

Dr inż. Zygmunt Mikno
Instytut Spawalnictwa
Gliwice

2A. ZAŁĄCZNIK do Wniosku

AUTOREFERAT

**przedstawiający opis osiągnięć naukowych, w szczególności
określonych w art. 16 ust. 2 ustawy w formie papierowej
w języku polskim**

Gliwice, 20.11.2018 r.

SPIS TREŚCI

1. Imię i Nazwisko	3
2. Dyplomy i stopnie naukowe	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Osiągnięcie naukowe stanowiące dzieło opublikowane w całości	4
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze	13
5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem	13
5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu doktoratu	16

1. Imię i Nazwisko
Zygmunt MIKNO

2. Dyplomy i stopnie naukowe

1983 Technikum Łączności im. F. Dzierżyńskiego w Gliwicach

1989 **Uzyskany tytuł:** magister inżynier

Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Kierunek: elektronika

Specjalność: aparatura elektroniczna

Temat pracy dyplomowej magisterskiej: „Generator funkcji do spawarki elektronicznej”

Promotor: dr inż. Maciej Nowiński

Data obrony: 19.10.1989 r.

2005 **Uzyskany tytuł:** doktor nauk technicznych

Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Elektryczny

Dyscyplina: elektrotechnika

Temat rozprawy doktorskiej „Analiza procesu sterowania przestrzennym rozkładem mocy zgrzewania rezystancyjnego”

Promotor: dr hab. inż. Bogusław Grzesik, prof. Pol. Śl.

Data obrony: 28.06.2005 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

10.04.1989 – 05.03.1990

Jednostka: Instytut Spawalnictwa, Zakład Elektronicznych Układów Sterowania

Stanowisko: stażysta-laborant

06.03.1990 – 26.09.2005

Jednostka: Instytut Spawalnictwa, Zakład Elektronicznych Układów Sterowania

Stanowisko: asystent

27.09.2005 – 30.04.2015

Jednostka: Instytut Spawalnictwa, Zakład Elektronicznych Urządzeń Spawalniczych

Stanowisko: adiunkt

01.05.2015 – nadal

Jednostka: Instytut Spawalnictwa, Zakład Technologii Zgrzewania, Klejenia i Inżynierii Środowiska

Stanowisko: adiunkt

4. Osiągnięcie naukowe stanowiące dzieło opublikowane w całości

Moim osiągnięciem naukowym, uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny, którą jest Budowa i Eksploatacja Maszyn, określonym w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 ust.2 (Dz. U. z 2016 r., poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r., poz. 1311), jest autorska monografia habilitacyjna:

Zygmunt Mikno:

„Analiza procesu zgrzewania rezystancyjnego z elektromechanicznym dociskiem elektrod”

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018, s. 190,

ISBN 978-83-7880-587-8

Recenzenci wydawniczy:

1. Prof. dr hab. inż. Jan Pilarczyk
2. Dr hab. Jacek Górka, prof. Pol. Śl.

Istotny wkład pracy habilitacyjnej do nauki w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn dotyczy systemu elektromechanicznego docisku (SED) wraz z nowatorskim algorytmem sterowania dociskiem elektrod zgrzewarki rezystancyjnej.

Niewątpliwą nowością pracy jest uzyskanie wiedzy w zakresie technologii zgrzewania rezystancyjnego dotyczącą odmiennego sposobu sterowania dociskiem elektrod oraz opracowanie i wykonanie zgrzewarek z SED, którego docisk realizowany jest za pomocą nowatorskiego hybrydowego algorytmu sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod.

Siła docisku jest jednym z trzech, bardzo istotnych parametrów procesu zgrzewania, oprócz wartości prądu zgrzewania i czasu jego przepływu. Istota nowego rozwiązania polega na zastosowaniu SED i algorytmu hybrydowego, który realizuje dynamiczny docisk (modulację przebiegu siły) elektrod zgrzewarki w czasie zgrzewania. Konwencjonalny system pneumatycznego docisku elektrod (SPD) charakteryzuje się (zbyt) dużą inercją mechaniczną (200÷300 ms), co nie pozwala na szybką zmianę (sterowanie) tego parametru w czasie zgrzewania, szczególnie w czasie przepływu prądu ($t_{pp} \approx 200$ ms). Idea nowego sposobu sterowania dociskiem elektrod polega na zastosowaniu SED i sterowaniu przemieszczeniem elektrod w czasie przepływu prądu zgrzewania, czego efektem jest zdecydowanie korzystniejszy przebieg przemieszczenia i zarazem siły docisku w porównaniu z SPD. W ten sposób uzyskuje się pożądany i zarazem korzystny rozkład przestrzenny mocy zgrzewania. Takie podejście do zagadnienia może zrewolucjonizować i zmienić dotychczasowe poglądy na temat przebiegu procesu zgrzewania rezystancyjnego oraz w istotny sposób wpłynąć na rozwój technologii zarówno w kraju, jak i na świecie. Oprócz zalet ekonomiczno-użytkowych (brak konieczności stosowania sieci sprężonego powietrza, mniejszy hałas, większa mobilność robota z uwagi na mniejszą masę aktuatora - silnika serwo), nowatorskie sterowanie w istotny sposób wpływa na poprawę jakości i powtarzalność wykonywanych połączeń zgrzewanych.

Wykorzystane w badaniach, nowoczesne narzędzia badawcze takie jak kamera szybkiego filmowania, symulacje komputerowe czy pomiar parametrów charakterystycznych procesu zgrzewania (prąd i napięcie zgrzewania, siła docisku i przemieszczenie elektrod) przyczyniły się do weryfikacji stanu wiedzy w zakresie istotnych zagadnień procesu zgrzewania rezystancyjnego, w szczególności garbowego. Dotyczy to między innymi odmiennego, korzystniejszego: i) rozkładu przestrzennego gęstości prądu, mocy i energii, ii) rozkładu temperatury w obszarze zgrzewania oraz iii) przebiegu siły docisku i przemieszczenia elektrod.

Zgrzewanie rezystancyjne jest technologią znaną od ponad 140 lat i jest nadal dominującą technologią łączenia cienkościennych elementów konstrukcji metalowych wykorzystywaną głównie w przemyśle samochodowym, dużym AGD, przemyśle elektrotechnicznym, elektronicznym, budownictwie z uwagi na swoje trzy podstawowe i bezkonkurencyjne zalety: nie wymaga materiałów dodatkowych (w 99% zastosowań), jest procesem bardzo szybkim ($t_{pp} \approx 200$ ms), koszt energii potrzebnej do wykonania jednego połączenia jest bardzo niski ($\sim 0,1$ grosza dla zgrzewania blach na zakładkę o grubości około 1,0 mm).

Proces zgrzewania rezystancyjnego jest złożony, można w nim wyróżnić dwa zbiory wielkości oddziałujące na jego przebieg. Są to przebieg prądu zgrzewania i przebieg siły docisku elektrod, które są wielkościami sterowanymi. W pracy przeanalizowano kolejno wpływ wymienionych wielkości na proces zgrzewania. Analizę prowadzono za pomocą analiz teoretycznej i numerycznej (SORPAS) oraz eksperymentu. Znaczną uwagę poświęcono parametrowi siły docisku elektrod zgrzewarki, wytwarzanej na dwa sposoby: pneumatyczny i elektromechaniczny. Są to wybrane, reprezentatywne sposoby generacji siły docisku. Analiza drugiego z nich jest dość rozbudowana i jak do tej pory nie napotkano informacji na temat takiego sposobu sterowania dociskiem elektrod zgrzewarki, jaki przedstawiono w monografii.

Naturalne ukierunkowanie analizy to optymalizacja. W ramach analizy przeprowadzono badania optymalizacyjne dla różnych odmian zgrzewania rezystancyjnego, takich jak zgrzewanie: blach z wytłoczonym garbem, prętów na krzyż, śrub i nakrętek, punktowe dwustronne blach na zakładkę. Optymalizacja w pracy rozumiana jest jako poprawa przestrzennego rozkładu gęstości mocy zgrzewania, szczególnie w obszarze styku pomiędzy materiałami zgrzewanymi, która prowadzona jest w odniesieniu do konwencjonalnego systemu docisku, tj. SPD przez zastosowanie SED i nowatorskiego, hybrydowego algorytmu sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod. W zaproponowanym i analizowanym, nowym rozwiązaniu sterowania z wykorzystaniem SED wywierana jest mniejsza siła docisku elektrod, szczególnie na początku procesu zgrzewania. Przy mniejszej wartości siły rezystancja w styku pomiędzy materiałami zgrzewanymi jest wyższa, co przy takim samym prądzie zgrzewania powoduje intensywniejsze nagrzewanie i w efekcie również intensywniejsze topienie materiałów zgrzewanych w porównaniu z SPD. Energia zgrzewania jest wyższa, co powoduje wydzielenie większej ilości ciepła i tym samym szybsze oraz intensywniejsze topienie materiału.

Zasadnicza różnica, zdefiniowana przez Autora monografii, a będąca przedmiotem badań, pomiędzy dociskami pneumatycznym i elektromechanicznym polega na tym, że:

- **SPD** pozwala na zadawanie ciśnienia w cylindrze siłownika zgrzewarki. Ciśnienie to przekłada się na stałą siłę docisku w czasie zgrzewania. Parametrem zadanym jest siła docisku, a parametrem wynikowym jest przemieszczenie (elektrod). Wynikiem oddziaływania stałej i zadanej (niesterowanej) siły w procesie zgrzewania jest przemieszczenie elektrod, które również nie jest w żaden sposób ani sterowane, ani zadawane. Jest ono wynikiem wzajemnego oddziaływania siły docisku elektrod, wartości prądu i czasu jego przepływu oraz dodatkowo właściwości materiału zgrzewanego, w tym jego: grubości, rezystancji właściwej, przewodności cieplnej,

ciepła właściwego, kształtu elektrod (powierzchni roboczej). Ruch elektrod charakteryzuje się dużą inercją w czasie zadawania ciśnienia, a w czasie przepływu prądu i po jego zaniku brak jest możliwości sterowania przemieszczeniem elektrod. Z uwagi na dużą inercję ruchu elektrod, w zdecydowanej większości aplikacji praktycznych, siła docisku ma stałą i jednocześnie niekorzystnie zbyt dużą wartość w czasie przepływu prądu, ale również w całym cyklu zgrzewania.

- **SED** umożliwia pracę w dwóch trybach, tj. z zadawaną siłą docisku lub zadawanym przemieszczeniem elektrod.
 - Dla trybu pracy z **zadawaną siłą** (elektrod) możliwe jest nastawienie różnych wartości siły docisku w poszczególnych przedziałach cyklu zgrzewania, ale najistotniejsza jest modulacja siły w przedziale głównym zgrzewania, tj. w czasie przepływu prądu. Rzeczywiste, możliwe zmiany wartości siły docisku w trakcie procesu zgrzewania charakteryzują się zdecydowanie mniejszym opóźnieniem (kilkukrotnym) w porównaniu z SPD (200÷300 ms – SPD, 50÷80 ms – SED). Sam jednak charakter pracy podobny jest do systemu pneumatycznego, tj. zadawana jest wartość siły. Takie rozwiązania są obecnie stosowane w praktyce przemysłowej.
 - Dla trybu pracy z **przemieszczeniem** (elektrod) zadawana jest prędkość przesuwu elektrod w czasie, co oznacza konkretną wartość przemieszczenia elektrod(y) w trakcie realizowanego przedziału czasu cyklu zgrzewania. W tym trybie pracy nie jest obserwowane opóźnienie w wykonywaniu poszczególnych, następujących po sobie przedziałów cyklu zgrzewania, co pozwala na realizację bardzo szybkich ruchów elektrod bez opóźnienia pomiędzy przedziałami cyklu. To okazuje się bardzo przydatne w technologii zgrzewania rezystancyjnego, szczególnie garbowego. Ten tryb pracy, tj. sterowania silnikiem serwo w trybie przemieszczenia, jest nowatorskim rozwiązaniem zarówno w skali kraju, jak i świata, przebadanym oraz zastosowanym przez Autora.

Dla trybu pracy z przemieszczeniem następuje zasadnicza zmiana, dotycząca wzajemnej relacji pomiędzy przemieszczeniem a siłą (docisku) elektrod w procesie zgrzewania. Zadawane jest przemieszczenie, a wynikiem jest siła docisku. Zmienia to całkowicie możliwości wykorzystania SED w procesie zgrzewania, szczególnie zgrzewania garbowego.

Z uwagi na zdecydowane zalety elektromechanicznego docisku zaistniała potrzeba kompleksowego przebadania zgrzewania rezystancyjnego, szczególnie garbowego, ze względu na nowy sposób sterowania siłą lub/i przemieszczenia elektrod, która stanowiła motywację do podjęcia szerokich badań w zakresie docisku elektrod. Przeprowadzenie proponowanych badań podyktowane było potrzebami naukowymi i użytkowymi, a ich wyniki rozszerzają wiedzę w zakresie technologii zgrzewania dotyczącej odmiennego sposobu sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod.

Możliwe jest takie nowatorskie sterowanie przemieszczeniem elektrod, które może znacząco zmienić dotychczasowe poglądy na temat sterowania dociskiem elektrod w procesie zgrzewania rezystancyjnego oraz w istotny sposób wpłynąć na rozwój tej technologii łączenia. Nowatorskie sterowanie przyczynia się również do poprawy jakości procesu przez wzrost wytrzymałości wykonywanych połączeń zgrzewanych.

Wszystkie powyższe argumenty stanowiły motywację do podjęcia badań w ww. zakresie.

W monografii zrealizowano cele naukowe, które polegały na dogłębnym poznaniu i wyjaśnieniu zjawisk zachodzących w procesie zgrzewania zarówno dla konwencjonalnego SPD, jak i nowo opracowanego SED. Opracowałem modele numeryczne i zbadałem wpływ nowego sposobu sterowania dociskiem elektrod. Badania skupione były na szybkości zmian (modulacji) wywierania siły przez elektrody w procesie zgrzewania rezystancyjnego, szczególnie w czasie przepływu prądu zgrzewania. Badania obejmowały poznanie specyfiki (zjawiska) generacji mocy zgrzewania w zależności od parametrów cyklu zgrzewania, w tym nowego sposobu zadawania docisku elektrod przez sterowanie przemieszczeniem elektrod. Poszukiwałem sposobu na poprawę przebiegu procesu przez zmianę siły docisku elektrod zgrzewarki, a przez to uzyskanie korzystniejszego rozkładu przestrzennego mocy zgrzewania.

Do osiągnięcia założonego celu przeprowadziłem analizy: teoretyczną, numeryczną (SORPAS) i badania eksperymentalne (technologiczne próby zgrzewania) dla kilku reprezentatywnych odmian zgrzewania garbowego (blach z wytłoczonym garbem (**zał. 3, pkt II.A, poz. 2**), prętów na krzyż (**zał. 3, pkt II.A, poz. 10**), śrub i nakrętek (**zał. 3, pkt II.A, poz. 1**), zgrzewania punktowego (**zał. 3, pkt II.E, poz. 5**), przedstawiłem również jeden ze sposobów optymalizacji procesu zgrzewania (**zał. 3, pkt II.A, poz. 3**). Wyniki technologicznych prób zgrzewania przedstawiłem w postaci badań metalograficznych, wytrzymałościowych, twardości, ultradźwiękowych, tomografii komputerowej, przebiegu parametrów charakterystycznych procesu zgrzewania (prądu i napięcia zgrzewania, siły docisku i przemieszczenia elektrod). Dla zaprezentowanych wybranych przypadków wyniki badań eksperymentalnych w pełni potwierdziły uzyskane wcześniej wyniki MES. Tym samym potwierdziły słuszność nowej idei sterowania według algorytmu hybrydowego, tj. sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod.

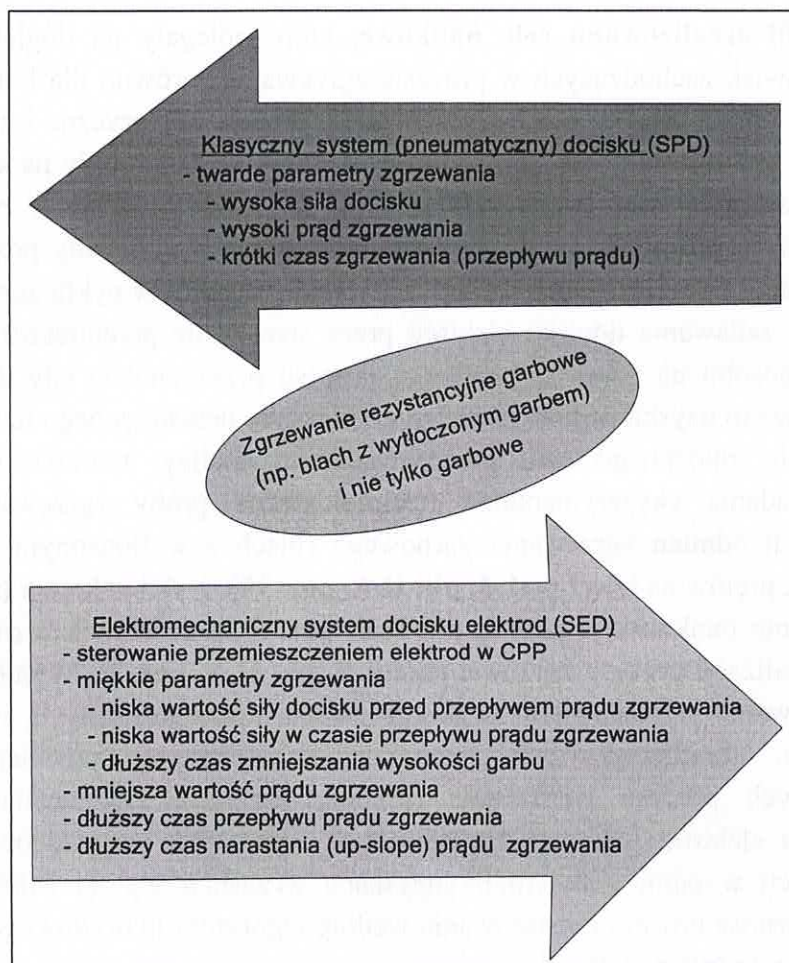
Zrealizowano ponadto cele utylitarne tj. opracowano i wykonano trzy stanowiska badawcze zgrzewarek z SED oraz opracowano algorytmy sterowania dociskiem elektrod według wytycznych uzyskanych na podstawie analizy wyników obliczeń numerycznych. Wszystkie stanowiska zostały opracowane w Instytucie Spawalnictwa, w ramach krajowych projektów badawczych oraz środków własnych Instytutu. Wszystkie prace konstrukcyjne, programowe oraz badawczo-technologiczne były prowadzone, kierowane i nadzorowane przez Autora. Opracowane zgrzewarki (**zał. 3, pkt II.C, poz. 5**):

- DC 1 kHz, $I_{\max} = 20$ kA, $F_{\max} = 30$ kN, silnik serwo typ ELMO,
- AC 50 Hz, $I_{\max} = 20$ kA, $F_{\max} = 15$ kN, silnik serwo typ FESTO,
- DC 1 Hz, $I_{\max} = 7$ kA, $F_{\max} = 2$ kN, silnik serwo typ FESTO,

a także algorytmy sterowania (**zał. 3 pkt II.C, poz. 6, 21**) oraz wytyczne technologiczne zgrzewania (**zał. 3, pkt II.C, poz. 4, 22**) są jedynymi takimi opracowaniami w kraju.

Sposób sterowania procesem zgrzewania rezystancyjnego przedstawiono na przykładzie diagramu optymalizacji zgrzewania garbowego blach z wytłoczonym garbem – rys. 1 (**zał. 3, pkt II.A, poz. 3**).

Efekty takiego sterowania to kolejno: i) mniejszy zgniot garbu na zimno, ii) mniejsza powierzchnia styku elementów zgrzewanych, iii) większa rezystancja w styku materiałów zgrzewanych, iv) większa moc, szczególnie w miejscu styku materiałów zgrzewanych, v) większa energia dostarczona do zgrzeiny w najkorzystniejszym miejscu, tj. w styku elementów zgrzewanych, vi) mniejsza energia zgrzewania (zasilania).



Rys. 1. Diagram optymalizacji procesu zgrzewania

Innowacyjność rozwiązania

Innowacyjnym opracowaniem powstałym w ramach pracy są: i) trzy stanowiska zgrzewarek z SED na trzy różne nominalne siły docisku 2/15/30 kN, w których zastosowano dwa różne systemy elektromechanicznego docisku ELMO/FESTO oraz ii) hybrydowy algorytm sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod. Dla takiej konfiguracji sprzętu i oprogramowania realizującego sterowanie dociskiem według hybrydowego algorytmu osiągnięto **innowacyjność technologiczną**, która została opisana w publikacjach międzynarodowych (zał. 3, pkt II.A, poz. 1-3, 10) i krajowych (zał. 3, pkt II.E, poz. 2, 3, 5), zaprezentowana na konferencjach w kraju (zał. 3, pkt II.L, poz. 29) i za granicą (zał. 3, pkt II.L, poz. 1, 3, 19, 22, 23) oraz zastrzeżona patentami (zał. 3, pkt II.C, poz. 4, 5-6) i zgłoszeniami patentowymi (zał. 3, pkt II.C, poz. 21-22).

W **innowacyjności technologicznej** należy wyodrębnić **innowacyjności programową** (Software) i **sprzętową** (Hardware).

Innowacyjność programowa jest jednocześnie osiągniętym celem użytecznym, tj. hybrydowy algorytm sterowania dociskiem elektrod, który jest integralną częścią zgrzewarki z SED. Algorytm łączy w sobie dwa sposoby sterowania ruchem elektrod (siła i przemieszczenie) w jednym cyklu technologicznym. Istota sterowania według tego

algorytmu polega na tym, że odbywa się ono naprzemiennie według dwóch sposobów sterowania silnikiem serwo, tj. sterowania siłą (opóźnienie ustabilizowania siły $\sim 50 \div 70$ ms) i przemieszczeniem (opóźnienie ustabilizowania położenia ~ 1 ms). Na początku i na końcu cyklu zgrzewania sterowanie dociskiem elektrod jest realizowane według algorytmu sterowania siłą, natomiast w czasie przepływu prądu (bez opóźnienia) według algorytmu sterowania przemieszczeniem. Takie rozwiązanie, przy zastosowaniu SED, w porównaniu z SPD, pozwala na: i) wywarcie mniejszej siły docisku na początku przepływu prądu, ii) zapewnienie stałej i powtarzalnej siły docisku, szczególnie na początku procesu zgrzewania w przypadku np. różnych grubości blach wynikających z tolerancji ich wykonania, iii) zapewnienie sterowania przemieszczeniem elektrod bez opóźnień w czasie przepływu prądu, według zadanej trajektorii, iv) wywarcie siły skuwania (spęczania), po wyłączeniu prądu zgrzewania, o wartości większej i w zdecydowanie krótszym czasie.

Prace nad opracowaniem algorytmu hybrydowego zostały poprzedzone obliczeniami numerycznymi, które przeprowadzono, korzystając z oprogramowania SORPAS firmy SWANTEC. Umożliwia ono prowadzenie obliczeń w trybie sterowania przemieszczeniem elektrod i stanowi zarazem innowacyjność oprogramowania, którą zastosowałem w obliczeniach numerycznych.

Innowacyjność sprzętowa i kolejny osiągnięty cel użyteczny stanowią zaprojektowane, opracowane i wykonane, unikatowe stanowiska badawcze zgrzewarek rezystancyjnych z SED. Na tych stanowiskach badawczych zgrzewarek, w wyniku technologicznych prób zgrzewania, zweryfikowano eksperymentalnie wyniki wcześniejszych obliczeń numerycznych. Opracowane stanowiska zgrzewarek są pierwszymi takimi rozwiązaniami w kraju.

Wykorzystanie wyników badań w praktyce

Przeprowadzone badania wymagały połączenia: obliczeń numerycznych procesu zgrzewania, prac konstrukcyjnych związanych z opracowaniem i wykonaniem zgrzewarek, prac programistycznych nad opracowaniem algorytmów sterowania dociskiem elektrod i eksperymentalnych badań weryfikujących w zakresie porównania dwóch systemów docisku elektrod (konwencjonalnego SPD oraz nowego SED).

Otrzymane wyniki badań poszerzają wiedzę w zakresie technologii zgrzewania dotyczącą odmiennego sposobu sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod. Wykazano, że możliwe jest nowatorskie sterowanie przemieszczeniem elektrod, które może w istotny sposób wpłynąć na rozwój technologii zgrzewania rezystancyjnego. Co istotne oprócz zalet ekonomiczno-użytkowych nowatorskie sterowanie w istotny sposób wpływa na poprawę zarówno jakości procesu zgrzewania, jak i wykonywanych połączeń zgrzewanych. Wyeliminowane zostały niezgodności zgrzewania np. w postaci zgrzeiny pierścieniowej, a w wyniku zastosowania SED i odpowiedniego algorytmu sterowania możliwe jest uzyskanie pełnego jądra zgrzeiny o większych rozmiarach (średnica, wysokość, głębokość wtopienia). Ma to istotny i zarazem bardzo korzystny wpływ na wzrost wytrzymałości połączeń zgrzewanych i tym samym na ich jakość.

Ponadto, w zależności od przyjętego sposobu optymalizacji, możliwe jest między innymi zgrzewanie mniejszym prądem, w krótszym czasie i z mniejszą energią zgrzewania. W dalszej kolejności pozwala to na zmniejszenie mocy instalowanych zgrzewarek na linii produkcyjnej. Są to zalety ekonomiczne, które pozwalają na obniżenie kosztów zakupu zgrzewarek, obniżenie poboru mocy chwilowej oraz pobieranej energii zasilania.

W aspekcie przedstawionych zalet głównymi, finalnymi odbiorcami, zarówno zgrzewarek z nowym SED, jak i nowej technologii, będą przemysł samochodowy, AGD, elektrotechniczny. Natomiast, na dzień dzisiejszy, głównym odbiorcą rozwiązania zgrzewarek z SED i algorytmów sterowania dociskiem elektrod jest ASPA Wrocław – producent zgrzewarek, który był partnerem współfinansującym jeden z realizowanych projektów (**zał. 3, pkt II.J, poz. 4**). Partnerzy projektu, po jego zakończeniu, będą prowadzili wspólnie proces wdrożenia jego wyników w przemyśle. Partner przemysłowy jest zainteresowany wdrożeniem, tj. produkcją i sprzedażą, zgrzewarek nowej generacji, a Instytut Spawalnictwa – opracowywaniem nowych technologii. Dla partnera przemysłowego jest to szansa na wzrost sprzedaży przez poszerzenie swojego asortymentu urządzeń. Produkt (zgrzewarka) jest polskim opracowaniem, co wpływa na wzrost przewagi konkurencyjnej firmy ASPA Wrocław na rynku zarówno krajowym, jak i zagranicznym. Rokuje to pozytywnie na wykorzystanie wyników w praktyce.

Wyniki pracy

Na całość monografii, którą przedstawiłem jako swoje główne osiągnięcie naukowe, składa się zamieszczony opis najaktualniejszych prac i badań w zakresie elektromechanicznego docisku elektrod (SED) w procesie zgrzewania rezystancyjnego prowadzonych w ośrodkach na świecie oraz badania własne w ww. zakresie. Prowadzone przez Autora badania nad nowatorskim i zarazem innowacyjnym sposobem sterowania dociskiem elektrod są pierwszymi takimi pracami w kraju. Natomiast porównując je z wynikami pochodzącymi z różnych ośrodków badawczych na świecie, prowadzone są badania procesu zgrzewania z SED, ale tylko w zakresie algorytmu sterowania siłą docisku elektrod. Nowatorskie rozwiązanie zaproponowane przez Autora, tj. sterowanie przemieszczeniem elektrod w czasie przepływu prądu dla wybranych, analizowanych przypadków, jest absolutnym novum w tematyce zarówno krajowej, europejskiej, jak i światowej. Poniżej przedstawiono wyniki z przeprowadzonych prac i badań, które składają się na całość monografii:

- opracowanie teoretyczne dotyczące nowej idei optymalizacji procesu zgrzewania rezystancyjnego, szczególnie garbowego, z zastosowaniem SED na podstawie wyników obliczeń MES,
- opracowanie modeli numerycznych dla wybranych odmian zgrzewania garbowego: blach z wytłoczonym garbem, prętów na krzyż, śrub i nakrętek oraz zgrzewania punktowego dwustronnego blach na zakładkę,
- opracowanie i zaimplementowanie w modelu numerycznym czterech podstawowych algorytmów (*tylko siła, siła z cofnięciami, przemieszczenie, hybryda*), w tym szczególnie algorytmu hybrydowego, sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod dla SED,

- wyniki obliczeń numerycznych oprogramowania SORPAS, tj. analizy procesu zgrzewania z SED i przemieszczeniem elektrod, wskazujące na możliwość optymalizacji procesu zgrzewania w porównaniu z SPD,
- wytyczne niezbędne do optymalizacji procesu zgrzewania z zastosowaniem SED i algorytmów sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod,
- zaprojektowanie i wykonanie trzech stanowisk zgrzewarek z SED dla różnych systemów elektromechanicznego docisku (silników serwo), tj. ELMO/FESTO oraz różnych nominalnych sił docisku elektrod (2/15/30 kN),
- opracowanie i zaimplementowanie w układzie sterowania czterech podstawowych algorytmów, w tym algorytmu hybrydowego, sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod z SED,
- opracowanie parametrów cyklu zgrzewania dla technologicznych prób zgrzewania z SPD i SED dla trzech odmian zgrzewania garbowego i zgrzewania punktowego,
- wyniki badań eksperymentalnych (przebieg siły docisku, przemieszczenie, moc, energia) SPD i SED dla procesów zgrzewania garbowego i zgrzewania punktowego oraz różnych algorytmów sterowania dociskiem elektrod,
- wyniki badań niszczących (wyłuskanie, odrywanie, siła ścinająca, niszczący moment skręcający), badań nieniszczących (ultradźwiękowe, tomografii komputerowej), badań twardości oraz badań metalograficznych potwierdzających zalety nowego sposobu sterowania z zastosowaniem SED w porównaniu z SPD,
- uzyskanie patentów i dokonanie zgłoszeń patentowych w zakresie konstrukcji zgrzewarki z SED, algorytmów sterowania, w tym algorytmu hybrydowego, sterowania ze sprzężeniem zwrotnym, sposobu zgrzewania dla trzech odmian zgrzewania garbowego, których Autor monografii jest głównym twórcą:
 1. Patent PL 412614, **2017**, *Sposób sterowania zgrzewarką z serwomechanicznym dociskiem i urządzenie do stosowania tego sposobu (zał. 3, pkt II.C, poz. 5),*
 2. Patent PL 220870, **2016**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego zwłaszcza blach stalowych z wytłoczonymi garbami (zał. 3, pkt II.C, poz. 6),*
 3. Patent PL 228089, **2017**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego w konfiguracji na krzyż zwłaszcza prętów aluminiowych (zał. 3, pkt II.C, poz. 4),*
 4. Zgłoszenie patentowe P.424725, **2018**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego elementów metalowych z garbami pełnymi, zwłaszcza nakrętek i śrub (zał. 3, pkt II.C, poz. 22),*
 5. Zgłoszenie patentowe P.425968, **2018**, *Sterowanie dociskiem elektrod w procesie zgrzewania rezystancyjnego w sprzężeniu zwrotnym (zał. 3, pkt II.C, poz. 21),*
- publikacje w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym i wystąpienia na konferencjach międzynarodowych związanych z elektromechanicznym dociskiem elektrod w procesie zgrzewania rezystancyjnego i algorytmami sterowania siłą lub/i przemieszczeniem elektrod zgrzewarki.

Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawione wyniki prac i badań własnych – w tym badania numeryczne, technologiczne próby zgrzewania, jako weryfikacja eksperymentalna obliczeń MES, badania złączy zgrzewanych niszczące/nieniszczące, pomiary parametrów charakterystycznych procesu (przebieg mocy, siły docisku, przemieszczenie, energia) – pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków ogólnych i spostrzeżeń:

1. Siła docisku elektrod w procesie zgrzewania rezystancyjnego ma bardzo istotny i zarazem *selektywny* wpływ na wytwarzanie ciepła w obszarze zgrzewania, szczególnie w styku *material zgrzewany - material zgrzewany*. Wielkość siły docisku wpływa bezpośrednio na rezystancję i tym samym na wielkość wytwarzanego ciepła w tym obszarze, zgodnie z prawem Joule'a-Lenza. Pożądana jest generacja większej ilości energii, a tym samym ciepła, w styku pomiędzy materiałami zgrzewanymi. Z punktu widzenia parametru siły istotna i bardzo korzystna jest jej modulacja, co nie jest możliwe z wykorzystaniem SPD, a obecnie jest realizowane przy zastosowaniu SED. Idea nowego sposobu sterowania SED, którego wynikiem jest korzystniejszy przebieg siły docisku elektrod w porównaniu z SPD, polega na tym, że siła docisku na początku przepływu prądu jest mniejsza, a jej wartość w czasie jego przepływu nie jest większa w porównaniu z SPD. Pożądany i zarazem korzystny przebieg siły uzyskiwany jest w wyniku sterowania przemieszczeniem elektrod. Jest to nowatorski sposób sterowania (**zał. 3, pkt II.C, poz. 4-6, 21-22**), który został zaproponowany i jest nadal rozwijany przez Autora monografii.
Należy mieć jednak na uwadze, że ograniczeniem do początkowej mniejszej wartości siły docisku i jej przebiegu w czasie przepływu prądu, również o mniejszej wartości w porównaniu z SPD, jest wytwarzanie niekorzystnie większej ilości ciepła w styku *elektrod - material zgrzewany*.
2. Istnieje możliwość modulowania siły przez sterowanie SED w algorytmie sterowania siły docisku lub algorytmie sterowania przemieszczeniem elektrod. Wybór algorytmu sterowania zależy od wymagań procesu zgrzewania, tj. wymaganej szybkości zmian przemieszczenia elektrod wynikającej z uplastyczniającego się materiału zgrzewanego w wyniku przepływu prądu zgrzewania. Do zgrzewania garbowego korzystniej jest zastosować algorytm sterowania przemieszczeniem, natomiast dla zgrzewania punktowego – algorytm sterowania siłą docisku.
3. Zastosowanie SED, z uwagi na zdecydowanie krótsze czasy opóźnienia ustabilizowania zadanej wartości siły docisku oraz możliwość wywarcia większej siły docisku (przy tych samych gabarytach aktuatora), umożliwia efektywniejsze spęczanie zgrzeiny po zaniku prądu zgrzewania. To pozwala na zwiększenie wytrzymałości połączeń zgrzewanych.
4. Przedstawione, możliwe kierunki optymalizacji, polegające np. na zmniejszeniu prądu zgrzewania i wydłużeniu czasu jego przepływu, pozwalają na: zastosowanie zgrzewarek o mniejszej mocy, przez to obniżenie kosztów ich zakupu, obniżenie poboru mocy chwilowej, obniżenie zużycia energii elektrycznej, zmniejszenie wymagań dotyczących szybkości posuwu elektrod, tj. dynamiki układu dociskowego.

5. Każda poprawa jakości i powtarzalności połączeń zgrzewanych jest szczególnie istotna przy wykonywaniu połączeń w elementach odpowiedzialnych, podlegających nadzorowi, od jakości których zależy ludzkie życie lub uszkodzenie których powoduje znaczne straty materialne. Naprzeciw tym oczekiwaniom z pewnością wychodzą nowa idea sterowania dociskiem elektrod zgrzewarki z zastosowaniem SED i algorytmu sterowania.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem

Jestem absolwentem Politechniki Śląskiej Wydziału Elektroniki, Automatyki i Informatyki o kierunku elektronika i specjalności aparatura elektroniczna. Studia ukończyłem 19 października 1989 r. obroną pracy magisterskiej pt. „Generator funkcji do spawarki elektronicznej”. Moje zainteresowania w czasie studiów magisterskich koncentrowały się w obszarze zagadnień sterowania mikroprocesorowego. Już w czasie studiów, na ostatnim roku, podjąłem pracę na ½ etatu w Instytucie Spawalnictwa w Zakładzie Elektronicznych Układów Sterowania. W 1990 r. zostałem asystentem i zajmowałem się opracowywaniem układów sterowania do zgrzewarek rezystancyjnych. Było to doskonałe połączenie wiedzy zdobytej na studiach z praktyką. Na swoim stanowisku pracy nabywałem wiedzę i doświadczenie w zakresie szeroko pojętego spawalnictwa, jednocześnie doskonaliłem swoje umiejętności w obszarze technik badawczych, pomiaru i monitorowania parametrów procesów spajania, w szczególności układów sterowania do zgrzewarek różnego typu, układów sterowania do stanowisk badawczych na potrzeby spawalnictwa. Obszar mojej działalności badawczej przedstawia się następująco:

- budowa stanowisk badawczych na potrzeby spawalnictwa (**zał. 3, pkt II.J, poz. 7**),
- monitorowanie parametrów procesu spawania/zgrzewania (**zał. 3, pkt II.J, poz. 8**),
- system sterowania do symulatora cykli cieplnych (**zał. 3, pkt II.C, poz. 20**),
- system sterowania i monitorowania do stanowiska badań przemian fazowych w stalach (**zał. 3, pkt II.C, poz. 9**),
- opracowanie metody oraz systemu pomiarowo-decyzyjnego do oceny jakości połączeń spawanych/zgrzewanych z wykorzystaniem układów sztucznej inteligencji (**zał. 3, pkt II.F, poz. 27; pkt II.B, poz. 9**),
- metodyka pomiaru temperatury w procesach spawania (**zał. 3, pkt II.E, poz. 47-48, 50; pkt II.C, poz. 13**),
- układy sterowania do zgrzewarek rezystancyjnych (**zał. 3, pkt II.C, poz. 19**),
- stabilizacja prądu w zgrzewarkach inwertorowych (**zał. 3, pkt II.C, poz. 17**),
- opracowanie i badania algorytmów sterowania procesem zgrzewania rezystancyjnego w warunkach zakłóceń przemysłowych (**zał. 3, pkt II.F, poz. 17**),
- opracowanie systemu pomiarowego do procesu zgrzewania rezystancyjnego iskrowego i zgrzewania tarcowego (**zał. 3, pkt II.C, poz. 2**),
- opracowanie nowej generacji zgrzewarek rezystancyjnych, inwertorowych 1 kHz (**zał. 3, pkt II.C, poz. 17**),

- rozwój mikroprocesorowej aparatury do pomiarów parametrów procesów spawalniczych (**zał. 3 pkt II.C, poz. 19, 20**),
- badania w zakresie stabilizacji wibracyjnej konstrukcji spawanych po procesie spawania,
- badania i rozwój aparatury do pomiaru parametrów procesów spawalniczych (**zał. 3, pkt II.B, poz. 10**),
- badania natężenia promieniowania widzialnego łuku spawalniczego (**zał. 3, pkt II.F, poz. 6, pkt II.B poz. 9**).

W tym okresie brałem udział w realizacji prac badawczych wykonywanych w Instytucie Spawalnictwa (prace statutowe - ST) realizowanych na zlecenie Komitetu Badań Naukowych. Byłem wykonawcą w ponad 25 pracach, w tym jako kierownik prowadziłem 4 tego typu prace.

Aktywnie uczestniczyłem w konferencjach dotyczących tematyki spawania, które były okazją do zapoznawania się z aktualnymi trendami rozwoju i potrzebami spawalnictwa. Uczestniczyłem ogółem w 10 konferencjach krajowych i 1 międzynarodowej, na których osobiście wygłosiłem 9 referatów.

Byłem słuchaczem kursów, szkoleń, studiów podyplomowych, w czasie których doskonaliłem swoje umiejętności praktyczne, poszerzałem wiedzę w zakresie technik badawczych, pozyskiwałem informacje na temat specjalistycznych systemów pomiarowych na potrzeby spawalnictwa oraz zgłębiałem zagadnienia marketingu i zarządzania.

Ukończyłem:

- Studium podyplomowe „Technika oszczędności energii elektrycznej”, 1996, Studium Kształcenia Ustawicznego Politechniki Śląskiej (120 h).
- Kurs programowania sterowników programowalnych SIMATEC, 1997, Centrum Szkolenia Systemów Automatyki INTEX (40 h).
- Szkolenie – „Systemy zgrzewania średniej częstotliwości”, 1997, HARMS & WENDE (Niemcy), (3 dni).
- Praktykę zagraniczną w firmie Harms & Wende (Niemcy), 2003, (3 tygodnie).
- Studia podyplomowe „Marketing i Zarządzanie w Przedsiębiorstwie”, 2002 ÷ 2003, Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej (168 h).

Przed uzyskaniem stopnia doktora byłem współtwórcą 5 zgłoszeń patentowych (w 3 byłem głównym twórcą). W tym czasie Urząd Patentowy RP na 2 rozwiązania udzielił patenty (P.166550, P.174054), a pozostałe zgłoszenia patentowe zostały przyznane po obronie doktoratu (P.196710, P.199607, P.203345).

Byłem współautorem 11, w tym w 5 głównym autorem, wdrożeń do przemysłu z zakresu przyrządów pomiarowych, układów sterowania do zgrzewarek rezystancyjnych i zgrzewarki elektronowej (**zał. 3, pkt III.Q, poz. 33**) oraz opracowania konstrukcji zgrzewarki inwerterowej 1 kHz (**zał. 3, pkt III.Q, poz. 24**).

Brałem udział w 3 projektach badawczych finansowanych przez KBN, w tym jako kierownik prowadziłem 2 z nich (**zał. 3, pkt II.J, poz. 9, 13**).

Za działalność naukowo-badawczą zostałem wyróżniony 4 medalami (1 złoty, 3 srebrne) na Międzynarodowych Wystawach Wynalazków w Brukseli kolejno w 1992 r., 1993 r., 2000 r., 2001 r.

Wyniki swoich badań przedstawiłem łącznie w 26 pracach:

- publikacje (3) w czasopismach anglojęzycznych (**zał. 3, pkt II.E, poz. 50-52**),

- publikacje (20) w krajowych czasopismach (Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, Przegląd Spawalnictwa, Przegląd Elektrotechniczny, Zgrzewanie Metali i Tworzyw w Praktyce),
- praca dyplomowa Studium Podyplomowego (1),
- opracowania (2) w ramach projektu badawczego zamawianego przez KBN (zał. 3, pkt II.J, poz. 11, 12).

W 2003 r. otworzyłem przewód doktorski na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Wspólnie z promotorem, prof. Bogusławem Grzesikiem, podjąłem się zadania dogłębnego przeanalizowania procesu zgrzewania rezystancyjnego. Tematem mojej pracy doktorskiej była „Analiza procesu sterowania przestrzennym rozkładem mocy zgrzewania rezystancyjnego”. Dysertacja obejmowała pięć zasadniczych zagadnień: i) opracowanie modelu 1D procesu zgrzewania (oprogramowanie Octave), ii) opracowanie modelu zgrzewania 2D (ANSYS), iii) pomiar temperatury w zgrzewaniu rezystancyjnym, iv) eksperymentalne wyznaczanie parametrów materiałów zgrzewanych w funkcji temperatury (rezystancja właściwa, przewodność cieplna, ciepło właściwe) na potrzeby modeli numerycznych 1D i 2D, v) intensyfikacja chłodzenia elektrod i obszaru zgrzewania z zastosowaniem strumienia mgły wodnej oraz ciekłego azotu (-193°C). Na prowadzone badania uzyskałem dofinansowanie z Komitetu Badań Naukowych i prowadziłem grant własny (nr 4 T08C 006 24, 2003 – 2004 r.) pt.: „Badanie rozkładu przestrzennego mocy zgrzewania rezystancyjnego metali” (zał. 3, pkt II.J, poz. 9).

Proces zgrzewania rezystancyjnego okazał się silnie nieliniowy, a istotne wielkości to parametry materiałowe, szczególnie materiałów zgrzewanych, w tym: rezystancja właściwa, ciepło właściwe, przewodność cieplna. Ważnymi czynnikami, mającymi wpływ na rozkład przestrzenny mocy zgrzewania, są intensyfikacja chłodzenia elektrod oraz rezystancja kontaktów. Opracowałem model numeryczny zgrzewania rezystancyjnego i przeprowadziłem stosowne obliczenia. Wyniki obliczeń wskazywały, że w wyniku intensyfikacji chłodzenia istnieje możliwość korzystnego zmniejszenia temperatury w styku *elektroda-materiał zgrzewany* oraz zmniejszenia wysokości jądra. Wyniki obliczeń MES zostały zweryfikowane eksperymentalnie. Opracowałem nowatorską aparaturę (jedyne takie modelowe urządzenia w kraju), tj.: 1) układ sterowania i rozpylacze mgły wodnej do chłodzenia mgłowego elektrod i materiałów zgrzewanych oraz 2) system chłodzenia ciekłym azotem elektrod zgrzewarki wraz z systemem pneumatycznego przepompowywania ciekłego azotu. W ten sposób wyeliminowane zostały zawodne i kosztowne pompy mechaniczne do transportu medium o temperaturze -193°C.

Przeprowadzone obliczenia numeryczne wykazały również, że istotnym czynnikiem, który korzystnie wpływa na rozkład przestrzenny mocy zgrzewania jest rezystancja w styku *materiał zgrzewany - materiał zgrzewany*. Przebieg zmienności tego parametru można uzyskać za pomocą zmiany siły docisku. Jednak w tym czasie, z uwagi na brak sprzętowych rozwiązań, realizacja techniczna sterowania siłą docisku w krótkich czasach zgrzewania, w szczególności w czasie przepływu prądu ($t_{pp} \approx 200$ ms), była niemożliwa.

Wyniki oraz wiedza zdobyta w czasie realizacji pracy doktorskiej przyczyniły się do:

- opracowania 3 zgłoszeń patentowych i przyznania przez UPRP patentów na te zgłoszenia (zał. 3, pkt II.C, poz. 14, 16, 18),

- publikacji krajowych (zał. 3, pkt II.E, poz. 57) oraz wystąpień na krajowych (zał. 3, pkt II.L, poz. 30, 32) i międzynarodowych konferencjach (zał. 3, pkt II.L, poz. 9),
- przygotowania wniosku o grant z zakresu tematyki doktoratu (pomiar temperatury) i pozyskania w ten sposób finansowania projektu badawczego (zał. 3, pkt II.J, poz. 7), którego efektem są m.in. patenty (zał. 3, pkt II.C, poz. 9, 13), zagraniczne wystąpienia konferencyjne (zał. 3, pkt II.L, poz. 5-7), nagrody za najlepsze wygłoszone referaty na konferencjach zagranicznych (zał. 3, pkt II.K, poz. 3, 4),
- uzyskania medali i wyróżnień na międzynarodowych i krajowych wystawach wynalazczości (zał. 3, pkt II.D, poz. 6).

5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu doktoratu

Po obronie doktoratu (28.06.2005 r.) kontynuowałem prace w Instytucie Spawalnictwa, a działalność moja w tym okresie była związana m.in. z rozpowszechnianiem wyników uzyskanych w trakcie realizacji pracy doktorskiej, co czyniłem za pomocą publikacji (zał. 3, pkt II.E, poz. 51) i referatów wygłaszanych na krajowych (zał. 3, pkt II.L, poz. 30, 32, 34) i międzynarodowych (zał. 3, pkt II.L, poz. 9) konferencjach naukowych.

W swojej pracy naukowej kontynuowałem badania dotyczące tematyki związanej ze spawalnictwem, w tym:

- zastosowanie kriogeniki w spawalnictwie (zał. 3: pkt II.B, poz. 8; pkt II.F, poz. 12),
- opracowanie metodyki dynamicznego pomiaru temperatury w warunkach spawalniczych (zał. 3: pkt II.E, poz. 40-42; pkt II.K, poz. 3, 4),
- opracowanie i wykonanie stanowisk badawczych na potrzeby spawalnictwa (zał. 3, pkt II.J, poz. 7),
- opracowanie i budowa zgrzewarek: i) ultradźwiękowych punktowych/liniowych (zał. 3, pkt II.F, poz. 10), ii) inwertorowych 10 kHz (zał. 3, pkt II.E, poz. 1; pkt III.E, poz. 1),
- opracowanie i wykonanie systemów oceny jakości procesów zgrzewania rezystancyjnego (zał. 3, pkt II.B, poz. 9, pkt III.Q, poz. 13, 19-20),
- opracowanie i wykonanie systemów sterowania oraz pomiaru parametrów procesu zgrzewania (zał. 3: pkt II.B, poz. 3, 9, pkt III.D, poz. 2-3).

Wyniki z przedstawionych obszarów badawczych opublikowałem w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych o zasięgu zarówno krajowym, jak i międzynarodowym (zał. 3 pkt II.E, poz. 46-48, 50, 52, 57).

W 2010 r., z uwagi na rozwój technik związanych z elektromechanicznym dociskiem elektrod w procesie zgrzewania rezystancyjnego, powróciłem do istotnego zagadnienia procesu zgrzewania rezystancyjnego rozpoznanego w czasie doktoratu. Skupiłem się na rozwinięciu jednego z istotnych aspektów zgrzewania rezystancyjnego, jakim jest dynamika docisku elektrod zgrzewarki.

W doktoracie podjąłem próbę szeroko pojętej analizy rozkładu przestrzennego mocy zgrzewania na przykładzie zgrzewania punktowego dwustronnego blach na zakładkę. Uzyskane wyniki pozwalały na kształtowanie przestrzennego rozkładu mocy zgrzewania w wyniku intensyfikacji chłodzenia oraz zmiany przebiegu prądu zgrzewania. Wiedza

i doświadczenie zdobyte w tym czasie wskazywały również na istotny, trzeci parametr procesu zgrzewania rezystancyjnego, tj. siłę docisku. Przeprowadzone później (po 2010 r.) obliczenia numeryczne wskazywały na możliwość selektywnej intensyfikacji wydzielania ciepła w określonych miejscach obszaru zgrzewania. Najkorzystniejszym pod tym względem jest kontakt zgrzewanych elementów i obszarów bezpośrednio do niego przylegających. Zakładany kierunek optymalizacji procesu zgrzewania wymagał zastosowania szybkich aktuatorów docisku elektrod. Przy czasie przepływu prądu (t_{pp}/CPP) około 200 ms (zgrzewanie blach na zakładkę o grubości 1,0 mm) konwencjonalne systemy pneumatycznego docisku (SPD), z uwagi na zbyt duże opóźnienia, nie były w stanie sprostać wymaganiom odnoszącym się do szybkości zmian wywierania siły na poziomie 50 ÷ 100 ms.

Od 2010 r. rozpocząłem prace nad nowym, elektromechanicznym, nazywanym również serwomechanicznym, systemem docisku elektrod zgrzewarki. Od tego czasu na swoją działalność naukową pozyskałem dofinansowanie z MNiSW, NCN, NCBR oraz Instytutu Spawalnictwa (**zał. 3, pkt II.J, poz. 4, 6; pkt II.F, poz. 9**). Prace badawcze prowadzone były w kilku obszarach: i) porównawcze obliczenia numeryczne dla SPD i SED, ii) opracowanie stanowisk zgrzewarek z SED, iii) opracowanie algorytmów sterowania dociskiem elektrod, iv) weryfikacja eksperymentalna przez technologiczne próby zgrzewania, vi) porównanie wyników obliczeń numerycznych i wyników badań eksperymentalnych (badania metalograficzne, wytrzymałościowe).

Swoją analizę rozpocząłem od procesu zgrzewania punktowego blach na zakładkę, tj. rodzaju technologii, którą zajmowałem się w doktoracie. Rozszerzyłem obszar swoich badań na technologie zgrzewania garbowego, co okazało się bardzo obiecującym (dobrym) kierunkiem, z uwagi na jeszcze lepsze efekty wynikające z zastosowania nowego sposobu wywierania docisku. Przemieszczenie elektrod w czasie zgrzewania garbowego jest kilka razy większe w porównaniu ze zgrzewaniem punktowym, dlatego efekt oddziaływania nowego sposobu docisku jest również większy. W analizie procesu zgrzewania bardzo pomocne było wykorzystanie oprogramowania do obliczeń numerycznych – SORPAS firmy SWANTEC.

W czasie realizacji pierwszego projektu związanego z badaniami nad elektromechanicznym dociskiem elektrod, z uwagi na brak dostępności w kraju zgrzewarki z SED, pierwszą serię badań eksperymentalnych wykonałem w firmie Harms & Wende (Niemcy). Z uwagi jednak na mało satysfakcjonujące wyniki badań przeprowadzonych za granicą oraz na realizowany w tym czasie projekt (**zał. 3, pkt II.J, poz. 6**), zdecydowałem o opracowaniu własnego stanowiska zgrzewarki z SED, które sfinansowano ze środków realizowanego grantu (przeznaczonego na badania za granicą) oraz środków Instytutu Spawalnictwa (**zał. 3, pkt II.F, poz. 9**).

Projekt został rozszerzony o prace sprzętowo-konstrukcyjne związane z opracowaniem i wykonaniem stanowiska badawczego zgrzewarki inwertorowej DC 1kHz wyposażonej w system docisku elektromechanicznego firmy ELMO o nominalnej sile docisku 30 kN i źródło prądu zgrzewania 20 kA. Przy zakupie systemu elektromechanicznego docisku skorzystałem ze sprawdzonego rozwiązania, które stosowała na swojej linii produkcyjnej firma Fiat Auto Poland Tychy. Należy nadmienić, że rozwiązanie elektromechanicznego docisku elektrod w firmie FIAT stosowane były głównie z uwagi na zalety ekonomiczne i użytkowe (mniejszy hałas, brak konieczności stosowania sieci sprężonego powietrza, mniejszą masę aktuatora – silnika serwo, stąd mniejszą masę zgrzewadła). Nie

wykorzystywano natomiast zalet wynikających z możliwości modulacji przebiegu siły docisku i poprawy technologii zgrzewania.

W ramach docelowej części badawczej tego projektu dokonałem porównania SPD z SED. Wykazałem wyższość sterowania SED w porównaniu z SPD. Wyróżniłem dwa tryby pracy silnika serwo, tj. tryb sterowania *siłą* i tryb sterowania *przemieszczeniem* elektrod. Zdecydowanie korzystniejsze, z uwagi na brak opóźnień w ustabilizowaniu zadanej wartości siły docisku, okazało się sterowanie przemieszczeniem. Jest to autorskie rozwiązanie, niestosowane do tej pory w kraju i również na świecie. Opracowałem autorski, tzw. hybrydowy algorytm sterowania dociskiem elektrod, który łączy w sobie obydwa sposoby sterowania. Sterowanie dociskiem w trakcie technologicznego cyklu zgrzewania, w tym algorytmie pracy, polega na tym, że na początku cyklu (przed przepływem prądu) sterowana jest siła docisku. Pozwala to na pewne zetknięcie elektrod z materiałami zgrzewanymi i wywarcie mniejszej siły docisku w porównaniu z SPD. Natomiast w czasie przepływu prądu, z uwagi na rygorystyczne wymagania, co do szybkości zmian i sterowania przemieszczeniem, SED pracuje w trybie sterowania przemieszczeniem.

Wyniki uzyskane w ramach tego projektu były satysfakcjonujące i bardzo obiecujące. Posłużyły one jako wyniki bazowe w aplikowaniu o dofinansowanie w ramach kolejnego projektu TANGO1 (**zał. 3, pkt II.J, poz. 4**). Jego celem było opracowanie i wykonanie zgrzewarek z SED na różne nominalne siły docisku (2 kN i 15 kN). Istotnym kryterium dalszego finansowania projektu (po pierwszej tzw. fazie rozpoznawczej „K”) było pozyskanie partnera przemysłowego zainteresowanego wdrożeniem wyników oraz współfinansowaniem projektu. Partner przemysłowy został pozyskany, a projekt pozytywnie zakończony w kwietniu 2018 r. Partnerem przemysłowym w projekcie była wspomniana firma ASPA Wrocław, która jest producentem zgrzewarek. Wynik projektu w postaci zgrzewarki(ek) z SED stanowi nowy produkt w ofercie handlowej ww. firmy, co zwiększa jej konkurencyjność na rynkach krajowym i zagranicznym.

W swoich pracach naukowo-badawczych prowadziłem również działania ukierunkowane na technologiczne próby zgrzewania różnych odmian zgrzewania, w tym garbów pełnych, które występują w zgrzewaniu śrub i nakrętek, zgrzewania prętów na krzyż oraz zaciskania (clinching). W ramach projektu TANGO wykonałem modele numeryczne, przeprowadziłem obliczenia, a na opracowanych zgrzewarkach przeprowadziłem technologiczne próby zgrzewania. Konwencjonalny proces zgrzewania z SPD zoptymalizowałem przez zastosowanie SED i algorytmu hybrydowego, odpowiedzialnego za sterowanie dociskiem elektrod. W zależności od przyjętego kierunku optymalizacji możliwe było: i) zmniejszenie wartości prądu zgrzewania, ii) wydłużenie czasu up-slope (czas narastania prądu), iii) skrócenie/wydłużenie czasu głównego przepływu prądu. Takie podejście zmienia dotychczasowe poglądy dotyczące zgrzewania, tj. uważano, że korzystniejsze warunki zgrzewania to parametry twarde (duża wartość prądu i krótki czas jego przepływu). Jest to podejście poprawne w przypadku SPD. Jednak wynikają z tego istotne niedogodności, takie jak: i) konieczność zastosowania źródła prądu o wyższej mocy, ii) wymagana coraz to wyższa dynamika układu docisku. Te czynniki stanowią istotne ograniczenia takiego kierunku optymalizacji. Zastosowanie SED sprzyja diametralnie odmiennemu podejściu. Zmniejszenie wartości prądu i wydłużenie czasu jego przepływu, co pozwala na: i) zmniejszenie mocy

zgrzewarki, ii) zwiększenie gęstości mocy zgrzewania w styku elementów zgrzewanych, co wpływa na poprawę jakości wykonywanych zgrzein (pełne jądro zgrzeiny), iii) zwiększenie wytrzymałości połączeń zgrzewanych.

Niewątpliwym osiągnięciem i wkładem w rozwój technologii zgrzewania był sposób sterowania realizowany za pomocą algorytmu hybrydowego, tj. łączącego sterowanie siłą lub/i przemieszczeniem elektrod w ramach jednego cyklu zgrzewania (**zał. 3, pkt II.A, poz. 1-3, 9-10**).

W tabeli 1 zamieściłem spis artykułów, które zostały opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports.

Tabela 1

Wykaz czasopism w bazach JCR oraz Web of Science wraz z impact factor i punktacją MNiSW

lp.	Tytuł czasopisma	Rok wydania	Impact Factor (zgodnie z rokiem publikacji)	Liczba punktów wg wykazu MNiSW (zgodnie z rokiem publikacji)
1.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Vol.99 2018 pp.1405-1425	2,601	30
2.	Archives of Civil and Mechanical Engineering	Vol. 18 2017 pp. 522-531	2,763	30
3.		Vol.16 2016 pp. 86- 100	2,216	30
4.	Welding in the World	Vol. 61 2017 pp.453-464	1,206	20
5.	Welding Journal (Welding Research)	Vol.95 2016 pp. 286-299	1,553	35
6.	Proc. of 19 th IEEE International Conference on Power Electronics and Motion Control, IEEE-PEMC 2020, 2018 , Budapest/Hungary, DOI: 10.1109/EPEPMC.2018.8521972			15
7.	Proc. of International Conference on Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection with Seminar Applications of Superconductors (ELMECO and AoS), 2017 , Nałęczów/Poland, DOI: 10.1109/ELMECO.2017.8267728			15
8.	Proc. of International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (Smart), 2015 , Kuwait/Kuwait, DOI: 10.1109/SMART.2015.7399240			15
9.	Proc. of International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (Smart), 2015 , Kuwait/Kuwait, DOI: 10.1109/SMART.2015.7399241			15
10.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2018 (w recenzji)	2,601	---
11.		2018 (w recenzji)	2,601	---
Suma			10,339	205

Po uzyskaniu stopnia doktora byłem zaangażowany w prace zespołowe, których efektem było zrealizowanie oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych. Do moich sukcesów osiągniętych w wyniku realizacji prac badawczych w tym okresie należy zaliczyć uzyskanie 18 patentów (**zał. 3, pkt II.C, poz. 1-18**), 1 wzoru użytkowego (**zał. 3, pkt II.C, poz. 26**) oraz opracowanie 5 zgłoszeń patentowych (**zał. 3, pkt II.C, poz. 21-25**): i) patenty (P.419015, P.229922, P.412616, P.228089, P.412614, P.222475, P.222475, P.222764, P.218257, P.217717, P.217256, P.217709, P.215566, P.209092, P.206568, P.203345, P.196710, P.199607), ii) wzór użytkowy (W.125647), iii) zgłoszenia patentowe (P.425968, P.424725, P.420881, P.421067, P.416596).

Patenty, których byłem głównym pomysłodawcą i współtwórcą, a bezpośrednio odnoszące się do mojej habilitacji to:

- 1) Patent P.228089, **2017**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego w konfiguracji na krzyż zwłaszcza prętów aluminiowych*, **Zygmunt Mikno**, Adam Pietras, Bogusław Grzesik, Mariusz Stępień.
- 2) Patent P.412614, **2017**, *Sposób sterowania zgrzewarką z serwomechanicznym dociskiem i urządzenie do stosowania tego sposobu*, **Zygmunt Mikno**, Bogusław Grzesik, Mariusz Stępień, Kazimierz Czylok.
- 3) Patent P.220870, **2016**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego zwłaszcza blach stalowych z wytłoczonymi garbami*, **Zygmunt Mikno**, Adam Pietras, Zbigniew Bartnik, Andrzej Ambroziak, Michał Mikno, Michał Niemiec.
- 4) Zgłoszenie patentowe P.425968, **2018**, *Sposób sterowania zgrzewarką do zgrzewania rezystancyjnego*, **Zygmunt Mikno**, Niemiec Michał.
- 5) Zgłoszenie patentowe P.424725, **2018**, *Sposób zgrzewania rezystancyjnego garbowego elementów metalowych z garbami pełnymi, zwłaszcza nakrętek i śrub*, **Zygmunt Mikno**, Adam Pilarczyk, Marek Węglowski, Michał Niemiec, Szymon Kowieski.

W sumie po doktoracie przygotowałem, wraz z zespołem, 12 zgłoszeń do krajowych i międzynarodowych konkursów i targów wynalazczości. Najwyżej ocenione przez zespoły ekspertów zamieściłem w załączniku 3 (**zał. 3, pkt III.D, poz. 1-6**).

Jestem głównym redaktorem monografii będącej pracą zbiorową opracowaną na bazie wyników badań uzyskanych podczas realizacji projektu INWELD (**zał. 3, pkt III.E, poz. 1; pkt II.E, poz. 1**) oraz autorem 7 raportów i dokumentacji z realizacji projektów badawczych krajowych oraz międzynarodowych, z czego w 5 projektach byłem kierownikiem (**zał. 3, pkt II.F, poz. 1-7**). Kierowałem 5 pracami badawczymi zrealizowanymi w Instytucie Spawalnictwa na zamówienie KBN, NCN, MNiSW (**zał. 3, pkt II.F, poz. 8-12**), a w 10 tego typu pracach brałem udział jako wykonawca (**zał. 3, pkt II.F, poz. 18-27**).

Mój dorobek publikacyjny, po uzyskaniu stopnia doktora, obejmuje 65 prac. W zagranicznych i krajowych czasopismach recenzowanych (JCR) opublikowałem łącznie 9 artykułów. Jestem współautorem łącznie 20 patentów, z czego 18 po uzyskaniu stopnia doktora, w tym w 13 byłem głównym twórcą. Łączna liczba punktów według MNiSW za mój dorobek naukowy wynosi 1002. Wykaz publikacji, patentów, wzorów użytkowych, projektów badawczych oraz wystąpień na konferencjach zagranicznych i krajowych zamieściłem w załączniku 3 do wniosku, a zbiorcze zestawienie w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Wyszczególnienie		Liczba	
		Punkty MNiSW	Liczba publikacji
Rodzaj publikacji			
Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) (zał.2A, tabela 1, poz. 1-5)**		145	5
Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych z tzw. listy filadelfijskiej (źródło: Web of Science) z pominięciem publikacji wymieniowych wyżej (zał.2A, tabela 1, poz. 6-9)**		60	4
Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopiśmie punktowanych MNiSW (z pominięciem publikacji znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) (zał.3: Przegląd Spawalnictwa (11)+ Biuletyn Instytutu Spawalnictwa (11)**		167	22
Autorstwo lub współautorstwo wykładów na kursach Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (IWE) i niższych szczebli personelu spawalniczego (IWT, IWI) (zał.3. pkt III.1 poz.1-7)**		---	7
Patenty		540*	18
Patenty stosowane (sprzedaż licencji)		60*	2
Zgłoszenia patentowe		---	5
Wzory użytkowe		10*	1
Monografia wieloautorska, redakcja		15*+5*	1
Razem publikacje, patenty wzory użytkowe		1002	65
Udział w konferencjach naukowych			
Konferencje	krajowe (zał.3. pkt II.L poz. 35-62)**		28
	międzynarodowe (zał.3. pkt II.L poz. 25-34)**		10
	zagraniczne (zał.3. pkt II.L poz. 1-24)**		24
Udział w projektach			
Projekty	KBN/MNiSW/NCN/NCBR (zał.3 pkt. II.J poz. 3-8)**		6
	ST/BW (zał.3. pkt. II.F poz. 8-12; 18-27) **		15
	finansowane z UE (zał.3. pkt II.J poz. 1-2) **		2
Recenzje artykułów opublikowanych w:			
a) czasopismach naukowych (zał.3. pkt III.P poz. 1-7) **			23
b) materiałach seminaryjnych Instytutu Spawalnictwa (zał.3. pkt III.P poz. 8-9) **			27
Wskaźniki oceny dorobku naukowego			
	Web of Science	Scopus	Scholar Google
Liczba cytowań ogółem	7	13	92
Indeks Hirscha H	1	2	6
Liczba publikacji w bazie	8	11	68

* rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 27.10.2015 r. Dziennik Ustaw z dnia 2.12.2015 r., poz. 2015.

** kolor szary - pozycje z wykazu dorobku Autora monografii zawarte w załącznikach 2A i 3 do Wniosku.

W realizowanych projektach krajowych finansowanych przez NCN, NCBR i MNiSW, a dotyczących tematyki habilitacji, tj. elektromechanicznego docisku elektrod (zał. 3, pkt II.J, poz. 4, 6), opracowane zostały unikatowe (jedyne w kraju) zgrzewarki z SED i algorytmami sterowania. Potencjał aplikacyjny nowego rozwiązania zgrzewarek jest realny i oceniam go

jako bardzo wysoki. Został on wspólnie określony przez Lidera projektu TANGO (Instytut Spawalnictwa) wraz z partnerem przemysłowym (ASPA) już we wniosku projektu. Istotną i zarazem bardzo mocną stroną partnera przemysłowego (ASPA) jest utrzymywanie stałego kontaktu i współpraca z ok. tysiącem firm krajowego sektora przemysłowego wykorzystującego technologię zgrzewania rezystancyjnego, co jest mocnym argumentem przemawiającym za dużym potencjałem aplikacyjnym ww. rozwiązania.

Od zakończenia doktoratu zrealizowałem łącznie 8 projektów, w tym 2 międzynarodowe (zał. 3, pkt II.J, poz. 1-2) i 6 krajowych (zał. 3, pkt II.J, poz. 3-8). Wykaz projektów, w których brałem udział wraz z dodatkowymi informacjami dotyczącymi źródła finansowania, okresu realizacji, pełnionej funkcji, przedstawiłem w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie projektów badawczych po otrzymaniu stopnia doktora

Projekty badawcze		
międzynarodowe		
1	<i>FleXible Production Experts for reconfigurable aSSEMBly technology</i> (specjaliści ds. Produkcji elastycznej w technologii montażu rekonfigurowalnego), 2007 – 2011 , XPRESS nr NMP2-CT-2006-026674, zadanie Instytutu Spawalnictwa - <i>Development of a Welding prototyp for automotive and electrical industry</i> , Komisja Europejska - 6 Program Ramowy Unii Europejskiej	kierownik zadania realizowanego w Polsce
2	<i>Methodologies, accreditation and training within outsourced production processes and global production workflow</i> , 2006 – 2008 , Komisja Europejska – Projekt partnerski (Education and culture) Leonardo da Vinci <i>GlobalMat</i>	wykonawca
krajowe		
3	III Priorytet, 2018 , <i>Szkolnictwo Wyższe dla gospodarki i rozwoju</i> , Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (Działanie 3.1: Kompetencje w szkolnictwie wyższym), <i>Kompetentny Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej</i>	wykonawca
4	<i>Innowacyjna metoda sterowania serwomechanicznym systemem docisku w technikach łączenia cienkościennych elementów metalowych</i> , 2015 – 2018 , TANGO1/267374/NCBR/2015, NCBR	kierownik
5	<i>Numeryczne i eksperymentalne badania porównawcze zgrzewania garbowego z zastosowaniem pneumatycznego i serwomechanicznego docisku elektrod</i> , 2011 – 2013 , N N501 196940 – MNiSW	kierownik
6	<i>Opracowanie systemu i metodyki pomiarowej w badaniach przemian strukturalnych w stalach, w warunkach cykli cieplnych spawania</i> , 2006 – 2009 , nr N505 002 31/0255 MEiN	kierownik
7	<i>Opracowanie innowacyjnej wysokosprawnej zgrzewarki kompaktowej o podwyższonej częstotliwości</i> , 2015 – 2017 , PBS3/B4/12/2015, NCBR	kierownik
8	<i>Opracowanie i badania systemu pomiarowego do rejestracji promieniowania łuku spawalniczego metody MIG/MAG</i> , 2005 – 2007 , nr 3 T10C 021 28, NCBR	wykonawca

Moja działalność naukowa i wynalazcza została doceniona przez gremia naukowe i ministerialne. Otrzymałem liczne nagrody i wyróżnienia, krajowe oraz zagraniczne, indywidualne i zespołowe.

Osobistym i bardzo znaczącym w moim dorobku wyróżnieniem jest otrzymanie medalu im. Olszewskiego (2016 r.), który przyznawany jest przez krajową Sekcję Spawalniczą SIMP najwybitniejszym polskim i zagranicznym spawalnikiem w uznaniu za ich wybitne zasługi dla spawalnictwa (**zał. 3, pkt III.D, poz. 1**). Znalazłem się tym samym na liście zasłużonych dla branży spawalniczej z numerem 241.

Za międzynarodowe osiągnięcia wynalazcze otrzymałem dwukrotnie zespołową nagrodę Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego – 2011 r. i 2008 r. (**zał. 3, pkt II.K, poz. 1-2**).

Za referaty wygłoszone na konferencjach zagranicznych dwukrotnie otrzymałem nagrodę za najlepszy wygłoszony referat na konferencjach zagranicznych: 1) *IIW International Congress on Welding & Joining, Teheran/Iran* 30.11-3.12.2009 r. oraz 2) *Conference on Welding and Joining Technologies Ankara/Turcja* 11-13.06.2009 r. (**zał. 3, pkt II.K, poz. 3-4**).

Prowadzona w Instytucie działalność naukowa i wynalazcza była nagradzana medalami na krajowych i zagranicznych konkursach wynalazczości (**zał. 3, pkt III.D, poz. 2-5**). Od początku swojej kariery zawodowej zostałem nagrodzony 22 medalami i nagrodami na arenach krajowej i międzynarodowej. Po uzyskaniu stopnia doktora poszczycić się mogę otrzymaniem 8 złotych, 3 srebrnych, 1 brązowego medalu na międzynarodowych i krajowych targach wynalazczości. Swój dorobek – wybrane ważniejsze nagrody i wyróżnienia – przedstawiłem w tabeli 4.

Tabela 4

Nagrody i wyróżnienia przyznane po otrzymaniu stopnia doktora

Nagrody i wyróżnienia za działalność wynalazczą i naukową		
1.	<i>Zgrzewarka rezystancyjna z innowacyjnym kompaktowym transformatorem o podwyższonej częstotliwości, 2017, 45.</i> Międzynarodowa Wystawa Wynalazków GENEVA INVENTIONS, nagroda zespołowa.	srebrny medal
2.	<i>System kontroli jakości procesu zgrzewania doczołowego iskrowego, 2015, 43.</i> Międzynarodowa Wystawa Wynalazków GENEVA INVENTIONS, przyznany przez National Research Council of Thailand, nagroda zespołowa.	złoty medal
3.	<i>System kontroli jakości procesu zgrzewania doczołowego iskrowego, 2015,</i> Międzynarodowe Targi Poznańskie, nagroda zespołowa.	złoty medal
4.	<i>Metoda i urządzenie do zgrzewania z serwomechanicznym dociskiem, 2014,</i> Międzynarodowe Targi Poznańskie, nagroda zespołowa.	złoty medal
5.	<i>Metoda i urządzenie do zgrzewania z serwomechanicznym dociskiem, 2014, 110</i> Międzynarodowe Targi Wynalazczości CONCOURS – LÉPINE, Paryż, nagroda zespołowa.	srebrny medal
6.	<i>Sposób i stanowisko do wyznaczania punktów charakterystycznych przemian strukturalnych w stalach w warunkach cykli cieplnych spawania, 2010, 109</i> Międzynarodowe Targi Wynalazczości CONCOURS – LÉPINE, Paryż, nagroda zespołowa.	złoty medal

7.	Medal Olszewskiego, 2016 , przyznawany przez Sekcję Spawalniczą SIMP najwybitniejszym polskim i zagranicznym spawalnikiem w uznaniu ich zasług dla spawalnictwa, nr 241, nagroda indywidualna.	medal brązowy
8.	<i>System pomiarowy LogWeld/Qweld do kontroli jakości połączeń zgrzewanych</i> , 2017 , Międzynarodowe Targi Technologii i Innowacji, Bruksela, nagroda zespołowa.	złoty medal
9.	<i>System pomiarowy do kontroli jakości połączeń zgrzewanych</i> , 2007 , Międzynarodowa Wystawa Wynalazków, Nowej Techniki i Produktów, Genewa, nagroda zespołowa.	złoty medal
10.	<i>System pomiarowy do kontroli jakości połączeń zgrzewanych</i> , 2006 , Konkurs Polski Produkt Przyszłości, nagroda zespołowa.	wyróżnienie I stopnia
11.	Nagroda Ministra i Nauki i Szkolnictwa Wyższego za <i>międzynarodowe osiągnięcia wynalazcze</i> , 2011 , <i>Sposób i stanowisko do wyznaczania punktów charakterystycznych przemian strukturalnych w stalach w warunkach cykli cieplnych spawania</i> , Warszawa, nagroda zespołowa.	nagroda ministra
12.	Nagroda Ministra i Nauki i Szkolnictwa Wyższego za <i>międzynarodowe osiągnięcia wynalazcze</i> , 2008 , <i>System pomiarowy do kontroli jakości połączeń zgrzewanych</i> , Warszawa, nagroda zespołowa.	nagroda ministra
13.	Nagroda za najlepszy referat wygłoszony na konferencji zagranicznej, 2009 , <i>Simulation (FEM-3D) of temperature distribution in small-sized elements used for examination of structural changes of steel in welding conditions</i> , Conference on Welding and Joining Technologies Ankara/Turcja , nagroda indywidualna.	złoty medal
14.	Nagroda za najlepszy referat wygłoszony na konferencji zagranicznej, 2009 , <i>Impact of geometric features of thermocouple on absolute temperature of structural transformations in steel in welding conditions</i> , IIW International Congress on Welding & Joining, Teheran/Iran , nagroda indywidualna.	złoty medal
Łącznie		22

Aktywnie uczestniczyłem w ponad 71 zagranicznych i krajowych konferencjach naukowych w tym w 62 po uzyskaniu stopnia doktora (**zał. 3: pkt II.L poz. 1-62; pkt III.B, poz. 1-4**). Na 55 konferencjach osobiście wygłaszałem referaty.

Biorę aktywny udział w konferencjach zagranicznych i krajowych, które mają charakter cykliczny, jako wygłaszający, członek komitetów organizacyjnych i naukowych konferencji, recenzent artykułów i prezentacji konferencyjnych:

- 1) od 2010 r. wygłaszam referaty w serii międzynarodowych konferencji firmy **SWANTEC** (oprogramowanie do zgrzewania rezystancyjnego – SORPAS) organizowanej co 2 lata na przemian w Europie i poza nią. W okresie, który obejmuje niniejsze zestawienie 5 razy wygłaszałem referaty: 2010 r. – Hamburg/Niemcy, 2012 r. – Busa/Korea, 2014 r. – Baveno /Włochy, 2016 r. – Miami/USA, 2018 r. – Esslingen/Niemcy (**zał. 3, pkt III.B, poz. 1**),
- 2) od 2003 r. biorę udział i wygłaszam referaty na spotkaniach użytkowników oprogramowania ANSYS w ramach konferencji **Symulacja**, organizowanej corocznie przez Biuro Usług Inżynierskich MESCo; uczestniczyłem w 12 konferencjach, wygłosiłem 6 referatów (2006 r., 2010 r., 2013 r., 2014 r., 2016 r., 2017 r.), uzyskałem nagrodę za najlepszy referat (II miejsce, 2010 r.) (**zał. 3, pkt III.B, poz. 2**),

3) od 2012 r. biorą aktywny udział i wygłaszam referaty w serii corocznych krajowych konferencji spawalniczych *Wrocławskie/Dolnośląskie Sympozjum Spawalnicze*. Wygłosiłem 7 referatów typu „oral”, 3 typu „poster” w latach 2016 – 2018 r., a 3 razy byłem członkiem komitetu organizacyjnego. (zał. 3, pkt III.B, poz. 3),

4) aktywnie uczestniczę w organizacji seminariów w Instytucie Spawalnictwa. Byłem pomysłodawcą i główny organizatorem 6 seminariów z zakresu zgrzewania rezystancyjnego (zał. 3, pkt III.B, poz. 4):

2017 r. ogłoszono 23 referaty, 5 posterów; recenzowałem 13 artykułów (w tym 4 zagraniczne), byłem współautorem 2 referatów i 3 posterów,

2015 r. ogłoszono 11 referatów: recenzowałem 7 artykułów (w tym 2 zagraniczne), byłem współautorem 3 referatów,

2012 r. ogłoszono 6 referatów: recenzowałem 4 artykuły (w tym 2 zagraniczne), byłem współautorem 2 referatów,

2011 r. ogłoszono 6 referatów: recenzowałem 4 artykuły (w tym 3 zagraniczne), byłem współautorem 3 referatów,

2008 r. ogłoszono 6 referatów, byłem współautorem 1 referatu,

2004 r. ogłoszono 5 referatów (w tym 1 zagraniczny) recenzowałem 1 artykuł zagraniczny, byłem współautorem 2 referatów,

Byłem również 6-krotnie członkiem komitetów organizacyjnych krajowych konferencji naukowych: Wrocławskie Sympozjum Spawalnicze (x3), Naukowo-Techniczna Krajowa Konferencja Spawalnicza Międzyzdroje (x2), Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza, Poznań 2017 (x1) (zał. 3, pkt III.C, poz. 1-6).

Od 2017 r. jestem również członkiem zespołu redakcyjnego Biuletynu Instytutu Spawalnictwa (zał. 3, pkt III.G, poz. 1).

W tabeli 5 zamieściłem najważniejsze konferencje, na których wygłaszałem referaty i w których brałem udział.

Tabela 5
Zagraniczne i krajowe konferencje naukowe (referaty/postery wygłoszone)

lp.	Konferencje naukowe	Liczba referatów/posterów
zagraniczne		
1	4 th Annual World Congress of Smart Materials, 2018 , Osaka/Japan.	1/0
2	6-10 th International Seminar & Conference on Advances in Resistance Welding, 2010 – Hamburg/Niemcy, 2012 – Busan/Korea, 2014 – Baveno/Włochy, 2016 – Miami/USA, 2018 – Esslingen/Niemcy	7/0
3	10 th International Conference Tokyo/Japan, 2016 , <i>Trends In Welding Research</i>	3/1
4	International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART), 2015 , Kuwait/Kuwait	3/0

5	20 th Technical Sessions of Welding and Joint Technologies, 2014 , Madrid/Spain	1/0
6	2 nd South East European IIW International Congress. 2010 , Sofia/Bulgaria	0/1
7	The International Congress on Welding and Joining, 2009 , Tehran/Iran	1/0
8	The International Conference On Failure Analysis And Repair Welding, 2009 , Cairo/Egypt	1/0
9	1 st International Conference on Welding Technologies, 2009 , Ankara/Turkey	2/0
10	1 st International Congress of Welding and Joining Technologies & 17 th Technical Sessions on Welding, 2008 , Madrid/Spain	1/0
11	60. Międzynarodowa Konferencja Spawalnicza „Innowacyjne technologie łączenia zaawansowanych materiałów”, 2008 , Timisoara/Romania	1/0
krajowe		
12	I – VII Wrocławskie Sympozja Spawalnicze, 2012 – 2017 r.	7/3
13	Konferencje MESCo <i>Symulacja</i> : 2006 – 2017 r.	6/0
14	58. Międzynarodowa Konferencja Spawalnicza – <i>Technologie XXI wieku</i> , 2016 , Sosnowiec	1/2
15	57. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza „ <i>Innowacje w inżynierii spajania</i> ”, 2015 , Jachranka	1/0
16	52. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza, 2010 , Sosnowiec	2/1
17	49. Krajowa Konferencja Spawalnicza „ <i>Nowe Materiały i Technologie w Spajaniu</i> ”, 2007 , Szczecin	1/0
18	48. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „ <i>Innowacje w spawalnictwie</i> ”, 2006 , Poraj	1/0
Łącznie referatów/posterów		(zał.3. pkt II.L. poz. 1-62)** 62

Jestem zaangażowany w działalność krajowych, międzynarodowych organizacji i towarzystw naukowych (zał. 3, pkt III.H, poz. 1-7):

Organizacje międzynarodowe

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers (**IEEE**), senior member, 2016 r.
2. International Institute of Welding (**IIW**), od **2014 r.**, member of Commission III.

Organizacje krajowe

3. Rada Naukowa Instytutu Spawalnictwa, 2008 – 2016.
4. Stowarzyszenie Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów (**SPWiR**), 2007 r.
5. Polskie Towarzystwo Spawalnicze (**PTS**), od 2010 r., 2015 – 2017 wiceprezes, od 2017 r., przewodniczący zespołu konkursowego prac inżynierskich i magisterskich w zakresie spawalnictwa.
6. Stowarzyszenie Inżynierów i Mechaników Polskich (**SIMP**) oddział Wrocław, 2015 r.
7. Stowarzyszenie Inżynierów i Mechaników Polskich (**SIMP**) oddział Gliwice, 2016 r.

Od 2005 r. jestem wykładowcą na kursach Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika i niższych szczebli personelu spawalniczego (IWM – Międzynarodowy Mistrz Spawalnika, IWI - Międzynarodowy Inspektor Spawalniczy). Prowadzę wykłady w Instytucie Spawalnictwa na kursach organizowanych przez Instytut. Przygotowałem materiały

szkoleniowe oraz prowadzę wykłady i zajęcia laboratoryjne z zakresu rejestracji i monitorowania parametrów procesu spawania:

- *pomiary kontrola i rejestracja danych w spawalnictwie* (opracowanie – 2005 r., aktualizacja – 2013 r, 2017 r.) (**zał. 3, pkt III.I, poz. 1**),
- *wyznaczanie charakterystyk źródeł prądowych* (opracowanie – 2013 r., aktualizacja – 2017 r.) (**zał. 3, pkt III.I, poz. 2**),
- *pomiary, inspekcja i kontrola podczas spawania* (opracowanie – 2017 r.) (**zał. 3, pkt III.I, poz. 3**).

Prowadziłem również wykłady zamawiane na zaproszenie uczelni wyższych i instytucji branżowych dla Politechniki Śląskiej, Politechniki Wrocławskiej, TUV Rheinland Akademia Polska (**zał. 3, pkt III.I, poz. 4-7**).

Wspieram również działalność szkół (gimnazjalnych) w zakresie popularyzacji nauki (**zał. 3, pkt III.I, poz. 8**).

Uczestniczyłem w programach krajowych i europejskich:

- *kompetentny Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, 2018*, III Priorytet „Szkolnictwo Wyższe dla gospodarki i rozwoju”, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (Działanie 3.1: Kompetencje w szkolnictwie wyższym),
- *education and culture Leonadro da Vinci GlobalMat, 2006 - 2008, Methodologies, accreditation and training within outsourced production processes and global production workflow*,
- *VI Program ramowy Unii Europejskiej, 2007 - 2011, FleXible Production Experts for reconfigurable aSSEMBly technology* – PRESS, NMP2-CT-2006-026674 (konsorcjum 19 instytucji europejskich).

W ramach tych projektów przygotowałem materiały szkoleniowe, które prezentowałem na Politechnice Wrocławskiej (**zał. 3, pkt III.A, poz. 3**) i na kursach organizowanych w Instytucie Spawalnictwa (**zał. 3, pkt III.A, poz. 1-2**).

Od zakończenia doktoratu współpracowałem z uczelniami wyższymi w charakterze opiekuna naukowego nad studentami. Z uwagi na charakter mojej pracy nie byłem promotorem, ale recenzowałem 7 prac magisterskich (**zał. 3, pkt III.J, poz. 1**). Wspierałem działalność wykonawców tych prac, udostępniając urządzenia (zgrzewarki), aparaturę pomiarową, które są na wyposażeniu Instytutu Spawalnictwa, w zakresie technologii zgrzewania rezystancyjnego. Służyłem pomocą dyplomantom i wspólnie z nimi opracowałem modele numeryczne (oprogramowanie SORPAS) procesów zgrzewania, a dalsza analiza wyników prowadzona była samodzielnie przez dyplomantów. Na podkreślenie zasługuje fakt uzyskania nagrody głównej i zajęcie I miejsca w edycji XIII Ogólnopolskiego Konkursu o Dyplom i Nagrodę Prezesa SIMP 2013 r., przez pana mgr. inż. Mirosława Sikorskiego z Politechniki Wrocławskiej, którego pracę recenzowałem i współpracowałem z nim w trakcie realizacji badań (**zał. 3, pkt III.J, poz. 1**).

Współpraca z panem Sikorskim zaowocowała opracowaniem materiałów pt. *Wybrane aspekty zgrzewania garbowego blach stalowych w obliczeniach MES*. Wyżej wymieniona tematyka była przedmiotem wystąpienia na I Dolnośląskim Sympozjum Spawalniczym we

Wrocławiu (**zał. 3, pkt II L, poz. 44**) oraz została opublikowana w Przeglądzie Spawalnictwa (**zał. 3, pkt II E, poz. 11**).

W latach 2010 – 2014 r. sprawowałem również opiekę nad studentami krajowymi i zagranicznymi (**zał. 3, pkt II.J, poz. 2-3**).

Odbyłem staże zagraniczne i krajowe. Do najważniejszych pobytów zagranicznych i szkoleń mogę zaliczyć: i) dwutygodniowy staż w firmie AMADA Miyachi (korporacja międzynarodowa, producent mikrozgrzewarek) 2016 r. (**zał. 3, pkt III.L, poz. 1**), ii) cykl spotkań związanych z realizacją projektu XPRESS w ramach 6 PR UE (7-9 spotkań): Niemcy (Hamburg, Stuttgart), Dania (Kopenhaga), Porto (Portugalia), Budapeszt (Węgry), 2009 – 2011 r., (**zał. 3, pkt III.L, poz. 6**) oraz iii) cykl spotkań z firmami Cloos, Abicor Binzel, Harms&Wende, GJG, Hypertherm, Esab, Fronius w czasie Targów Spawalniczych SCHWEISSEN & SCHNEIDEN w 2013 r. (Essen) i 2017 r. (Dusseldorf) (**zał. 3, pkt III.L, poz. 4-5**).

Podczas krajowego, 3-tygodniowego stażu w firmie PROSAP w 2013 r. (**zał. 3, pkt III.L, poz. 8**) nabyłem doświadczenia w zakresie zdalnej transmisji danych w środowisku zakłóceń przemysłowych.

Do znaczących odbytych szkoleń zaliczam również Studia podyplomowe, *Procesy spajania, projektowania i wytwarzania struktur spawanych*, które odbyłem na Politechnice Wrocławskiej w 2006/2007 r. (334h) (**zał. 3, pkt III.Q, poz. 2**). Studia podyplomowe kończyły się dodatkowo tygodniowym szkoleniem w Instytucie Spawalnictwa i egzaminem, który pozwolił mi na uzyskanie tytułu **Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika** (**zał. 3, pkt III.Q, poz. 1**).

Jestem autorem/współautorem:

- 7 opracowań zbiorowych prac badawczych i raportów dla NCBR, MNiSW, KBN i Instytucji zagranicznych finansujących projekty (**zał. 3, pkt II.F, poz. 1-7**),
- 13 dokumentacji prac badawczych zrealizowanych w Instytucie Spawalnictwa (**zał. 3, pkt II.F, poz. 8-12, 18-27**),
- 2 opinii o innowacyjności i 1 orzeczenia (**zał.3 pkt III.M, poz. 1-3**).

Biorę udział w zespołach eksperckich i konkursowych. Jestem członkiem zespołu CENTRUM KOMPETENCJI INSTYTUTU AUTOSTRADA TECHNOLOGII I INNOWACJI *Łączenie i modyfikowanie materiałów konstrukcyjnych przy użyciu technologii spawalniczych* – Innospaw, od 18.03.2015 r., którego zadania to przygotowywanie wniosków o dofinansowanie prac badawczych i realizacja wspólnych projektów badawczych (**zał. 3, pkt III.N, poz. 1**).

Byłem przewodniczącym zespołu konkursowego PTS (Polskiego Towarzystwa Spawalniczego) w 2018 r. i wystąpiłem z inicjatywą otwarcia konkursu oraz wyłonienia laureatów za najlepszą pracę magisterską wśród absolwentów Politechniki Śląskiej (**zał. 3, pkt III.N, poz. 2**). Inicjatywa została odebrana bardzo pozytywnie przez środowisko Uczelni oraz absolwentów.

Jestem zarejestrowany w NCBR jako Ekspert Naukowo-Technologicznego oraz Gospodarczo-Biznesowy. Recenzowałem projekty w ramach *Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020 r.*, Działanie 1.1 *Projekty B+R przedsiębiorstw*, Poddziałanie 1.1.1 *Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa*, październik-listopad 2017 r. (**zał. 3, pkt III.N, poz. 3**).

Od obrony doktoratu (2005 – 2018) recenzowałem łącznie 52 publikacje naukowe (w tym 21 publikacji zagranicznych) w czasopismach: *Archives and Civil and Mechanical Engineering*, *MDPI Materials*, *Compel-The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, *Materials Research Express*, *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, *Materiały Seminaryjne Instytutu Spawalnictwa* (zał. 3, pkt III.P, poz. 1-9).

Poza obowiązkami zawodowymi aktywnie działam w organizacjach o charakterze naukowym oraz sportowym. Działam na rzecz Instytutu Spawalnictwa i środowisk lokalnych. Byłem lub jestem członkiem:

- Rady Naukowej Instytutu Spawalnictwa (2008 – 2016).
- Polskiego Towarzystwa Spawalniczego oddział Gliwice z siedzibą w Instytucie Spawalnictwa od 2010 r., 2015 – 2017 wiceprezes, od 2017 r. przewodniczący zespołu konkursowego prac inżynierskich i magisterskich w zakresie spawalnictwa.
- Międzyszkolnego Uczniowskiego Klubu Sportowego MUKS Łabędy od 2000 r. do teraz. Pełniłem funkcje trenera piłki nożnej uczniów szkół podstawowych i gimnazjalnych oraz funkcje organizacyjne (skarbnik, prezes).

W swojej działalności naukowej przywiązuję dużą wagę do aplikacji swoich rozwiązań w przemyśle. W tym zakresie wdrożyłem w sumie 22 rozwiązania techniczne w przemyśle, z czego po doktoracie 9 wdrożeń (zał. 3, pkt III.Q, poz. 11-20). Dwa wynalazki (patenty) były przedmiotem sprzedaży licencji partnerowi przemysłowemu, co oznacza tzw. patent stosowany w praktyce (zał. 3, pkt II.C, poz. 5-6).

Moje osiągnięcia, zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. Nr. 196, poz. 1165), zestawilem w tabeli 6.

Tabela 6

Wykaz osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora

Kryterium według §3 p.4, §4 i §5	Wypełnienie kryterium (tak/nie i liczba)
Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych	
Publikacje naukowe w czasopismach z bazy JCR/WoS	9
Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	10
Udzielone patenty, zgłoszenia patentowe, wzory użytkowe międzynarodowe i krajowe	24
Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych	65

Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	22
Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	8
Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	6
Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych / aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	62
Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	10
Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	5
Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	7
Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki	
Opieka naukowa nad studentami	10
Stáže w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	2
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	3
Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	3
Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych	3
Recenzowanie publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych	50
Inne osiągnięcia / działalność (inne niż wymienione wyżej)	20

Pełne zestawienie poszczególnych dokonań dla wszystkich wymienionych kryteriów zamieściłem w załączniku 3A do Wniosku.

Zygmunt Tikau

.....
podpis wnioskodawcy