  11. Kacalak W., Ponomarenkow J., Majewski M., Budniak Z.: Urządzenie do mechanicznego czyszczenia plaż, zwłaszcza nadmorskich. Zgłoszenie nr P.415417 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
  12. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Koło ślimakowe przekładni bezluzowej. Zgłoszenie nr P.415418 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
  13. Kacalak W., Majewski M., Budniak Z.: Przekładnia ślimakowa bezluzowa. Zgłoszenie nr P.415419 z dnia 2015.12.21. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.

## **Doktorzy Honoris Causa Politechniki Koszalińskiej**

**(Doctors Honoris Causa of Koszalin University of Technology)**

Prof. Jan Kaczmarek .....	2003
Prof. Henryk Hawrylak .....	2005
Prof. Pierre Marché .....	2005
Prof. Józef Grochowicz .....	2006
Prof. Rudolf Michałek .....	2008
Prof. Tadeusz Luty .....	2008
Prof. Jarosław Mikielwicz .....	2009
Prof. Michał Białko .....	2012
Prof. Józef Gawlik .....	2016