

Dr inż. Ryszard Ściegienka  
Politechnika Koszalińska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Transportu

# AUTOREFERAT

Załącznik nr 2  
do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego  
w dziedzinie Nauk Technicznych  
w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn

Koszalin 20.06.2013

## SPIS TREŚCI

1.	CHARAKTERYSTYKA PRACY NAUKOWEJ.....	3
1.1.	Przebieg pracy zawodowej.....	3
1.2.	Rozwój naukowy.....	3
1.3.	Doświadczenia organizacyjne.....	6
2.	WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	6
3.	CHARAKTERYSTYKA DOROBKU NAUKOWEGO.....	8
3.1.	Główne kierunki badawcze.....	8
3.2.	Dorobek i aktywność naukowa oraz zasięg publikacji.....	9
3.3.	Obszar i znaczenie naukowych osiągnięć.....	10
4.	OPIS OSIĄGNIĘĆ ZAWARTYCH W MONOGRAFII HABILITACYJNEJ.....	11
4.1.	Rozwiązane problemy naukowe.....	11
4.1.1.	Cele oraz problemy naukowe i aplikacyjne znaczenie pracy.....	11
4.1.2.	Modele matematyczne opisujące wybrane wielkości procesu obróbki.....	12
4.1.3.	Metodyka wyznaczania objętości materiału do usunięcia.....	13
4.1.4.	Podstawy doboru charakterystyki taśmy ścierniej.....	14
4.1.5.	Podstawy wyznaczania potencjału obróbkowego folii ściernych.....	15
4.1.6.	Podstawy określenia obciążenia i zagłębienie ziarna w strefie obróbki.....	17
4.1.7.	Podstawy określenia aktywności ziaren w strefie obróbki.....	19
4.1.8.	Podstawy doboru parametrów kinematycznych procesu.....	20
4.1.9.	Algorytm doboru parametrów i warunków obróbki.....	23
4.1.10.	Badania doświadczalne procesu mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi.....	25
4.2.	Znaczenie naukowe i aplikacyjne wyników.....	28
5.	OPIS OSIĄGNIĘĆ W ZAKRESIE PODSTAW BUDOWY URZĄDZEŃ DO MIKROWYGŁADZANIA POWIERZCHNI FOLIOWYMI TAŚMAMI ŚCIERNYMI.....	29
5.1.	Podstawy konstrukcji urządzeń do mikrowygładzania.....	29
5.2.	Opis opracowanych głowic i ich zastosowań.....	32
5.2.1.	Małogabarytowa głowica do wałków.....	32
5.2.2.	Nowa głowica do mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi typu GW-1.....	33
5.2.3.	Nowe głowice do mikrowygładzania otworów w elementach obrotowych foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1 i GO-2.....	36
5.2.4.	Nowe głowice do mikrowygładzania otworów w elementach nieobrotowych foliowymi taśmami ściernymi typu GO-3 i GO-4.....	39
5.2.5.	Nowa koncepcja głowicy do mikrowygładzania otworów w elementach obrotowych foliowymi taśmami ściernymi, ze wzdluznym przesuwem taśmy.....	43
5.3.	Badania charakterystyk technicznych głowic.....	45
5.4.	Opracowania specyficznych układów do mikrowygładzania powierzchni w próżni.....	48
5.5.	Innowacyjne cechy opracowanych urządzeń.....	51
6.	CHARAKTERYSTYKA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO.....	52
6.1.	Opracowania dydaktyczne.....	52
6.2.	Osiągnięcia dydaktyczne.....	53
7.	PRACE INNOWACYJNE I WDROŻENIOWE.....	53
7.1.	Patenty i wdrożenia.....	53
7.2.	Upowszechnienia wyników badań.....	54
8.	WSPÓŁPRACA KRAJOWA I MIĘDZYNARODOWA.....	56
8.1.	Udział w krajowych i międzynarodowych wystawach, targach i wyjazdach technicznych.....	56
8.2.	Współpraca z przedsiębiorstwami i instytucjami zagranicznymi.....	57
8.3.	Efekty współpracy.....	57
9.	CZŁONKOSTWO W ORGANIZACJACH I TOWARZYSTWACH NAUKOWYCH.....	58
10.	WYBRANE WYRÓŻNIENIA I ODZNACZENIA.....	58

## 1. CHARAKTERYSTYKA PRACY NAUKOWEJ

### 1.1. Przebieg pracy zawodowej

Przebieg pracy zawodowej w syntetycznym ujęciu przedstawiono w tablicy 1.

**Tablica 1.** Przebieg pracy zawodowej

Data	Miejscowość	Jednostka	Stanowisko
1969 – 1970	Czaplinek	Zasadnicza Szkoła Zawodowa	Nauczyciel zawodu
1971 – 1980	Koszalin	Koszalińska Wytwórnia Części Samochodowych / Koszalińskie Zakłady Naprawy Samochodów	Konstruktor, kierownik sekcji konstrukcyjnej
1980 – 1984	Koszalin	Zakłady Maszyn i Urządzeń Technologicznych „UNITRA-UNIMA” / Zakład Techniki Próżniowej „TEPRO”	Kierownik konstrukcyjnej Pracowni Mechanicznej
1983 – 1984			Główny Konstruktor
1985 – 2008	Koszalin	Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny	Starszy specjalista inżynieryjno-techniczny oraz naukowo-techniczny
2004 – 2006		Politechnika Koszalińska, Park Naukowo-Technologiczny	Dyrektor Centrum Wdrożeń
2008 – obecnie		Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny	Starszy specjalista naukowo-techniczny ze stopniem doktora

### 1.2. Rozwój naukowy

#### Tytuł inżyniera mechanika – 1975 r.

Wyższa Szkoła Inżynierskiej w Koszalinie, Wydział Mechaniczny  
kierunek studiów – Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność – techniki wytwarzania- technologia maszyn, obróbka skrawaniem.

Temat pracy dyplomowej:

*Projekt konstrukcyjny honownicy z napędem hydraulicznym*, praca wyróżniona,  
promotor– doc. dr inż. Cz. M. Rogowski.

#### Tytuł magistra inżyniera mechanika – 1980 r.

Wyższa Szkoła Inżynierskiej w Koszalinie, Wydział Mechaniczny  
kierunek studiów – Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność – technologia maszyn.

Temat pracy dyplomowej:

*Teoretyczne i techniczne aspekty gładzenia otworów osłkami elastycznymi*,  
promotor – prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak.

#### Stopień doktora nauk technicznych w zakresie budowy i eksploatacji maszyn – 2008 r.

Temat rozprawy doktorskiej: *Podstawy doboru warunków i parametrów procesu mikrowygładzania powierzchni z zastosowaniem foliowych taśm ściernych*. Politechnika Koszalińska.

Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny,

promotor – prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak, praca wyróżniona.

Po ukończeniu Technikum Przemysłowo-Pedagogicznego w Pabianicach, przez jeden rok pracowałem jako nauczyciel zawodu w Zasadniczej Szkole Zawodowej w Czaplinku.

W roku 1970 rozpocząłem studia dzienne w Wydziale Mechanicznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie.

W 1971 roku podjąłem pracę zawodową w Dziale Konstrukcyjnym w Koszalińskiej Wytwórni Części Samochodowych, (później Koszalińskie Zakłady Naprawy Samochodów), równocześnie studiując systemem wieczorowym. Projektowałem obrabiarki specjalizowane do regeneracji elementów silników spalinowych, jak: szlifierka do grzybków zaworów, szlifierka do płaszczyzn przyłgowych głowic i bloków, gładzarka do cylindrów i realizowałem opracowania studialne dotyczące innych obrabiarek.

Od 1976 roku kierowałem pracą 5-cio osobowej konstrukcyjnej Sekcji Obrabiarek, w której opracowywano również inne urządzenia do napraw pojazdów samochodowych. W tym okresie uczestniczyłem w 5. konferencjach naukowych i w 1978 roku opublikowałem swój pierwszy referat dotyczący hydraulicznej gładzarki do cylindrów.

Od 1980 roku pracowałem w Zakładach Maszyn i Urządzeń Technologicznych „UNITRA-UNIMA” w Koszalinie przemianowanych następnie na Zakład Techniki Próżniowej „TEPRO”. Kierowałem pracami kilkunastoosobowej konstrukcyjnej Pracowni Mechanicznej, w której projektowano specjalizowane obrabiarki oraz urządzenia technologiczne dla przemysłu elektronicznego, jak: docierarki do płytek ceramicznych, piezoceramicznych i kwarcowych, automatyczne szlifierki do elementów ceramicznych, podajniki wibracyjne z napędem elektromagnetycznym i inne zaawansowane konstrukcyjnie urządzenia. Pod moim kierunkiem opracowano i wdrożono do produkcji ponad 25 urządzeń technologicznych.

W 1983 zostałem tam Głównym Konstruktorem i kierowałem pracami 4. pracowni konstrukcyjnych oraz prototypowni, w których zatrudniano ponad 50. pracowników.

Pracownicy Działu Konstrukcyjnego i Prototypowni ZTP TEPRO Koszalin, pod moim kierownictwem opracowali i wdrożyli do produkcji seryjnej szereg podzespołów i technologicznych urządzeń próżniowych, jak: pompy próżniowe bezolejowe, pompy dyfuzyjne, zawory próżniowe, stanowiska pompowe i urządzenia technologiczne próżniowe. Współpracowałem technicznie i naukowo z pracownikami Politechniki Koszalińskiej, z którymi dokonywałem zgłoszeń patentowych i publikacji.

Przyjmując propozycję Uczelni, w 1985 roku rozpocząłem pracę w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej, na stanowisku starszego specjalisty inżynierijno-technicznego, z głównym zadaniem projektowania stanowisk badawczych, projektowania i organizowania prac projektowych oraz wdrożeniowych przy realizacji automatycznych urządzeń do szlifowania płaskich powierzchni małych elementów ceramicznych na zlecenia zakładów przemysłu elektronicznego.

W pierwszych latach dla Zakładów Ceramiki Radiowej „CERAD” w Warszawie zaprojektowano, zbudowano, prowadzono badania i wdrożono w warunkach produkcji masowej 4 automatyczne urządzenia do szlifowania rotorów ceramicznych. Innowacyjny sposób obróbki oraz urządzenie i oryginalne rozwiązania konstrukcyjne opatentowano w 10. patentach (zał. nr 7, p.2, lp. 1, 3-4, 6-10, 13-14). Problemy naukowe występujące podczas realizacji prac otworzyły możliwości działania w ramach Centralnych Programów Badań Podstawowych oraz Badań Rozwojowych, w których byłem wykonawcą.

Projektowano i wdrażano kolejne zautomatyzowane urządzenia do korpusów ceramicznych, do płaszczyzn czołowych piezoceramicznych elementów walcowych, do płaszczyzn ceramicznych elementów uszczelniających do baterii wodnych. Nowe sposoby obróbki i rozwiązania konstrukcyjne urządzeń obróbkowych były przedmiotem 7. patentów (zał. nr 7, p.2, lp. 11, 15-20). Badano procesy precyzyjnego szlifowania oraz mikro i nanoobróbki ściernej. Wyniki badań naukowych publikowano w materiałach konferencyjnych i w czasopiśmie naukowych.

W 1992 roku zainicjowałem w Uczelni prace naukowe dotyczące mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi, nowoczesnymi narzędziami o specyficznych właściwościach i stosowania nowej metody obróbki. Opracowałem konstrukcję małogabarytowej głowicy do mikrowygładzania, a następnie głowicę do mikrowygładzania otworów i wałków foliowymi taśmami ściernymi. Rozwiązania zostały opatentowane w 3. Patentach (zał. nr 7, p.2, lp. 22-24), a modelowe głowice służą do badań naukowych procesu oraz w laboratoryjnych zajęciach dydaktycznych z zakresu technik wytwarzania. Opracowałem także teoretyczne podstawy mikrowygładzania, umożliwiające prowadzenie badań procesu. Dzięki współpracy i dużej pomocy pracowników polskiej filii amerykańskiej firmy 3M, przebadano różnorodne folie ściernie oraz uzyskiwano informacje dotyczące efektów ich stosowania.

W latach 1995-98 byłem głównym wykonawcą projektu badawczego dotyczącego mikro i nanoobróbki ścierniej w próżni i superniskich temperaturach, w którym zastosowano mikrowygładzanie powierzchni foliowymi taśmami ściernymi. Dla realizacji procesu w ekstremalnych warunkach zaprojektowałem obrabiarkę do mikroobróbki w próżni, przyrząd do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi w próżni oraz inne układy funkcjonalne i wyposażenie. Prowadziłem badania tych procesów oraz byłem współautorem publikacji naukowych.

Napisałem rozprawę doktorską dotyczącą podstaw doboru parametrów i warunków mikrowygładzania powierzchni z zastosowaniem foliowych taśm ściernych i w październiku 2008 roku uzyskałem stopień doktora. Obecnie pracuję na stanowisku starszego specjalisty naukowo-technicznego w Katedrze Transportu.

W latach 2007-2009 byłem głównym wykonawcą projektu badawczego rozwojowego dotyczącego głowic do mikrowygładzania powierzchni obrotowych zewnętrznych i wewnętrznych foliowymi taśmami ściernymi. Opracowano i zbudowano prototyp głowicy do wałków i cztery prototypy głowic do mikrowygładzania otworów. Określono charakterystyki funkcjonalne głowic oraz przeprowadzono badania procesów mikrowygładzania wałków i otworów. Wyniki opublikowano w szeregu artykułów w czasopiśmie naukowych i materiałach konferencyjnych oraz dokonano 2. zgłoszeń patentowych (zał. nr 7, p.4, lp. 1, 5).

Ważne obszary dorobku z tego zakresu zostały opublikowane w 2012 roku w monografii dotyczącej teoretycznych i doświadczalnych podstaw mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi, w której zawarto algorytm ADEPT, umożliwiający dokonanie doboru efektywnych parametrów technologicznych procesu w warunkach przemysłowych.

W ramach indywidualnej działalności, w latach 1992-99, zrealizowałem kilkanaście tematów konstrukcyjnych, projektowych, ekspertyz oraz dokonałem eksportu do szwedzkiej firmy Olaf's Sportfiske autorskich urządzeń do sportowych trollingowych połowów ryb.

W latach 2000-2006 roku pełniłem funkcję Dyrektora Centrum Wdrożeń w Parku Naukowo-Technologicznym Politechniki Koszalińskiej.

Bieżące, bezpośrednie uzyskiwanie aktualnej wiedzy i doświadczenia zawodowego odbywało się w ponad 100 przedsiębiorstwach i instytucjach, z którymi współpracowałem. Były to krajowe i zagraniczne przedsiębiorstwa przemysłu elektromaszynowego (72), kopalnie (4), huty (6) i inne przedsiębiorstwa i instytucje (19), jak: wyższe uczelnie techniczne – krajowe (6), zagraniczne (2 – Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Bourges, Bourges, Francja, Państwowy Sankt Petersburski Uniwersytet Rolniczy, Puszkina, Rosja), Vitra Design Museum w Weil am Rhein, Niemcy i inne.

W swoich miejscach pracy podejmowałem przedstawicieli ponad stu przedsiębiorstw, zakładów przemysłowych i instytucji w sprawach naukowo-technicznych, organizacyjnych, opiniowania propozycji rozwiązań, itp. W macierzystych zakładach pracy uczestniczyłem w kilkudziesięciu szkoleniach prowadzonych przez firmy zewnętrzne, które dotyczyły aparatury badawczej, urządzeń technologicznych, transferu technologii, wdrożeń opracowań naukowych i technicznych, spółek spin-off, i innych zagadnień.

### 1.3. Doświadczenia organizacyjne

- 1976-1980 – kierownik sekcji konstrukcyjnej,
- 1980-1983 – kierownik konstrukcyjnej pracowni mechanicznej,
- 1983-1984 – główny konstruktor,
- 1992-1999 – właściciel biura inżynierskiego i marketingowego,
- 1999-2008 – członek Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej w kadencjach 1999-2002, 2002-2005, 2005-2008,
- 2004-2006 – dyrektor Centrum Wdrożeń Parku Naukowo-Technologicznego przy Politechnice Koszalińskiej,
- 2004 i 2009 – członek Komitetów organizacyjnych NSOS oraz organizator seminariów Wydziałowych,
- 2010-2011 – koordynator prac zespołu ds. realizacji zadań Ośrodka Informacji Patentowej w Parku Naukowo- Technologicznym Politechniki Koszalińskiej. 1.06.2010-31.05.2011.

## 2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Jako osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wskazuję monografię i oryginalne opracowania projektowe, pod nazwą:

### **„Teoretyczne i doświadczalne podstawy obróbki oraz konstrukcji głowic do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi”**

obejmujące:

1. Monografię pod tytułem: *Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi*,
2. Podstawy budowy urządzeń do mikrowygładzania udokumentowane w 3. patentach, 4. zgłoszeniach patentowych oraz w opracowaniach konstrukcyjnych.

### **Patenty**

1. *Małogabarytowa głowica do mikrowygładzania foliami ściernymi*. Ściegienka R., Kacalak W., Lewkowicz R., Plichta S. Patent nr PL 181922 B1- 31.10.2001. WSInż. Koszalin 1996. BUP 13/1997 s.19.
2. *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi*. Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S. Politechnika Koszalińska 1999. Decyzja UP RP o udzieleniu patentu na wynalazek z 12.04.2005. Patent nr PL 190466 B1. BUP 05/2000 s.18.
3. *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi*. Ściegienka R. Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S. Politechnika Koszalińska 1999. Decyzja UP RP o udzieleniu patentu na wynalazek z 12.04.2005. Patent nr PL 190467 B1. BUP 05/2000 s.19.

## Zgłoszenia patentowe

1. *Głowica do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi.* Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W. Politechnika Koszalińska 27.10.2010. Zgł. P.-393071 z 2010-11-29. BUP 12/2012 s.8.
2. *Obrabiarka do mikroskrawania albo wygładzania ściernego w komorze próżniowej.* Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S. Politechnika Koszalińska 3.11.2010. Zgł. P.-393211 z 2010-12-10. BUP 13/2012 s.6.
3. *Głowica do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi zewnętrznych powierzchni walcowych.* Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Charkiewicz L., Bokiej S. Politechnika Koszalińska 22.11.2010. Zgł. P.-393247 z 2010-12-13. BUP 13/2012 s.8.
4. *Przyrząd do mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi wałków umieszczonych w komorze próżniowej.* Ściegienka R., Lewkowicz R., Kacalak W., Bokiej S., Markiewicz A. Politechnika Koszalińska 30.11.2010. Zgł. P.-393355 z 2010-12-20. BUP 14/2012 s.11.

Informacje podstawowe o projektach wynalazczych są zamieszczone na stronie Urzędu Patentowego RP: [www.uprp.pl](http://www.uprp.pl), w zakładce **Bazy danych UPRP, wynalazki**, pod **wyszukiwanie proste**, identyfikowane przez **numer prawa wyłącznego** lub **numer zgłoszenia**.

Publikacje zgłoszeń można znaleźć na tej samej stronie, w zakładce **Biuletyn UPRP**, we wskazanych **roczniku, numerze i stronie**.

## Opracowania konstrukcyjne

1. Opracowanie konstrukcji głowicy do mikrowygładzania foliami ściernymi typu GM-1 (do ZM-1) WSIInż. Koszalin 1995. Ściegienka R., Kacalak W., Lewkowicz R., Plichta S.
2. Opracowanie konstrukcji głowicy do nieoscylacyjnego mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 1998. Ściegienka R.
3. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej głowicy do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 4.06.2007 – do prototypu/ 2009 – po prototypie. Projekt badawczy rozwojowy R03 025 02.
4. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej głowicy do mikrowygładzania oscylacyjnego otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-2. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2.07.2007 – do prototypu/ 2009 – po prototypie. Projekt badawczy rozwojowy R03 025 02.
5. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej głowicy do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-3. Politechnika Koszalińska. Koszalin 5.09.2007 – do prototypu/ 2009 – po prototypie. Projekt badawczy rozwojowy R03 025 02.
6. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej głowicy do mikrowygładzania oscylacyjnego otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-4. Politechnika Koszalińska. Koszalin 17.09.2007 – do prototypu/ 2009 – po prototypie. Projekt badawczy rozwojowy R03 025 02.
7. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej głowicy do mikrowygładzania wałków foliowymi taśmami ściernymi typu GW-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 29.02.2008 – do prototypu/ 2009 – po prototypie. Projekt badawczy rozwojowy R03 025 02.
8. Opracowanie konstrukcji zestawu laboratoryjnego do badań podstawowych procesów mikroskrawania w próżni. WSIInż. Koszalin 1995. Ściegienka R., Kacalak W., Lewkowicz R., Czyżniewski A.

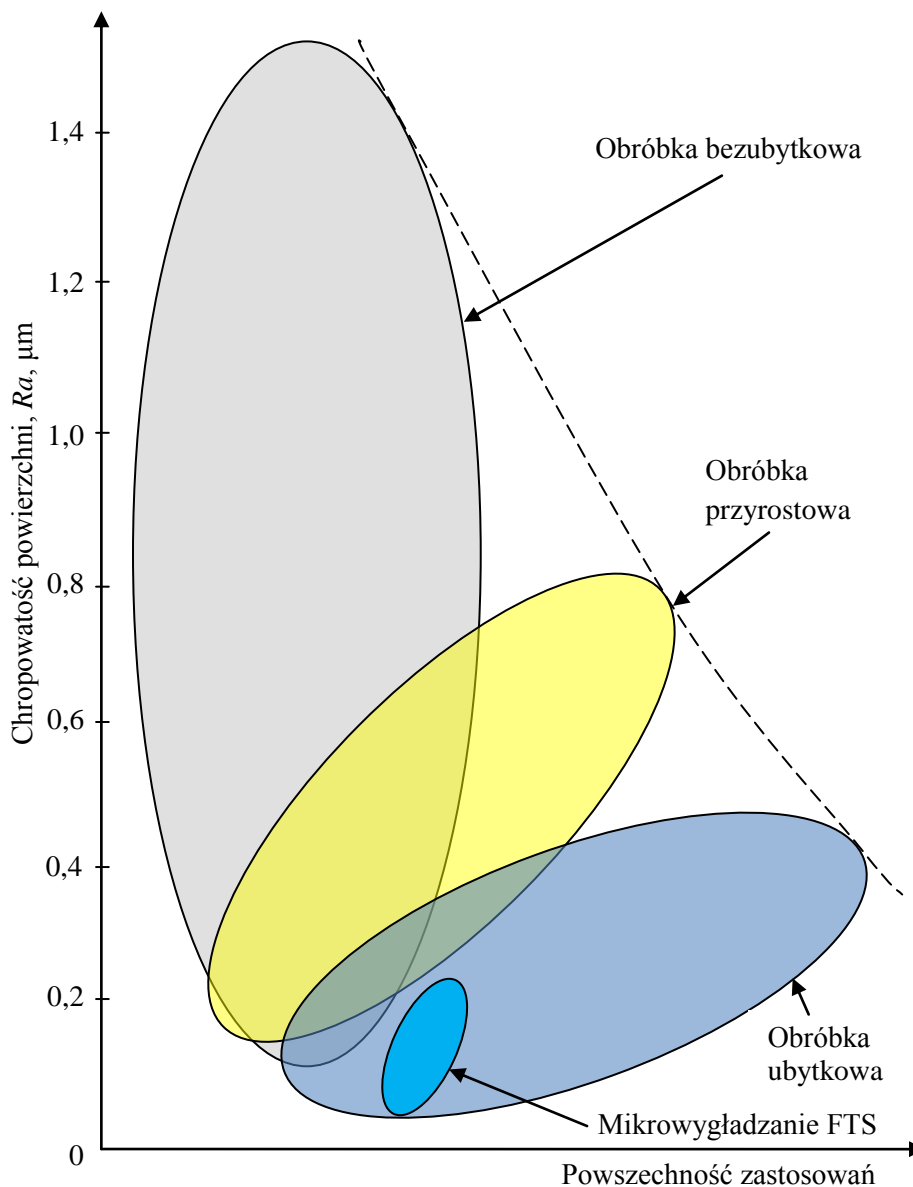
### 3. CHARAKTERYSTYKA DOROBKU NAUKOWEGO

#### 3.1. Główne kierunki badawcze

Obszary mojej aktywności naukowej i projektowej dotyczyły teoretycznych podstaw i aplikacji metod wygładzania powierzchni technicznych, głównie obróbek ubytkowych, mechanicznych, realizowanych maszynowo, poprzez obróbkę ścierną, a mianowicie:

- mikrowygładzania foliami ściernymi (FTS),
- szlifowania precyzyjnego,
- gładzenia otworów i wygładzania narzędziami elastycznymi o podatnym spoiwie,
- docierania powierzchni płaskich,
- obróbki aparatury paliwowej silników spalinowych.

Na rysunku 1 pokazano umiejscowienie głównego kierunku badawczego – mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi – w obszarze obróbek wygładzania powierzchni technicznych.



Rys. 1. Umiejscowienie głównego kierunku badawczego autora w obszarze technik wytwarzania



### 3.2. Dorobek i aktywność naukowa oraz zasięg publikacji

W tablicy 2 przedstawiono osiągnięcia zawodowe w ujęciu syntetycznym.

**Tablica 2.** Osiągnięcia zawodowe w ujęciu syntetycznym

Lp.	Wykaz osiągnięć	Przed doktorem	Po doktoracie	Łącznie
1	Publikacji ogółem	36	15	51
2	Publikacje w czasopismach wyróżnionych przez Journal Citation Reports	-	1	1
3	Publikacja w recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym wymienionym w wykazie ministra	-	5	5
4	Autorstwo rozdziału w monografii lub podręczniku akademickim w języku angielskim lub podstawowym dla danej dyscypliny	-	1	1
5	Autorstwo monografii lub podręcznika akademickiego w języku polskim lub innym niż angielski i niepodstawowy dla danej dyscypliny	-	1	1
6	Autorstwo rozdziału w monografii lub podręczniku akademickim w języku polskim lub innym niż angielski i niepodstawowy dla danej dyscypliny oraz artykułów konferencyjnych	1+35	6+1	43
7	Udział w projektach badawczych	10	6	16
8	Udział w projektach finansowanych ze środków europejskich	-	1	1
9	Opracowania konstrukcyjne, dokumentowe i badawcze	70	8	78
10	Wdrożenia do produkcji opracowań autorskich i współautorskich	49	8	57
11	Kierowanie realizacją i wdrożeniem opracowań konstrukcyjnych i badawczych (grup urzędzeń)	31	-	31
12	Projekty racjonalizatorskie	4	-	4
13	Patenty	24	-	24
14	Wzory użytkowe	1	-	1
15	Zgłoszenia patentowe	-	6	6
16	Zadania dydaktyczne: ćwiczenia laboratoryjne, obliczeniowe, projektowanie, seminarium dyplomowe (wiele grup lab.)	5	6	11
17	Promotor zakończonych prac dyplomowych, magisterskich i inżynierskich	-	25	25
18	Współorganizacja konferencji naukowych	1	1	2
19	Udział w konferencjach naukowych	27	9	36
20	Udział w targach, wystawach, promocjach opatentowanych opracowań	20	2	22
21	Nagrody, wyróżnienia	ok. 40	5	ok. 45
22	Odznaki Honorowe SIMP i NOT	2	-	2
23	Odstąpienia państwowe	2	-	2

Dorobek naukowy zawiera się w dwóch obszarach – w obszarze dorobku publikacyjnego i w obszarze dorobku projektowo-aplikacyjnego.

Łącznie opublikowałem 51 artykułów i rozdziałów w monografii, w tym 8 w języku angielskim (3 po doktoracie). Liczba publikacji po uzyskaniu stopnia doktora, czyli w okresie czterech lat, wynosząca 15, daje średnio 3,75 publikacji rocznie. Jest w tym jedna publikacja na liście A z IF=0.764, cytowaniami WoS=2, 6 publikacji na liście B, 7 rozdziałów w monografii i jedna monografia. Ponadto w postępowaniu wydawniczym są 4 artykuły do opublikowania w miesięczniku „Mechanik” oraz przygotowywane są 3 artykuły do opublikowania w czasopiśmie na liście A.

W obszarze osiągnięć projektowych przedstawiłem łącznie 78 opracowań konstrukcyjnych, w tym 57 wdrożonych do produkcji lub wykonanych i zastosowanych zgodnie z przeznaczeniem, 29 projektów wynalazczych i 6 zgłoszeń patentowych. Po uzyskaniu stopnia doktora wykonałem 8 opracowań konstrukcyjnych i dokonałem 6 zgłoszeń patentowych. Dotyczą one przede wszystkim tematyki mikrowygładzania i urządzeń do mikrowygładzania foliami ściernymi.

### **3.3. Obszar i znaczenie naukowych osiągnięć**

Monografia pt. *Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi*, jest pierwszą w kraju, zwartą pozycją dotyczącą mikrowygładzania foliami ściernymi. Nie są znane podobne opracowania wśród światowych publikacji naukowych. Publikowane dotąd artykuły nie ujmowały zagadnień mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi w sposób kompleksowy. Zwykle prezentowały urządzenia, metodę obróbki i efekty uzyskiwane z jej stosowania w wybranych warunkach i przypadkach.

Osiągnięcia naukowe zawarte w monografii, publikacjach, projektach wynalazczych i opracowaniach konstrukcyjnych łącznie, są ważne dla rozwoju systemów wygładzania powierzchni technicznych. Opracowane są teoretyczne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi oraz teoretyczne podstawy budowy urządzeń do mikrowygładzania. Opracowana jest dokumentacja konstrukcyjna głowic do mikrowygładzania otworów i wałków foliowymi taśmami ściernymi. Zbudowano rodzinę prototypowych głowic i dokonano ich oceny w warunkach laboratoryjnych, również poprzez badania eksploatacyjne. Opracowano algorytm ADEPT, umożliwiający dokonanie doboru efektywnych parametrów technologicznych procesu w warunkach przemysłowych.

Osiągnięcia udokumentowano poprzez publikacje i projekty wynalazcze głównie na obszarze krajowym, a publikacje na konferencjach o zasięgu międzynarodowym oraz wystawy na międzynarodowych targach umożliwiły zaprezentowanie tej tematyki opinii międzynarodowej.

W wyniku powyższych prac Politechnika Koszalińska dysponuje własnej konstrukcji urządzeniami oraz wiedzą i programami dla budowy i stosowania takich urządzeń, a także potencjałem naukowym dla nauczania i szkolenia przyszłych eksploatatorów metody i procesów mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi.

## 4. OPIS OSIĄGNIĘĆ ZAWARTYCH W MONOGRAFII HABILITACYJNEJ

Tytuł monografii:

***Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi.***

Monografia zawiera 256 stron formatu B5, 29 tablic, 142 rysunki i 161 pozycji literatury.

### 4.1. Rozwiązane problemy naukowe

#### 4.1.1. Cele oraz problemy naukowe i aplikacyjne znaczenie pracy

Celem naukowym monografii było opracowanie podstaw procesu mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi, a także nowego sposobu doboru parametrów w warunkach przemysłowych, zapewniającego najlepsze wykorzystanie potencjału obróbkowego tych narzędzi.

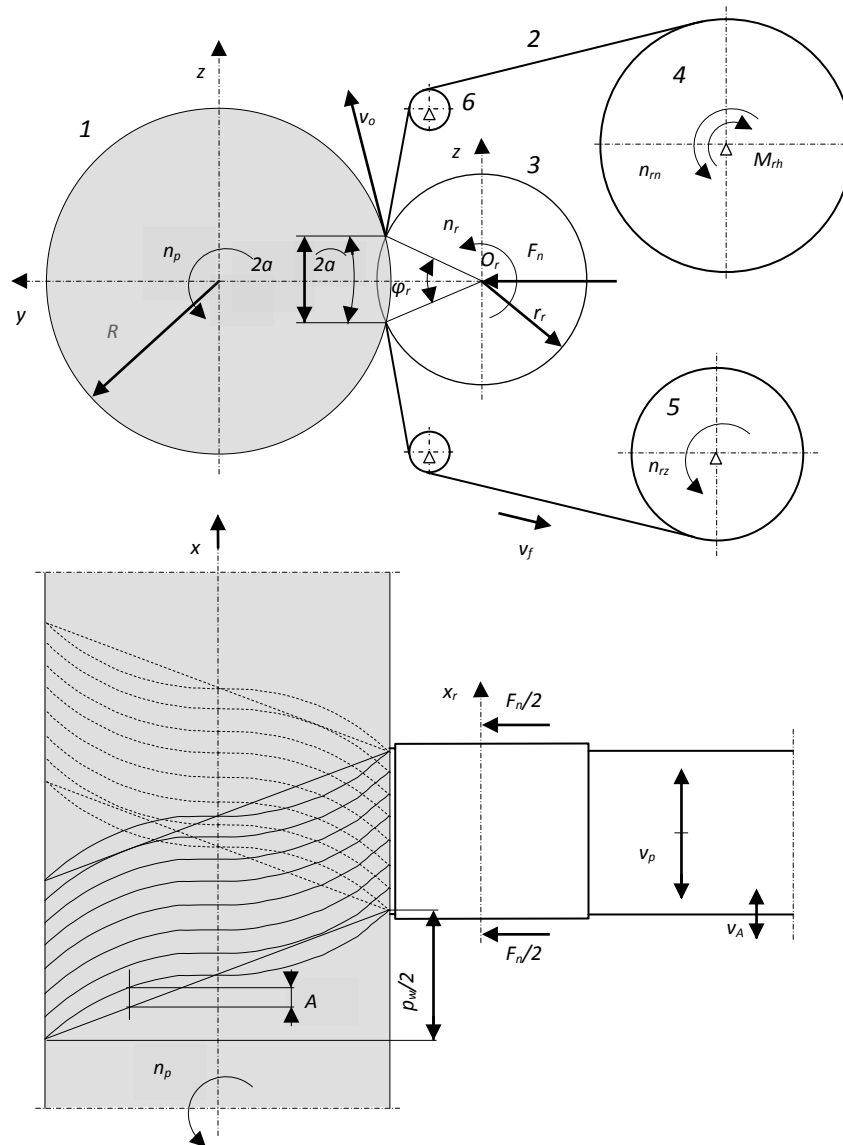
**Problemy naukowe rozpatrywane w monografii**, dotyczące mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi, zdefiniowano następująco:

- jaki jest potencjał obróbkowy folii ściernych i jak zapewnić jego wykorzystanie?
- jak podzielić całkowity naddatek na poszczególne zabiegi z uwzględnieniem zdolności wygładzających folii zastosowanych w sekwencji zabiegów?
- jaka powinna być niezbędna, minimalna, powierzchnia folii ściernych użytych w kolejnych zabiegach dla usunięcia materiału, z uwzględnieniem potencjału obróbkowego folii?
- jakie powinny być wartości parametrów obróbki, dla uzyskania maksymalnej wydajności operacji mikrowygładzania powierzchni przedmiotów wykonanych z różnych materiałów?

Najważniejszą cechą metody jest to, iż taśma wprowadzana jest w strefę obróbki tylko jeden raz i po wyniesieniu z niej materiału usuniętego z powierzchni przedmiotu, jest uważana za zużytą. Taka strategia umożliwia wyeliminowanie negatywnego wpływu produktów obróbki i ewentualnych zalepień taśmy (możliwych przy wielokrotnym jej wprowadzaniu) na topografię powierzchni obrobionej i umożliwia uzyskiwanie jednorodnych powierzchni o bardzo małej chropowatości. Operacja obróbki złożona jest zwykle z kilku zabiegów mikrowygładzania, zróżnicowanych rodzajem taśm i malejącymi wymiarami ziaren w kolejnych taśmach.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat metody mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi.

Do obrabianego walca 1 o promieniu  $R$ , który obraca się z prędkością obrotową  $n_p$  i obwodową  $v_o$ , dociskana jest siłą  $F_n$  foliowa taśma ścierna 2 przez podatną rolkę dociskową 3. Rolka nawijająca 5 ciągnie taśmę z prędkością  $v_f$  przez strefę obróbki. Taśma odwija się z rolki 4, która jest hamowana zadaniem momentem  $M_h$  i powoduje odpowiednie napięcie taśmy. Dwie rolki 6 prowadzą taśmę na wejściu i wyjściu ze strefy obróbki. Układ przewijania i docisku taśmy wykonuje ruch posuwowy z prędkością  $v_p$  o charakterze nawrotnym oraz ruch oscylacyjny z amplitudą  $A$  i częstotliwością  $f$ . Złożenie ruchu głównego z prędkością  $v_o$  oraz posuwu z prędkością  $v_p$  tworzy na powierzchni walcowej tor śrubowy o skoku  $p_o$ , na który nakłada się sinusoidalna składowa o amplitudzie  $A$  i częstotliwości  $f$ . Zmiana zwrotu posuwu  $v_p$  powoduje zmianę kierunku linii śrubowej. Przecinające się tory ziaren ściernych na powierzchni obrabianej tworzą warunki do otrzymania powierzchni o wysokiej gładkości i cechach powierzchni lustrzanych.



Rys. 2. Schemat metody mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi: 1 - wałek obrabiany, 2 - taśma ścierna, 3 - rolka dociskowa, 4 - rolka z zasobnikiem folii (posiadająca hamulec), 5 - rolka z folią zużytą, 6 - rolki prowadzące

#### 4.1.2. Modele matematyczne opisujące wybrane wielkości procesu obróbki

Model matematyczny, opisujący średnią objętość warstwy skrawanej przypadającej na jedno ziarno foliowej taśmy ścierniej, można określić zależnością:

$$V_{zi} = C_v \cdot \frac{v_o}{v_f} \cdot F_n^{nr_1} \cdot K^{nr_2} \cdot v_p^{nr_3} \cdot f^{nr_4} \cdot (2a)^{nr_5} \cdot i^{nr_6} \cdot t^{nr_7} = V_{zidop},$$

– opisujący średnią wartość parametru  $Ra$  chropowatości powierzchni obrobionej, można wyrazić wzorem:

$$Ra = C_R \cdot v_o^{nr_1} \cdot F_n^{nr_2} \cdot K^{nr_3} \cdot v_p^{nr_4} \cdot v_f^{nr_5} \cdot f^{nr_6} \cdot (2a)^{nr_7} \cdot i^{nr_8} \cdot t^{nr_9} \leq Ra_{dop},$$

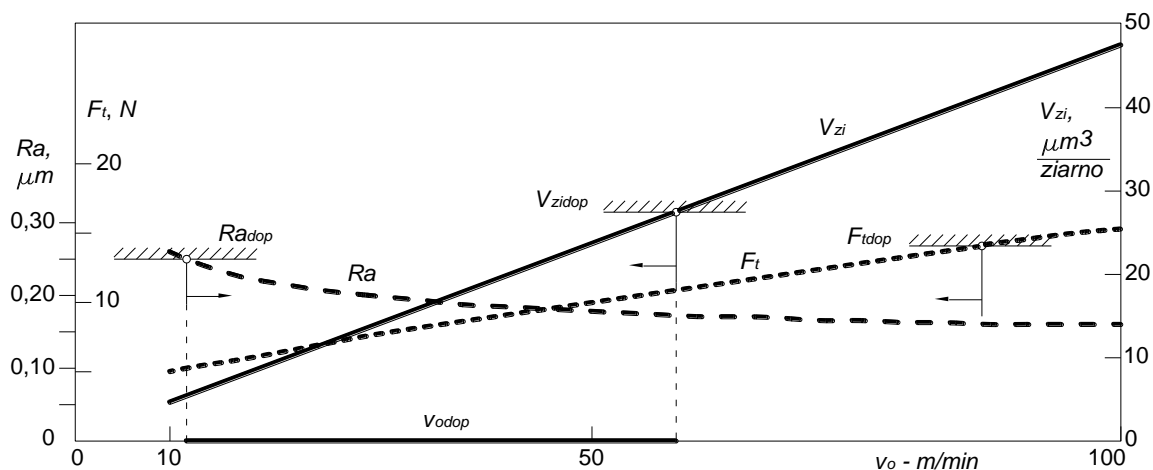
w której wykładnik  $nr_1$  zawiera się w zakresie  $-1$  do  $0$ , a wykładniki  $nr_2... nr_9$  w zakresie  $0$  do  $1$ ,

- opisujący średnią wartość składowej stycznej siły w taśmie równej sile mikroobróbki (nie uwzględnia sił hamujących i sił tarcia pochodzących od układu przewijania taśmy), można określić wzorem:

$$F_t = C_t \cdot v_o^{nt_1} \cdot F_n^{nt_2} \cdot K^{nt_3} \cdot v_p^{nt_4} \cdot v_f^{nt_5} \cdot f^{nt_6} \cdot (2a)^{nt_7} \cdot t^{nt_8} \cdot t^{nt_9} \leq F_{tdop}$$

gdzie wykładniki  $nt_1, nt_2 \dots nt_7$  zawierają się w zakresie 0 do 1.

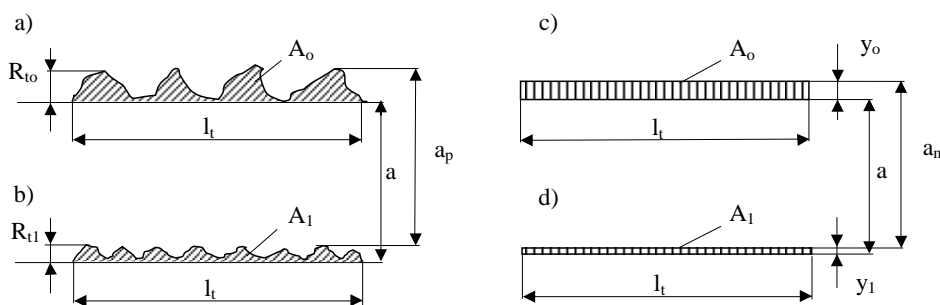
Dla wybranych wartości wejściowych obliczono wartości wielkości wyjściowych zapisanych powyżej przedstawionymi modelami matematycznymi i zilustrowano je na rysunku 3 w funkcji prędkości obwodowej przedmiotu obrabianego.



Rys. 3. Zależność średnich wartości  $V_{zi}$ ,  $Ra$  i  $F_t$  od prędkości obwodowej przedmiotu obrabianego  $v_o$  w zabiegu mikrowygładzania foliowymi taśmami ściernymi

#### 4.1.3. Metodyka wyznaczania objętości materiału do usunięcia

Objętość materiału do usunięcia podczas jednego zabiegu mikrowygładzania określono, jako różnicę objętości nierówności powierzchni początkowej i powierzchni zakładanej do uzyskania oraz objętości materiału wynikającej z przesunięcia zarysu powierzchni w kierunku rdzenia. Rysunek 4 przedstawia sposób określenia wielkości do obliczenia wartości syntetycznego nadatku obróbkowego.



Rys. 4. Szkic przedstawiający wielkości umożliwiające obliczenie wartości syntetycznego nadatku obróbkowego: a) profil powierzchni początkowej, b) profil powierzchni po mikrowygładzaniu, c) pole profilu  $A_0$  uformowane w prostokąt o wysokości  $y_0$ , d) pole profilu  $A_1$  uformowane w prostokąt o wysokości  $y_1$

W nowym sposobie, proponowanym przez autora, do obliczenia objętości materiału do usunięcia należy przyjąć, że:

$$a_n = y_0 + a - y_1,$$

Dla przedmiotu walcowego o średnicy  $d_p$  i długości  $L_p$  objętość materiału do usunięcia określa zależność:

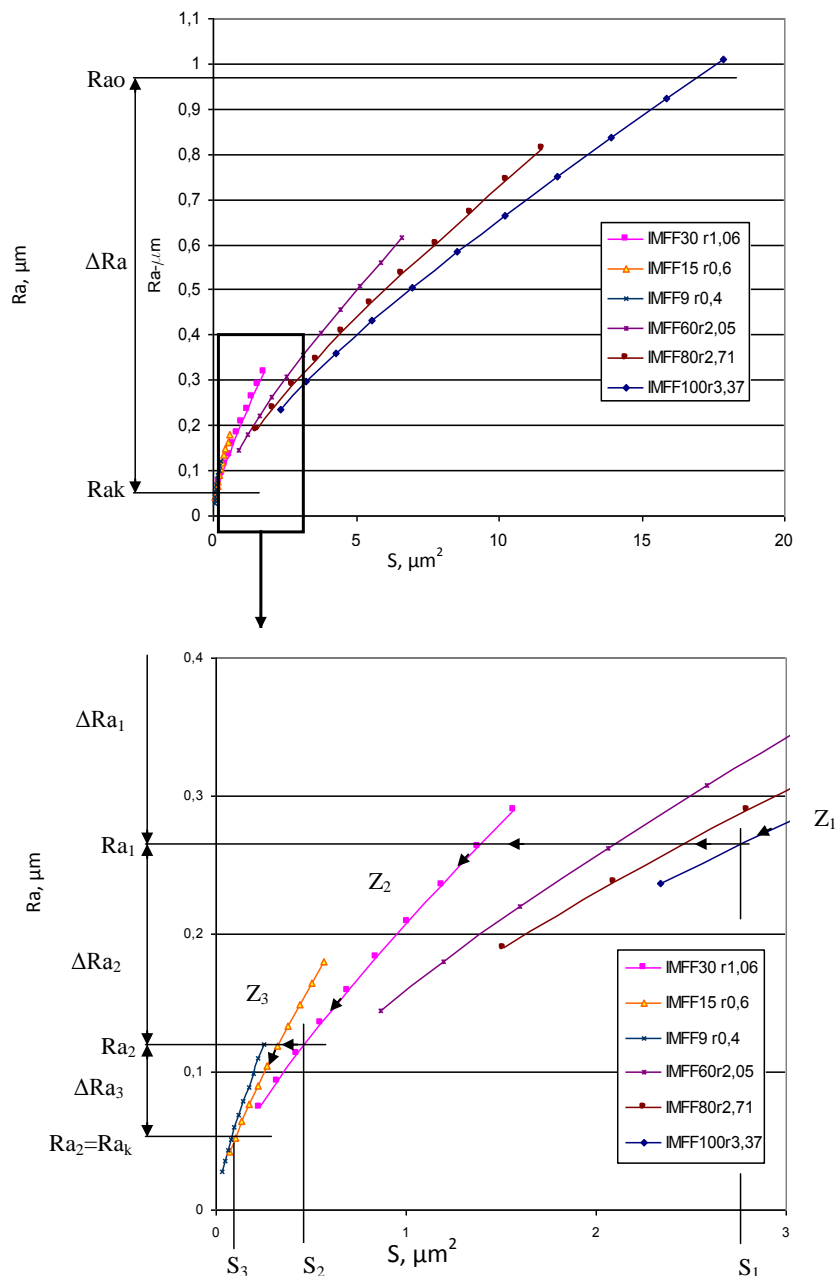
$$V_n = \pi \cdot d_p \cdot L_p \cdot a_n = \pi \cdot d_p \cdot L_p (y_0 + a - y_1).$$

#### 4.1.4. Podstawy doboru charakterystyki taśmy ścierniej

Doboru rodzaju oraz liczby foliowych taśm ściernych dokonuje się na podstawie podziału wartości różnicy parametru  $Ra$  powierzchni przed i po obróbce. Charakterystyki zdolności wygładzających taśm opracowano z uwzględnieniem obliczonych średnich wartości promieni zaokrąglenia wierzchołków ziaren i ich zagłębień w materiał obrabiany, co ujęto w jednej wielkości – polu przekroju warstwy skrawanej pojedynczym ziarnem.

Rysunek 5 przedstawia schemat do określania podziału wartości zmniejszenia parametru  $Ra$  powierzchni obrobionej  $\Delta Ra$  na ubytki cząstkowe  $\Delta Rai$ , realizowane w kolejnych zabiegach mikrowygładzania  $Z_i$  i pola przekroju warstwy skrawanej jednym ziarnem  $S$  dla najniższych wartości  $Rai$ , uzyskiwanych przy zastosowaniu taśmy w  $i$ -tym zabiegu.

Zabieg  $Z_1$  realizowany z użyciem taśmy IMFF100 AO powinien zapewnić wartość  $Ra_1$  w warunkach, gdy pole przekroju warstwy skrawanej jednym ziarnem wynosi  $S_1$ . Zabieg  $Z_2$  realizowany z użyciem taśmy IMFF30 AO powinien zapewnić wartość  $Ra_2$  w warunkach, gdy pole przekroju warstwy skrawanej jednym ziarnem wynosi  $S_2$ , a zabieg  $Z_3$  realizowany z użyciem taśmy IMFF15 AO powinien dać wartość  $Ra = Ra_3 = Ra_k$  i dla  $S = S_3$ . Zmniejszenie wartości  $Ra$  uzyskane w kolejnych zabiegach mikrowygładzania wynoszą  $\Delta Ra_1, \Delta Ra_2, \Delta Ra_3$ .

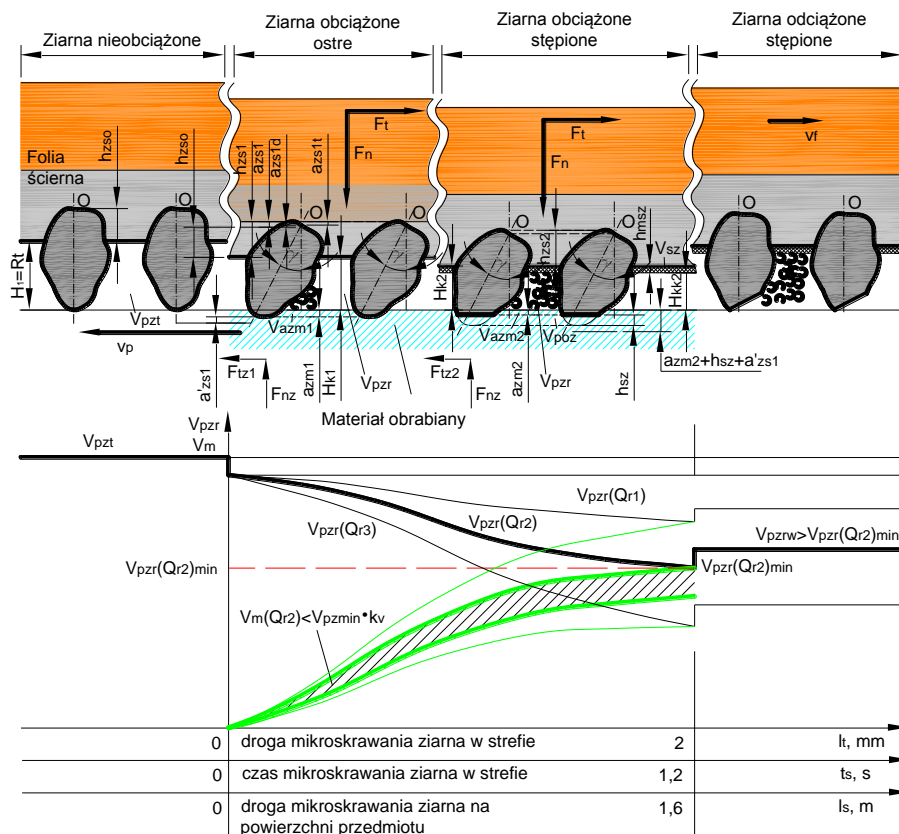


Rys. 5. Schemat do określania sposobu podziału zakresu zmian parametru  $Ra$  powierzchni ( $\Delta Ra$ ) na składowe zmniejszenia wartości parametru  $Ra_i$  ( $\Delta Ra_i$ ) uzyskiwane w kolejnych zabiegach mikrowygładzania  $Z_i$  w funkcji pola przekroju warstwy skrawanej jednym ziarnem  $S$

#### 4.1.5. Podstawy wyznaczania potencjału obróbkowego folii ściernych

Wyznaczenia potencjału obróbkowego folii ściernych, zdefiniowanego jako efektywna pojemność przestrzeni międzyziarnowych, wyrażana w  $\text{mm}^3$  materiału obrobionego na  $\text{mm}^2$  powierzchni folii, dokonano pomniejszając stosownie nominalną pojemność tych przestrzeni.

Na rysunku 6 przedstawiono schematycznie trzy charakterystyczne obszary taśmy, umożliwiające określenie pojemności przestrzeni międzyziarnowej  $V_{pzzrecz}$ .



Rys. 6. Schemat taśmy z ziarnami ściernymi kontaktującymi się z materiałem obrabianym oraz zmiany pojemności  $V_{pzr}$  dla materiałów o zróżnicowanych granicach plastyczności  $Q_r$  oraz dopuszczalne zmiany objętości materiału obrobionego  $V_m$  wzdłuż drogi obróbki i w czasie obróbki

Roboczą pojemność przestrzeni międzyziarnowej określa zależność:

$$V_{pzr} = V_{pzt} - V_{a'zs1} - V_{poz} - V_{azm2} - V_{sz},$$

gdzie:  $V_{poz}$  – pojemność przestrzeni międzyziarnowej utracona w wyniku starcia się wierzchołków ziaren o wartość  $h_{sz}$ .

Pojemność przestrzeni międzyziarnowej taśmy określa się zależnością:

$$V_{pzr} = k_{pz} \cdot V_{pzt},$$

gdzie:  $k_{pz}$  – doświadczalnie wyznaczony współczynnik zmniejszenia przestrzeni międzyziarnowej,  $k_{pz} \leq 1$ .

Z powyższych wzorów wynika zależność opisująca wartość współczynnika  $k_{pz}$ :

$$k_{pz} = 1 - \frac{V_{a'zs1} + V_{poz} + V_{azm2} + V_{sz}}{V_{pzt}}.$$

Szacuje się, że  $k_{pz} = 0,25-1,0$ .

Potencjał obróbkowy taśm został określony zależnością:

$$V_{po} = k_v \cdot V_{pzr} = k_v \cdot k_{pz} \cdot V_{pzt},$$

gdzie:  $k_v$  – współczynnik wypełnienia pojemności przestrzeni międzyziarnowej materiałem usuwającym w postaci wiórow (  $k_v \leq 1$  ).

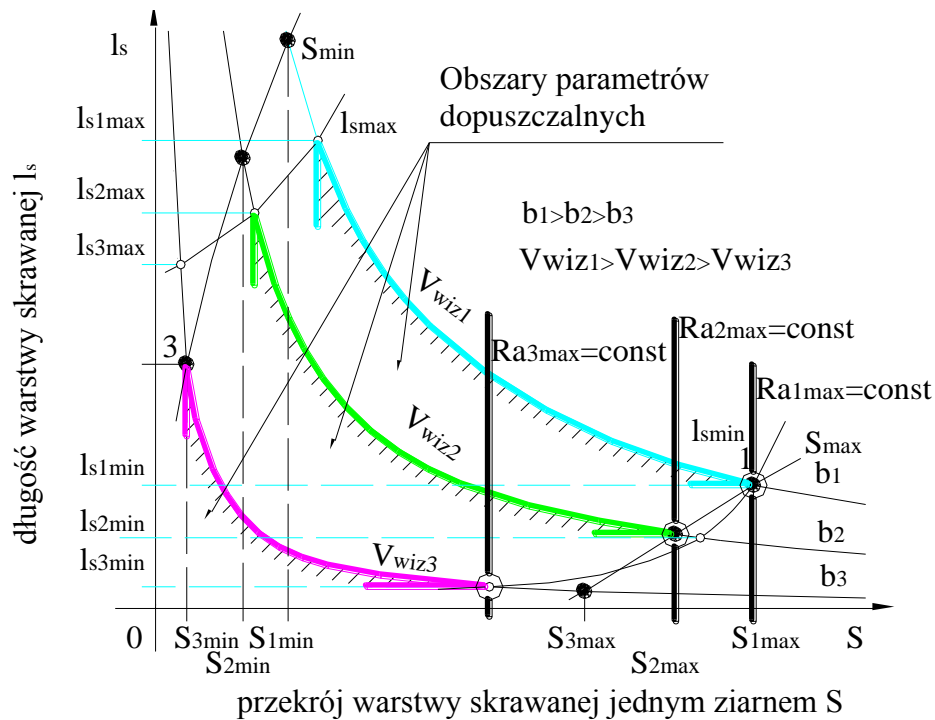


Na rysunku 7 przedstawiono schemat wyznaczania obszarów dopuszczalnych parametrów pracy ziaren dla trzech stałych objętości warstw skrawanych  $V_{wzi}$  przyjętych dla wymiarów ziaren  $b_1 > b_2 > b_3$ . Na tym rysunku przedstawiono także optymalne wartości  $S$  i  $l_s$  dla mikrowygładzania wstępnego realizowanego taśmami o dużym wymiarze ziaren (maksymalizacja wydajności – punkt 1), mikrowygładzania pośredniego (kompromis wymagań dotyczących wydajności i jakości powierzchni) i końcowego z zastosowaniem taśm drobnoziarnistych (minimalna wartość  $Ra$  – punkt 3).

Dla wszystkich powyższych przypadków doboru parametrów przyjęto warunek dotyczący wykorzystania potencjału obróbkowego folii w postaci:

$$\max: V_{wzi} = l_s \cdot S,$$

umożliwiający pełne wykorzystanie przestrzeni między ziarnami na produkty obróbki.



Rys. 7. Schemat do określania dopuszczalnych obszarów średniego przekroju i średniej długości warstwy skrawanej dla trzech granicznych objętości warstw skrawanych  $V_{wzi}$

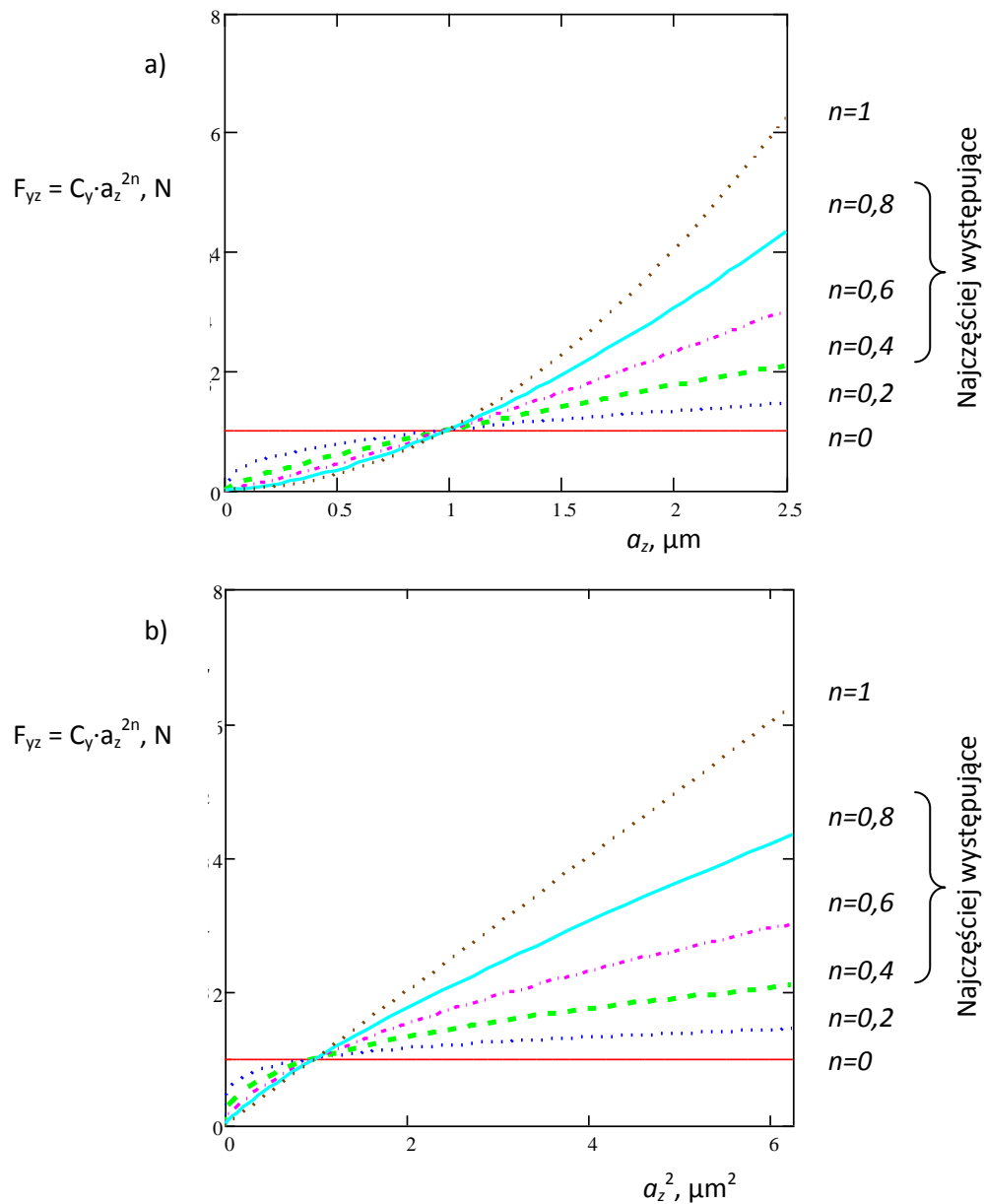
#### 4.1.6. Podstawy określenia obciążenia i zagłębienie ziarna w strefie obróbki

Z publikacji wynika, że zależność opisująca składową odporową siły skrawania ma postać:

$$F_{yz} = C_y \cdot a_z^{2n},$$

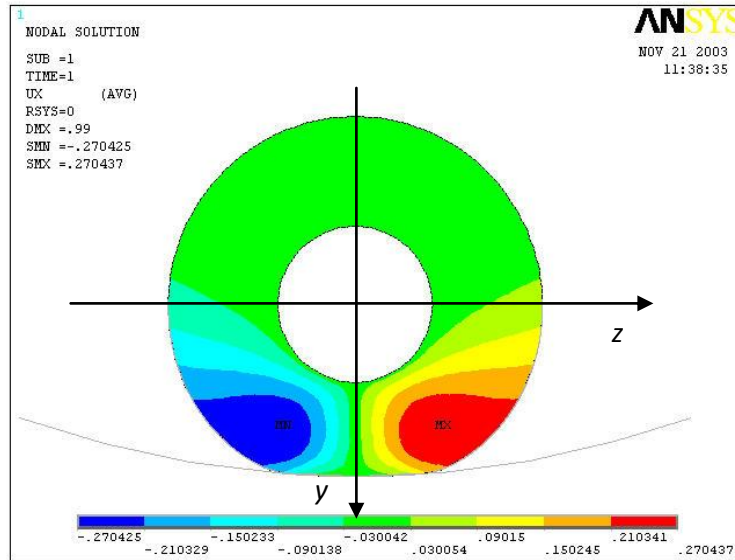
gdzie  $0 < n < 1$ .

Wartości sił  $F_{yz}$  w funkcji zagłębienia ziarna  $a_z$  i  $a_z^2$  dla wartości wykładnika  $n = 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1$  oraz stałej  $C_y = 1$ , przedstawiono na rysunku 8. Dla współczynników  $n < 0,5$  zmiany sił mają charakter degresywny, a dla  $n > 0,5$  – charakter progresywny, w funkcji zagłębienia  $a_z$ . Analizowane w funkcji kwadratu zagłębienia ziaren  $a_z^2$ , zmiany sił mają degresywny charakter dla  $n < 1$ .



Rys. 8. Wartości sił  $F_{yz}$  w funkcji zagłębienia ziarna  $a_z$  (a) i  $a_z^2$  (b) dla wykładnika  $n = 0-1$

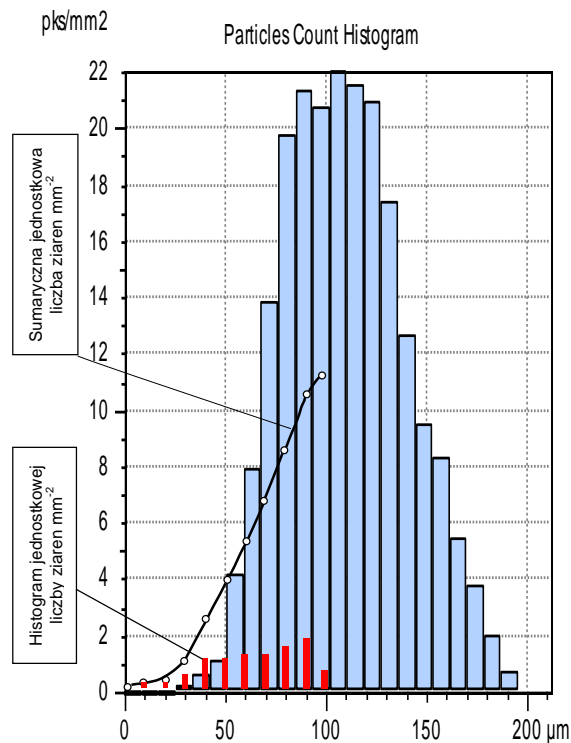
Rysunek 9 przedstawia rozkład odkształceń elastomeru rolki w osi z w strefie kontaktu rolki dociskowej z powierzchnią obrabianego otworu, dla określonych warunków obciążenia. Największe odkształcenia elastomeru ( $-0,27 \div +0,27 \text{ mm}$ ) rolki występują symetrycznie z lewej i z prawej strony rzędnej y, poza strefą kontaktu i poniżej dolnej powierzchni osi.



Rys. 9. Rozkład odkształceń elastomeru rolki w strefie kontaktu rolki dociskowej z powierzchnią obrabianego otworu dla wybranych warunków

#### 4.1.7. Podstawy określenia aktywności ziaren w strefie obróbki

Rysunek 10 przedstawia histogram wierzchołków na profilogramie powierzchni nieobciążonej taśmy IMFF80 AO z naniesionym histogramem liczby ziaren ściernych i skumulowaną (sumaryczną) jednostkową liczbą ziaren ściernych.



Rys. 10. Histogram wierzchołków na profilogramie powierzchni nieobciążonej taśmy IMFF80 AO z naniesionym histogramem liczby ziaren ściernych i sumaryczną jednostkową liczbą ziaren ściernych

Liczbę ziaren ściernych określono eksperymentalnie poprzez zliczenie liczby odcisków wykonanych przez ziarna ściernie taśmy na folii aluminiowej. Taśma była dociskana do folii aluminiowej przez podatne rolki dociskowe.

#### 4.1.8. Podstawy doboru parametrów kinematycznych procesu

Parametry kinematyczne każdego z zabiegów w procesie mikrowygładzania dobierano z wykorzystaniem objętości materiału do usunięcia i potencjału obróbkowego stosowanej folii ścierniej.

Objętość materiału do usunięcia w procesie wygładzania określa zależność:

$$V_n = V_{wiz} \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l = l_s \cdot S \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l,$$

wtedy

$$l_s = \frac{V_n}{S \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l},$$

gdzie:  $S$  – średni przekrój warstwy skrawanej przez jedno ziarno ściernie,  $z_f$  – liczba ziaren ściernych na powierzchni  $A_f$  folii ścierniej,  $k_z$  – współczynnik określający stosunek liczby ziaren wykonujących mikroskrawanie do całkowitej ich liczby w strefie kontaktu z przedmiotem obrabianym,  $k_l$  – współczynnik określający stosunek drogi mikroskrawania do teoretycznej drogi kontaktu ziarna z przedmiotem obrabianym podczas jego przejścia przez strefę obróbki.

W tabelicy 3 zestawiono równania długości torów ziarna ściernego oraz równania prędkości obwodowej przedmiotu obrabianego dla różnych odmian kinematycznych mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych foliowymi taśmami ściernymi.

**Tablica 3.** Równania długości torów ziarna ściernego oraz równania prędkości obwodowej przedmiotu obrabianego dla różnych odmian kinematycznych mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych foliowymi taśmami ściernymi

Nr odm. kin.	Równania długości toru ziarna	Równania prędkości obwodowej
1	$l_{s1} = r_p \cdot \alpha_M$	$v_{o1} = v_f \left( \frac{V_n}{2a \cdot S \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l} - 1 \right)$
2	$l_{s2} = \int_0^{\alpha_M} \sqrt{r_p^2 + \left( A \frac{\omega_A}{\omega} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega_A}{\omega} \right)^2} d\alpha$ Obliczenie długości toru możliwe metodami przybliżonymi dla granicy całkowania: $\alpha_M = \frac{2a}{r_p} \cdot \left( 1 + \frac{v_o}{v_f} \right)$	$l_{si} = \frac{V_n}{S \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l}$ Obliczenie $v_{o2}$ możliwe metodami numerycznymi z układu równań $l_{s2}$ i $l_{si}$
3	$l_{s3} = \frac{\alpha_M}{\omega} \cdot \sqrt{r_p^2 \cdot \omega^2 + v_p^2}$	$v_{o3} = \sqrt{\frac{V_n^2 \cdot v_f^2}{(2a)^2 \cdot S^2 \cdot z_f^2 \cdot k_z^2 \cdot k_l^2} - v_p - v_f}$
4	$l_{s4} = \int_0^{\alpha_M} \sqrt{r_p^2 + \frac{1}{\omega^2} \left( v_p + A \cdot \omega_A \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega_A}{\omega} \right)^2} d\alpha$ Obliczenie długości toru możliwe metodami przybliżonymi dla granicy całkowania: $\alpha_M = \frac{2a}{r_p} \cdot \left( 1 + \frac{v_o}{v_f} \right)$	$l_{si} = \frac{V_n}{S \cdot z_f \cdot k_z \cdot k_l}$ Obliczenie $v_{o4}$ możliwe metodami numerycznymi z układu równań $l_{s4}$ i $l_{si}$

$\omega_o$  – prędkość kątowa punktu M wynikająca z obrotów  $n$ , zaś  $\omega_f$  – z przesuwu taśmy z prędkością  $v_f$ .

Dla 1. odmiany kinematycznej (mikrowygładzanie wgłębne) zależność określająca teoretyczną długość drogi kontaktu ziarna ściernego z powierzchnią przedmiotu obrabianego ma postać:

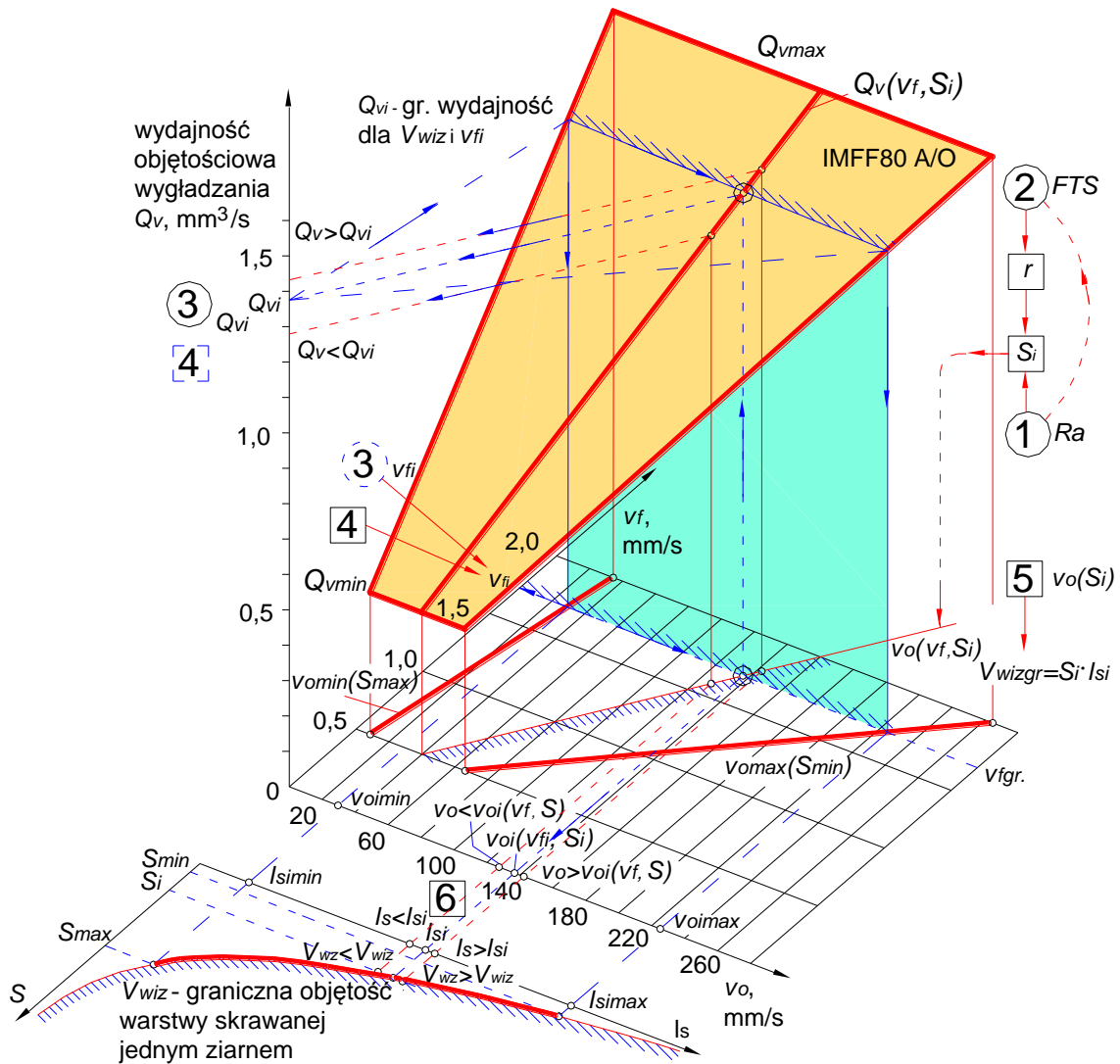
$$l_s = 2a \left( 1 + \frac{v_o}{v_f} \right)$$

Dla 3. odmiany kinematycznej zależność ta ma postać:

$$l_s = \frac{2a}{v_f} \sqrt{(v_o + v_f)^2 + v_p^2}$$

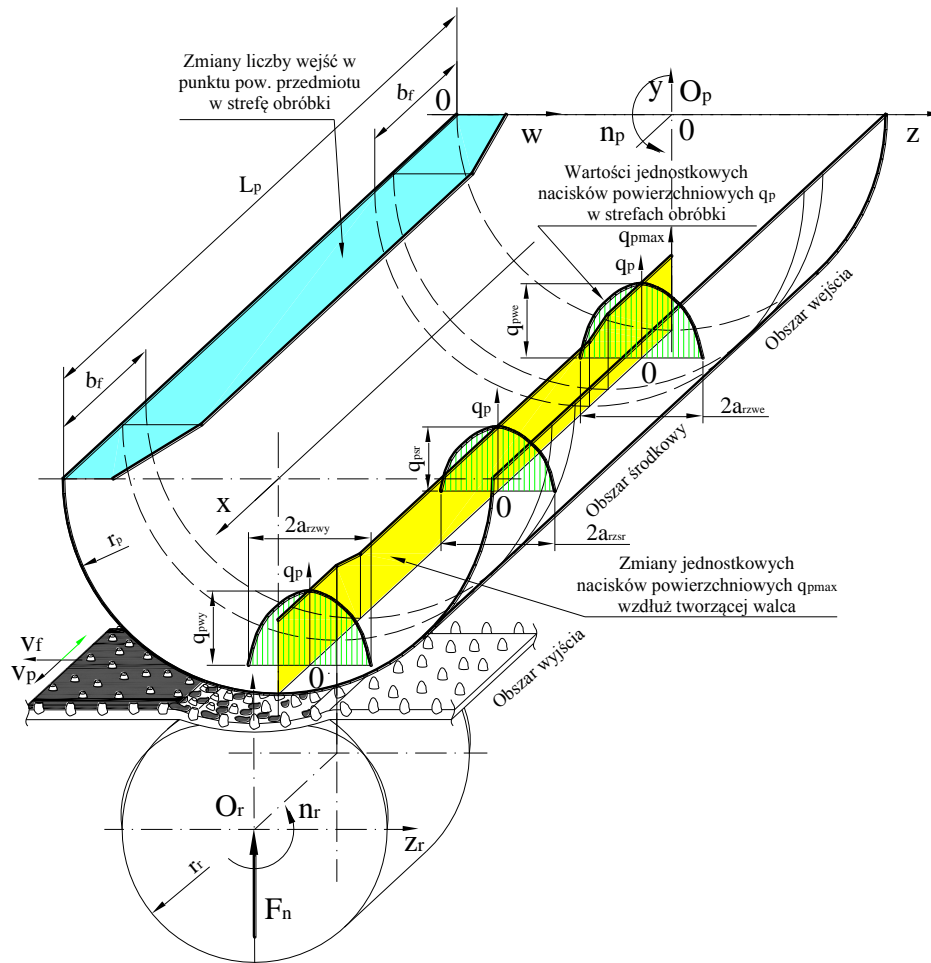
Dla odmian kinematycznych 2. i 4. wzory do obliczenia  $l_s$  podano w tablicy 3.

Na rysunku 11 przedstawiono zależność możliwej do uzyskania wydajności objętościowej mikrowygładzania  $Q_v$  od prędkości przesuwu taśmy  $v_f$  i prędkości obwodowej przedmiotu  $v_o$ , dla przekrojów warstw skrawanych od  $S_{min}$  do  $S_{max}$ ,



Rys. 11. Schemat do ilustracji metody doboru prędkości przesuwu taśmy  $v_f$  i prędkości obwodowej przedmiotu  $v_o$ , zapewniających maksymalizację wydajności objętościowej i wykorzystanie potencjału obróbkowego folii ścierniej (dla przekrojów warstw skrawanych od  $S_{min}$  do  $S_{max}$ , dla taśm IMFF o szerokości 25 mm i wymiarach ziaren z elektrokorundu 80  $\mu\text{m}$ )

Na rysunku 12 pokazano wykresy jednostkowych nacisków powierzchniowych  $q_p$  w strefach obróbki poszczególnych obszarów wałka, uzyskiwane przy docisku podatnym i wynikające z tej podatności zmiany rzeczywistej szerokości strefy obróbki  $2a_{rz}(w_e, s_r, w_y)$ , oraz maksymalne wartości jednostkowych nacisków powierzchniowych  $q_{pmax}$  wzdłuż tworzącej wałka i liczbę wejść w analizowanym punkcie powierzchni obrabianej w strefę obróbki. Objętościowa wydajność obróbki jest wynikiem zagłębienia ziaren oraz liczbą kontaktów rozpatrywanego obszaru powierzchni przedmiotu z powierzchnią folii. Może wystąpić większa intensywność obróbki w obszarze środkowym i tam uzyskać się średnicę wałka mniejszą jak w obszarach krańcowych, ale może także zachodzić relacja odwrotna. Niezbędne jest dokonywanie pomiarów średnicy obrabianego przedmiotu po wykonaniu zabiegu i stosowne reagowanie w kolejnych zabiegach, dla uzyskania oczekiwanej prostoliniowości tworzącej wałka.

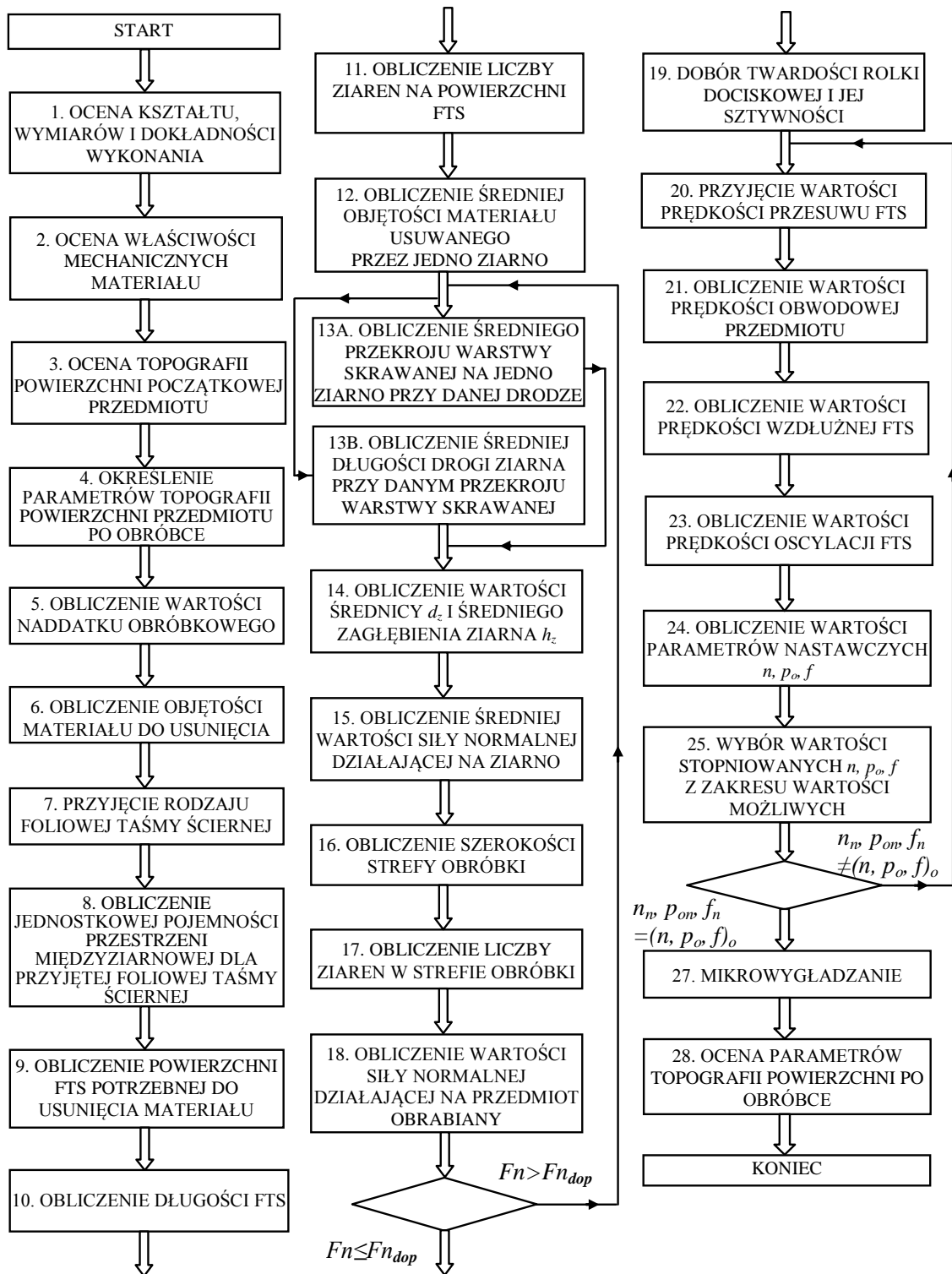


Rys. 12. Wartości jednostkowych nacisków powierzchniowych  $q_p$  w analizowanych obszarach i wzdłuż tworzącej przedmiotu obrabianego oraz zmiany liczby wejść analizowanych punktów w strefę obróbki

#### 4.1.9. Algorytm doboru parametrów i warunków obróbki

Na rysunku 13 przedstawiono algorytm doboru parametrów i warunków mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi, któremu nadano akronim ADEPT, rozwijany jako Algorytm Doboru Efektywnych Parametrów Technologicznych.

Algorytm wykorzystuje ilościowe określenie potencjału obróbkowego folii, objętości materiału do usunięcia podczas zabiegu i wielozabiegowej operacji oraz umożliwia racjonalne dobieranie parametrów kinematycznych, siły docisku rolek o znanej podatności i innych warunków obróbki. Procedurę wyznaczenia warunków i parametrów geometryczno-kinematycznych pojedynczego zabiegu mikrowygładzania zewnętrznej powierzchni próbki walcowej foliową taśmą ścierną dla 4. odmiany kinematycznej, przeciwbieżnej zawarto w monografii.



Rys. 13. Algorytm doboru parametrów i warunków mikrowygładzania powierzchni



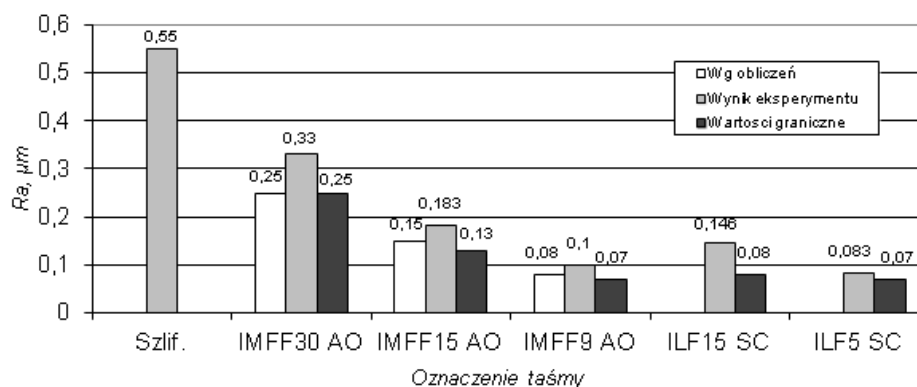
#### 4.1.10. Badania doświadczalne procesu mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi

Celem badań była doświadczalna weryfikacja opracowanych założeń i modeli oraz procedur doboru parametrów obróbki i cech narzędzi, zapewniających wykorzystanie potencjału obróbkowego oraz minimalizacji czasu łącznego cyklu zabiegów, prowadzących do uzyskania wymaganej chropowatości powierzchni.

Badania prowadzono z wykorzystaniem głowic opracowanych i wykonanych w Politechnice Koszalińskiej, które zaprezentowano w rozdziale 5 autoreferatu, w tym małowabarytowej głowicy do wałków GM-1, która została zbudowana tam, jako pierwsza.

Stosowano foliowe taśmy ściernie IMFF o wymiarach ziaren od 30 do 9  $\mu\text{m}$  z elektrokorundu AO oraz taśmy ILF o wymiarach ziaren od 15 i 5  $\mu\text{m}$  z węgla krzemu SC i taśmy IDLF o wymiarach ziaren diamentowych 30 i 15  $\mu\text{m}$ .

Na rysunku 14 przedstawiono zakładane, uzyskane i graniczne parametry chropowatości powierzchni otworów po pięciu zabiegach mikrowygładzania FTS głowicą GO-2 dla parametrów i warunków określonych jak dla mikrowygładzania otworów głowicą GO-1 oraz częstotliwości oscylacji  $f = 400 \text{ min}^{-1}$ .

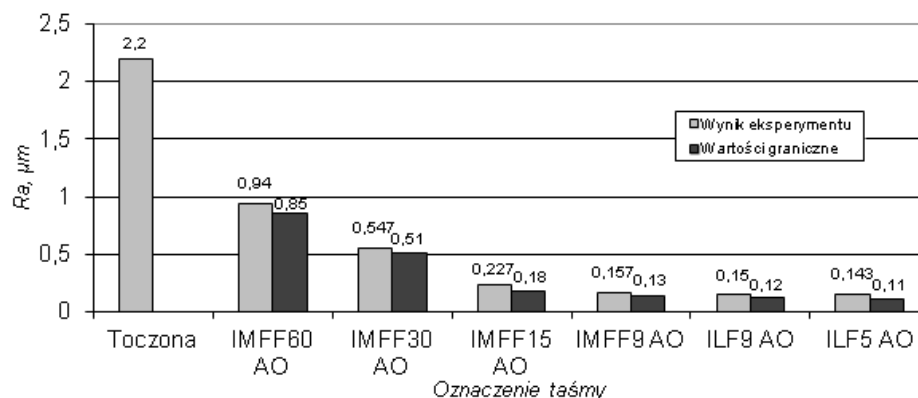


Rys. 14. Porównanie zakładanych, uzyskanych i granicznych parametrów chropowatości powierzchni otworów po zabiegach mikrowygładzania FTS głowicą GO-2 dla stali R35

Uzyskano najniższe wartości  $R_a = 0,083 \mu\text{m}$ , a możliwe do uzyskania dla przyjętych warunków określono na poziomie  $R_a = 0,07 \mu\text{m}$ .

Otrzymane wartości parametru  $R_a$  w trzech kolejnych zabiegach są wyższe od obliczonych o 0,08, 0,033 i 0,02  $\mu\text{m}$ , co wynika z niższej od zakładanej intensywności usuwania nierówności w pierwszym zabiegu. Mimo uzyskania w zabiegach 2 i 3 wartości  $\Delta R_a$  bliskich zakładanym, nie uzyskano oczekiwanej wartości  $R_a$  po trzech zabiegach. W kolejnych zabiegach taśma ILF15 SC spowodowała istotne zwiększenie wartości  $R_a$ , a ILF5 SC znacznie zmniejszyła chropowatość powierzchni obrobionej.

Na rysunku 15 pokazano uzyskane wartości parametrów chropowatości powierzchni cylindrów po pięciu zabiegach mikrowygładzania FTS głowicą GO-4, dla próbek o średnicy otworu po toczeniu 53,6 mm i długości obróbki 11 mm, wykonanych z nie ulepszonej stali 45. Stosowano taśmy firmy 3M typu IMFF o ziarnie z elektrokorundu 60, 30, 15 i 9  $\mu\text{m}$ , o szerokości 12 mm i typu ILF o ziarnie z elektrokorundu 9 i 5  $\mu\text{m}$ , o szerokości 1/2". Parametry i warunki obróbki dobierano indywidualnie dla każdego zabiegu.

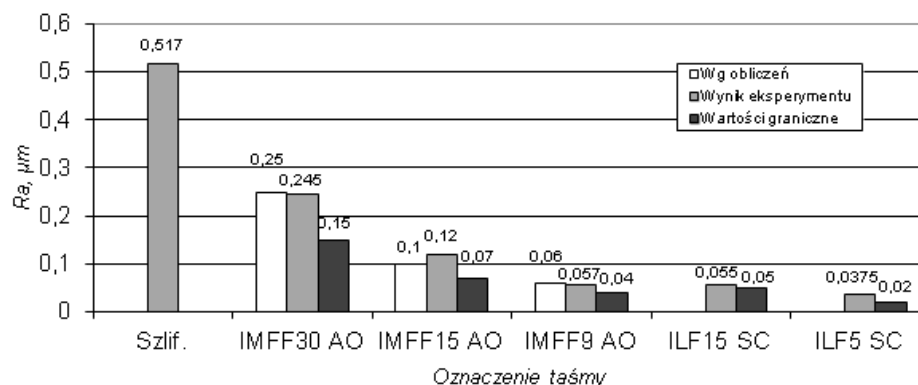


Rys. 15. Parametry chropowatości powierzchni cylindrów po zabiegach mikro-wygładzania FTS głowicą GO-4 dla stali C45 (45) nie ulepszonej

Wartości parametrów wynosiły:  $v_o = 30$  m/min ( $n = 180$  min<sup>-1</sup>),  $v_p = 0$  mm/min,  $v_f = 159$  mm/min,  $f = 180$  min<sup>-1</sup>,  $F_n = 16-30$  N,  $i = 0$ ,  $t \geq 60$  s, łączny czas maszynowy operacji wynosił 450 s.

Stosowano rolki dociskowe o średnicy 12 mm, długości czynnej 11 mm i twardości elastomeru 70, 50 i 30 Sh. Mikrowygładzanie prowadzono bez chłodzenia. Uzyskano najniższe wartości  $R_a = 0,143$  µm dla taśmy IMFF9 AO, a możliwe do uzyskania dla przyjętych warunków określono na poziomie  $R_a = 0,011$  µm.

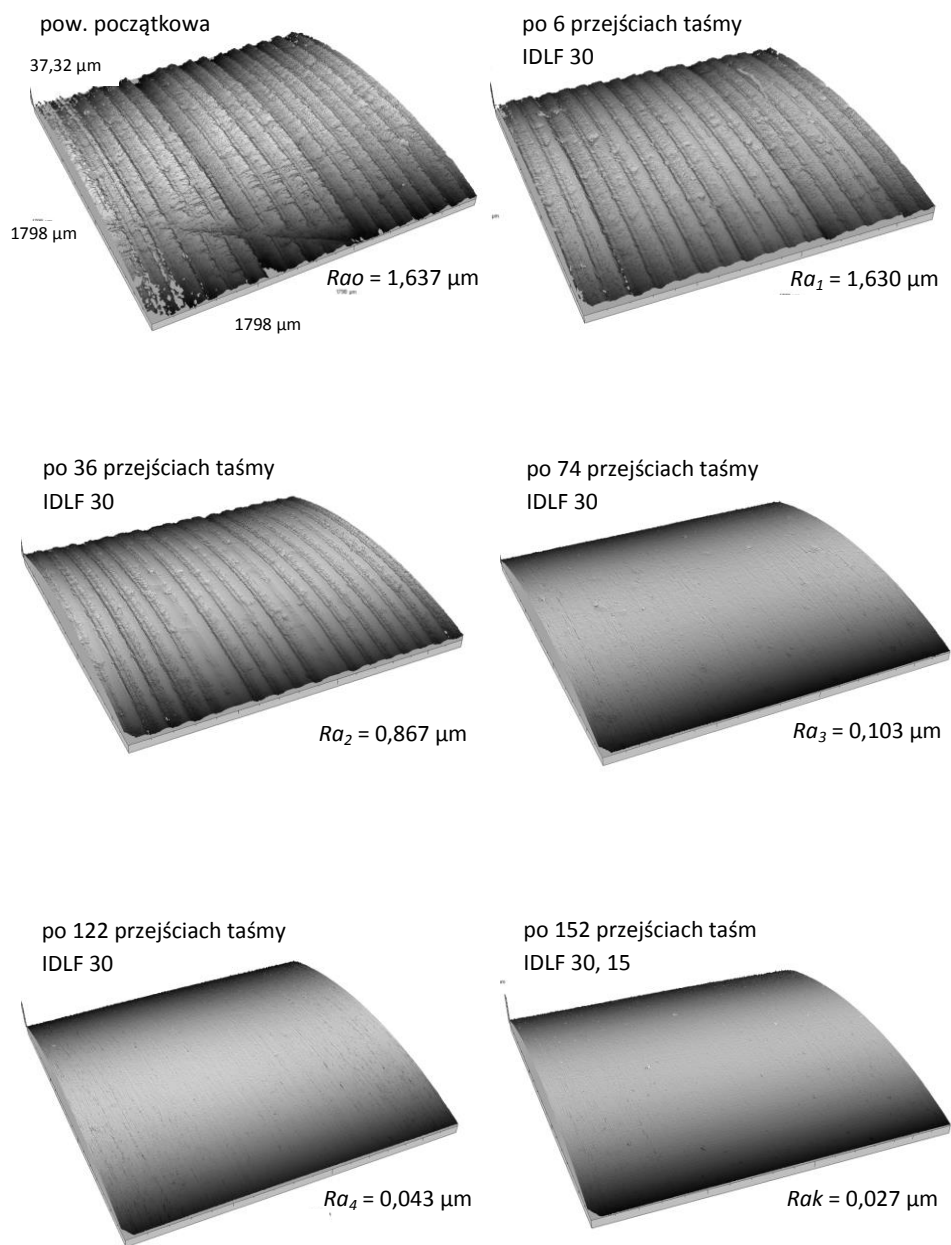
Na rysunku 16 przedstawiono zakładane, uzyskane i graniczne (możliwe do uzyskania) parametry chropowatości powierzchni walca po zabiegach mikrowygładzania FTS dla próbek o średnicy 76,8 mm i długości obróbki 60 mm, wykonanych ze stali 45 (C45) o twardości 40HRC. Stosowano taśmy typu IMFF 30, 15, 9 AO o szerokości 25 mm i typu ILF 15, 5 SC szerokości 1". Parametry i warunki obróbki dobierano indywidualnie dla każdego zabiegu.



Rys. 16. Porównanie zakładanych, uzyskanych i granicznych parametrów chropowatości powierzchni wałka po zabiegach mikrowygładzania FTS głowicą GW-1 dla stali C45 (45) - 40HRC

Stosowano rolki dociskowe o średnicy 75 mm, długości czynnej 22 mm i twardości elastomeru 50 i 90 Sh. Mikrowygładzanie prowadzono bez chłodzenia. Rozpiętości między obliczonymi i uzyskanymi wartościami parametru  $R_a$  są bardzo małe, co oznacza, że dobór parametrów i warunków obróbki dla poszczególnych zabiegów był dokonany w sposób metodyczny. Uzyskano najniższe wartości  $R_a = 0,0375$  µm, a możliwe do uzyskania dla przyjętych warunków określono na  $R_a = 0,02$  µm.

Na rysunku 17 pokazano profilogramy 3D powierzchni wałka ceramicznego po sekwencyjnym mikrowygładzaniu foliowymi taśmami ściernymi diamentowymi typu IDLF. Są to typowe dla mikrowygładzania obrazy topografii, z długimi śladami ziaren ściernych i obszarami powierzchni typu plateau, o korzystnych cechach eksploatacyjnych.



Rys. 17. Profilogramy 3D powierzchni wałka ceramicznego W7 po sekwencyjnym mikrowygładzaniu foliowymi taśmami ściernymi diamentowymi typu IDLF

## 4.2. Znaczenie naukowe i aplikacyjne wyników

Z analizy zgromadzonej literatury, analizy teoretycznej, opracowanego programu doboru parametrów obróbki oraz badań procesu mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi wyprowadzono 18 wniosków poznawczych i 6 wniosków utylitarnych oraz określono w 4 punktach zakres dalszych prac.

Z wniosków poznawczych wynika, że w monografii zawarto naukowe i technologiczne podstawy procesów mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi. Potwierdzono właściwości metody obróbki i korzystnych cech folii ściernych w zastosowaniach do obróbki wykończeniowej, zwłaszcza w zaawansowanych technicznie, nowoczesnych gałęziach przemysłu, jak motoryzacyjny, lotniczy i elektromaszynowy. Algorytm Doboru Efektywnych Parametrów Technologicznych (ADEPT) wykorzystujący ilościowe określanie potencjału obróbkowego folii, objętości materiału do usunięcia podczas zabiegu i wielozabiegowej operacji oraz umożliwiający racjonalne dobieranie parametrów kinematycznych, siły docisku rolek o znanej podatności i innych warunków obróbki, pozwala na świadome sterowanie procesami mikrowygładzania.

Z wniosków utylitarnych można wyprowadzić konkluzję o szczególnie korzystnych cechach metody, które będą powodować rozszerzenie jej zastosowań, a opracowane w pracy procedury, algorytm ADEPT i programy obliczeniowe pracujące w środowisku Mathcad, będą umożliwiać szybkie dobieranie optymalnych parametrów mikrowygładzania. Korzystnym będzie wspomaganie tego stanu kolejnymi publikacjami naukowymi.

Kierunki dalszych prac powinny dotyczyć pogłębiania teoretycznych podstaw procesu mikrowygładzania, między innymi poprzez symulacje komputerowe realizujące model mikrowygładzania w jego wszystkich odmianach kinematycznych i zróżnicowanych topografiach nasypów foliowych taśm ściernych zwłaszcza nieciągłych i zorientowanych przestrzennie oraz badań procesów obróbki foliami ILF i IDLF.

## 5. OPIS OSIĄGNIĘĆ W ZAKRESIE PODSTAW BUDOWY URZĄDZEŃ DO MIKROWYGŁADZANIA POWIERZCHNI FOLIOWYMI TAŚMAMI ŚCIERNYMI

### 5.1. Podstawy konstrukcji urządzeń do mikrowygładzania

Urządzenia do mikrowygładzania powierzchni technicznych foliowymi taśmami ściernymi posiadają zróżnicowane poziomy zaawansowania konstrukcyjnego, w których można wyróżnić:

1. Mikrowygładzarki uniwersalne,
2. Mikrowygładzarki specjalizowane, jedno lub wielogłowicowe,
3. Układy obróbkowe zbudowane z wykorzystaniem uniwersalnych tokarek, frezarek i szlifierek do wałków,
4. Układy obróbkowe zbudowane z wykorzystaniem specyficznych stanowisk technologicznych, jak stanowiska próżniowe i inne.

Mikrowygładzarki i układy obróbkowe posiadają dwa strukturalne układy konstrukcyjne:

1. Układ napędu przedmiotu obrabianego oraz posuwu suportu narzędziowego,
2. Głowice lub przyrządy do przesuwania i oscylacji taśmy.

Układy napędu przedmiotu obrabianego oraz posuwu suportu narzędziowego są typowe dla obrabiarek skrawających do metali i są projektowane według znanych zasad.

Do realizacji ruchów roboczych taśmy stosowane są głowice lub przyrządy obróbkowe i występują w każdym z wymienionych urządzeń. Głowice są wyposażone we własne układy napędowe i sterujące przemieszczaniem taśmy, natomiast przyrządy wykorzystują do tego napędy obrabiarek, na których są zainstalowane. Mikrowygładzanie otworów w elementach obrotowych wymaga wprowadzania taśmy i końcówki roboczej do otworu, co ogranicza jej wielkość oraz jest przyczyną innych ograniczeń konstrukcyjnych i trudności w realizacji zabiegu. Specyficzne problemy występują podczas mikrowygładzania otworów w elementach nieobrotowych, gdyż głowica wykonuje również główne ruchy robocze – obrotowy i posuwowy - co dodatkowo komplikuje jej konstrukcję.

Teoretyczne podstawy konstruowania głowic wynikają z zależności opisujących procesy i zabiegi mikrowygładzania zawarte w monografii. Na rysunku 13 przedstawiono algorytm opracowany z wykorzystaniem tych zależności. Umożliwia on obliczenie wartości wielkości charakteryzujących układy konstrukcyjne urządzeń obróbkowych, jak prędkość przesuwu taśmy ścierniej, częstotliwość oscylacji taśmy, siła normalna dociskająca taśmę do powierzchni obrabianej, charakterystyka podatnościowa elementów dociskowych i inne.

Analiza odpowiednio licznego zbioru wartości, obliczonych dla wybranych rodzajów materiałów obrabianych, zakresów zakładanych zmian parametrów topografii powierzchni przed i po obróbce, charakterystyk foliowych taśm ściernych, wybranych właściwości elementów dociskających taśmę, pozwoliła na przyjęcie zakresów wartości wielkości charakteryzujących projektowane urządzenie. Pozwala także na określenie właściwości eksploatacyjnych urządzenia, jak liczba zabiegów możliwych do wykonania taśmą znajdującą się na rolce oferowanej przez dystrybutora, czasu eksploatacji rolki, liczby rolek taśmy zużywanej w określonym czasie, czasu potrzebnego na wymianę rolek z taśmą, potencjału obróbkowego taśmy na rolce czy wydajności powierzchniowej obróbki. Obliczone wartości sił stycznych w strefie obróbki powinny być zwiększone o wartości sił wynikających z tarcia w węzłach układu przewijania taśmy oraz o wartości siły hamującej rolkę taśmy nowej. Zsumowana wartość siły stycznej umożliwia określenie wartości momentów obrotowych rolki nawijającej, a po uwzględnieniu prędkości przesuwania taśmy – mocy układu napędu taśmy. Wartość siły stycznej do toru ziarna, wynikająca z ruchu oscylacyjnego i prędkości taśmy, wpływa na wartości momentów i mocy układu oscylacji taśmy.

Napęd ten może być realizowany kilkoma sposobami, jako napęd mechaniczny, elektromagnetyczny lub piezoelektryczny. O wyborze rodzaju napędu może przesądzić wartość amplitudy lub częstotliwości ruchu możliwych do uzyskania w danym sposobie.

Dla zapewnieniu wysokiej jakości obróbki, ważnym zagadnieniem jest projektowanie elementów dociskających taśmę do powierzchni obrabianej. Najczęściej są to obrotowe rolki dociskowe z warstwą elastomeru o zróżnicowanych twardościach, ale mogą być stałe dociski sztywne lub o ograniczonej podatności, dopasowane do powierzchni obrabianej. Warstwa elastomeru może mieć jednakowe, albo lokalnie zróżnicowane właściwości, które mogą korzystnie wpływać na kształtowanie mikrotopografii powierzchni oraz na efektywność obróbki. Kierunek oscylacji względem tworzącej powierzchni walcowej, wybierany tradycyjnie, jako równoległy do tworzącej, może być modyfikowany i oscylacje mogą odbywać się wzdłuż linii śrubowej po powierzchni. Wtedy korzystny byłby docisk stały dopasowany, wykonany z tworzywa sztucznego. Zagadnienia te mogą być przedmiotem analiz i badań naukowych oraz efektownych aplikacji.

Konstruktorzy urządzeń do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi poszukują wytycznych do jednoznacznego lub funkcyjnego określenia zależności, dla opracowania założeń konstrukcyjnych i projektu wstępnego urządzenia. Zwykle kolejnym etapem projektowania jest optymalizacja parametrów i rozwiązań konstrukcyjnych.

Podstawowe zależności w pomocne projektowaniu głowic do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi przedstawiono w ujęciu syntetycznym w tabelicy 4. Opracowano je dla głowic do wałków oraz do otworów w elementach obrotowych i nieobrotowych. Zawierają 25 wielkości i cech głowic oraz 6 wielkości charakteryzujących obrabiarki, na których głowice są montowane. Zdeterminowane zakresy wartości dla kilku wartości podano na podstawie literatury cytowanej w monografii oraz jako wynik własnych opracowań.

Wytycznymi do opracowania konstrukcyjnego głowic są: ich przeznaczenie do rodzaju produkcji oraz zakres wymiarów powierzchni obrabianych. Wynikają z nich wymiary możliwych do zastosowania foliowych taśm ściernych, to jest szerokość taśmy i jej długość na rolce. Dla głowic do otworów dodatkowym ograniczeniem jest minimalna średnica otworu, w którym należy pomieścić końcówkę roboczą głowicy.

Z przyjętych wymiarów strefy obróbki, czyli strefy kontaktu taśmy ścierniej z przedmiotem obrabianym, wynika wiele wielkości procesu mikrowygładzania, Dla głowic wynikają z niej zakresy sił obróbki, charakterystyki rolek dociskowych oraz moce i momenty występujące w układach napędowych. Zakresy prędkości przesuwu oraz amplitudy i częstotliwości oscylacji taśmy dobiera się z przedziałów podanych w tabelicy. Układy zasilania i sterowania elektrycznego i pneumatycznego powinny zapewniać bezstopniową regulację parametrów, a nawet ich programowanie. Uniwersalność głowic do wałków można uzyskać poprzez wyposażenie ich w dodatkowe komplety rolek, tarcz i tulei dostosowanych do taśm o innych szerokościach. Głowice powinny być łatwe w obsłudze, estetyczne, o możliwie małych wymiarach gabarytowych i małej masie.

Zakresy wielkości charakteryzujących obrabiarki, na których głowice są montowane powinny umożliwić pomieszczenie w przestrzeni obróbkowej przedmiotów przewidzianych do obróbki, nadać przedmiotom określoną prędkość obrotową, a suportom z głowicami – określoną prędkość przesuwu z wymaganymi mocami i momentami obrotowymi. Korzystne byłyby bezstopniowe regulacje prędkości. Układy chłodzenia powinny zapewnić podawanie chłodziwa o wysokiej czystości i odpowiednich parametrach hydrodynamicznych.

**Tablica 4.** Podstawowe zależności do projektowania głowic do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi w ujęciu syntetycznym

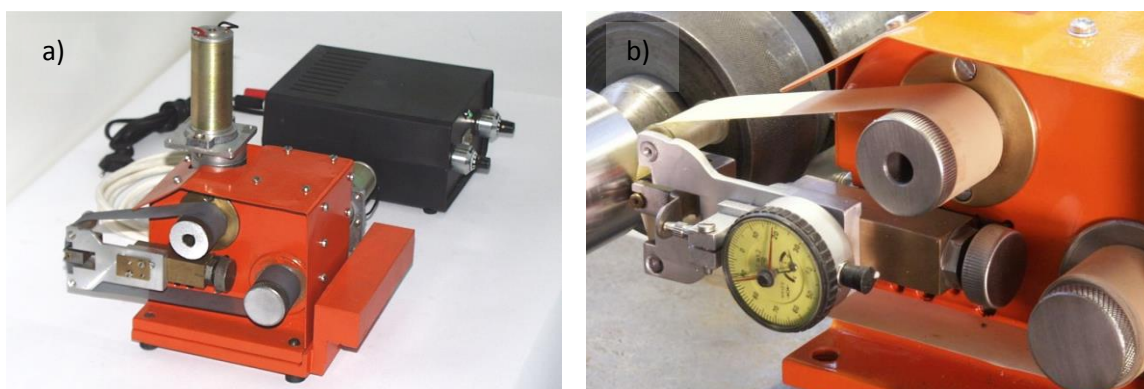
Lp.	Wielkość, cecha	Głowice do wałków	Głowice do otworów w elementach obrotowych	Głowice do otworów w elementach nieobrotowych
1	Przeznaczenie głowicy	produkcja seryjna	produkcja jednostkowa i seryjna	produkcja jednostkowa
2	Wymiary powierzchni obrabianej $d_p \times L_p$	decyzyjna $d_{wmax}$	decyzyjna $d_{omin}$ i $L_{pmax}$	decyzyjna $d_{omin}$ i $L_{pmax}$
3	Szerokość taśmy ścierniej $b_f$	$b_f \sim L_p$ lub $b_f = d_{wsr}$		
4	Długość taśmy na rolce $L_{rf}$	15 m lub 45 m	0,5-2 (15) m	0,5-2 m
5	Wymiary strefy obróbki $b_s \times 2a$	$b_s = (0,9-0,95)b_f$ $2a_{max} = (0,20-0,25)d_r$		
6	Siła docisku taśmy $F_n$	$F_n = q_a \cdot b_s$ , $q_a = 1-5$ N/mm		
7	Siła styczna w przesuwaniu taśmy $F_t$	$F_t = \mu_s \cdot F_n$ , $\mu_s = 0,8-1,0$		
8	Siła styczna w ruchu oscylac. $F_{tosc}$	$F_{tosc} = \mu_s \cdot F_n$		
9	Charakterystyka rolek dociskowych (wyznaczane eksperymentalnie)	$d_{rw} < d_{wmin}$ , 30-90 Sh $d_{rw} = 75$ mm; $b_r = 12; 7;$ 25,4; 50,8 mm (32-2650 N/mm)	$d_{ro} < 1/5 d_{omin}$ 30-90 Sh $d_{ro} = 12$ mm; $b_r = 12,7$ mm (11-110 N/mm)	$d_{ro} < 1/5 d_{omin}$ 30-90 Sh $d_{ro} = 12$ mm; $b_r = 12,7$ mm (11-110 N/mm)
10	Prędkość przesuwania taśmy $v_f$	$v_f = 10-150$ mm/min		
11	Amplituda oscylacji taśmy $A$	$A = 0,5-5$ mm	$A = 0,5-2$ mm	
12	Częstotliwość oscylacji taśmy $f$	$< 1600$ 1/min	$< 600$ 1/min	90-320 1/min
13	Prędkość taśmy w ruchu oscylacyjnym $v_A$	$v_A = \frac{\pi \cdot f \cdot A}{30} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot f \cdot t}{30}\right)$		
14	Moc układu napędowego oscylacji taśmy $P_{osc}$	$P_{osc} = F_{tosc} \cdot v_A$		
15	Siła ciągnięcia taśmy ścierniej przez rolkę nawijającą $F_{tc}$	$F_{tc} = F_t + F_h + F_{op}$		
16	Moc układu napędowego do przesuwania taśmy $P_f$	$P_f = F_{tc} \cdot v_f$		
17	Moment na rolce nawijającej $M_m$	$M_{rn} = F_{tc} \cdot r_n$		
18	Układ docisku taśmy	$F_n = f(\Delta y)$ $F_n = f(p)$		
19	Układ zasilania i sterowania	regul. bezstopniowe		
20	Parametry zasilania elektrycznego i sprężonym powietrzem	230/400 V, 50 Hz, 0,6 MPa	230/400 V, 50 Hz,	
21	Wyposażenie rozszerzające zakres stosowania głowic	komplety rolek, tarcz i tulei	-	-
22	Właściwości eksploatacyjne	łatwość obsługi		
23	Walory estetyczne	wysokiej staranności		
24	Wymiary gabarytowe	$(AxBxH)_{min}$		
25	Masa głowicy i wyposażenia	$m_{min}$		
<b>Wielkości charakteryzujące obrabiarki, na których montowane są głowice</b>				
1	Wymiary gabarytowe i masa przedmiotu obrabianego	$DxL < (DxL)_{dop}$ $m < m_{dop}$		
2	Prędkość obwodowa przedmiotu obrabianego $v_o$	$v_o = 10-170$ m/min	$v_o = 10-170$ m/min	$v_o = 10-30$ m/min
3	Moc i moment napędu przedmiotu obrabianego $P_o$ i $M_o$	$P_o = F_t \cdot v_o$ $M_o = P_o/n$		
4	Prędkość posuwu suportu $v_p$ i sterowanie ruchem posuwisto-zwrotnym	$v_p < 0,4$ m/min	$v_p < 0,4$ m/min	$v_p < 0,1$ m/min
5	Moc i moment napędu posuwu suportu narzędziowego $P_p$ i $M_p$	$P_p = F_x \cdot v_p$ $M_p = P_p/n_{sr}$		
6	Układ chłodzenia	$Q = 0,5-1$ dm <sup>3</sup> /min na 1'' szerokości FTS, $p < 0,1$ MPa		

## 5.2. Opis opracowanych głowic i ich zastosowań

### 5.2.1. Małogabarytowa głowica do wałków

Głowica według wynalazku (Patent nr PL 181922 B1, rys. 18) ma obrotową piastę, której część wystająca z korpusu stanowi rolkę nawijającą folię, przy czym wewnątrz piasty znajduje się podatne sprzęgło przeciążeniowe, złożone z podatnej tulejki dociskanej wkrętem poprzez pierścień. W korpusie zamocowana jest równoległe nieobrotowa piasta, której część wystająca z korpusu stanowi rolkę odwijającą folię, wyposażoną na zewnątrz w obrotową tulejkę, z wewnętrznym kanałkiem o głębokości  $g$ . Piasta ma na zewnątrz kanałek, w którym osadzony jest pierścień sprężysty hamujący, z rozcięciem na obwodzie, o grubości  $h$  większej od głębokości kanałka wspomnianej tulejki i opierający się rozcięciem o wkręt, wkręcony w piastę. Pierścień sprężysty hamujący jest rozpierany kołkami, osadzonymi promieniowo w piastce, przy pomocy kreta z powierzchnią stożkową, pasowanego obrotowo w gładkim otworze piasty.

Urządzenie oscylacyjne głowicy napędzane jest motoreduktorem o pionowej osi, który nadaje suwakowi ruch oscylacyjny o stałej amplitudzie  $A_0$ , poprzez sprzęgło podatne, wałek mimośrodkowy, łożysko toczne, do którego dwie sprężyny dociskają ciągle powierzchnię wycięcia suwaka poprzez belkę mocującą suwaka, zamocowaną wkrętami. W wychodzącej poza korpus części suwaka znajduje się siłownik sprężynowy o osi prostopadłej do bocznych powierzchni suwaka, mający dociskacz w postaci tłoczyska siłownika, wkrętek po obu stronach siłownika, sprężyny naciskowej, śruby regulacyjnej znajdującej się we wkrętce od strony tylnej siłownika. Na zewnątrz cylindra siłownika znajduje się wskaźnik przemieszczenia się dociskacza, który zakończony jest widełkami i podatna rolką dociskową.



Rys. 18. Widok głowicy do mikrowygładzania wałków GM-1 z zasilaczem i układu obróbkowego:  
a) widok ogólny, b) układ przewijania i docisku taśmy

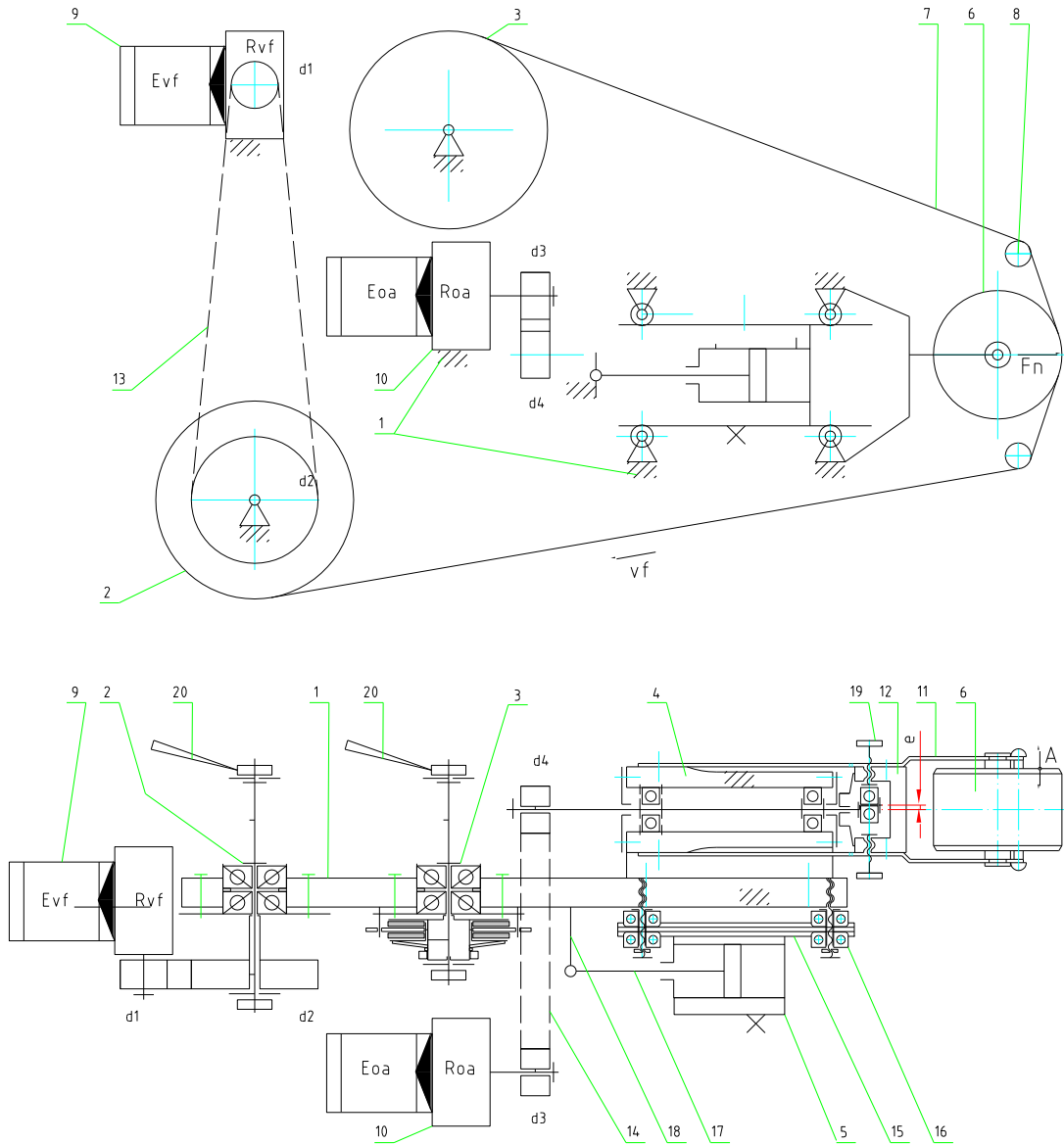
Małogabarytowa głowica do mikrowygładzania wałków GM-1 z zasilaczem ZO-1 umożliwia mikrowygładzanie wałków foliowymi taśmami ściernymi o szerokości  $\frac{1}{2}$ " i 1", na tokarkach uniwersalnych. Uzyskiwana chropowatość powierzchni obrobionej wynosi  $Ra=0,02 \mu\text{m}$ .

Moje opracowania dotyczyły wszystkich zagadnień, gdyż byłem inicjatorem wprowadzenia tej metody wygładzania w zakres badań naukowych prowadzonych w Politechnice Koszalińskiej oraz w obszar działalności dydaktycznej. Opracowanie zasilacza impulsowego do bezstopniowej regulacji prędkości przewijania taśmy oraz jej oscylacji powierzono konstruktorowi elektronikowi. Pozostałe obszary opracowania, nadzoru konstrukcyjnego nad wykonaniem mechanicznej części zespołu, jego badania odbiorcze, testowanie i inne wykonałem osobiście. Mój udział procentowy w przedsięwzięciu szacuję na ponad **60%**, co w wieloosobowym zespole twórców jest udziałem bardzo wysokim.



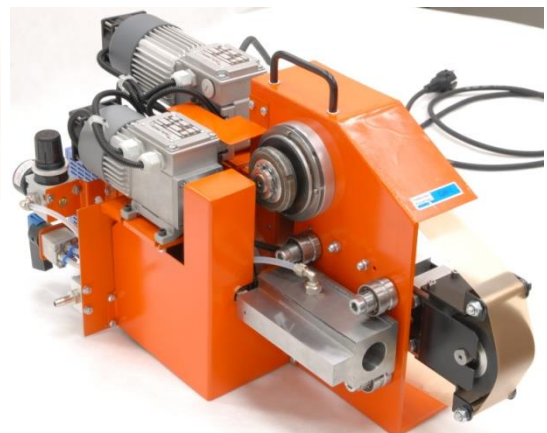
## 5.2.2. Nowa głowica do mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi typu GW-1

Głowica według wynalazku (Zgł. P.-393071, rys. 19) wyposażona w układ przesuwu folii ścierniej w postaci dwóch rolek o równoległych, poziomych osiach, z których jedna jest rolką nawijającą napędzaną mechanicznie, a druga rolką odwijającą, oraz w rolkę dociskową, umocowaną obrotowo na końcówce sprężyn płaskich, a także w układ pneumatycznego dosuwu głowicy do przedmiotu obrabianego dla dociskania taśmy ścierniej do powierzchni obrabianej, ma korpus głowicy, do którego przymocowany jest korpus zespołu oscylacji z łożyskowanym wewnątrz wałkiem, którego prawa końcówka ma czop mimośrodowy.

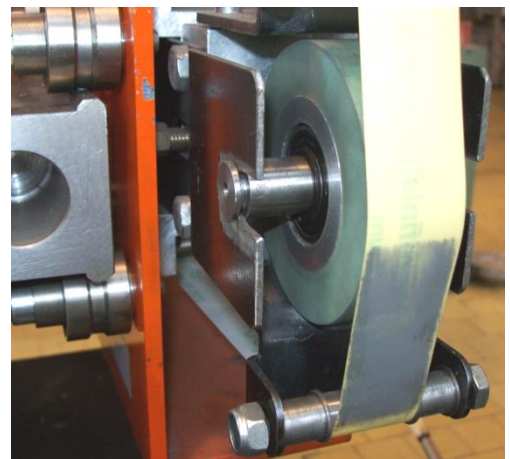


Rys. 19. Schemat kinematyczny głowicy do mikrowygładzania wałków foliowymi taśmami ściernymi typ GW-1

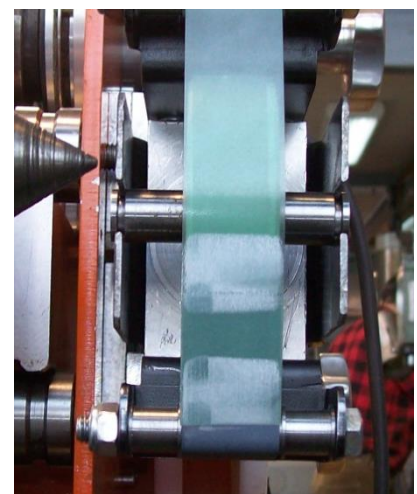
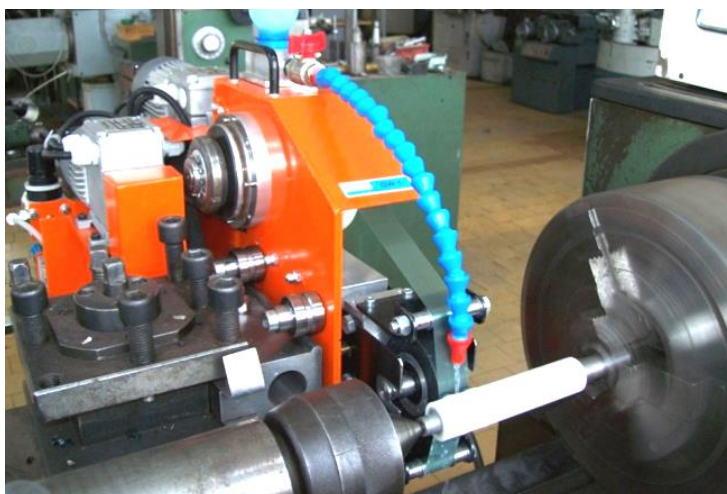




Rys. 21. Głowica typu GW-1 do mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliowymi taśmami ściernymi



Rys. 22. Mikrowygładzanie powierzchni walcowej foliową taśmą ścierną z zastosowaniem głowicy GW-1



Rys. 23. Mikrowygładzanie powierzchni ceramicznego wałka foliową taśmą ścierną z zastosowaniem głowicy GW-1

Na tym czopie zamocowano poprzez pierścień łożysko kulkowe, umieszczone wewnątrz korpusu oscylatora, w którego bocznych ściankach są dwie kontrowane śruby umożliwiające regulację amplitudy  $A$  rolki dociskowej, włożonej w gniazda dwóch sprężyn płaskich, przymocowanych do obydwu korpusów – zespołu i oscylatora. Napęd oscylacji rolki dociskowej przekazywany jest z motoreduktora poprzez przekładnię pasową z pasem zębatym na wałek oscylatora.

Na rysunku 20 przedstawiono na dwóch rzutach konstrukcję głowicy GW-1, opracowaną zgodnie ze schematem kinematycznym zamieszczonym na rysunku 19. Rysunek 21 pokazuje prototyp tej głowicy, a rysunki 22 i 23 - głowicę podczas pracy na tokarce uniwersalnej. Głowica jest urządzeniem uniwersalnym i umożliwia zamienne stosowanie taśm o szerokości 1/2", 1" lub 2". Po sekwencyjnym mikrowygładzaniu otrzymywano chropowatość powierzchni obrobionej  $Ra=0,01 \mu\text{m}$ .

Mój udział w opracowaniu dotyczył wszystkich zagadnień, gdyż byłem inicjatorem wprowadzenia tej metody wygładzania w zakres badań naukowych prowadzonych w Politechnice Koszalińskiej oraz w obszar działalności dydaktycznej. Opracowanie zasilacza impulsowego do bezstopniowej regulacji prędkości przewijania taśmy oraz jej oscylacji powierzono konstruktorowi elektronikowi. Pozostałe obszary opracowania, nadzoru konstrukcyjnego nad wykonaniem mechanicznej części zespołu, jego badania odbiorcze, testowanie i inne wykonałem osobiście. Mój udział procentowy w przedsięwzięciu szacuję na ponad 60%, co w wieloosobowym zespole twórców jest udziałem bardzo wysokim.

### 5.2.3. Nowe głowice do mikrowygładzania otworów w elementach obrotowych foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1 i GO-2

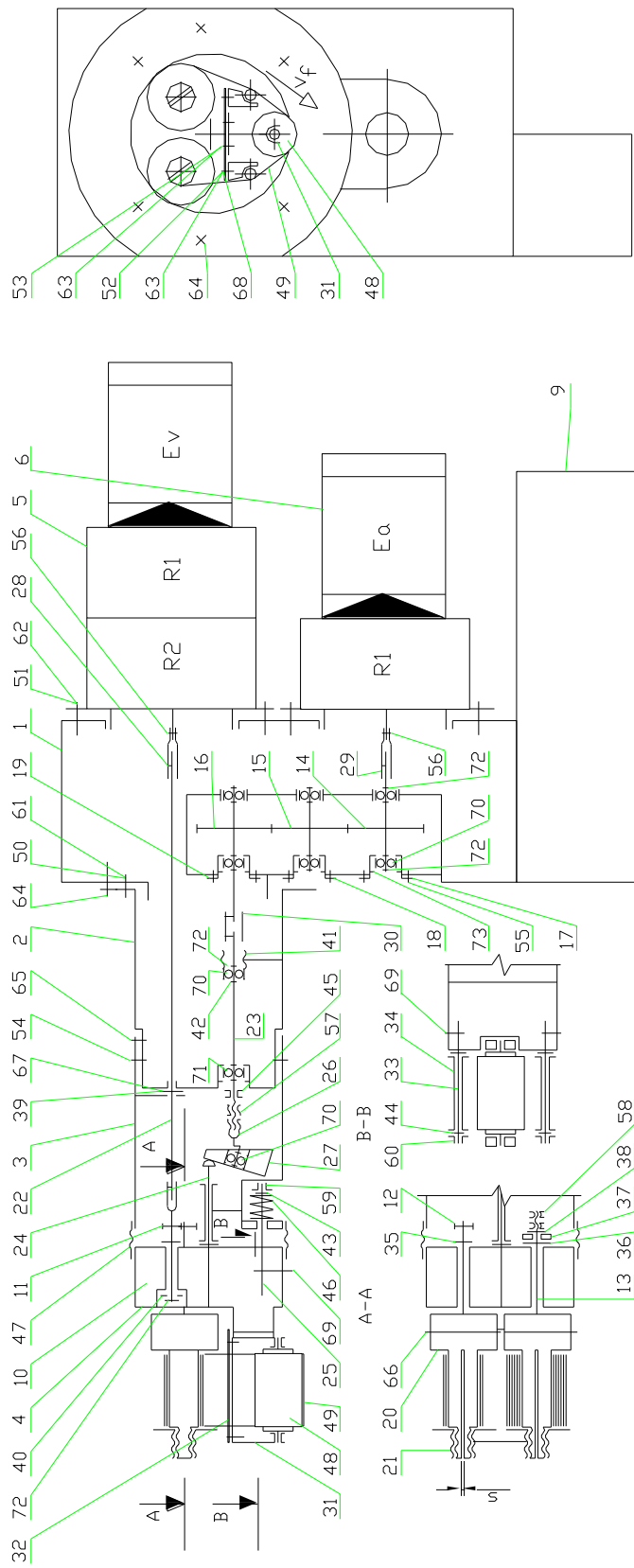
Głowica według wynalazku (Patent nr PL 190467 B1, rys. 24) mająca układ w postaci dwóch wałków przesuwu folii ścierniej o równoległych osiach, z których jeden jest wałkiem nawijającym, a drugi odwijającym, oraz rolki dociskowej, charakteryzuje się tym, że ma wspornik w postaci korpusu, na spodzie którego umocowany jest prostopadle wysięgnik, korzystnie cylindryczny, na końcu którego znajduje się korpus końcówki roboczej, przy czym na wsporniku, znajduje się silnik napędowy, korzystnie elektryczny, którego wał napędowy sprzęgnięty jest z łożyskowanym wewnątrz wysięgnika – prętem napędowym, połączonym dalej przez przekładnię równoległą z wałkiem nawijającym osadzonym w korpusie końcówki roboczej.

Korzystne rozwiązanie głowicy charakteryzuje się tym, że cylindryczny wysięgnik ma na końcu wysuwną tuleję, z którą suwliwie – przez kilka prowadników cylindrycznych – połączony jest korpus końcówki roboczej, przy czym wewnątrz wysięgnika znajduje się drugi łożyskowany pręt napędowy, z jednej strony połączony poprzez sprzęgło z silnikiem napędowym, korzystnie elektrycznym, a z drugiej strony – wewnątrz tulei – mający obrotowy dociskacz, współpracujący z popychaczem połączonym z korpusem końcówki roboczej.

Kolejne korzystne rozwiązanie polega na tym, że znajdujące się na korpusie końcówki roboczej widełki, połączone są ze sprężyną płaską, przymocowaną do wystających elementów korpusu.

Na rysunku 25 przedstawiono konstrukcję głowicy GO-2, opracowaną zgodnie ze schematem kinematycznym zamieszczonym na rysunku 24. Rysunek 26 pokazuje prototypy głowic GO-1 i GO-2, a rysunek 27 – końcówkę głowicy GO-1 przygotowaną i podczas pracy na tokarce uniwersalnej. Głowice umożliwiają stosowanie taśm o szerokości 1/2". Po sekwencyjnym mikrowygładzaniu otrzymywano chropowatość powierzchni obrobionej  $Ra>0,08 \mu\text{m}$ .

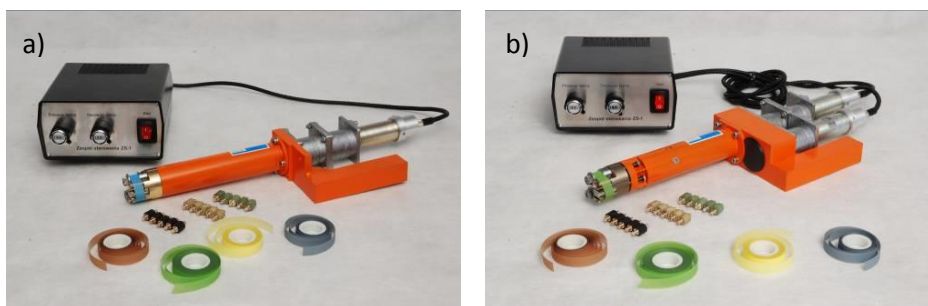
Głowica GO-2 jest podobna koncepcyjnie do głowicy GO-1, lecz jest bardziej złożona konstrukcyjnie, gdyż zawiera dodatkowo zespół napędowy i powiązanie kinematyczne do realizacji ruchu oscylacyjnego.



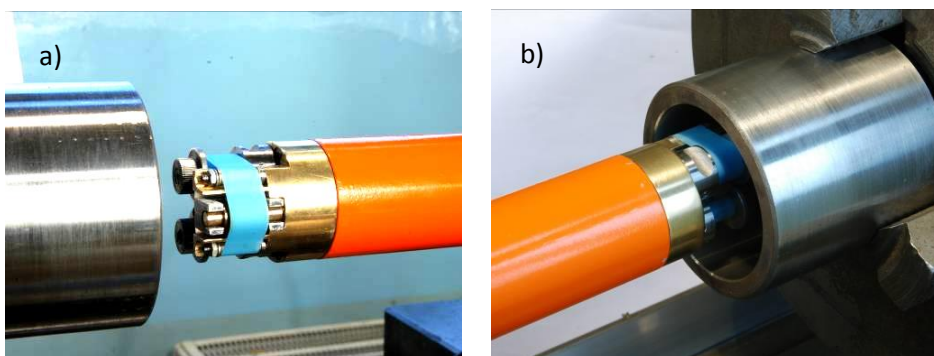
Rys. 24. Schemat kinematyczny głowicy do mikrowygładzania otworów z ruchem oscylacyjnym foliowymi taśmami ściernymi typ G0-2







Rys. 26. Głowice do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi z zespołami sterowania ZS-1: a) nieoscylacyjnego, typu GO-1, b) oscylacyjnego, typu GO-2



Rys. 27. Końcówka robocza głowicy GO-1: a) przygotowana do mikrohonowania – widok od przodu, b) podczas mikrohonowania otworu – widok od tyłu

Mój udział w opracowaniu modelu głowicy GO-1 dotyczył wszystkich zagadnień, gdyż byłem inicjatorem wprowadzenia tej metody wygładzania w zakres badań naukowych prowadzonych w Politechnice Koszalińskiej oraz w obszar działalności dydaktycznej. Opracowanie zasilacza impulsowego ZO-1 do bezstopniowej regulacji prędkości przewijania taśmy oraz jej oscylacji powierzono konstruktorowi elektronikowi. Pozostałe obszary opracowania, nadzoru konstrukcyjnego nad wykonaniem głowicy, jej badania odbiorcze, testowanie i inne wykonałem osobiście.

Prototypowe głowice GO-1 i GO-2, wykonywane w ramach projektu badawczego rozwojowego, realizowałem w podobnym zakresie. Zespół sterowania ZS-1 opracował i wykonał konstruktor elektronik. Nadzorowałem badania charakterystyk układu docisku taśmy, w tym odkształceń elastomerów rolek dociskowych i szerokości stref kontaktów z płaską powierzchnią płytki szklanej. Mój udział procentowy w przedsięwzięciu szacuję na **55-60%**.

#### 5.2.4. Nowe głowice do mikrowygładzania otworów w elementach nieobrotowych foliowymi taśmami ściernymi typu GO-3 i GO-4

Głowica według wynalazku (Patent nr PL 190466 B1, rys. 28) mająca układ w postaci dwóch wałków przesuwu folii ścierniej o równoległych osiach, z których jeden jest wałkiem nawijającym, a drugi odwijającym, oraz rolki dociskowej, charakteryzuje się tym, że chwyt wrzeciona złączony jest z korpusem, korzystnie cylindrycznym, przekładni zębatej z zębatym kołem obiegowym, współpracującym z nieruchomym kołem zębatym wewnętrznym, zamocowanym do stała tulei wrzeciona, przy czym korpus przekładni połączony jest z cylindrycznym wysięgnikiem, zakończonym korpusem z końcówką roboczą, a wewnątrz wysięgnika łożyskowany pręt napędowy, jednym końcem sprzężony z wałkiem przekładni zębatej, a drugim końcem połączony

przez przekładnię równoległą z wałkiem nawijającym, osadzonym w korpusie końcówki roboczej.

Korzystne rozwiązanie głowicy charakteryzuje się tym, że cylindryczny wysięgnik ma na końcu wysuwną tuleję, z którą suwliwie – przez kilka przewodników cylindrycznych – połączony jest korpus końcówki roboczej, przy czym wewnątrz wysięgnika znajduje się drugi łożyskowany pręt napędowy, z jednej strony sprzężony z przekładnią zębatą, a z drugiej strony - wewnątrz tulei – mający obrotowy dociskacz, współpracujący z popychaczem połączonym z korpusem końcówki roboczej.

Kolejne korzystne rozwiązanie polega na tym, że końcówka robocza osadzona jest w korpusie przy pomocy prowadnicy, prostopadłej do osi głowicy.

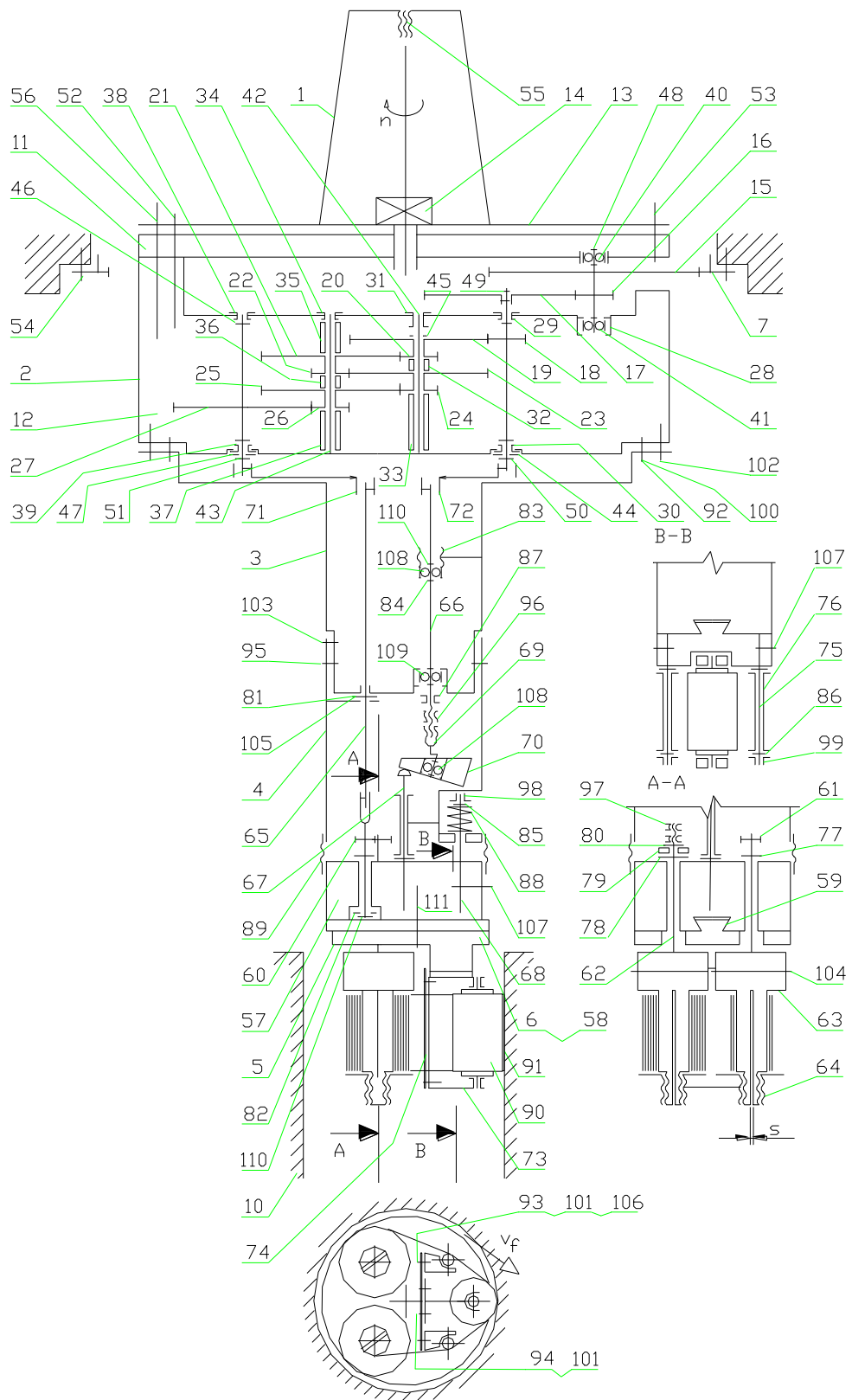
Dalsze korzystne rozwiązanie polega na tym, że znajdujące się na końcówce roboczej widełki, połączone są ze sprężyną płaską, przymocowaną do wystających elementów korpusu.

Na rysunku 29 przedstawiono konstrukcję głowicy GO-4, opracowaną zgodnie ze schematem kinematycznym zamieszczonym na rysunku 28. Rysunek 30 pokazuje prototypy głowic GO-3 i GO-4, a rysunek 31 – głowice na stanowiskach obróbkowych, zbudowanych z wykorzystaniem pionowej frezarki uniwersalnej, umożliwiających mikrowygładzanie powierzchni nieobrotowych cylindrów. W głowicach stosowane są taśmy o szerokości 1/2". Po sekwencyjnym mikrowygładzaniu otrzymywano chropowatość powierzchni obrobionej  $Ra > 0,14 \mu\text{m}$ .

Głowica GO-4 jest podobna koncepcyjnie do głowicy GO-3, lecz jest bardziej złożona konstrukcyjnie, gdyż zawiera dodatkowo powiązanie kinematyczne do realizacji ruchu oscylacyjnego.

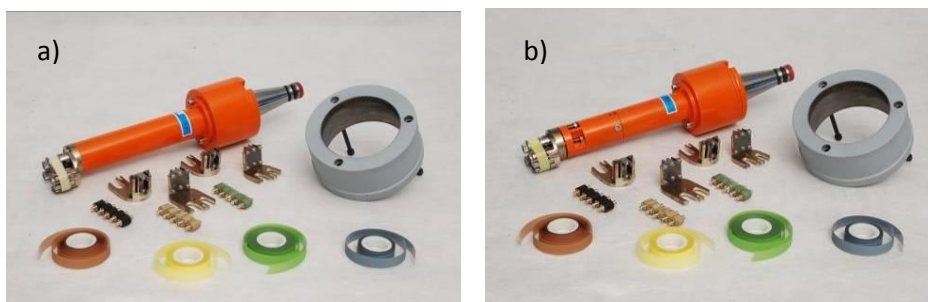
Mój udział w opracowaniu dotyczył wszystkich zagadnień, gdyż byłem głównym wykonawcą projektu badawczego rozwojowego. Wszystkie obszary opracowania, nadzoru konstrukcyjnego nad wykonaniem głowicy, jej badania odbiorcze, testowanie i inne wykonałem osobiście. Nadzorowałem badania charakterystyk układu docisku taśmy, w tym odkształceń elastomerów rolek dociskowych i szerokości stref kontaktów z płaską powierzchnią płytki szklanej. Mój udział procentowy w przedsięwzięciu szacuję na ponad **60%**.



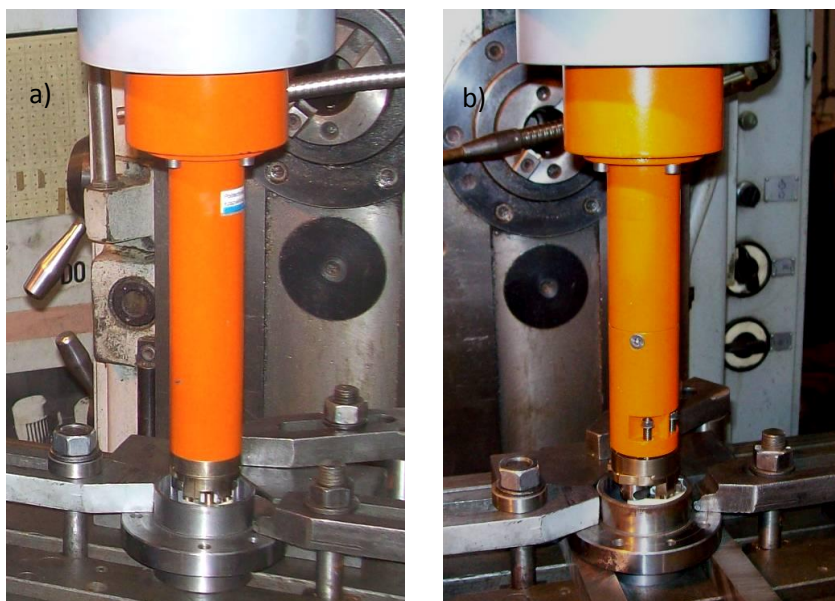


Rys. 28. Schemat kinematyczny głowicy do mikrowygładzania cylindrów z ruchem oscylacyjnym foliowymi taśmami ściernymi typ GO-4





Rys. 30. Głowice do mikrowygładzania nieobrotowych cylindrów foliowymi taśmami ściernymi: a) nieoscylacyjnego, typu GO-3, b) oscylacyjnego, typu GO-4



Rys. 31. Widok stanowiska obróbkowego z głowicami do mikrowygładzania cylindrów: a) nieoscylacyjnego, typu GO-3, b) oscylacyjnego, typu GO-4

### 5.2.5. Nowa koncepcja głowicy do mikrowygładzania otworów w elementach obrotowych foliowymi taśmami ściernymi, ze wzdłużnym przesuwem taśmy

Głowica według wynalazku (Zgł. P.-393071, rys. 32) ma układ przesuwu foliowej taśmy ścierniej w postaci dwóch rolek o równoległych, pionowych osiach, z których jedna jest rolką nawijającą napędzaną mechanicznie, a druga rolką odwijającą z hamulcem tarczowym, oraz rolki dociskowej, umocowanej obrotowo w wysięgniku, przy czym układ przesuwu foliowej taśmy ścierniej ma związany z korpusem wysięgnika, umieszczany w otworze obrabianym, równolegle do jego osi. Na końcu wysięgnika znajduje się podatna końcówka robocza, po której przewija się taśma ścierna. Ponadto wysięgnik ma elementy prowadzące taśmę ścierną, natomiast rolka taśmy nowej i rolka taśmy zużytej umocowane są do korpusu, po stronie przeciwnej do wysięgnika.

W korzystnej postaci wynalazku napęd na rolkę taśmy ścierniej zużytej, przekazywany jest od zespołu napędu przesuwu taśmy ścierniej, znajdującego się pod korpusem, poprzez reduktor, przekładnię ślimakową, wałek, wkładkę redukcyjną, kołki, na tulejkę rolki taśmy zużytej.

W innej korzystnej postaci wynalazku podatna końcówka robocza ma postać rolki dociskowej albo ślizgacza dociskowego o krzywiznie zarysu  $1/R_p$ , równej lub większej od krzywizny zarysu otworu przedmiotu obrabianego.

W jeszcze innej korzystnej postaci wynalazku elementy prowadzące mają postać rolek albo sworzni.

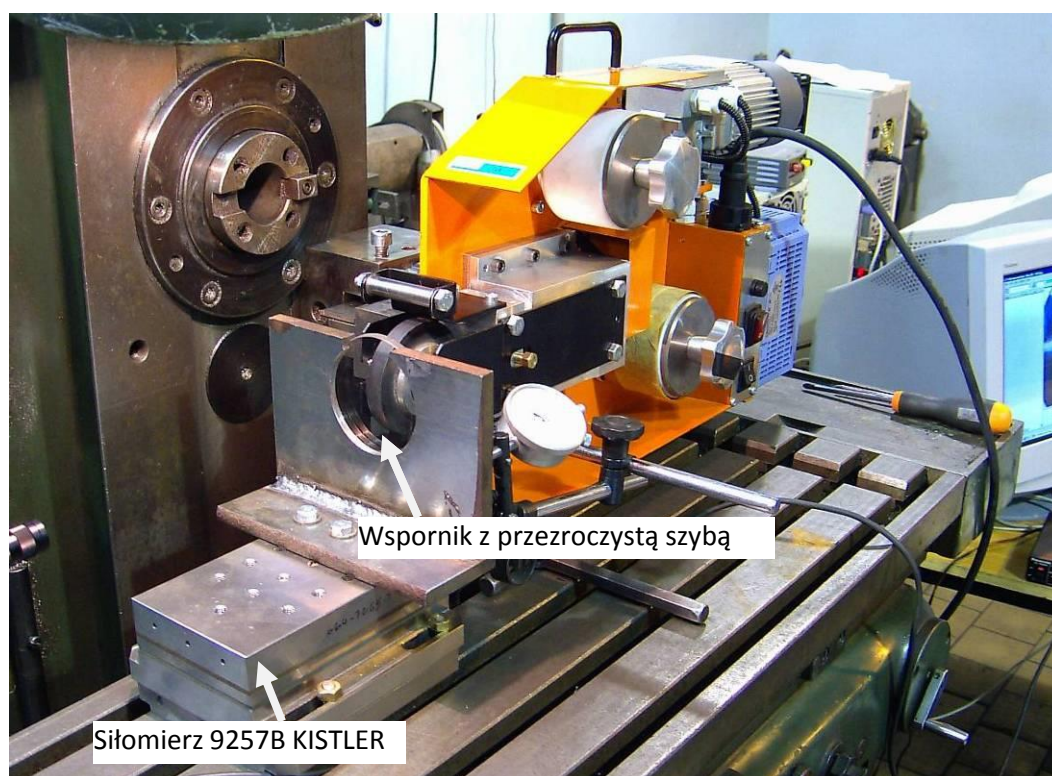




### 5.3. Badania charakterystyk technicznych głowic

Po wykonaniu prototypów głowic prowadzono zaawansowane badania dla określenia charakterystyk technicznych głowic jak: sztywności rolek dociskowych, obrotów rolki nawijającej i częstotliwości oscylacji od nastaw przetwornic częstotliwości i siły docisku rolki od ciśnienia powietrza w układzie docisku.

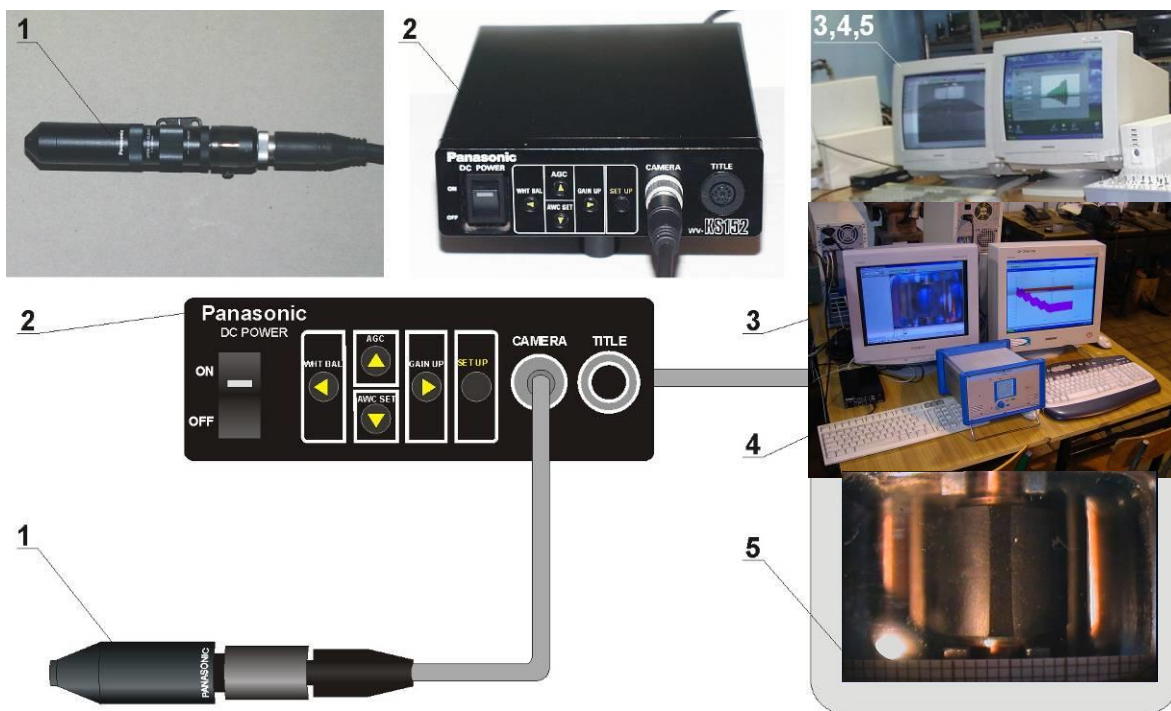
Widok stanowiska badawczego do określania charakterystyk odkształceń rolek dociskowych głowicy GW-1 w funkcji siły docisku pokazano na rysunku 33.



Rys. 33. Widok stanowiska badawczego do określania charakterystyk odkształceń rolek dociskowych głowicy GW-1 w funkcji siły docisku

#### Rejestracja obrazu szerokości strefy rolek dociskowych

Dla określenia szerokości strefy kontaktu rolek dociskowych z płaską powierzchnią przezroczystej szyby wykonano badania i rejestrację obrazów tych stref. Znajomość szerokości strefy jest niezbędna w celu określenia pola powierzchni taśmy biorącej udział w wygładzaniu. Na wymiar szerokości strefy ma wpływ wiele czynników między innymi; twardość rolek dociskowych, charakterystyka głowicy, wymiary rolki, sztywność całego układu. Rysunek 34 przedstawia schemat układu do rejestracji obrazu szerokości strefy. Zastosowano w nim układ monitorujący, którego główne elementy stanowią: kamera przemysłowa WV-KS152E firmy PANASONIC 1, interfejs zasilania i przetwarzania obrazu 2, komputer PC 3, wyposażony w kartę przetwarzania obrazu AV Master firmy FAST 4 oraz oprogramowanie do Fast Capture 5, pozwalające na korekcję, kompresję i zapis otrzymanego sygnału wideo. Wyeksponowanie strefy styku elementów możliwe było po zastosowaniu odpowiedniego oświetlenia i pomalowaniu elementów przyrządu czarną farbą dla wyeliminowania niekorzystnych odbić promieni światła.

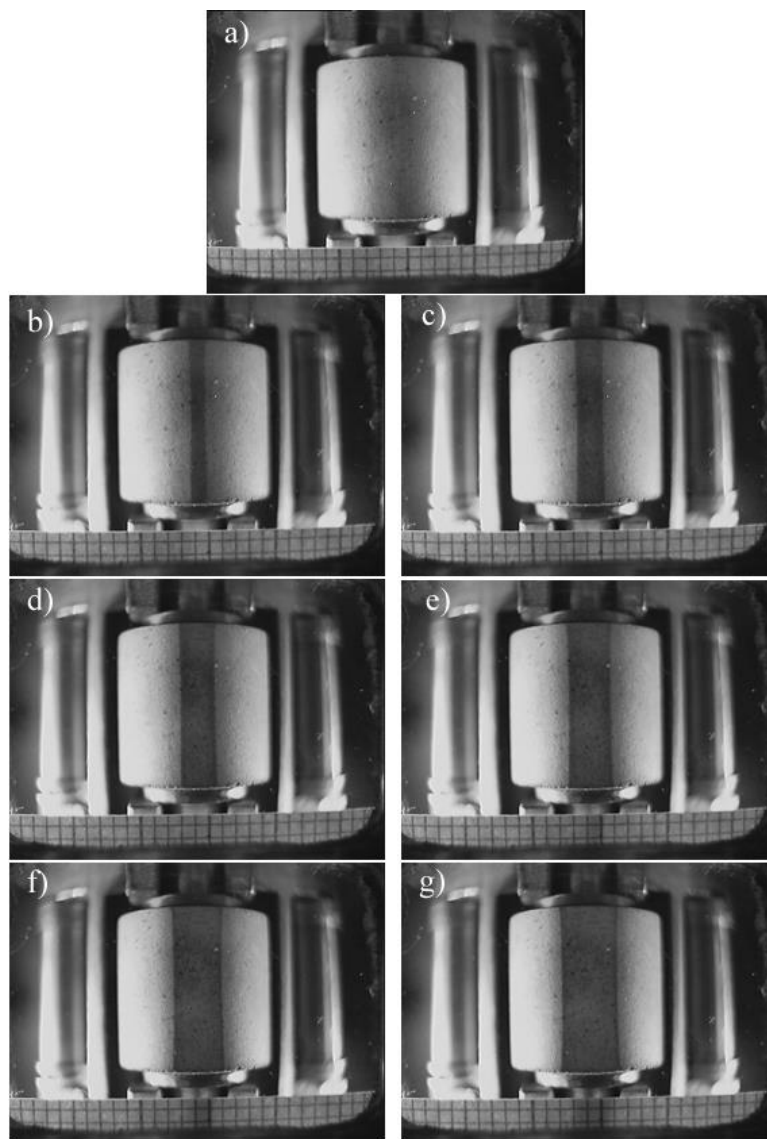


Rys.34. Schemat układu do rejestracji obrazu szerokości strefy

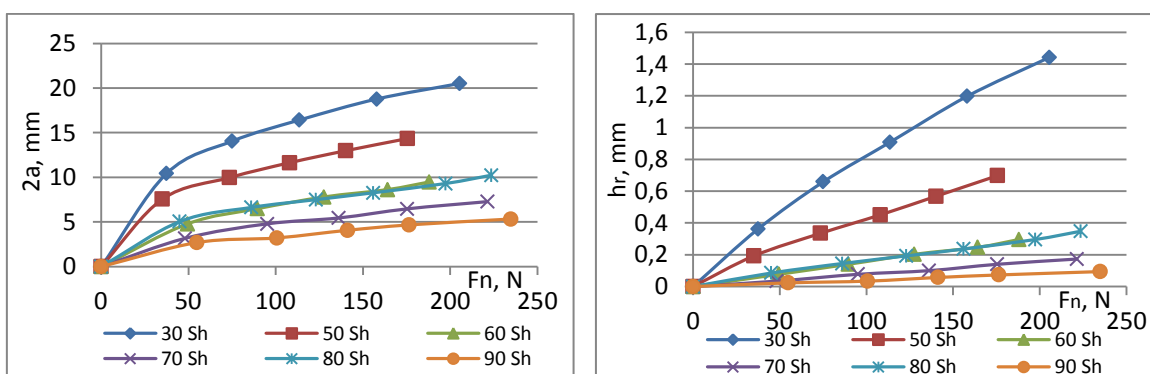
### Pomiar obciążenia rolek

Do pomiaru wartości sił obciążających głowice zbudowano tor pomiarowy złożony z piezoelektrycznego siłomierza płytowego 9257B, 8 kanałowego wzmacniacza i komputera personalnego z oprogramowaniem DynoWare wersja 2 dla Windows oraz karty przetwornika A/C i okablowania, firmy Kistler.

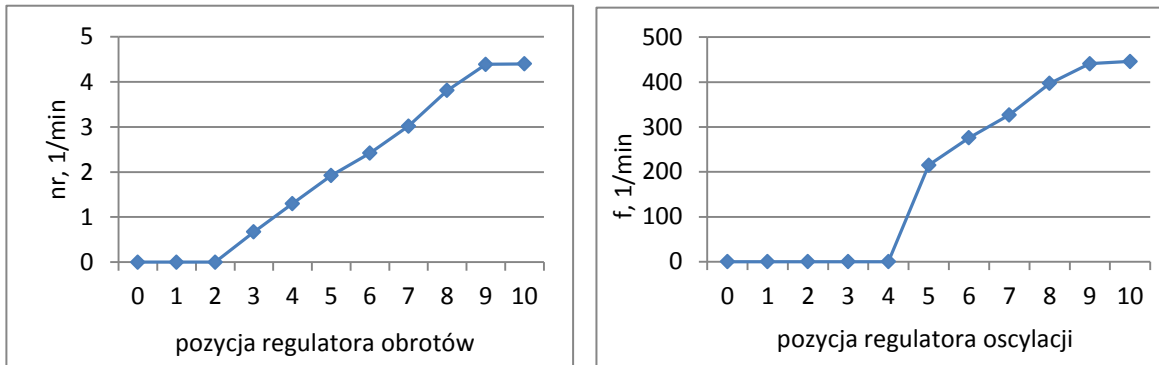
W czasie pomiaru szerokości strefy zarejestrowano zmiany składowych sił obciążających. Zakłócenia powstałe w czasie pomiarów zostały wygładzone programowo. Na rysunkach 35 – 38 przedstawiono przykładowe charakterystyki sił składowych przy obciążeniu rolek z elastomeru o zróżnicowanych twardościach i szerokościach dla głowic G0-1 – 4 oraz głowicy GW-1.



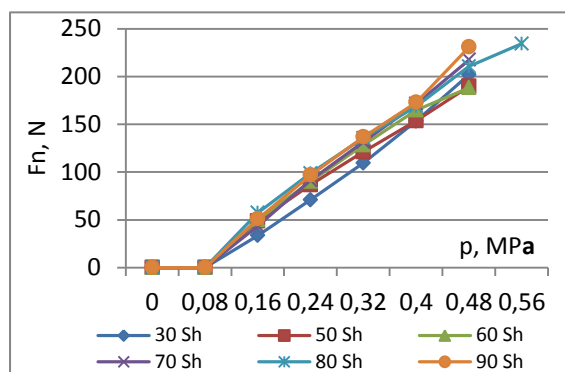
Rys. 35. Rolka dociskowa o twardości 30°Sh umieszczona na głowicy do mikrowygładzania otworów GO-3; dociski rolki z krokiem przemieszczenia: a) zerowym, b) 0,1 mm, c) 0,2 mm, d) 0,3mm, e) 0,4 mm, f) 0,5 mm, g) 0,6 mm



Rys. 36. Zależność szerokości strefy kontaktu  $2a$  oraz promieniowego ugięcia  $h_r$  dla rolek dociskowych o szerokości 2" w kontakcie z płaską powierzchnią próbki, od siły docisku  $f_n$  dla głowicy GW-1



Rys. 37. Zależność liczby obrotów rolki nawijającej taśmę  $n_r$  oraz częstotliwości oscylacji  $f$  od pozycji regulatorów dla głowicy GW-1

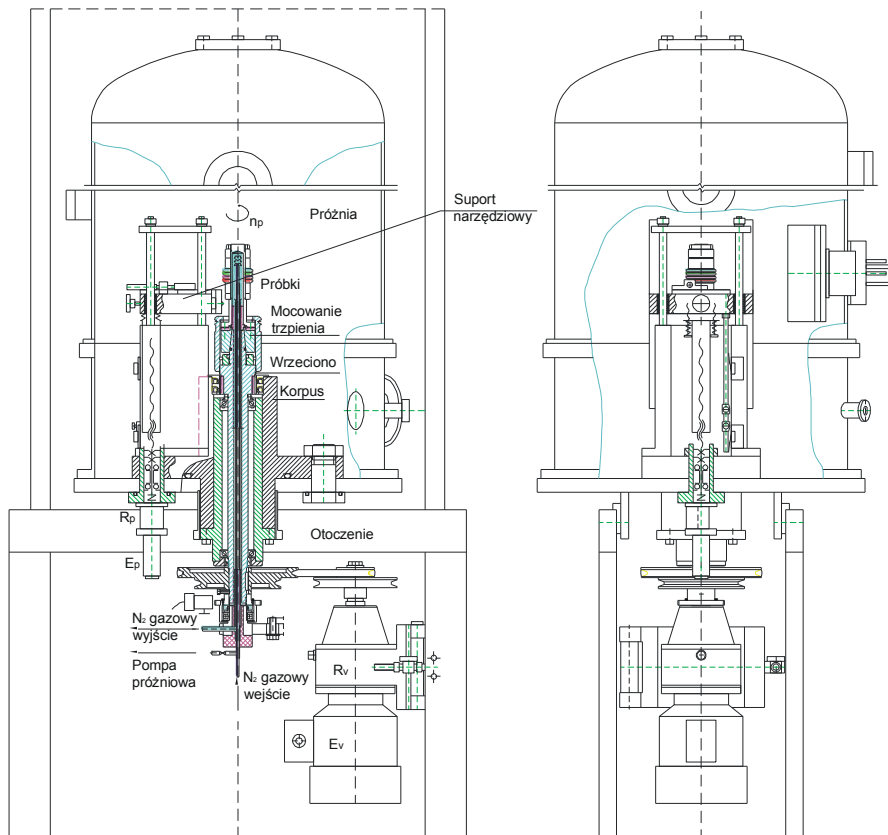


Rys. 38. Zależność siły docisku rolki  $F_n$  od ciśnienia powietrza  $p$  dla rolek dociskowych o szerokości 2" głowicy GW-1

#### 5.4. Opracowania specyficznych układów do mikrowygładzania powierzchni w próżni

Obrabiarka według wynalazku (Zgł. P.-393211, rys. 39), mająca układ napędu przedmiotu obrabianego o pionowej osi oraz układ napędu posuwu narzędzia o pionowych prowadnicach, przy czym zespół napędu wrzeciona oraz zespół napędu posuwu znajdują się poza komorą próżniową, ma wymienny uchwyt technologiczny złożony z obsady ze stożkiem wewnętrznym, uszczelnionej na powierzchni stożkowej pierścieniem i połączonej z trzpieniem poprzez termoizolacyjny pierścień. Na trzpieniu znajdują się przedmioty obrabiane, zamocowane nakrętką, pomiędzy pierścieniami dystansowymi. Cały wymienny uchwyt technologiczny mocowany jest nakrętką do wrzeciona. Na wrzecionie znajduje się przepust próżniowy w postaci podwójnych pierścieni uszczelniających usytuowanych w komorze próżniowej, powyżej górnego łożyska i podpartych pokrywką i pierścieniem, przy czym uszczelnienie wrzeciona odbywa się na metalowym pierścieniu zewnętrznym scalonym szczelnie z wewnętrznym termoizolacyjnym pierścieniem szczelnie złączonym z wrzecionem. Zespół suportu narzędziowego z czterema pionowymi, liniowymi, bezluzowymi prowadnicami tocznymi, przemieszczany jest za pomocą śruby pociągowej i nakrętki w oprawie wahliwej, która w górnej części jest mocowana do płyty suportu narzędziowego śrubami poprzez sprężyny naciskowe i kulkę. Walcowa część śruby pociągowej uszczelniona jest co najmniej jednym pierścieniem uszczelniającym, usytuowanym w komorze próżniowej, powyżej górnego łożyska.





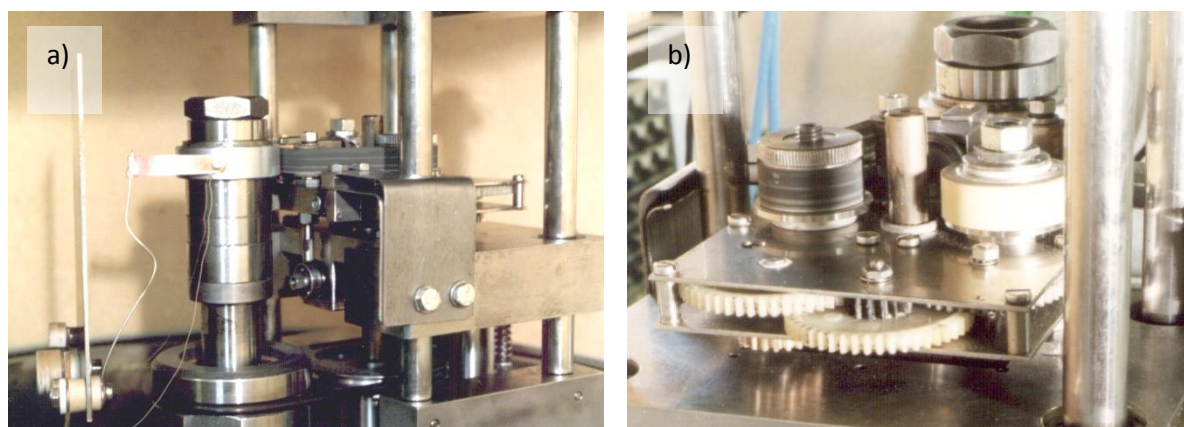
Rys. 39. Laboratoryjny zespół do badań podstawowych mikroskrawania w próżni ZLP-1

Przyrząd według wynalazku (Zgł. P.-393355, rys. 40), mający układ przesuwu foliowej taśmy ścierniej w postaci dwóch rolek o równoległych, pionowych osiach, z których jedna jest rolką nawijającą napędzaną mechanicznie, a druga rolką odwijającą z hamulcem, oraz rolką dociskową, ma podzespół ruchu oscylacyjnego złożony z wałka napędowego, napędzającego przekładnię zębatą stożkową, która napędza poziomy wałek mimośrodowy z łożyskiem, współpracującym z popychaczem, połączonym z korpusem podzespołu napędu przesuwu folii, poddawane oscylacjom o amplitudzie równej albo mniejszej od mimośrodowości wałka.

Wałek mimośrodowy ułożyskowany tocznie w łożyskach korpusu zespołu oscylacji, otrzymuje napęd od wałka napędowego przez wpustowe połączenie suwliwe i stożkowe koło zębate, ułożyskowane w korpusie zespołu oscylacyjnego łożyskiem tocznym i przez koło drugie stożkowe koło zębate.

Podzespół napędu przesuwu folii, zawieszony jest na dwóch sprężynach płaskich przy-mocowanych do płyty suportu i przesuwa się z nią z prędkością posuwu oraz wykonuje równo-cześnie ruch oscylacyjny o amplitudzie, a wałek napędowy napędza zespół kół zębatych, silnie redukujących obroty rolki nawijającej folię, przy czym koła zębate łożyskowane są w ściankach korpusu przyrządu. Folia dociskana jest do przedmiotu obrabianego podatną rolką dociskową, umieszczoną w widełkach, przesuwaną sprężyną śrubową, której napięcie reguluje się dwoma nakrętkami.

Przyrząd do mikrowygładzania według wynalazku jest precyzyjnym wyposażeniem obróbkowym tokarki o pionowej osi wrzeciona, której ruchy robocze – obrotowy przedmiotu obrabianego i posuwu narzędzia, odbywają się w komorze próżniowej i są do niej wprowadzone przez obrotowe przepusty próżniowe, a napędy obu ruchów roboczych znajdują się poza komorą próżniową. Przyrząd realizuje powolne przewijanie taśmy ścierniej, oscylacje taśmy i jej docisk do powierzchni obrabianego przedmiotu. Napęd obu ruchów taśmy uzyskiwany jest od tej części wrzeciona obrabiarki, która znajduje się w komorze próżniowej.



Rys. 40. Przyrząd do mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi w próżni laboratoryjnego zespołu ZLP-1, a) w widoku z boku, b) w widoku od tyłu

Moje opracowania dotyczyły koncepcji zestawu, konstrukcji obrabiarki oraz przyrządów do mikroskrawania, mikrowygładzania foliami ściernymi, dogładzania i docierania. Nadzoru nad budową zestawu, testowaniem i badaniami odbiorczymi. Określeniem wymagań dla źródła jonów typu Kaufmana. Badań procesów mikroskrawania pojedynczym ostrzem i mikrowygładzania powierzchni foliami w próżni i super niskich temperaturach do około  $-120^{\circ}\text{C}$ . Opracowania sprawozdania z badań, dokumentacyjna promocja zestawu na wystawach oraz udział w ćwiczeniach laboratoryjnych dla studentów specjalności tbn i innych. Mój udział procentowy w przedsięwzięciu szacuję na około **40%**, co w pracy wieloosobowego zespołu twórców jest udziałem bardzo wysokim.

## 5.5. Innowacyjne cechy opracowanych urządzeń

Innowacyjne cechy opracowanych urządzeń do mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi przejawiają się w następujących zagadnieniach:

- stosowaniu nowoczesnej i finezyjnej metody mikrowygładzania polegającej na jednokrotnym użyciu narzędzia obróbkowego,
- stosowaniu nowoczesnych narzędzi w postaci foliowych taśm ściernych o wyjątkowych właściwościach fizyko-mechanicznych i eksploatacyjnych, wytwarzanych z zastosowaniem zaawansowanych technologii, jak osadzanie ziaren ściernych w spoiwie z wykorzystaniem linii sił pola elektrostatycznego, dla korzystnego usytuowania ziaren z punktu widzenia ich pracy podczas obróbki,
- wyprowadzaniu produktów obróbki (mikrowiórów, wykruszonych ziaren ściernych, startych części ziaren, materiału zużytego spoiwa, cząsteczek stosowanego chłodziwa) ze strefy obróbki przez przemieszczającą się powoli taśmę ścierną, co eliminuje możliwość uszkodzenia powierzchni obrobionej i niekorzystnego umieszczania w warstwie wierzchniej twardych ziaren ściernych,
- wyjątkowej czystości procesu mikrowygładzania i uzyskiwaniu powierzchni o regularnej strukturze geometrycznej i wysokiej czystości,
- całkowitej oryginalności głowic do mikrowygładzania otworów w elementach obrotowych i absolutnej oryginalności głowic do mikrowygładzania otworów w elementach nieobrotowych; dotąd żadna ze światowych firm produkujących głowice i mikroobrabiarki, nie oferowała takich głowic,
- oryginalności rozwiązań konstrukcyjnych zawartych w głowicach do mikrowygładzania powierzchni zewnętrznych,
- oferowaniu całej rodziny opracowanych głowic oraz podstaw konstruowania głowic specjalizowanych i uniwersalnych, dostosowanych do potrzeb użytkowników realizujących zaawansowane, wykończeniowe procesy obróbkowe,
- opracowaniu oryginalnej obrabiarki do mikroobróbki oraz przyrządu do mikrowygładzania powierzchni umieszczonej w komorze próżniowej, w której nie występuje utlenianie powierzchni obrobionej, co jest korzystne dla procesu mikroobróbki i efektów obróbki,
- stosowaniu opracowanego algorytmu ADEPT oraz programów obliczeniowych w środowisku Mathcad umożliwiających szybkie i profesjonalne dobieranie efektywnych parametrów i określanie warunków mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi z zastosowaniem omawianych głowic,
- opracowaniu naukowych i technicznych podstaw do podejmowania nowych zadań badawczych, technologicznych i konstrukcyjnych w zakresie mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi.

## 6. CHARAKTERYSTYKA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO

### 6.1. Opracowania dydaktyczne

Prowadziłem niżej wymienione zajęcia laboratoryjne, projektowe, prace przejściowe i seminarium dyplomowe.

1. Laboratorium Obrabiarek – sem. 7, spec. Technologia Maszyn, Maszyny i Urządzenia Rolnicze, Maszyny Przemysłu Spożywczego, Studia Dienne.
2. Laboratorium przedmiotu Techniki Wytwarzania – sem. 9, spec. Inżynierskie Zastosowania Komputerów, Zarządzanie i Marketing w Budowie i Eksploatacji Maszyn, Studia Dienne i Zaoczne.
3. Laboratorium przedmiotu Techniki Wytwarzania – sem. 6, spec. Inżynieria i Zarządzanie, Eksploatacja i Marketing Pojazdów Samochodowych, Nauczanie Techniki i Informatyki, Studia Dienne i Zaoczne.
4. Laboratorium przedmiotu Techniki Wytwarzania – sem. 9, spec. Inżynierskie Zastosowania Komputerów, Studia Dienne.
5. Laboratorium przedmiotu Techniki Wytwarzania – sem. 9, spec. Inżynierskie Zastosowania Komputerów, Mechanika, Nauczanie Techniki i Informatyki, Studia Dienne.

Po uzyskaniu stopnia doktora

6. Pracownia Projektowa – sem. 9, spec. Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych, Studia Stacjonarne.
7. Seminarium dyplomowe – sem. 11, spec. Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych, Studia Stacjonarne.
8. Praca przejściowa II, s. 8, spec. Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych, Studia Stacjonarne.
9. Projektowanie, budowa podwozi samochodowych – sem. 6, spec. Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych, Studia Dienne.
10. Ćwiczenia, budowa i właściwości układów napędowych – sem. 6, kierunek Transport, Studia Stacjonarne.
11. Projektowanie, budowa i właściwości układów napędowych – sem. 6, kierunek Transport, Studia Stacjonarne.
12. Prace dyplomowe na specjalności Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych, promotor; od 2009 zostało obronionych 25 prac magisterskich i inżynierskich.

Ponadto zaprojektowałem i kierowałem budową szeregu stanowisk, oraz opracowałem instrukcje do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych z technik wytwarzania, obrabiarek do metali i profilografowania stykowego powierzchni np. do automatyzacji procesu szlifowania małych elementów ceramicznych i piezoceramicznych dla elektroniki, docierania płaskich powierzchni uszczelnień ceramicznych, mikroobróbki w ekstremalnych warunkach (w próżni), mikrowygładzania zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni walcowych foliami ściernymi. W większości ćwiczeń uczestniczyłem w charakterze specjalisty prowadzącego praktyczne ich części.

## 6.2. Osiągnięcia dydaktyczne

1. Zaprojektowanie szeregu stanowisk, oraz instrukcji do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych z technik wytwarzania, obrabiarek do metali i profilografowania stykowego powierzchni,
2. Zajęcia projektowe, w przedmiocie budowa podwozi samochodowych,
3. Promotor 25 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich na specjalności Budowa i Eksploatacja Pojazdów Samochodowych.

Zajęcia dydaktyczne prowadziłem samodzielnie na umowę-zlecenie, gdyż były to prace dodatkowe, realizowane poza zakresem zadań pracownika naukowo-technicznego.

Ważnym dla mnie działaniem była współpraca z doktorantami i dyplomantami.

Konsultowałem zagadnienia w pięciu pracach doktorskich w zakresie badań procesu precyzyjnego szlifowania i mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi oraz badań elementów zderzaków samochodowych.

W pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Hinza na temat: „*Badania elementów zderzaków samochodowych wykonanych z tworzyw sztucznych w aspekcie ich odporności na uszkodzenia mechaniczne*”, obronionej 5.03.2013, realizowałem zadania obecnie typowe dla promotora pomocniczego.

Prowadziłem także konsultacje z dyplomantami w tematyce dotyczącej gładzarek do cylindrów, wygładzania powierzchni w próżni, badania charakterystyk prototypowych głowic do mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi, projektowania pojazdów specjalnych i innych tematów. Łącznie konsultowałem kilkudziesięciu dyplomantów.

## 7. PRACE INNOWACYJNE I WDROŻENIOWE

### 7.1. Patenty i wdrożenia

Jestem twórcą i współtwórcą zastosowanych 35 projektów wynalazczych, w tym:

- 4 projektów racjonalizatorskich,
- 24 opatentowanych wynalazków,
- 1 wzoru użytkowego,
- 6 zgłoszeń patentowych.

W znacznej większości dotyczyły one obrabiarek, urządzeń i przyrządów obróbkowych, a szczegółowy wykaz jest załącznikiem do wniosku.

### Osiągnięcia w obszarze mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi

1. Opracowanie teoretycznych podstaw mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi z wprowadzeniem nowych właściwości folii ściernych, jak pojemność przestrzeni międzyziarnowych, potencjału obróbkowego folii oraz opracowanie algorytmu doboru efektywnych parametrów technologicznych ADEPT i programów w środowisku Mathcad, do obliczania ich wartości.
2. Opracowanie podstaw konstruowania urządzeń do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi.
3. Opracowanie konstrukcji rodziny głowic do mikrowygładzania zewnętrznych powierzchni walcowych foliami ściernymi:
  - zespołu do mikrowygładzania foliami ściernymi typu ZM-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 1995,
  - głowicy do mikrowygładzania foliami ściernymi typu GM-1 (do ZM-1). Politechnika Koszalińska. Koszalin 1995,

- głowicy do mikrowygładzania wałków foliowymi taśmami ściernymi typu GW-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2008/2009.
- 4. Opracowanie konstrukcji rodziny nowatorskich głowic do mikrowygładzania wewnętrznych powierzchni walcowych foliami ściernymi:
  - modelu głowicy do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 1998,
  - głowicy do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-1. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2007/2009,
  - głowicy do mikrowygładzania oscylacyjnego otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-2. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2007/2009,
  - głowicy do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-3. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2007/2009,
  - głowicy do mikrowygładzania oscylacyjnego otworów foliowymi taśmami ściernymi typu GO-4. Politechnika Koszalińska. Koszalin 2007/2009.
- 5. Badania procesów mikrowygładzania powierzchni walcowych zewnętrznych i wewnętrznych (wałków i otworów) próbek wykonanych z różnorodnych materiałów i opracowanie doświadczalnych podstaw mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi.
- 6. Uzyskanie trzech patentów UP RP oraz dokonanie czterech zgłoszeń patentowych dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych głowic i przyrządów do mikrowygładzania powierzchni foliowymi taśmami ściernymi.
- 7. Opublikowanie 34 artykułów w czasopismach i materiałach konferencyjnych krajowych i zagranicznych dotyczących mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi.
- 8. Opracowanie monografii pod tytułem: Ściegienka R.: *Teoretyczne i doświadczalne podstawy mikrowygładzania powierzchni foliami ściernymi*. Monografia habilitacyjna. Koszalin 2012.

### **Osiągnięcia w obszarze obrabiarek i urządzeń oraz metod obróbki ściernej**

- 29 konstrukcji obrabiarek i urządzeń, na przykład:
  - automatyczne urządzenie do szlifowania rotorów AR-7, automatyczna szlifierka do płaszczyn czołowych elementów walcowych AW-16, szlifierka do głowic silników samochodowych USG-300, stołowa szlifierka do zaworów SMC-8 i inne szlifierki,
  - hydrauliczna gładzarka do cylindrów samochodowych HGC-150,
  - docierarka jednotarczowa DP-300,
  - głowice do mikrowygładzania wałków foliowymi taśmami ściernymi GM-1 i GW-1,
  - głowice do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi GO-1 – 4,
- 4 weryfikacje i adaptacje dokumentacji konstrukcyjnych, przed wdrożeniem do produkcji,
- 8 prac studialnych i założeń konstrukcyjnych,
- 6 przyrządów do obróbki ściernej,
- 6 opracowań z prac badawczych, dotyczących metod i procesów obróbki ściernej, w ramach programów CPBP, CPBR, KBN, MNiSzW.

Szczegółowy wykaz prac i opracowań zastosowanych w praktyce jest załącznikiem do wniosku.

### **7.2. Upowszechnienie wyników badań**

Upowszechnianie wyników badań realizowałem poprzez:

- opublikowanie łącznie 50 artykułów, w tym 6 – w czasopismach naukowych, 8 rozdziałów w monografiach będących wynikiem konferencji naukowych oraz 36 – w materiałach konferencyjnych,
- wygłoszenie 17 referatów i odbycie 2 sesji posterowych na konferencjach krajowych i międzynarodowych,

- opracowanie monografii,
- dokonywanie zgłoszeń patentowych i uzyskiwanie patentów na opracowane rozwiązania,
- eksponowanie opatentowanych rozwiązań na trzech międzynarodowych targach technicznych, międzynarodowym spotkaniu gospodarczym, w uczelni zagranicznej oraz na dwóch wystawach zorganizowanych przy kongresie ICPM i konferencji TRANSCOMP.

Ponadto przygotowano 4 artykuły do opublikowania w miesięczniku Mechanik, jeden z nich będzie rozdziałem w monografii XXXVI Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej 2013, oraz przygotowywane są 3 artykuły do opublikowania w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR.

### **Udział w konferencjach naukowych**

1. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Technologia Uzębień. Poznań 13-15.11.1972.
2. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Kierunki Rozwoju Obrabiarek Frezujących w Polsce. Jarocin 12-13 maja 1977.
3. Konferencja Naukowo-Techniczna. Postępy w Technice Wytwarzania. Kołobrzeg 21-23 września 1978.
4. I Krajowa Narada Naukowo-Techniczna. Honowanie elektrochemiczno-ścierne. Bydgoszcz 1978. **Wygłosiłem referat**
5. II Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Koszalin-Cetuń 11-16 września 1979.
6. VI Ogólnopolska Konferencja naukowo-techniczna. Wpływ technologii na stan warstwy wierzchniej. Gorzów Wielkopolski 1981.
7. V Krajowa Konferencja Obrabiarkowa'85. Warszawa 16-17 maja 1985.
8. VIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Koszalin-Ustronie Morskie 2-7 września 1985.
9. V Konferencja Naukowo-Techniczna. Obróbka Ścierna. Łódź 1986; **Wygłosiłem referat**
10. VII Konferencja Naukowo-Techniczna Mikronika'87. Warszawa 1987.
11. XI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź-Dobieszków, 15-20 września 1988.
12. IV Międzynarodowa Konferencja. Obróbka materiałów niemetalowych. Rzeszów 1990.
13. XVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Koszalin-Unieście 8-10 września 1993.
14. XIX Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź-Bełchatów 10-13 września 1996.
15. I Konferencja Naukowo-Techniczna. Rozwój motoryzacji w województwie śląskim. Słupsk 16-17 maj 1998. **Wygłosiłem referat**
16. Seminarium projektów badawczych finansowanych przez KBN w 1998 roku. Radom 14-15 grudzień 1998.
17. XXII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Gdańsk-Jurata 8-10 września 1999. **Wygłosiłem 3 referaty**
18. Konferencja „Mechanika '99. Nauka i Praktyka”. Gdańsk 1999. **Prezentacja w Sesji Posterowej**
19. XXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Rzeszów-Myczkowce, 14-16 września 2000. **Dyskusja nad referatami**
20. XXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Kraków-Łopuszna 6-8 września 2001. **Wygłosiłem referat**
21. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Kształtowanie Materiałów Niemetalowych. Zakopane 27-29 wrzesień 2001. **Wygłosiłem referat**
22. XXV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Wrocław - Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002. **Wygłosiłem referat**
23. XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź, 9-12 września 2003. **Wygłosiłem referat**
24. XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Koszalin-Sarbinowo, 19-22 września 2004. **Wygłosiłem referat**

25. XXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Warszawa-Mszczonów, 8-10 września 2004. **Wygłosiłem referat**
26. XXX Jubileuszowa Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Rzeszów, 12-14 września 2007. **Wygłosiłem referat**
27. XXXI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Bochnia, 10-12 września 2008.

Po uzyskaniu stopnia doktora

28. 5<sup>th</sup> International Congress on Precision Machining. ICPM 2009. September 15-19<sup>th</sup> 2009, Stará Lesná – Slovakia.
29. XXXII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Koszalin-Darłówek, 2-4.09.2009. **Wygłosiłem referat**
30. XIII Międzynarodowa Konferencja Komputerowe systemy wspomagania nauki, przemysłu i transportu. „TRANSCOMP 2009”. Zakopane 30.11-3.12.2009. **Wygłosiłem referat**
31. XI Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „SYMROZ’2009”, Szczecin 2009.
32. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź, 8-10.09.2010. **Wygłosiłem referat**
33. IV Międzynarodowy Kongres Silników Spalinowych. Radom – Polska, 16-17 czerwiec 2011. **Prezentacja w Sesji Posterowej**
34. XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Gdańsk, 2011 (7-9 września).
35. X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa” MOTROL 2012. Lublin 2-4 lipiec 2012.
36. XXXV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Wrocław, 19-21.09.2012. **Wygłosiłem referat**

## **8. WSPÓŁPRACA KRAJOWA I MIĘDZYNARODOWA**

### **8.1. Udział w krajowych i międzynarodowych wystawach, targach i wyjazdach technicznych**

1. Międzynarodowe Targi Poznańskie w latach 1977-2009. Kilka jednodniowych pobytów.
2. Międzynarodowe Targi Techniczne, Lipsk, NRD, 1976.
3. NAGEMA. Neubrandenburg, Niemcy 1983. Wymiana doświadczeń między stowarzyszeniami inżynierskimi.
4. Ekspozycja **opatentowanego** automatycznego urządzenia do szlifowania rotorów AR-7 na 60 Międzynarodowych Targach Poznańskich w 1988.
5. Olaf's Sportfiske, Uppsala, Szwecja. Współpraca zakresie urządzeń do trolingowych połowów ryb.
6. Targi EMO. Hanower 1993. Seminaria dotyczące technik wytwarzania.
7. Targi Motoryzacyjne, Poznań 1994-2006.
8. Ecole Nationale Superiure d'Ingenieurs de Bourges. Bourges, Francja, 1998. Seminaria dotyczące technik wytwarzania i mechaniki precyzyjnej.
9. DAN TRUCK. Lemvig, Dania, 2001. Współpraca w zakresie opracowań konstrukcyjnych środków transportu wewnętrznego.
10. Rostock, Niemcy, 2002. Prezentacja **opatentowanych** opracowań Katedry Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej, w ramach oferty Województwa Zachodniopomorskiego.
11. Targi EMO. Hanower 2007. Seminaria dotyczące technik wytwarzania.

Po uzyskaniu stopnia doktora

12. Międzynarodowe Targi Przemysłowo-Techniczne, Sankt Petersburg oraz Państwowy Sankt Petersburski Uniwersytet Rolniczy, Puszkina. Prezentacja **opatentowanych** głowic GW-1 oraz GO-1 do 4, poprzez kontakty bezpośrednie i prospekty rosyjskojęzyczne. 2009.



13. Ekspozycja **opatentowanych** głowic GW-1 oraz GO-1 do 4 na Międzynarodowych Targach Poznańskich 2009.
14. Ekspozycja **opatentowanych** głowic do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typ GO- 2 i GO-4 na stanowisku wystawowym Kongresu ICPM, (5<sup>th</sup> International Congress on Precision Machining. ICPM 2009. September 15-19<sup>th</sup> 2009, Stará Lesná – Slovakia).
15. Ekspozycja **opatentowanych** głowic do mikrowygładzania otworów foliowymi taśmami ściernymi typ GO- 2 i GO-4 na stanowisku wystawowym Konferencji „Transcomp” (Międzynarodowej Konferencji: Komputerowe systemy wspomaganie nauki, przemysłu i transportu). Zakopane 30.11-3.12.2009.

## 8.2. Współpraca z przedsiębiorstwami i instytucjami zagranicznymi

1. 3M, USA, współpraca z polską filią 3M Poland w zakresie:
  - nawiązania współpracy 5.07.1995 r. z kierownictwem Wydziału materiałów ściernych oraz z przedstawicielem w tym zakresie na Europę Centralną – panem Klemensem Stockingerem,
  - uzyskiwania materiałów informacyjnych, próbek narzędzi ściernych, wzorców głowic,
  - uzyskanie udziału dwojga przedstawicieli 3M Poland w XXVII Naukowej Szkole Obróbki Ściernej, organizowanej przez Politechnikę Koszalińską w Sarbinowie w 2004 r.,
  - zorganizowanie **seminarium** wydziałowego firmy na temat; *Innowacyjne narzędzia ściernie firmy 3M*, Koszalin 5.04.2005,
  - uzyskanie gabloty dla Wydziału Mechanicznego PK z przykładowymi narzędziami ściernymi 3M, 5.04.2005,
  - optymalnych wyborów rodzajowych i ilościowych foliowych taśm ściernych oraz uzyskiwanie różnorodnych narzędzi ściernych do próbnych zastosowań,
2. Olaf's Sportfiske, Uppsala, Szwecja, 1992-1996, Współpraca projektowa i wdrożeniowa w zakresie urządzeń do trolingowych połowów ryb,
3. HAKO Technology, Niemcy, filia w Koszalinie, 2000-2002, współpraca projektowa z polską filią firmy w zakresie projektów automatycznych myjni do rowerów i oprzyrządowania spawalniczego,
4. DAN TRUCK, Dania 2001, współpraca w zakresie opracowań konstrukcyjnych środków transportu wewnętrznego,
5. VITRA Designe Museum, Niemcy 1993, współpraca projektowa dotycząca miniatur siedzisk historycznych.

## 8.3. Efekty współpracy

Współpraca zaowocowała wielorakimi efektami o charakterze wymiernym i niewymiernym. Wyjazdy do firm zagranicznych umożliwiły uzyskanie informacji o ich organizacji, poziomu opracowań konstrukcyjnych i stosowanych technologii oraz o zakresie i warunkach oczekiwanej współpracy. Wykonano opracowania projektowe dla zróżnicowanych tematów i wyrobów.

Na targach i wystawach prezentowano opatentowane opracowania autorskie, co było bardzo dobrym działaniem popularyzacji opracowań.

Największe efekty uzyskano ze współpracy z polską filią amerykańskiej firmy 3M, która nieodpłatnie dostarczała folii ściernych w postaci próbek, informacji o właściwościach folii i efektach ich stosowania. Zapewniła także dostawy foliowych taśm ściernych na korzystnych warunkach organizacyjnych i finansowych.

Spektakularne efekty wdrożeniowe w zakresie urządzeń do trolingowych połowów ryb uzyskano w wyniku współpracy ze szwedzką firmą Olaf's Sportfiske, do której wyeksportowano kilkanaście urządzeń OP-10.

## 9. CZŁONKOSTWO W ORGANIZACJACH I TOWARZYSTWACH NAUKOWYCH

1. Członek Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich SIMP od 22.05.1972 do 1992 r.
2. Rzeczoznawca Zespołu w specjalności 303 – Obrabiarki do metali, od 29.04.1983 r.
3. Członek Zarządów kół zakładowych SIMP w KZNS Koszalin i WSInż. Koszalin.
4. Przewodniczący (4.12.1979-26.02.1981) oraz Zastępca Przewodniczącego (19.01.1978-3.12.79 i 27.02.1981-9.12.19880) Sekcji Obrabiarek i Narzędzi przy Oddziale Wojewódzkim SIMP w Koszalinie.
5. Sekretarz Koła Uczelnianego SIMP przy WSInż. Koszalin – od 18.11.1986 do 1990 r.
6. Sekretarz Zespołu SIMP do spraw Specjalizacji Zawodowej Inżynierów – od 12.11.1984 do 1989 r.  
W okresie działania Zespołu zorganizowałem przewody specjalizacyjne dla 7 inżynierów, którzy po komisyjnej ocenie, na publicznych prezentacjach dorobku, uzyskali tytuły specjalistów w rozumieniu przepisów NOT.
7. Uczestnik działań organizowanych przez ZORPOT i ZODOK - agend SIMP oraz przez NOT Koszalin.

## 10. WYBRANE WYRÓŻNIENIA I ODZNACZENIA

1. I Nagroda OW SIMP w Koszalinie w konkursie „Młodzi Inżynierowie dla przemysłu” za pracę dyplomową pt.: „Projekt konstrukcyjny honownicy z napędem hydraulicznym” obronioną w czerwcu 1975 r.
2. Brązowy Krzyż Zasługi – 1978.
3. Wyróżnienie RW NOT w Koszalinie za zaangażowanie i aktywny udział w organizacji XI Koszalińskich Dni Techniki – 1979.
4. Nagroda zespołowa-wyróżnienie za pracę nt.: „Hydrauliczna gładzarka do cylindrów typu HGC-150” w konkursie ROW NOT w Koszalinie za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki – 7.05.79.
5. Nagroda Zjednoczenia Zaplecza Technicznego Motoryzacji za „Zasilacz elektryczno-hydrauliczny typu ZEH-630”.
6. Nagroda Zjednoczenia Zaplecza Technicznego Motoryzacji za „Urządzenie do szlifowania głowic silników samochodowych typu USG-300”.
7. Dyplom uznania za duży wkład w rozwój KZNS oraz aktywny udział w działalności KZ SIMP – 7.06.80.
8. Nagroda zespołowa II stopnia za pracę nt.: „Automatyczne urządzenie do szlifowania rotorów i satorów ceramicznych kondensatorów dostrojczych” w konkursie ROW NOT w Koszalinie za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki- 6.05.85.
9. Wyróżnienie za opracowanie nt.: „Automatyczne urządzenie do szlifowania rotorów i satorów ceramicznych kondensatorów dostrojczych” – czerwiec 1985- Warszawa; w Konkursie Poprawy Warunków Pracy organizowanym przez MPPiSS, MNSWiT, MZiOS oraz Prezesa NOT.
10. Wyróżnienie OW SIMP w Koszalinie za pracę społeczną w dziedzinie postępu technicznego i działalności organizacyjnej SIMP – 27.03.87.
11. Brązowa Honorowa Odznaka SIMP – 27.03.87.
12. Nagroda zespołowa I stopnia, Wojewódzki Mistrz Techniki za opracowanie nt.: „Nowe metody i nowa generacja automatycznych szlifierek do wielozabiegowej, precyzyjnej

- i wysokowydajnej obróbki drobnych kształtek ceramicznych, zwłaszcza dla elektroniki*” w konkursie ROW NOT w Koszalinie za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki – 4.05 1989.
13. Nagroda zespołowa w Konkursie Telewizji Polskiej (Laboratorium) i SHZ „LABIMEX” pn. „Wyzwania Nowoczesności 88”- 1988- wręczona w Poznaniu na 60 MTP za „Nowe metody oraz rodzinę urządzeń do automatycznego szlifowania ceramiki elektronicznej.
  14. Złoty Medal Międzynarodowych Targów za „Automatyczne urządzenie do szlifowania rotorów typu AR-7”, Lipsk 1989.
  15. Nagroda zespołowa II stopnia, Wojewódzki Mistrz Techniki za opracowanie nt.: „Nowa metoda, jednoczesnej, dwustronnej obróbki i automatyczna szlifierka do płaszczyzn czołowych elementów walcowych” w konkursie ROW NOT w Koszalinie za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki – 7.05 1990.
  16. Krajowy Wicemistrz Techniki NOT za opracowanie nt.: „Nowe metody i nowa generacja automatycznych szlifierek do wielozabiegowej, precyzyjnej i wysokowydajnej obróbki drobnych kształtek ceramicznych, zwłaszcza dla elektroniki”. Warszawa 1990.
  17. Srebrna Honorowa Odznaka NOT – 1990.
  18. Medal pamiątkowy XXXV-lecia SIMP na Pomorzu Środkowym- 1990.
  19. Złoty Krzyż Zasługi, przyznany 5.09.2003, otrzymano 1.10.2003.
  20. Nagrody okolicznościowe uzyskane w zakładach przemysłowych oraz w Uczelni.

Po uzyskaniu stopnia doktora

21. Nagrody indywidualne Rektora Politechniki Koszalińskiej za wyróżniające osiągnięcia w pracy zawodowej w 2008, 2009 i 2011.
22. I nagroda w Konkursie NOT Koszalin „Za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki” w 2008 roku za opracowanie pt: „Nowe metody oraz głowice do mikrowygładzania otworów i wałków foliowymi taśmami ściernymi”.
23. Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji. Dyplom XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej – Wrocław 2012. Uznanie za *znaczący wkład w rozwój obróbki ściernej oraz aktywne uczestnictwo w obradach Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej*. Wrocław-Lądek Zdrój, 19-21 września 2012.

### **Wyróżnienia w ujęciu syntetycznym**

- Złoty i Brązowy Krzyż Zasługi,
- Złoty Medal Międzynarodowych Targów w Lipsku,
- Tytuł Krajowy Wicemistrz Techniki NOT,
- Odznaki honorowe SIMP (brązowa) i NOT (srebrna),
- Medal i dyplomy OW SIMP w Koszalinie,
- Nagrody zespołowe ROW NOT w Koszalinie – I stopnia (3) i II stopnia (2) oraz wyróżnienie (1) w konkursach „Za nowe rozwiązania w dziedzinie techniki”,
- 2 nagrody zespołowe Zjednoczenia za opracowanie obrabiarki i zasilacza elektryczno-hydraulicznego,
- Nagroda zespołowa w Konkursie Telewizji Polskiej (Laboratorium) i SHZ „LABIMEX” pt.; Wyzwania nowoczesności,
- Wyróżnienie w konkursie poprawy warunków pracy Ministerstw oraz NOT,
- Nagrody indywidualne JM Rektora Politechniki Koszalińskiej,
- Nagrody okolicznościowe uzyskane podczas nauki szkolnej oraz w zakładach pracy,
- Wyróżnienie XXXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej – Wrocław 2012.

*Syzon Siciński*