



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

Księga Plakatów POSTER MASTER

Rok akademicki 2024/2025



**WYDZIAŁ
MECHANICZNO-
-TECHNOLOGICZNY**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Księga Plakatów POSTER MASTER 2025

zawiera postery przygotowane
przez absolwentów II roku studiów II stopnia,
których prace magisterskie były realizowane
w roku akademickim 2024/2025 na
Wydziale Mechaniczno-Technologicznym
Politechniki Rzeszowskiej

Komisja oceniająca:

Komitet Naukowy – wartość naukowa oraz oryginalność rozwiązań.

Komitet Naukowy:

1. dr Agnieszka Kramek
2. mgr inż. Marek Szewczyk
3. dr inż. Krzysztof Szwajka
4. dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz
5. dr inż. Joanna Zielińska-Szwajka

Komitet Organizacyjny:

1. dr inż. Marcin Marciniak – przewodniczący
2. mgr inż. Justyna Gumieniak – sekretarz
3. mgr Patrycja Kuziora
4. mgr Adam Michajłyszyn

SPIS POSTERÓW

- 1. inż. Grzegorz Baran** – *Wpływ wygrzewania na właściwości wydruków powstałych w procesie osadzania topionego materiału*
opiekun: dr inż. Marcin Marciniak

- 2. inż. Michał Bujak** – *Wpływ wartości kluczowych parametrów obróbki EDM na mikrostrukturę oraz strukturę geometryczną warstwy wierzchniej obrabianego materiału*
opiekun: dr inż. Wiesław Żelasko

- 3. inż. Kamil Cyrkun** – *Projekt i analiza zrobotyzowanego stanowiska do magnetyczno-proszkowego badania sprężyn*
opiekun: dr inż. Marcin Marciniak

- 4. inż. Patryk Karaś** – *Analiza wpływu siły gięcia na utwardzanie się powierzchni blachy ze stali niestopowej konstrukcyjnej S235JR*
opiekun: dr inż. Wiesław Żelasko

- 5. inż. Karolina Kwaśnik** – *Analiza właściwości mechanicznych płytek matrycy stalowej formy do prefabrykatów betonowych*
opiekun: dr inż. Wiesław Żelasko

- 6. inż. Mateusz Lenart** – *Analiza symulacji procesu orbitalnego spawania laserowego na stanowisku zrobotyzowanym*
opiekun: dr inż. Marcin Marciniak

- 7. inż. Szymon Pyrkosz** – *Projekt i analiza stołu spawalniczego dla zrobotyzowanego stanowiska*
opiekun: dr inż. Marcin Marciniak

- 8. inż. Mateusz Skowyra** – *Analiza wpływu turbodoładowania na pracę silnika spalinowego*
opiekun: dr inż. Wiesław Żelasko

Wpływ wygrzewania na właściwości wydruków powstałych w procesie osadzania topionego materiału

The Influence of Annealing on the Properties of Prints Produced by the Fused Deposition Modeling Process

Autor: **inż. Grzegorz Baran**
Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*
Promotor: **dr inż. Marcin Marciniak**
Rok akademicki: **2024/2025**

STRESZCZENIE

Praca magisterska dotyczy analizy wpływu wygrzewania na właściwości mechaniczne wydruków 3D wykonanych metodą osadzania topionego materiału (FDM). W pracy omówiono historię i rozwój technologii przyrostowych, ze szczególnym uwzględnieniem technologii FDM. Przedstawiono charakterystykę tworzyw sztucznych wykorzystywanych w tej technologii oraz proces wyżarzania jako metodę poprawy właściwości mechanicznych wydruków. Część praktyczna pracy obejmuje modelowanie próbek, przygotowanie ich do druku, proces drukowania, wygrzewanie oraz statyczną próbę rozciągania. Wyniki badań wskazują, że wygrzewanie w temperaturach 70°C–90°C prowadzi do optymalnej poprawy wytrzymałości mechanicznej wydruków, szczególnie przy pełnym wypełnieniu (100%). Praca kończy się wnioskami oraz propozycjami dalszych badań, które mogą obejmować eksperymenty z innymi materiałami, zróżnicowanie czasu wyżarzania oraz badanie wpływu procesów starzeniowych na wydruki.

Słowa kluczowe: druk 3D, wygrzewanie, tworzywa sztuczne, FDM

1. Wprowadzenie

Współczesne technologie wytwarzania, w tym technologia druku 3D, zyskują na znaczeniu w różnych dziedzinach przemysłu, takich jak motoryzacja, lotnictwo, medycyna czy elektronika. Jednym z najpopularniejszych procesów wykorzystywanych w druku 3D jest osadzanie topionego materiału (Fused Deposition Modeling – FDM), które polega na nakładaniu kolejnych warstw materiału w postaci stopionego filamentu, który zastyga i tworzy strukturę przestrzenną.

2. Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy było zbadanie i analiza wpływu wygrzewania na właściwości tworzyw sztucznych wydrukowanych metodą druku 3D w technologii FDM. W ramach realizacji tego celu przeprowadzono:

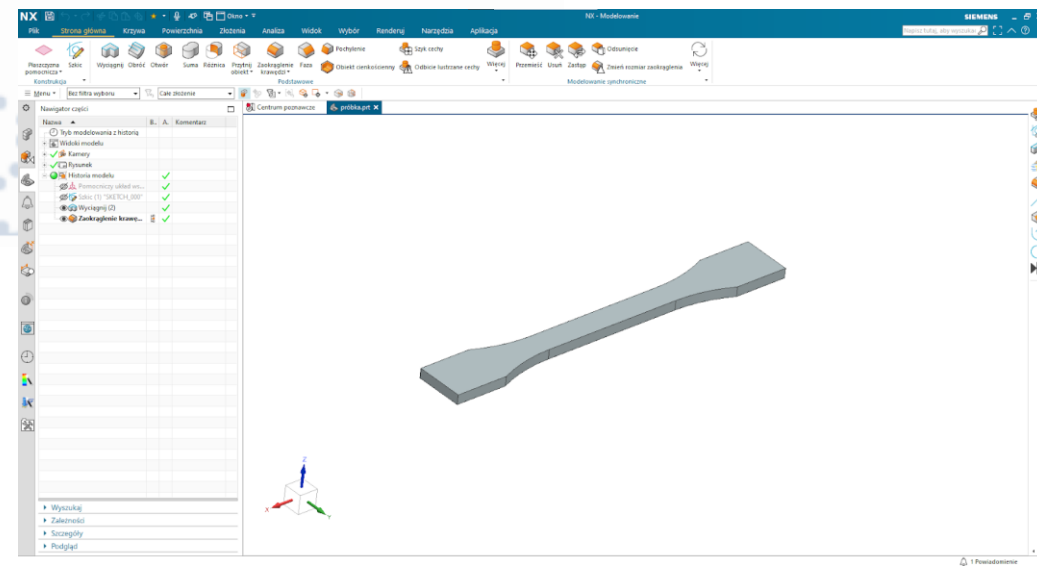
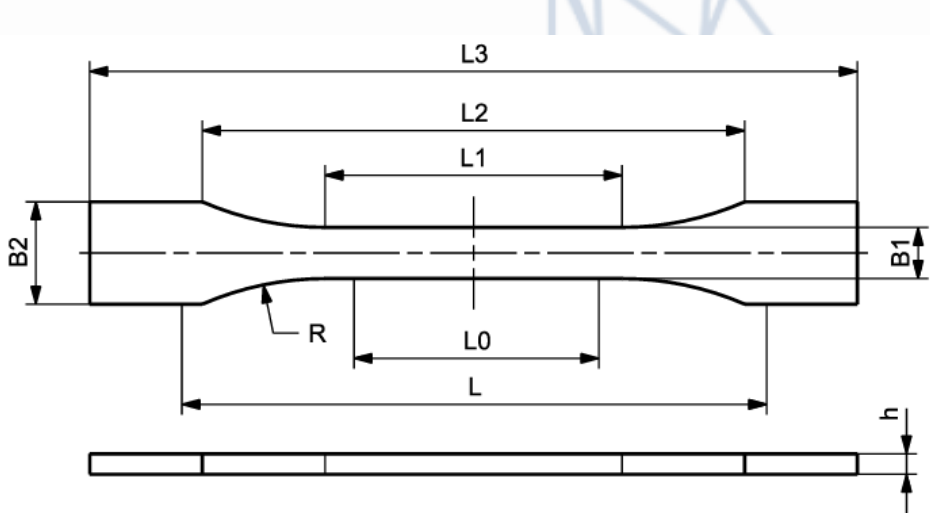
- Przegląd dostępnej literatury w tym obszarze,
- Zaprojektowanie modelu kształtki (rys. 1),
- Dobór właściwych ustawień druku,
- Wykonanie wydruku modelu (rys. 3),
- Poddanie wydrukowanych próbek procesowi wygrzewania (rys. 4),
- Określenie wytrzymałości na rozciąganie próbek z PLA przy użyciu maszyny wytrzymałościowej,
- Interpretację otrzymanych wyników i sformułowanie wniosków.

3. Technologia FDM

Technologia FDM/FFF przebiega w trzech głównych etapach:

Najpierw w drukarce 3D umieszcza się termoplastyczną żyłkę (filament) nawiniętą na szpulę. Gdy ekstruder osiągnie wymaganą temperaturę, filament jest wprowadzany do głowicy drukującej, w której przetapia się do półpłynnej postaci. W kolejnym kroku roztopione tworzywo nakładane jest warstwa po warstwie na platformę roboczą, aż do uzyskania docelowej wysokości obiektu. Po każdej warstwie materiał stygnie i twardnieje, a w niektórych rozwiązaniach proces chłodzenia wspomagają dodatkowe wentylatory. Dzięki temu warstwy trwale się ze sobą łączą. Głowica drukująca zamontowana jest w systemie trójosiowym, umożliwiając ruch i budowę detalu w osiach X, Y i Z.

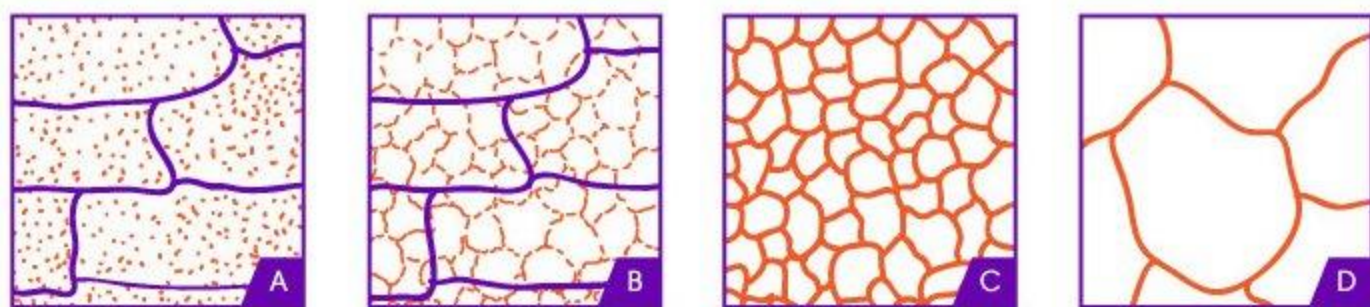
Ostatni etap obejmuje wielokrotne przejścia głowicy drukującej lub przesuw platformy — po nałożeniu każdej warstwy następuje przesunięcie głowicy (lub obniżenie stołu) o ustaloną wartość. Proces ten powtarzany jest do chwili, gdy model osiągnie pełną zaplanowaną wysokość.



Rys 1. Rysunek próbki do rozciągania oraz model 3D zaprojektowany w programie NX [opracowanie własne]

4. Wyżarzanie tworzyw sztucznych wytwarzanych metodą druku 3D

Wyżarzanie jest to proces obróbki cieplnej, który polega na ogrzewaniu w piecu próbek lub części, w temperaturze pomiędzy temperaturą zeszczenia a temperaturą topnienia. Obróbka ta polega na powolnym ogrzewaniu i utrzymywaniu w określonej temperaturze wybranych modeli, a następnie chłodzeniu w celu zwiększenia wiązań struktur krystalicznych w polimerze i redystrybucji naprężeń wewnątrz materiału, co zapewnia wyższą krystaliczność, odporność mechaniczną i sztywność (rys.2).



Rys 2. Struktura próbek w czasie wyżarzania A-stan początkowy, B-podgrzewanie/relaksacja, C-rekrytalizacja, D-Struktura po obróbce

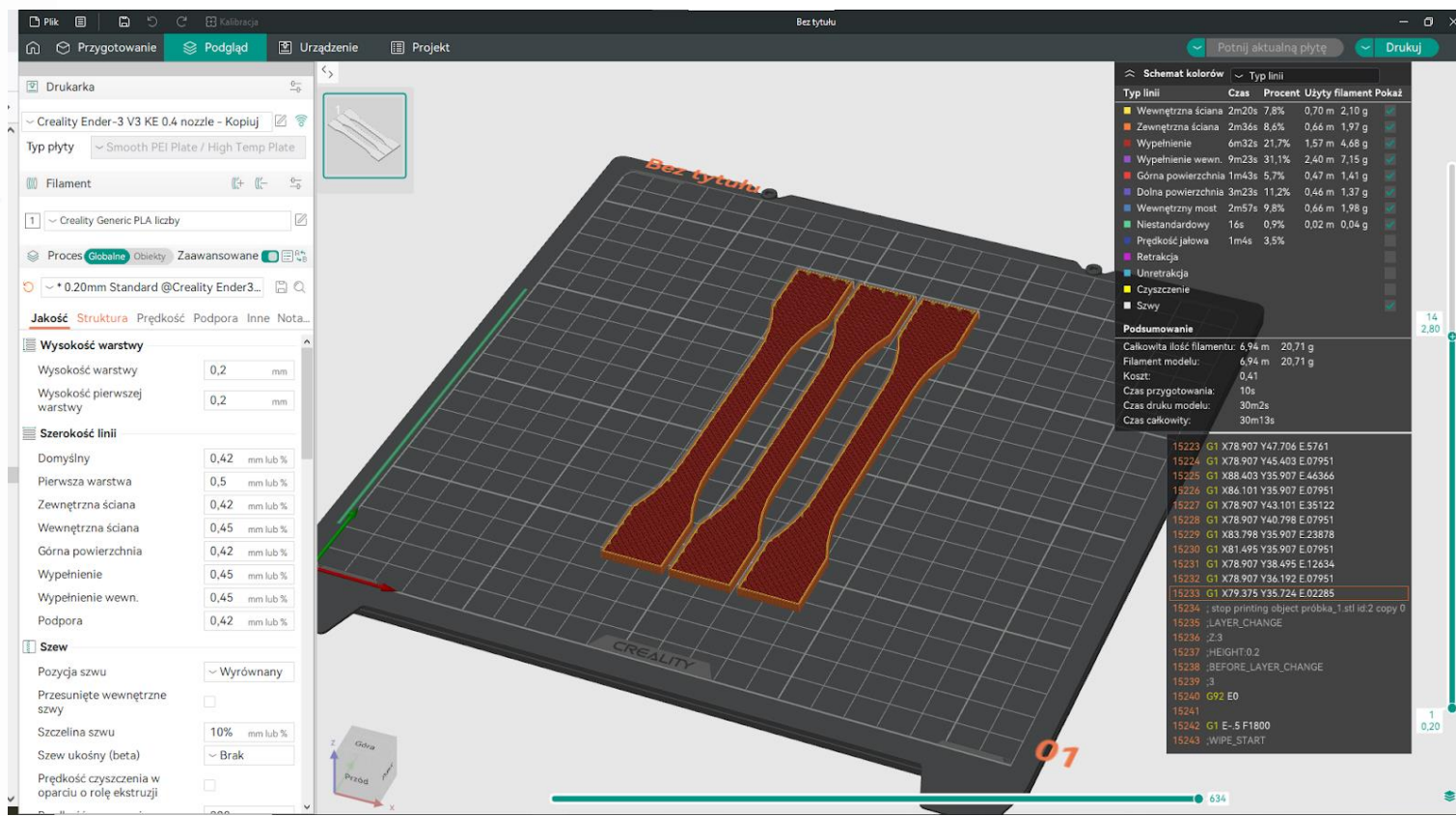
5. Wyniki badań

Na wykresie (rys. 5) można zaobserwować, że najwyższe wartości osiąga próbka z pełnym (100%) wypełnieniem – 55,301 MPa i zachowuje wyższą plastyczność (wydłużenie ok. 5–6 mm). Przy 75% i 50% wypełnienia wytrzymałość maksymalna spada do odpowiednio 43,296 MPa i 43,565 MPa, przy mniejszym wydłużeniu. Próbka 25% – choć w pewnej fazie wzrostu przewyższa próby o wypełnieniu 50% oraz 75% – ostatecznie osiąga wytrzymałość 46,669 MPa, szybciej opada po szczycie i kończy się przy ok. 4–5 mm wydłużenia. Zwiększanie wypełnienia wyraźnie poprawia wytrzymałość oraz pozwala na dłuższy zakres odkształcenia do chwili zniszczenia.

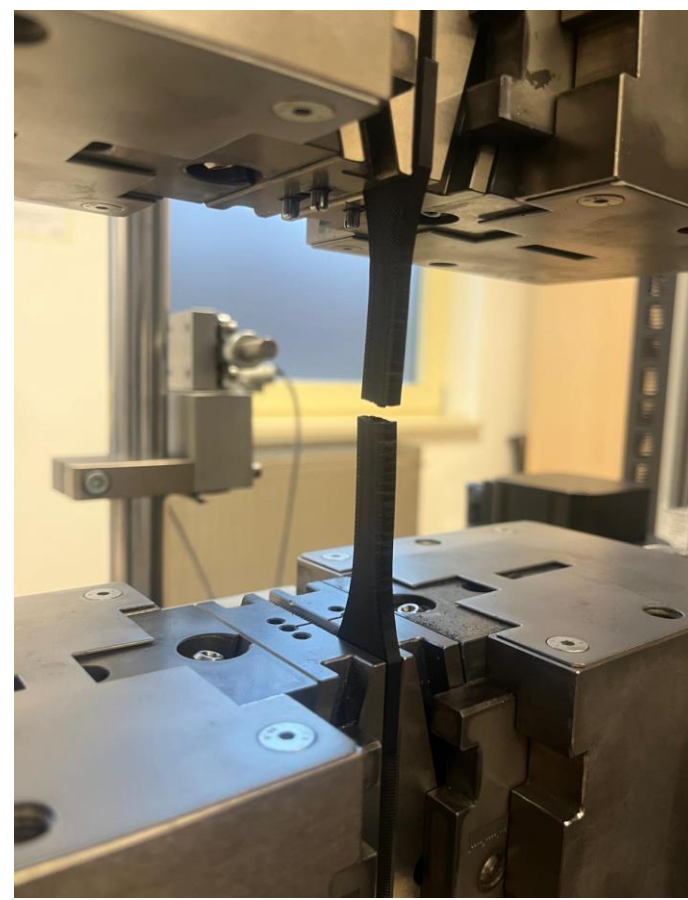
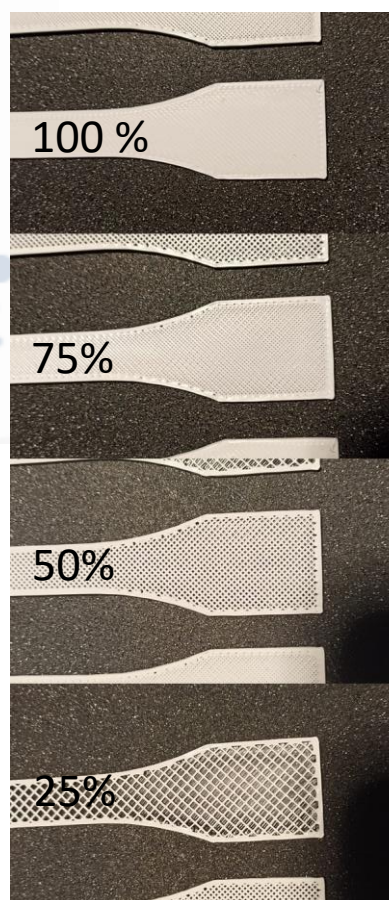
ABSTRACT

This master's thesis analyzes the influence of annealing on the mechanical properties of 3D prints produced by the fused deposition modeling (FDM) process. The thesis discusses the history and development of additive manufacturing technologies, with a particular focus on FDM technology. It presents the characteristics of plastics used in this technology and the annealing process as a method to improve the mechanical properties of prints. The practical part of the thesis includes modeling samples, preparing them for printing, the printing process, annealing, and static tensile testing. The research results indicate that annealing at temperatures of 70°C–90°C leads to optimal improvement in the mechanical strength of prints, especially with full infill (100%). The thesis concludes with findings and suggestions for further research, which may include experiments with other materials, varying annealing times, and studying the effects of aging processes on prints.

Keywords: 3D printing, annealing, plastics, FDM



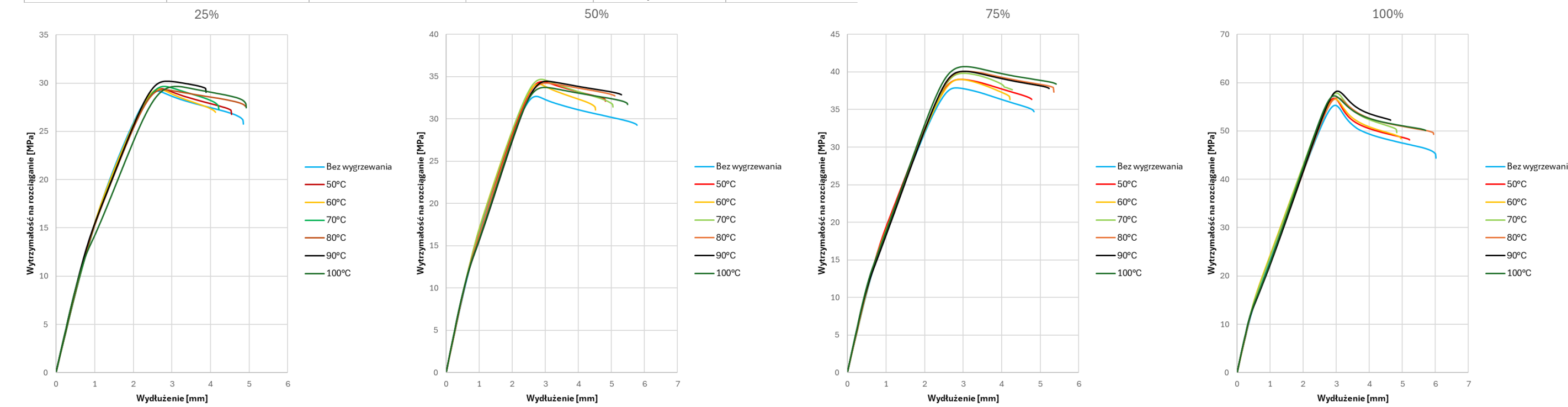
Rys 3. Widok z okna programu do opracowania technologii druku FDM oraz widok z procesu wydruku próbek do prób rozciągania.



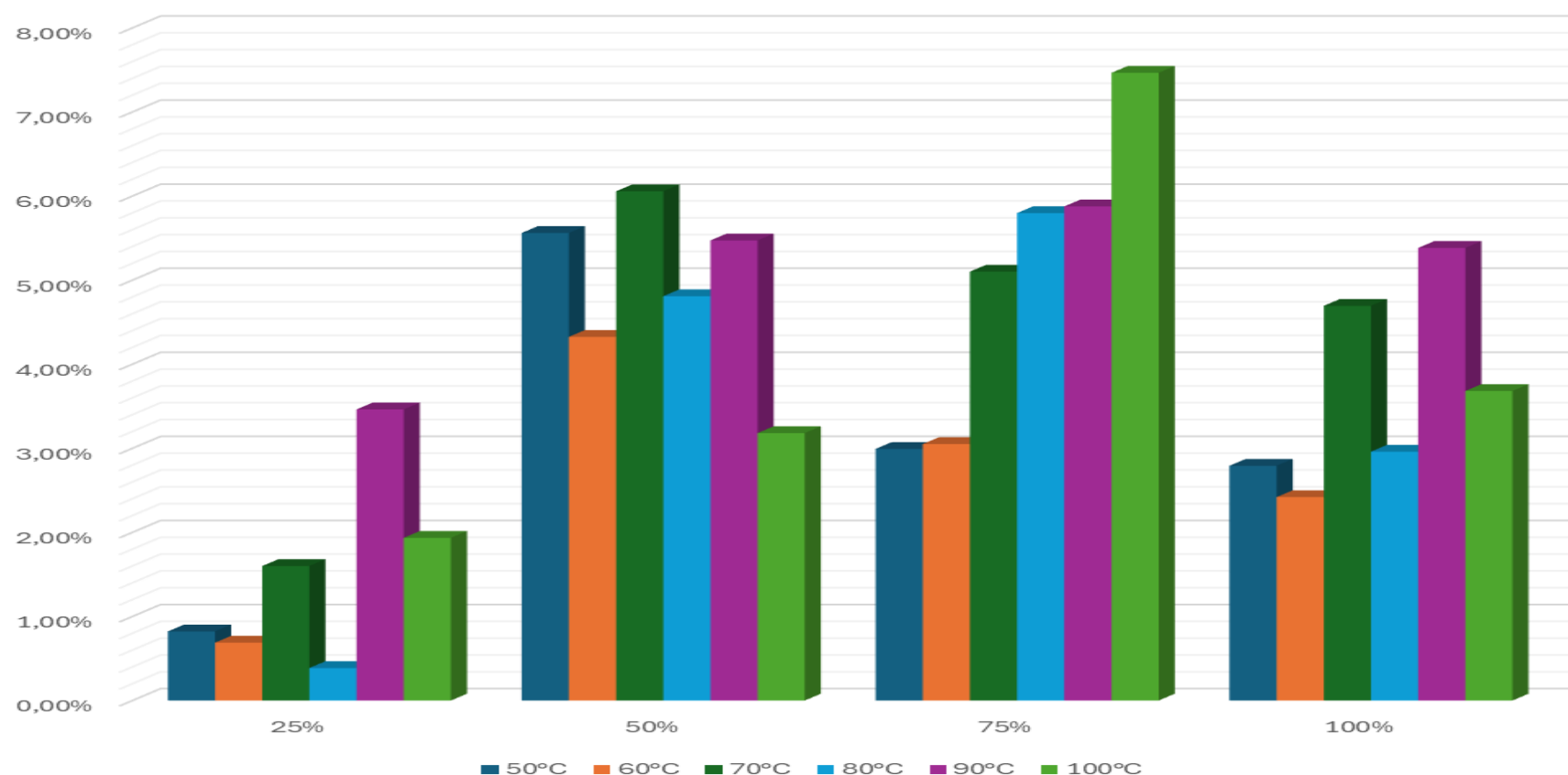
Rys 4. Widok: wypełnienia próbek, próbki w maszynie wytrzymałościowej po próbie rozciągania, sposób ułożenia próbek w trakcie wygrzewania w piecu.

Tabela 1. Fragment wyników otrzymanych podczas prób rozciągania próbek wykonanych z PLA

Temperatura wygrzewania	Nr próbki	Wytrzymałość na rozciąganie om, [MPa]	Średnia om, [MPa]	Wydłużenie niszczące eb, [mm]	Średnie eb, [mm]
Brak wygrzewania	25-1	29,171	29,196	4,773	4,935
	25-2	29,102		5,069	
	25-3	29,315		4,957	
	50-1	34,033	32,691	5,680	6,167
	50-2	32,391		6,166	
	50-3	31,653		6,656	
	75-1	37,084	37,893	4,803	5,246
	75-2	38,036		5,541	
	75-3	37,758		5,399	
	100-1	55,448	55,301	6,436	5,340
	100-2	55,213		5,645	
	100-3	55,241		5,940	



Rys 5. Krzywe z próby rozciągania [opracowanie własne].



Rys 6. Umocnienie w zależności temperatury dla wypełnienia 25%, 50%, 75%, 100% [opracowanie własne]

6. Wnioski końcowe

Postawiony cel pracy został w pełni osiągnięty. Na podstawie analizy literatury oraz uzyskanych wyników badań wysunięto następujące wnioski:

- Wygrzewanie w temperaturach 70°C–90°C prowadzi do optymalnej poprawy wytrzymałości mechanicznej, dzięki czemu wydruki stają się bardziej odporne na naprężenia.
- Wydruki o pełnym wypełnieniu (100%) osiągnęły najwyższą wytrzymałość, co sugeruje, że zwiększenie gęstości wewnętrznej struktury ma kluczowe znaczenie dla uzyskania lepszych parametrów mechanicznych.
- Zmniejszenie wydłużenia niszczącego po procesie wyżarzania wskazuje na większą sztywność próbek, co może być korzystne w niektórych zastosowaniach, ale wymaga uwagi przy projektowaniu elementów podlegających dynamicznemu obciążeniu.

Wpływ wartości kluczowych parametrów obróbki EDM na mikrostrukturę oraz strukturę geometryczną warstwy wierzchniej obrabianego materiału.

Influence of important EDM process parameters on the microstructure and geometric structure of the surface layer of the machined material.

Autor: inż. Michał Bujak

Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*

Promotor: dr inż. Wiesław Żelasko

Rok akademicki: 2024/2025

STRESZCZENIE

W pracy dyplomowej przeanalizowano wpływ parametrów obróbki elektroerozyjnej na strukturę geometryczną oraz mikrostrukturę warstwy wierzchniej obrabianego materiału. Omówiono metody obróbki EDM oraz kluczowe parametry wpływające na przebieg procesu. Eksperymentalnie przeprowadzono obróbkę próbek wykonanych z stopu niklu Hastelloy X, stosując elektrodę miedzaną gatunku M1E oraz różnorodne parametry procesu.

Próbki poddano badaniom, obejmującym analizę chropowatości powierzchni, a także ocenę takich cech mikrostruktury warstwy wierzchniej, jak grubość warstwy przetopionej, występowanie mikropęknięć oraz zasięg strefy wpływu ciepła. Na podstawie danych zgromadzonych podczas procesu określono wskaźniki wydajnościowe obróbki, takie jak MRR i TWR.

Kończącą część pracy poświęcono analizie zgodności uzyskanej powierzchni obrobionej z wymaganiami norm branży lotniczej, uwzględniającymi zarówno właściwości geometryczne, jak i mikrostrukturalne.

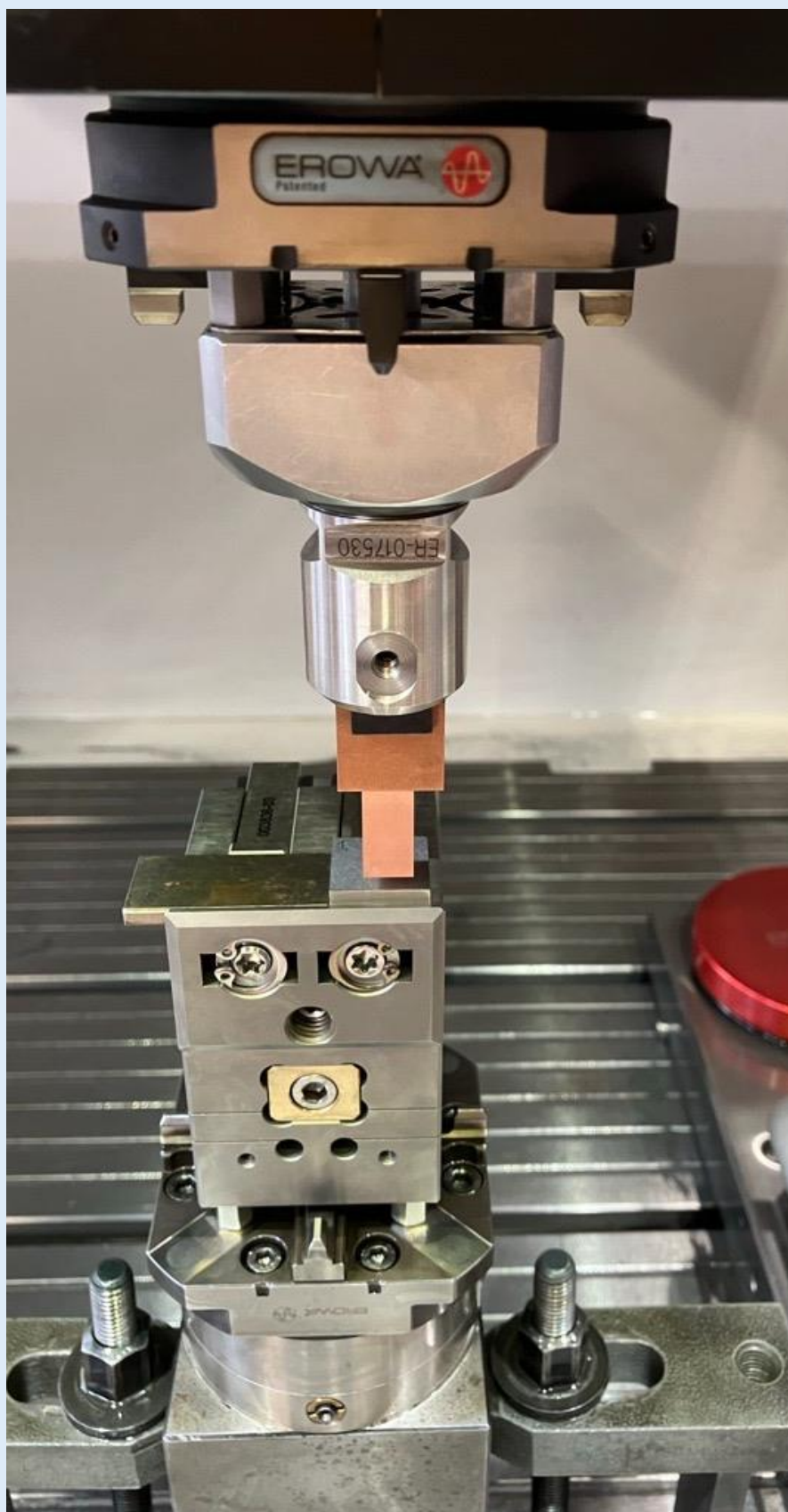
Celem pracy było zbadanie wpływu parametrów procesu elektroerozyjnego Sink EDM na mikrostrukturę i strukturę geometryczną warstwy wierzchniej stopu Hastelloy X. Analizowano parametry takie jak prąd impulsu, czas trwania impulsu i częstotliwość wyładowań, wykorzystując miedzaną elektrodę M1E.

Zakres badań obejmował:

- Przygotowanie próbek i elektrody,
- Realizację obróbki z określonymi parametrami,
- Ocenę wskaźników efektywności procesu (MRR i TWR),
- Analizę geometryczną i metalograficzną warstwy wierzchniej,
- Porównanie wyników z normami lotniczymi dotyczącymi integralności powierzchni.

Tabela 1. Wartości parametrów obróbki dla poszczególnych próbek

Parametr/ Próbka	I [V]	T [μs]	P [μs]	U [V]
1	16	205	32	100
2	21	205	56	100
3	26	133	56	100
4	11	100	56	100
5	6,2	27	27	100

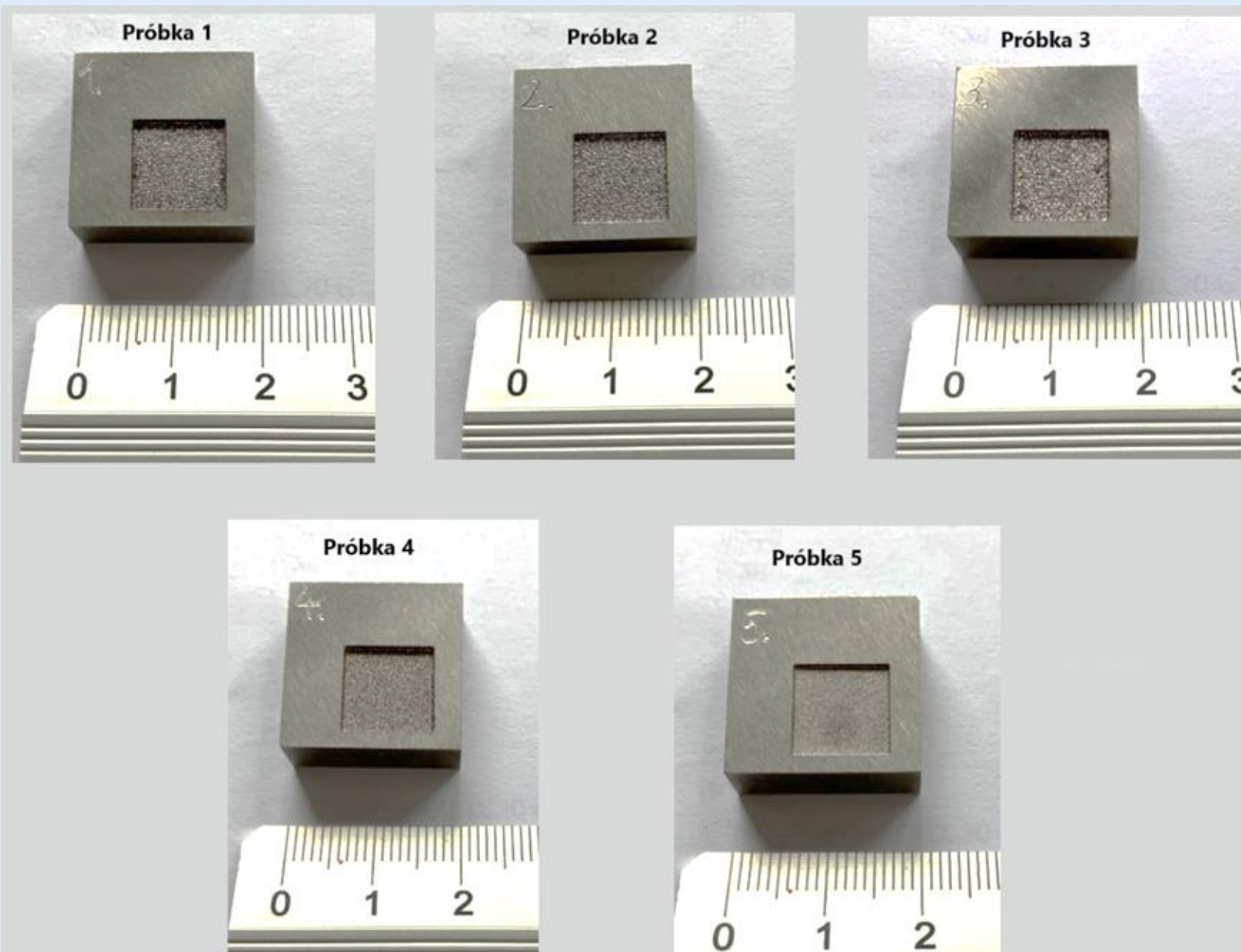


Rys. 1. Obróbka próbek

Podczas eksperymentu poddano obróbce pięć próbek. Pierwsza próbka została wykonana z zastosowaniem parametrów zaproponowanych przez system sterowania maszyny i jest ona uznawana za próbkę referencyjną. W przypadku kolejnych próbek zmodyfikowano kluczowe parametry obróbki, do których należą:

- I [A]** – prąd rozładowania impulsu, zależny głównie od materiału elektrody oraz powierzchni erodowanej,
- T [μs]** – czas trwania wyładowania impulsu,
- P [μs]** – czas przerwy między wyładowaniami impulsów,
- U [V]** – napięcie w kanale wyładowania, które w trakcie eksperymentu nie podlegało modyfikacjom.

Parametry obróbki zostały dobrane w sposób umożliwiający jak najdokładniejsze zobrazowanie zmian zachodzących zarówno w procesie, jak i w obrabianym materiale. Szczegółowe wartości parametrów dla każdej z próbek przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Wykonane próbki

Wnioski

Na podstawie obliczeń stwierdzono, że zwiększenie prądu impulsu i czasu trwania impulsu powoduje wzrost szybkości usuwania materiału o 50%, podczas gdy ich obniżenie zmniejsza wydajność aż 11-krotnie. Wyższe parametry zwiększają chropowatość powierzchni o 10%, natomiast ich redukcja zmniejsza Ra o połowę.

Badania mikrostruktury wykazały, że większe wartości parametrów zwiększają grubość warstwy przetopionej, bez istotnego wpływu na głębokość mikropęknięć. Zmniejszenie parametrów redukuje zarówno grubość warstwy, jak i głębokość mikropęknięć. Nie zaobserwowano mikropęknięć w materiale rodzimym ani strefy wpływu ciepła.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że wybór parametrów EDM ma istotny wpływ na ostateczne właściwości obrabianej powierzchni, co ma kluczowe znaczenie dla zastosowań w przemyśle lotniczym. Wyniki te sugerują, że dalsza optymalizacja procesu powinna uwzględniać precyzyjne dostosowanie parametrów do wymagań konkretnego materiału oraz charakterystyki obrabianych elementów. Jednocześnie istnieje potrzeba opracowania hybrydowego podejścia, łączącego różne etapy obróbki w celu uzyskania optymalnej równowagi między wydajnością a jakością powierzchni.

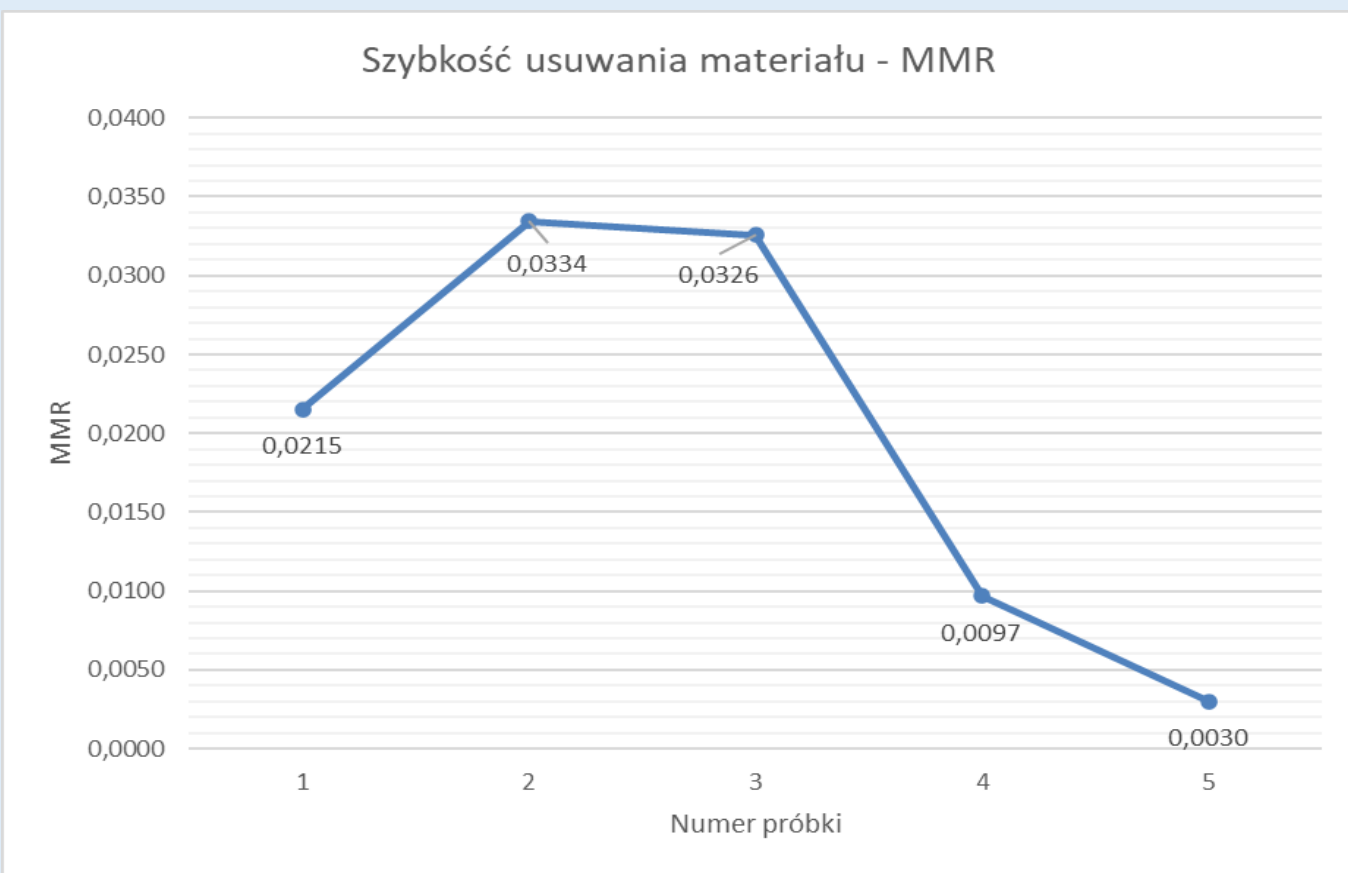
ABSTRACT

The thesis analyzed the impact of electrical discharge machining parameters on the geometric structure and microstructure of the surface layer of the machined material. The study discussed EDM methods and the critical parameters influencing the machining process. Experimental machining was conducted on samples made from Hastelloy X nickel alloy, using a copper electrode of grade M1E and various process parameters.

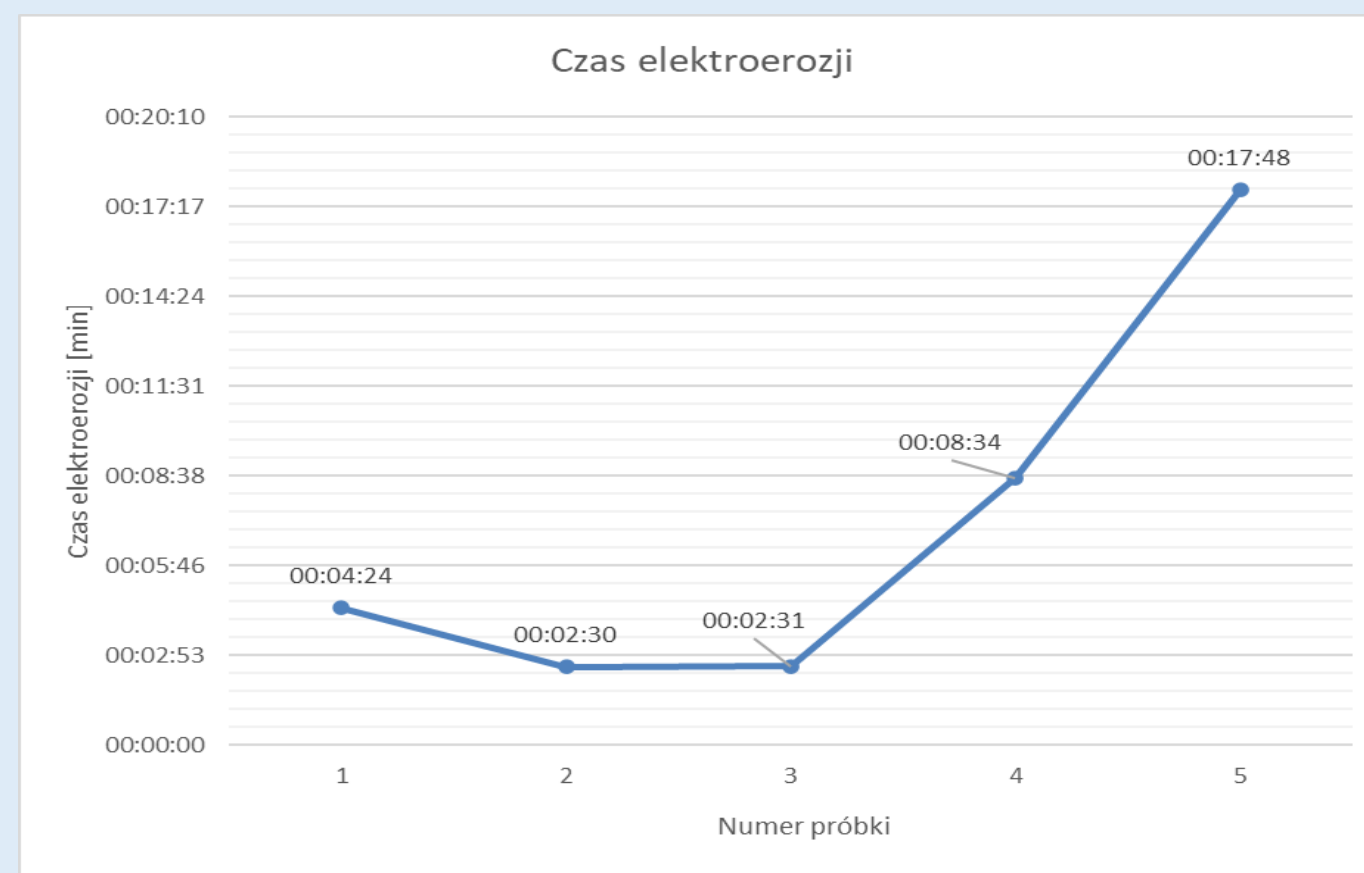
The samples underwent examinations, including surface roughness analysis and evaluation of microstructural features of the surface layer, such as the thickness of the recast layer, the presence of microcracks, and the extent of the heat-affected zone. Based on data collected during the process, performance indicators such as MRR and TWR were determined.

The final section of the thesis focused on analyzing the conformity of the machined surface with the requirements of aerospace industry standards, considering both geometric and microstructural properties.

Wskaźniki wydajności procesu

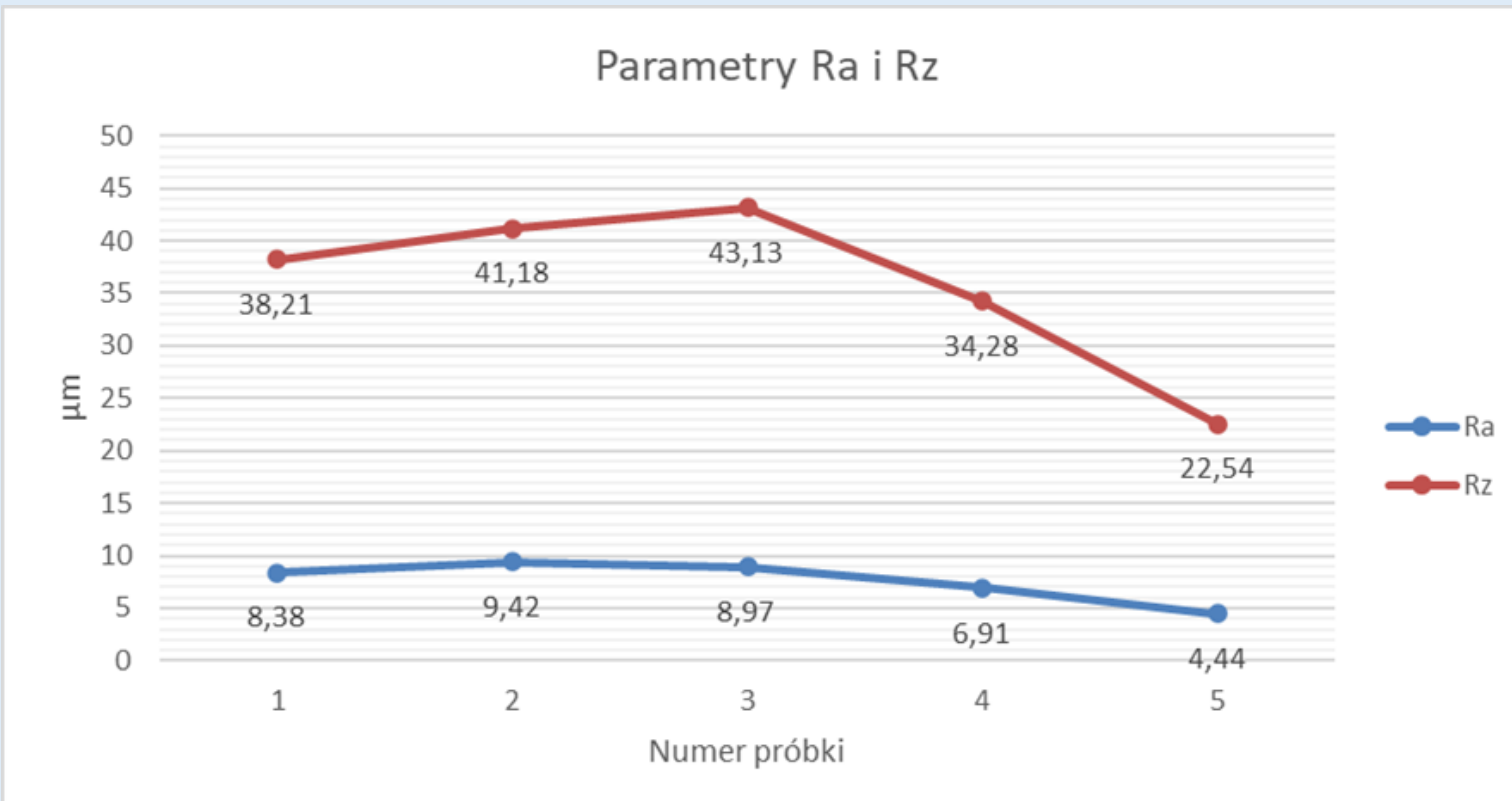


Rys. 3. Wskaźnik szybkość usuwania materiału – MMR

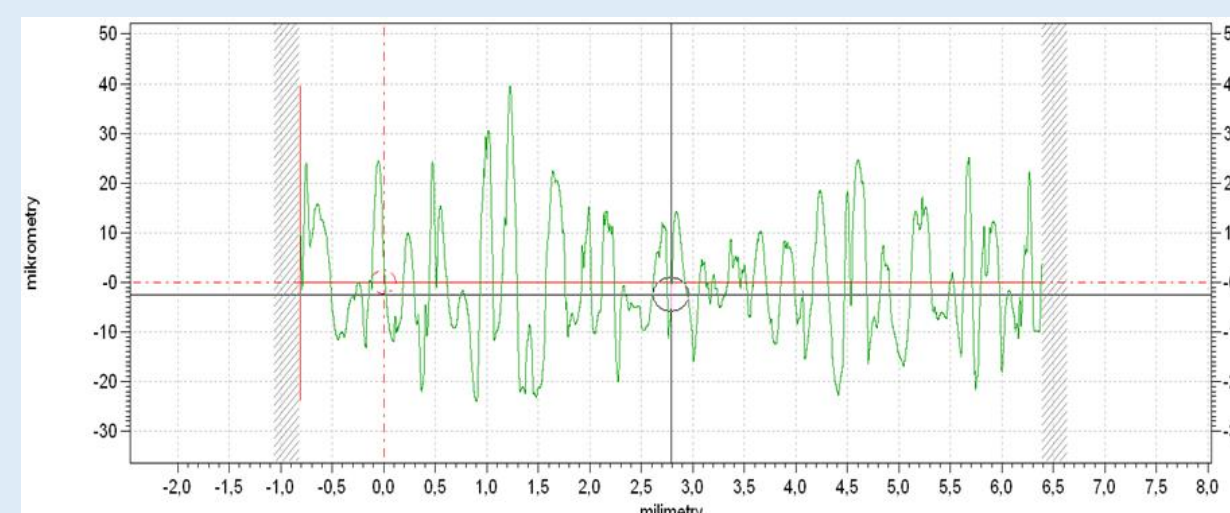


Rys. 4. Czas elektroerozji próbek

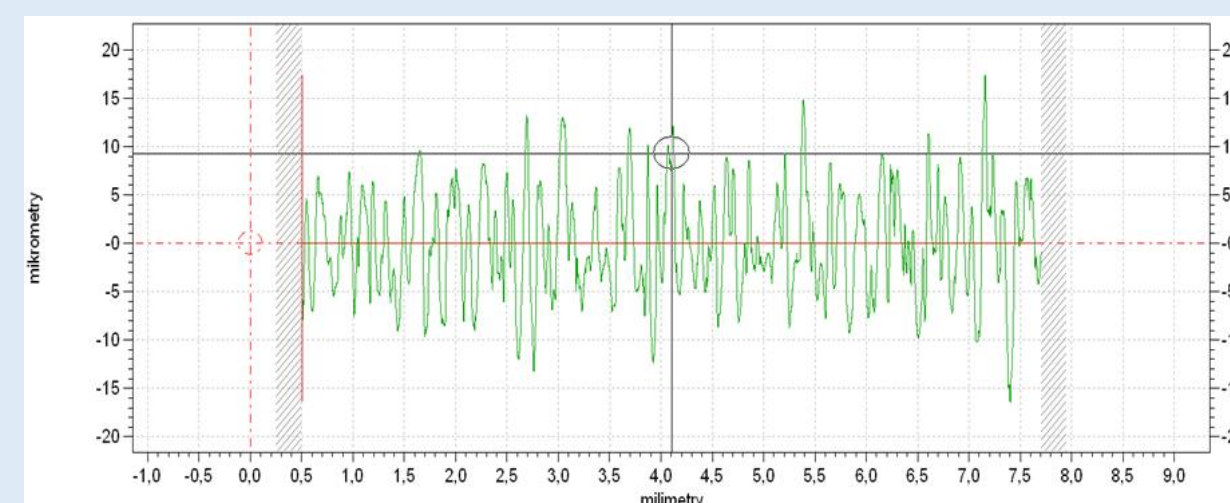
Struktura geometryczna warstwy wierzchniej



Rys. 5. Wartości parametrów Ra i Rz dla każdej z próbek

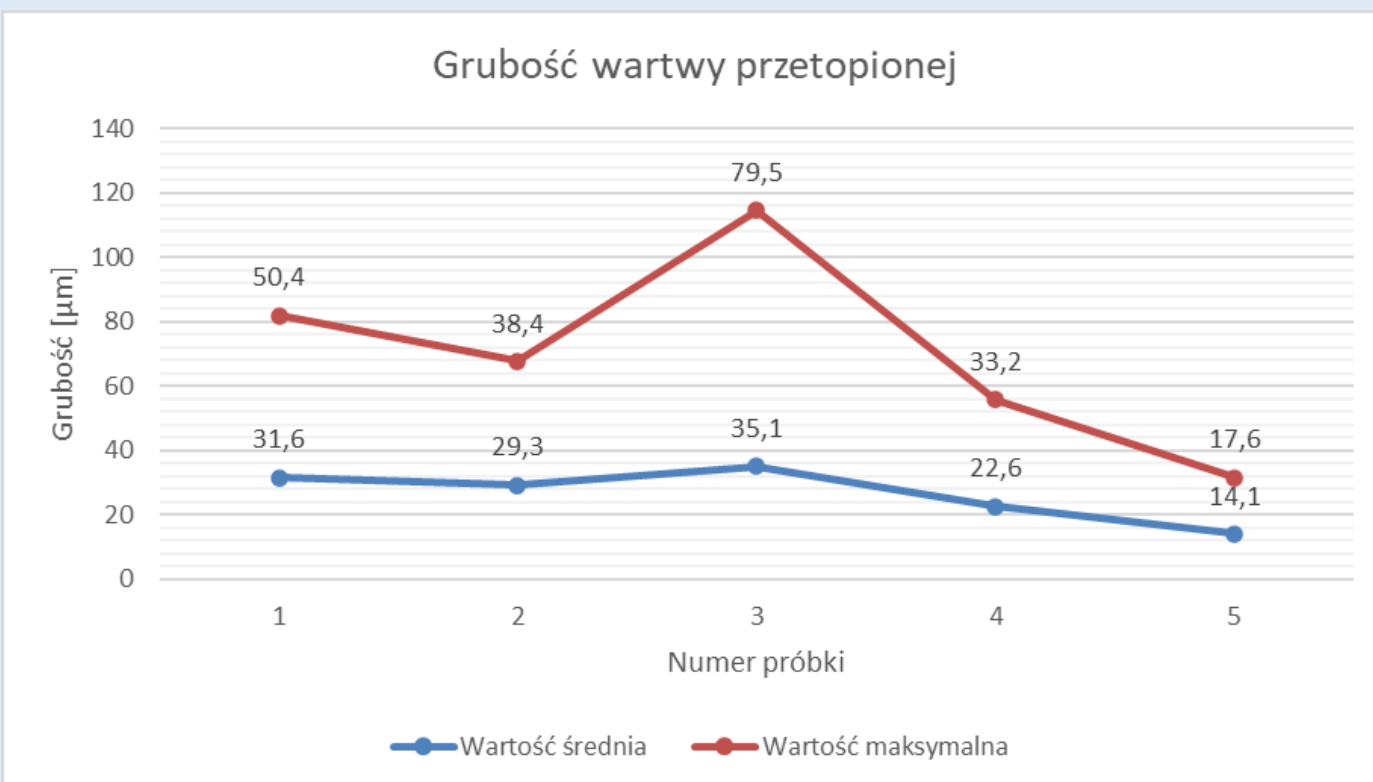


Rys. 6. Profil próbki 2



Rys. 7. Profil próbki 5

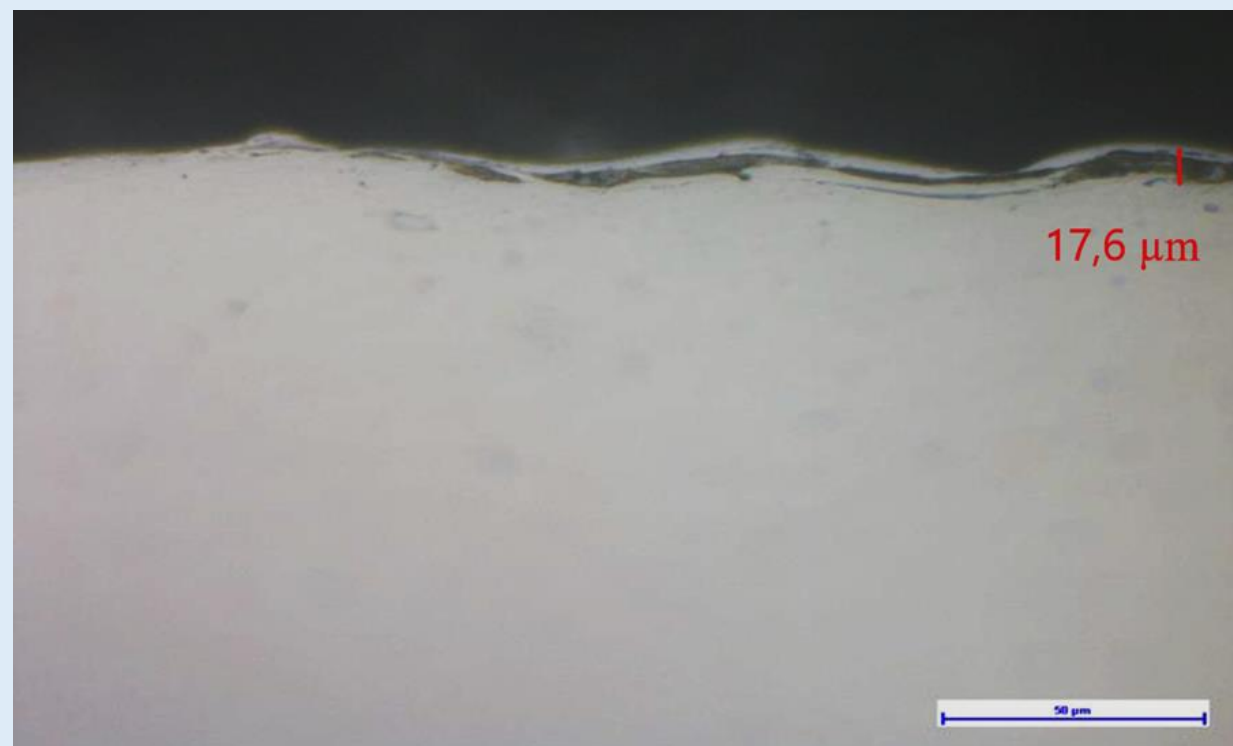
Mikrostruktura warstwy wierzchniej



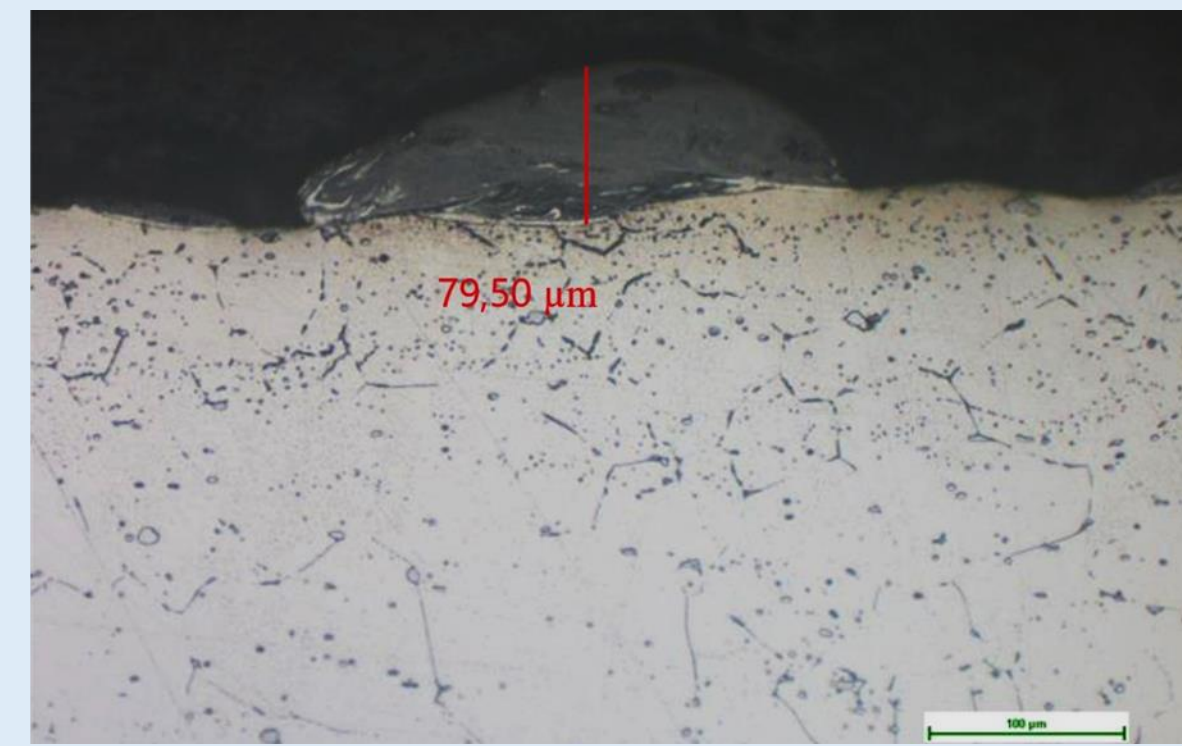
Rys. 8. Wartość maksymalna warstwy przetopionej każdej z próbek



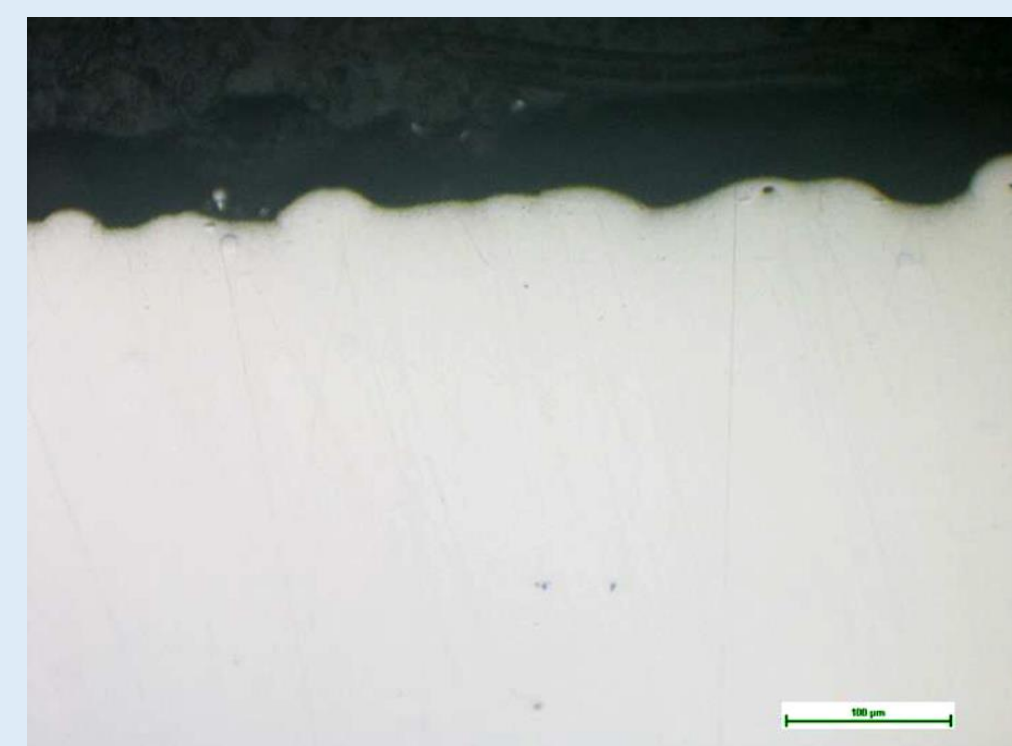
Rys. 9. Wartość mikropęknięć w strefie obróbki każdej z próbek



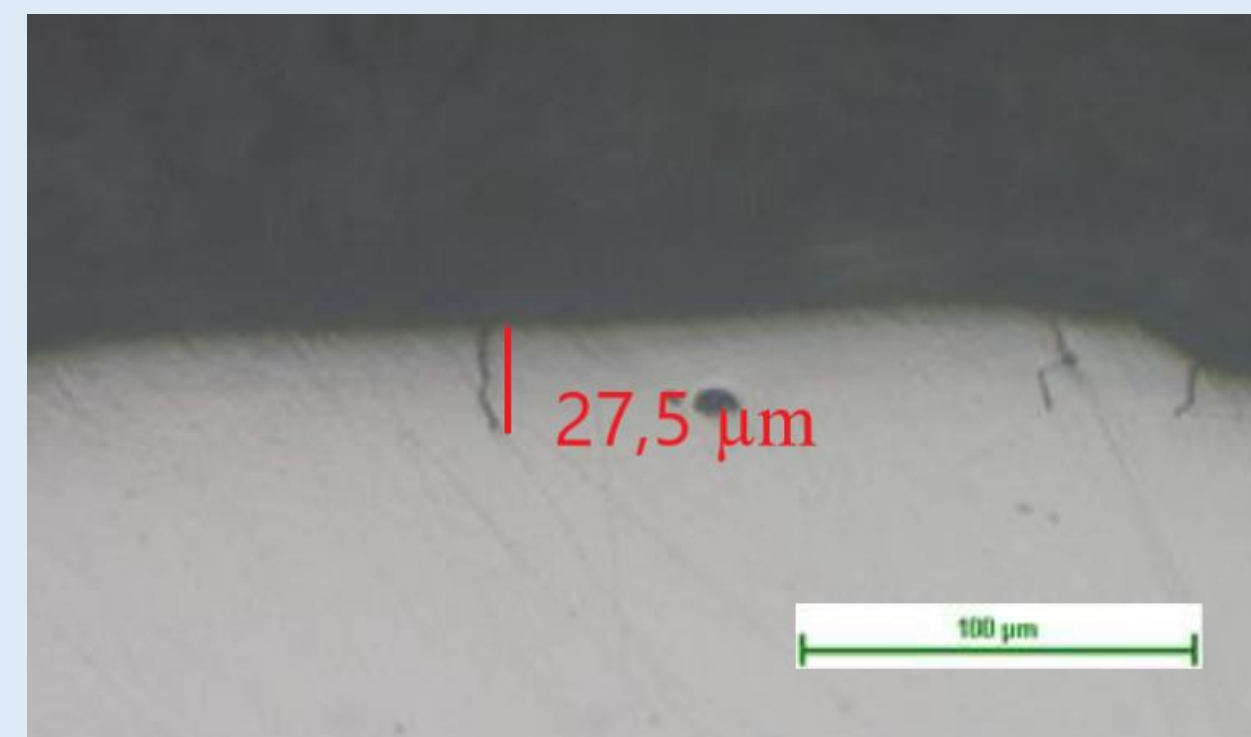
Rys. 10. Warstwa przetopiona na próbce 5



Rys. 11. Warstwa przetopiona na próbce 3



Rys. 12. Wolna od mikropęknięć powierzchnia próbki 5



Rys. 13. Najgłębsze mikropęknięcie na próbce 1

Projekt i analiza zrobotyzowanego stanowiska do magnetyczno-proszkowego badania sprężyn

Project and analysis of a robotic station for magnetic particle testing of springs

Autor: **inż. Kamil Cyrkun**

Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*

Promotor: **dr inż. Marcin Marciniak**

Rok akademicki: **2024/2025**

STRESZCZENIE

Praca koncentruje się na automatyzacji procesu kontroli jakości sprężyn, eliminując lub ograniczając rolę operatora. Celem pracy było stworzenie zrobotyzowanego stanowiska, które umożliwi automatyzację badań, analizę kosztów oraz zwiększenie bezpieczeństwa pracy. W pracy omówiono rodzaje i właściwości stali sprężynowej, metody badania cząstek magnetycznych oraz modelowanie parametryczne. Autor zaprojektował stanowisko w programie NX Siemens i zaprogramował robota w oprogramowaniu RoboGuide. Analiza kosztów wykazała, że inwestycja w zrobotyzowane stanowisko zwraca się w krótkim czasie, przynosząc znaczne oszczędności finansowe. Automatyzacja pozwala na skrócenie czasu badania sprężyn i zwiększenie liczby przebadanych sprężyn na zmianę. Wnioski z pracy wskazują, że automatyzacja przynosi liczne korzyści, w tym zwiększenie efektywności, redukcję kosztów oraz poprawę bezpieczeństwa pracy. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji i systemów wizyjnych, dokładność badań jest wyższa, a ryzyko błędów ludzkich zminimalizowane. Praca podkreśla znaczenie nowoczesnych technologii w procesach przemysłowych i ich wpływ na poprawę jakości oraz efektywności produkcji.

Słowa kluczowe: Sprężyna wagonu pociągu, Automatyzacja, Badania nieniszczące, Badanie magnetyczno-proszkowe, Wykrywanie pęknięć

1. Wprowadzenie

We współczesnym, dynamicznie zmieniającym się środowisku przemysłowym kluczowe znaczenie ma zapewnienie niezawodności i integralności materiałów. W takich sektorach jak lotnictwo, motoryzacja, przemysł naftowy i gazowy, bezpieczeństwo infrastruktury oraz sprzętu jest sprawą priorytetową. Jedną z najbardziej cenionych na świecie metod badań nieniszczących (NDT), mającą na celu kontrolę jakości materiałów, jest badanie cząstek magnetycznych (MPT). Technika ta jest powszechnie stosowana w wielu krajach i sektorach dzięki swojej skuteczności w wykrywaniu wad powierzchniowych oraz podpowierzchniowych w materiałach ferromagnetycznych.

2. Cel i zakres pracy

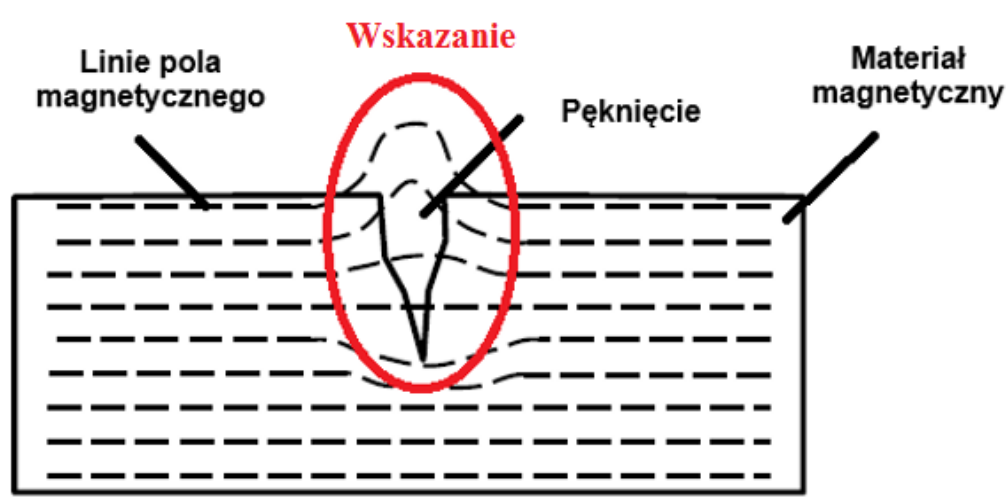
Celem pracy była analiza wpływu czasu inspekcji przeprowadzania badania oraz analiza kosztów stworzenia automatyzacji stanowiska poprzez stworzenie projektu zrobotyzowanego stanowiska do magnetyczno-proszkowego badania sprężyn umożliwiając automatyzację, eliminację lub ograniczenie roli operatora w wykonywaniu badań procesu kontroli jakości sprężyn pod kątem występowania wszelakich nieciągłości materiałowych, takich jak pęknięcia, zawalcowania i rysy na powierzchni sprężyn.

Do realizacji pracy konieczne było:

- dokładne poznanie metod i zasad wykorzystywanych w badaniach magnetyczno-proszkowych,
- zalety i wady wynikające z badań cząstek magnetycznych,
- zaprojektowanie z pomocą programu NX Siemens zrobotyzowanego stanowiska do badań magnetyczno-proszkowych sprężyn,
- stworzenie programu z ruchów robota w oprogramowaniu RoboGuide,
- stworzenie analizy kosztów zakupu robota i potrzebnych do jego obsługi przedmiotów,
- stworzenie analizy czasu przeprowadzania badania magnetyczno-proszkowego porównując do rzeczywistego stanowiska w firmie produkcyjnej, w którym wszystkie czynności wykonywane są przez operatora.

3. Badanie cząstek magnetycznych – działanie

Metoda magnetyczno-proszkowa to jedna z najpopularniejszych i szeroko stosowanych technik badań nieniszczących, należąca do metod magnetycznych. Służy ona do wykrywania nieciągłości w materiałach ferromagnetycznych. Proces ten polega na poddaniu badanego elementu działaniu pola magnetycznego, co powoduje gromadzenie się na jego powierzchni aplikowanych drobinek materiału magnetycznego w miejscach występowania nieciągłości. Strumień magnetyczny, napotykając na nieciągłości w materiale, wpływa na jego powierzchnię, zaburzając lokalne pole magnetyczne. Istnieje kilka sposobów generowania pola magnetycznego w badanym obiekcie. Jednym z nich jest użycie magnesów stałych, co pozwala na dużą mobilność badań. Alternatywnie można zastosować jarzma magnetyczne, które są wykonane z magnetycznie miękkich materiałów i wyposażone w uzwojenie. Prąd przepływający przez to uzwojenie wytwarza strumień magnetyczny, który może być stały, zmienny lub przemienny, w zależności od rodzaju prądu. Jarzma zamknięte zapewniają znacznie większą gęstość strumienia magnetycznego niż jarzma otwarte przy tej samej konfiguracji prądu i uzwojenia. Dzięki temu umożliwiają bardziej precyzyjne wykrywanie nieciągłości, w przeciwieństwie do pola magnetycznego generowanego przez magnesy stałe. Poniżej (rys. 1) przedstawiono jak kształtuje się rozproszenie strumienia magnetycznego przy pomocy badania za pomocą jarzma magnetycznego.



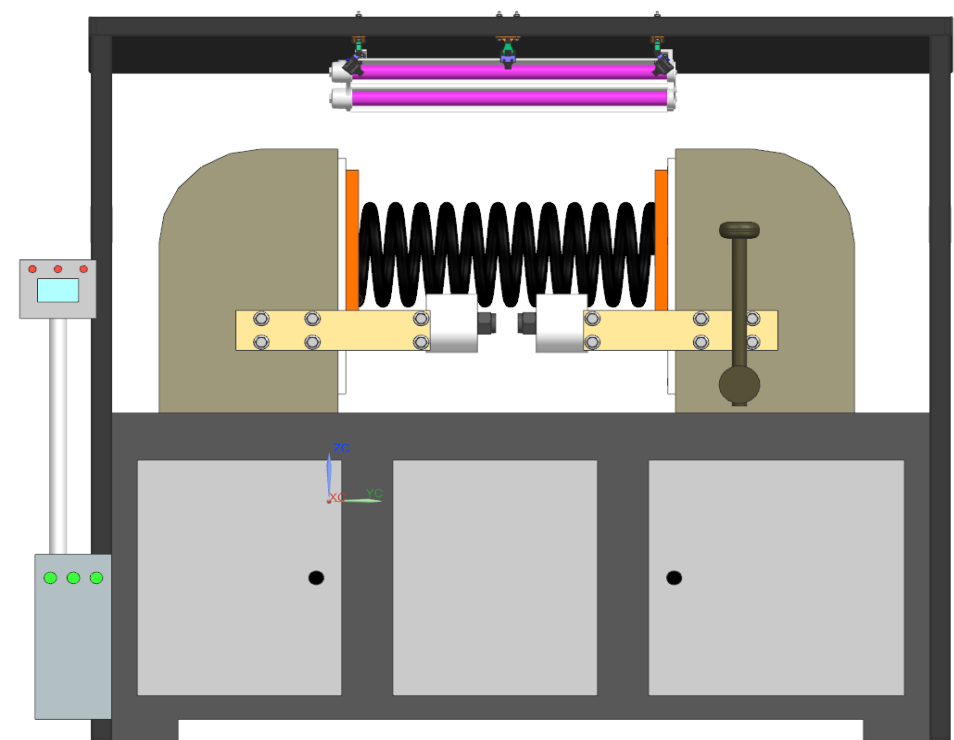
Rys. 1. Rozproszenie strumienia magnetycznego przy pomocy jarzma magnetycznego

4. Automatyzacja stanowiska

Poniżej pokazane stanowisko na rys. 2 posłużyło do inspiracji i stworzenia pomysłu automatyzacji procesu w celu przyspieszenia czasu, zmniejszenia kosztów ponoszonych przez firmę i zapewnienie bezpieczeństwa poprzez badanie dużych sprężyn, których operator nie musiałby przenosić z pojemników. Dzięki chwytakowi i ramieniu robota operator zostałby odciążony od przenoszenia, sprężyny do dużych wagonów pociągowych mogą ważyć nawet 100kg i więcej. Stanowisko zaprojektowane w programie zostało przedstawione na rys. 3.



Rys. 2. Rzeczywiste stanowisko do badań magnetyczno-proszkowych



Rys. 3. Zaprojektowany model 3D stanowiska do badań magnetyczno-proszkowych

Badanie magnetyczno-proszkowe wykonuje się na elementach, przed aplikacją powłoki antykorozyjnej i antyoksydacyjnej. Sprężyny poddawane są badaniom na defektoskopie w celu wykrycia powierzchniowych nieciągłości, takich jak: pęknięcia, rysy, zawalcowania, łuski.

Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono wady powierzchniowe wzdłużne i poprzeczne wykrywane przez badanie magnetyczno-proszkowe.

ABSTRACT

The thesis focuses on automating the quality control process of springs by reducing or eliminating the role of the operator. The aim was to create a robotic station that automates testing, analyzes costs, and enhances workplace safety. The thesis discusses the types and properties of spring steel, magnetic particle testing methods, and parametric modeling. The author designed the station using NX Siemens software and programmed the robot with RoboGuide software. Cost analysis showed that investing in the robotic station pays off quickly, yielding significant financial savings. Automation shortens the testing time and increases the number of springs tested per shift. The conclusions indicate that automation offers numerous benefits, including increased efficiency, cost reduction, and improved workplace safety. By using artificial intelligence and vision systems, the accuracy of tests is higher, and the risk of human error is minimized. The thesis highlights the importance of modern technologies in industrial processes and their impact on improving production quality and efficiency.

Keywords: Railway Coil Spring, Automatization, Non-destructive testing, Magnetic particle inspection, Crack detection



Rys. 4. Przykład nieciągłości wzdłużnej



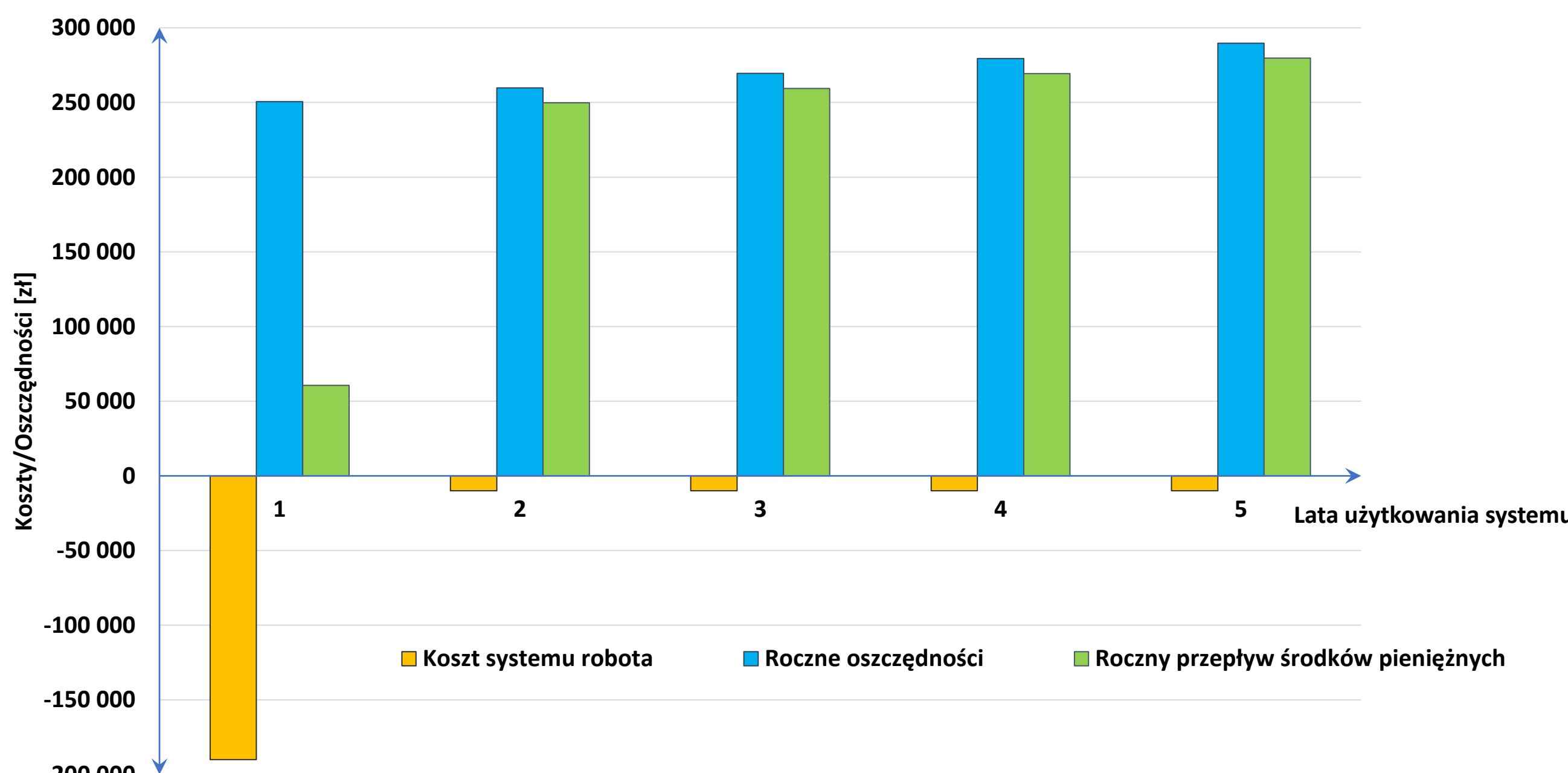
Rys. 5. Przykład nieciągłości poprzecznej na całej sprężynie



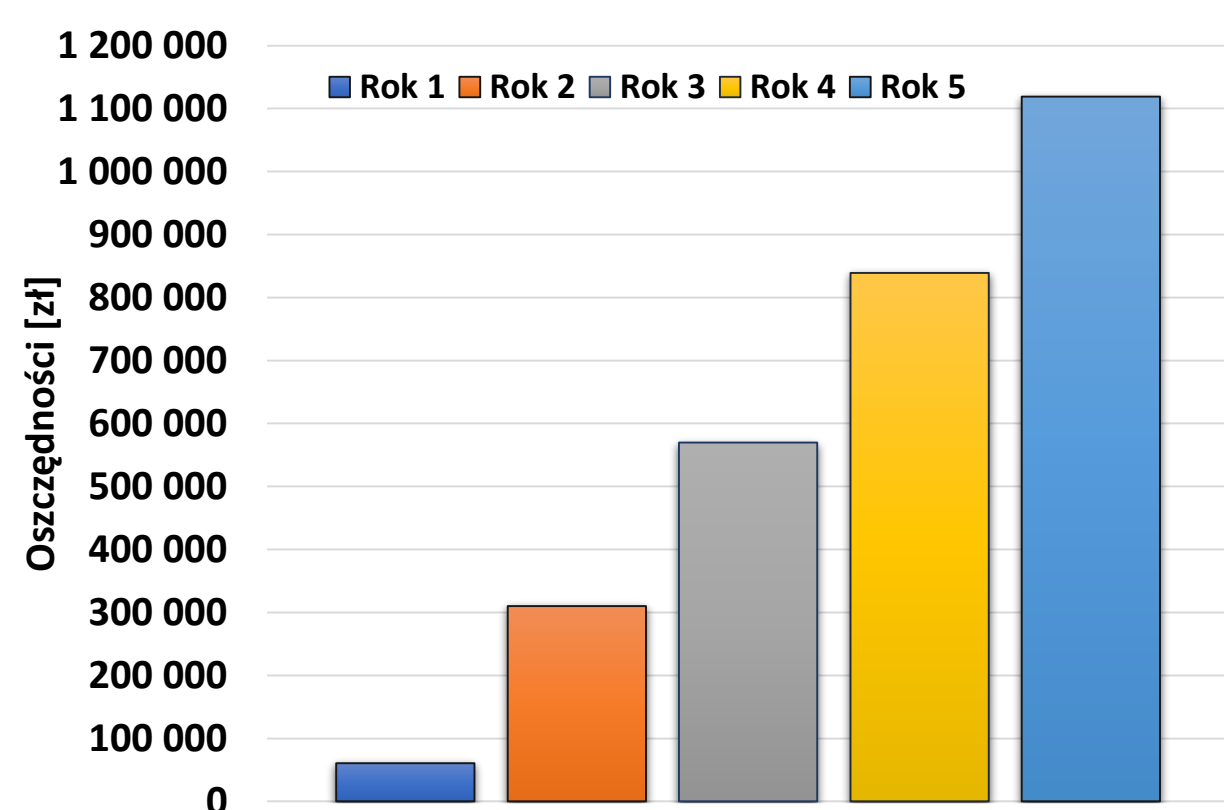
Rys. 6. Przykład nieciągłości poprzecznej na 1 zwoju sprężyny

5. Wyniki analizy

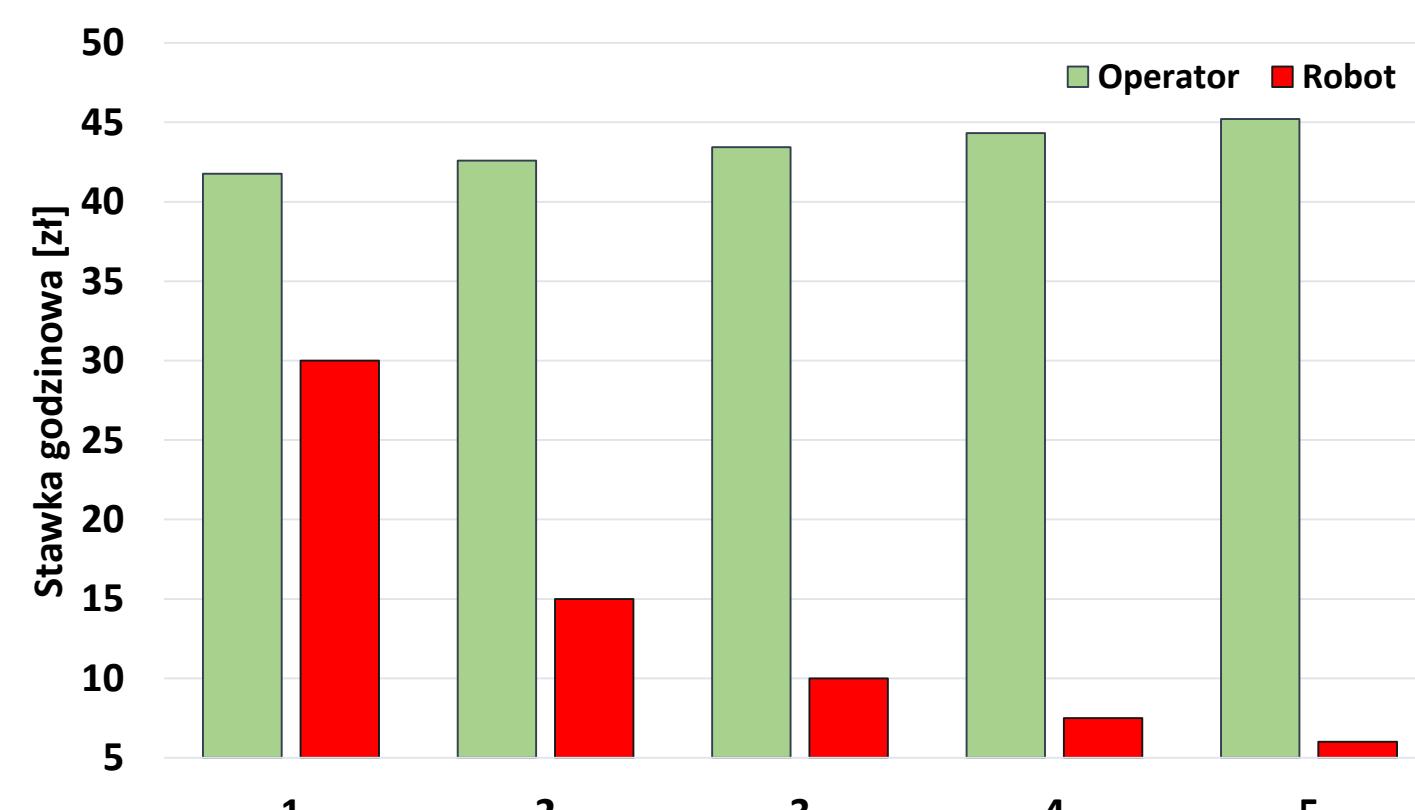
Wykres (rys. 7) przedstawia analizę finansową związaną z wdrożeniem robota w perspektywie pięciu lat. Dane obejmują koszty systemu (zakup i konserwację), oszczędności roczne, przepływy środków pieniężnych oraz oszczędności skumulowane. W pierwszym roku koszt wynosi **190 000 zł**, obejmując zakup systemu. W kolejnych latach utrzymuje się stały koszt konserwacji w wysokości **10 000 zł** rocznie. W pierwszym roku, po odliczeniu kosztów, przepływ środków pieniężnych wynosi 60 550 zł. W kolejnych latach roczny przepływ wzrasta aż do **279 741 zł**.



Rys. 7. Rozkład kosztów i oszczędności zakupu robota



Rys. 8. Oszczędności kumulacyjne na rok



Rys. 9. Porównanie stawki godzinowej dla operatora i robota

Oszczędności rosną każdego roku (rys 8), uwzględniając inflację na poziomie 3,7%. W pierwszym roku wynoszą **250 550 zł**, a w piątym roku wzrastają do **289 741 zł**. Po początkowym wysokim koszcie inwestycji **190 000 zł** i uzyskanych oszczędnościach poniesionych na wydatki na pracowników wynoszące **250 550 zł**, całkowita oszczędność wyniesie **60 550 zł**. Jest to pierwszy krok w odzyskiwaniu poniesionego kosztu. Po pięciu latach oszczędności skumulowane osiągają **1 118 950 zł**, co wskazuje na znaczne korzyści finansowe z wdrożenia systemu badań magnetyczno-proszkowych. Stawka godzinowa dla operatora wzrasta każdego roku. W pierwszym roku wynosi **41,76 zł**, a w piątym roku rośnie do **45,20 zł**. Wzrost wynika z czynników takich jak inflacja, podwyżki wynagrodzeń, jak i wzrost kosztów pracy ludzkiej. Stawka godzinowa dla robota (rys. 9) jest znacznie niższa niż dla operatora i maleje z każdym rokiem. W pierwszym roku wynosi **30 zł**, ale w piątym roku spada do zaledwie **6 zł**.

6. Wnioski

Pomysł na zastosowanie zautomatyzowanego stanowiska wysnuł się ze względu na przyspieszenie czasu wykonywania badań magnetyczno-proszkowych, ale i zmniejszenie kosztów pracy wynikających z badań sprężyn dla pracodawcy. Spadek kosztów robota wynika z wydajności i optymalizacji systemu w czasie. Natomiast koszty pracy operatorów rosną systematycznie, co stanowi dodatkowy argument za wprowadzeniem automatyzacji. Inwestycja na takie stanowisko zwróci się firmie już po 9 miesiącach. Co znacznie przyczyni się do zasilenia budżetu firmy i pozwoli na kolejne inwestycje, takie jak np. zakup nowych maszyn. W kontekście rosnącej potrzeby automatyzacji procesów przemysłowych, praca ta ma kluczowe znaczenie dla sektora inżynierii mechanicznej.

Analiza wpływu siły gięcia na utwardzanie się powierzchni blachy ze stali niestopowej konstrukcyjnej S235JR

Analysis of the effect of bending force on the surface hardening of S235JR unalloyed structural steel plate

Autor: **inż. Patryk Karaś**

Kierunek studiów: **mechanika i budowa maszyn**

Promotor: **dr inż. Wiesław Żelasko**

Rok akademicki: **2024/2025**

STRESZCZENIE

Celem pracy dyplomowej jest analiza wpływu siły gięcia na utwardzanie się powierzchni blachy ze stali niestopowej konstrukcyjnej S235JR. Badania mają na celu określenie zależności między siłą gięcia, twardością oraz zmianami mikrostrukturalnymi materiału. W ramach realizowanej pracy dyplomowej przygotowano próbki do badań, wykonano zgłady metalograficzne, przeprowadzono analizę mikrostruktury oraz dokonano pomiarów twardości. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono, że zwiększenie siły gięcia przyczyniło się do proporcjonalnego wzrostu utwardzenia powierzchni blach oraz wpłynęło na modyfikację mikrostruktury materiału.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było przeprowadzenie analizy wpływu siły gięcia na utwardzanie się powierzchni blachy ze stali niestopowej konstrukcyjnej S235JR. Badania miały na celu określenie zależności między siłą gięcia, twardością oraz zmianami mikrostrukturalnymi materiału.

Zakres pracy obejmował:

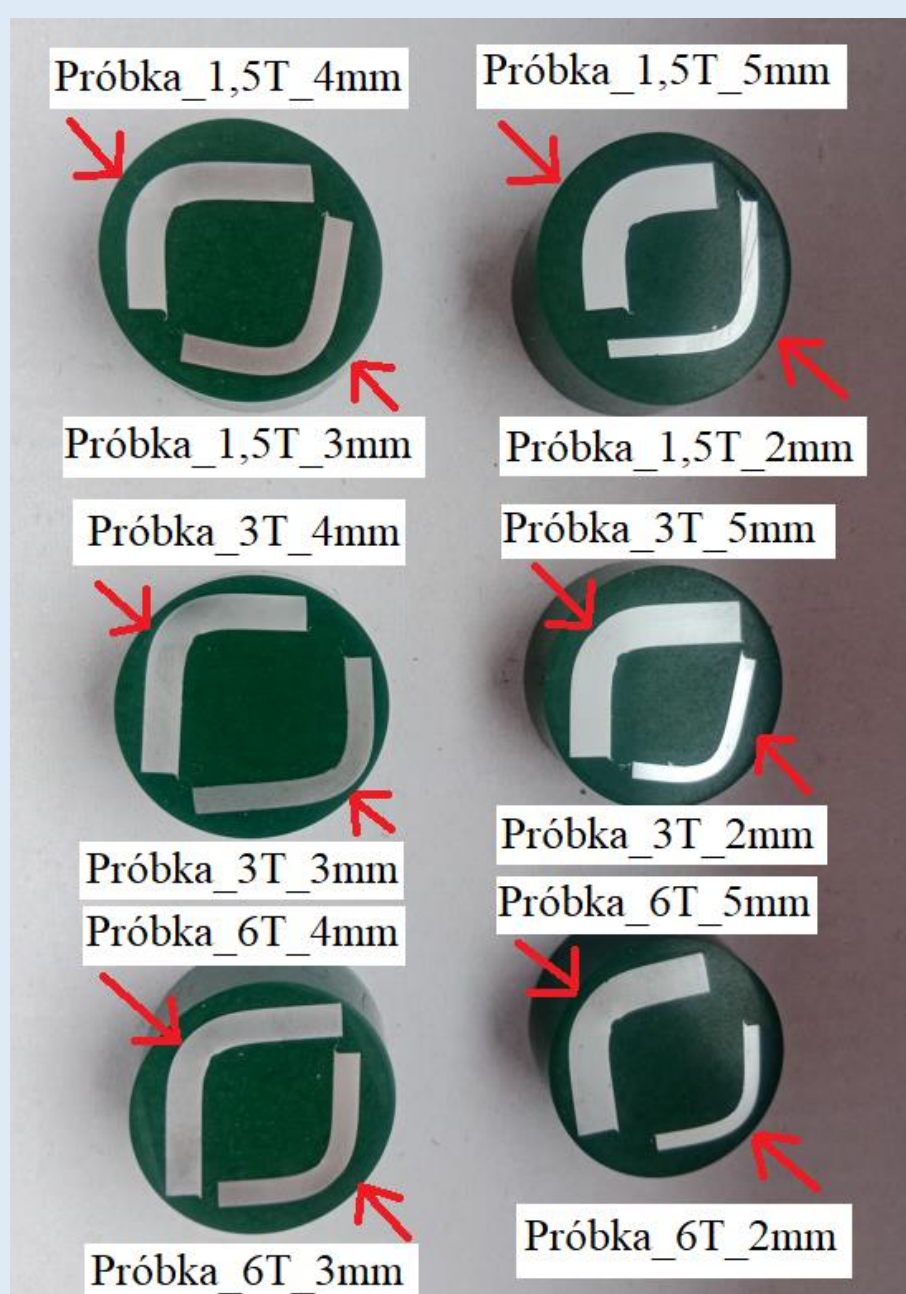
1. Przygotowanie próbek do badań
2. Wykonanie zgładów metalograficznych
3. Analizę mikrostruktury
4. Wykonanie pomiarów twardości metodą Vickersa
5. Wnioski z przeprowadzonej analizy



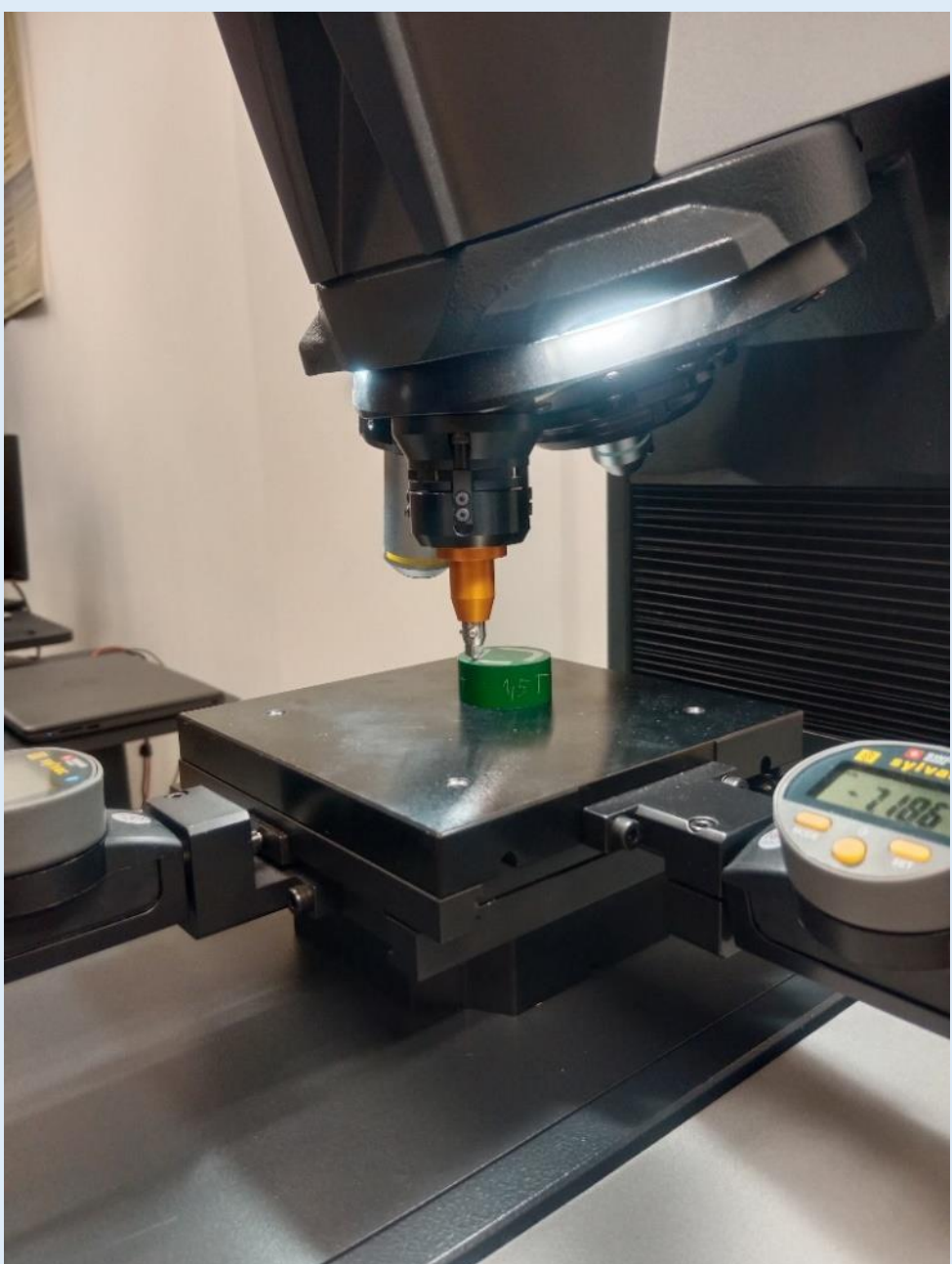
Rys. 1 Widok matrycy i stempla



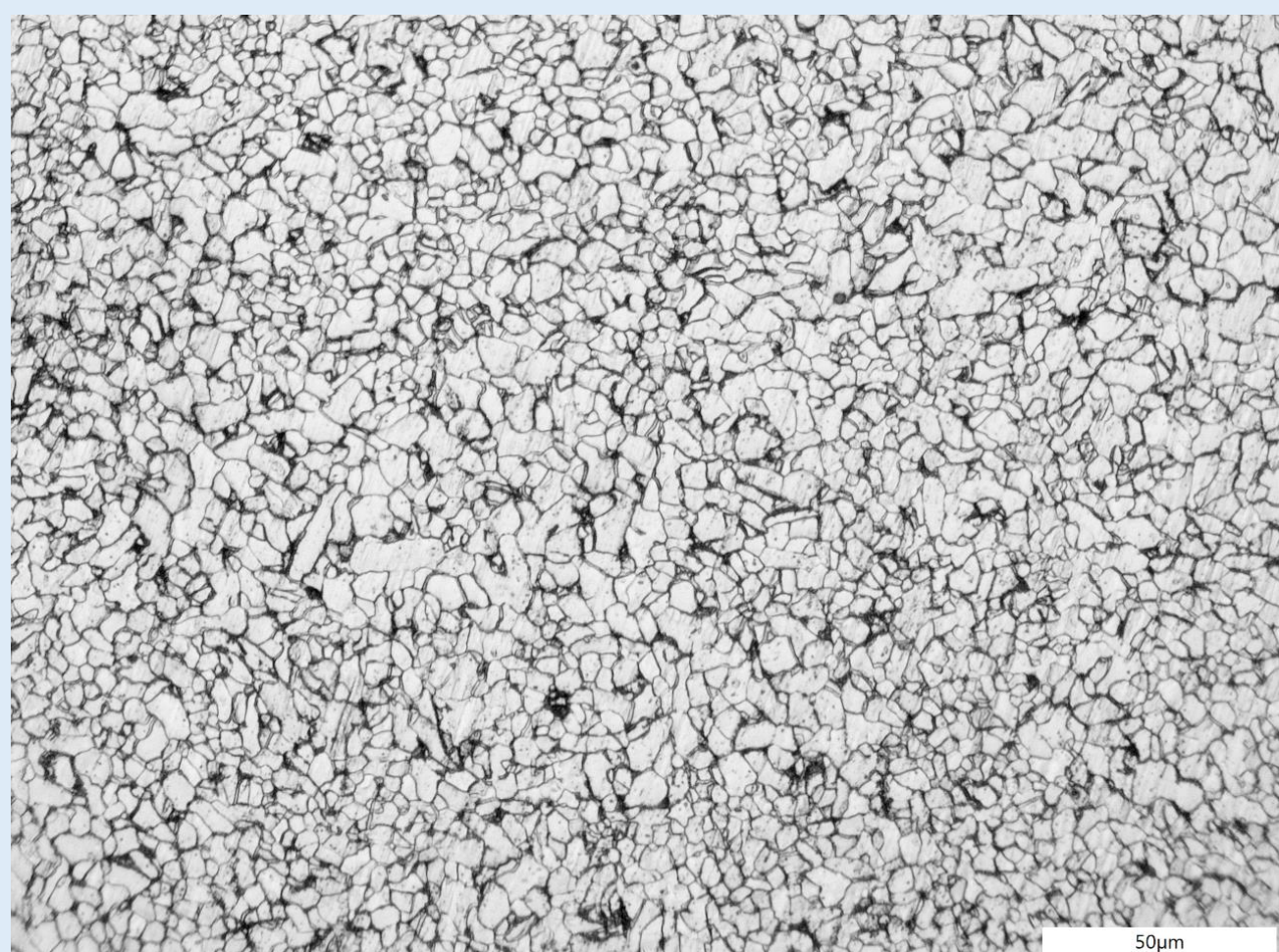
Rys. 2 Komplet próbek po zagięciu



Rys. 3 Komplet wykonanych zgładów metalograficznych



Rys. 4 Pomiar mikrotwardości wykonany na twardościomierzu QNESS 60M EVO



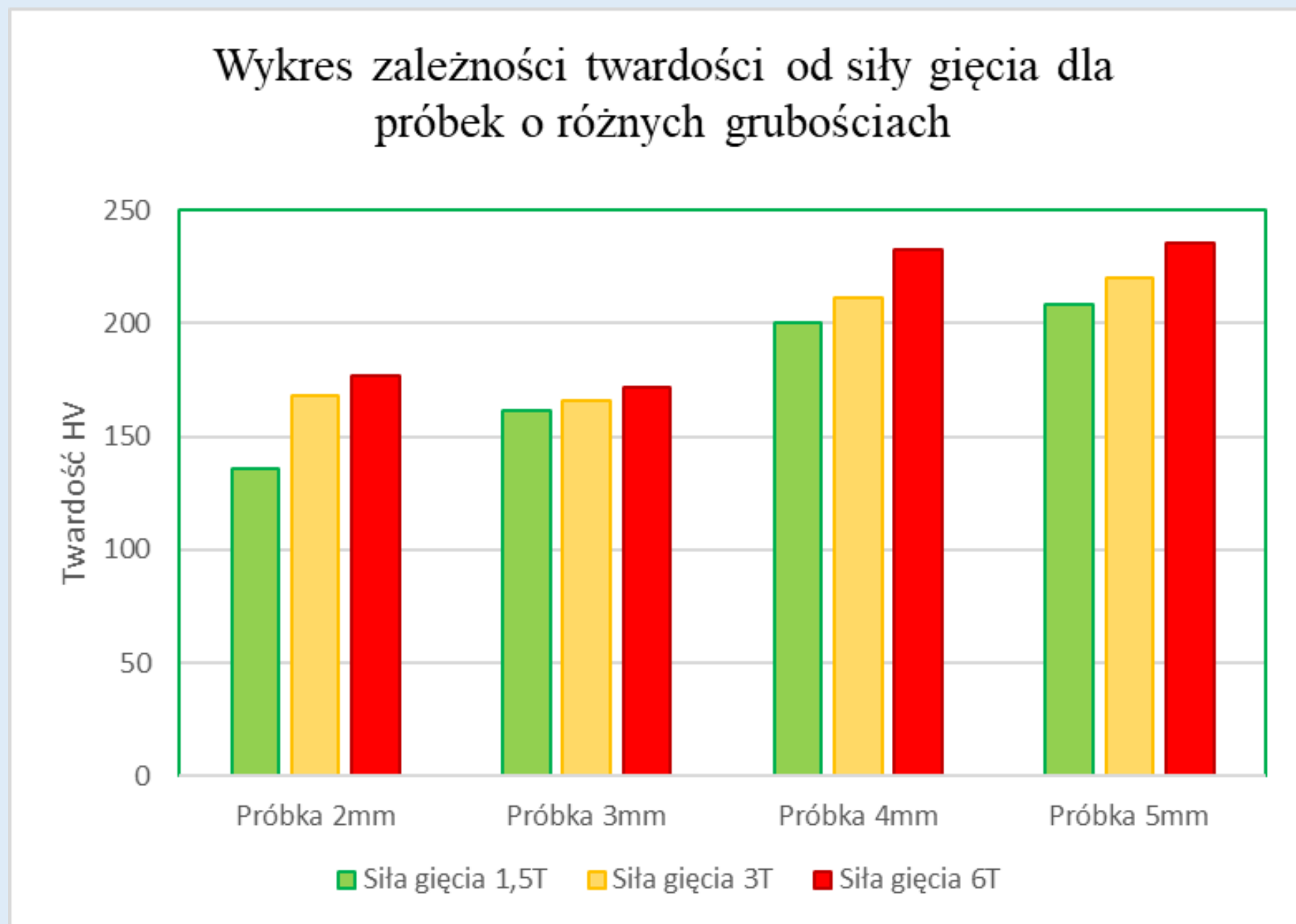
Rys. 5 Analiza mikrostruktury próbki w powiększeniu 400x

ABSTRACT

The aim of this study is to analyse the effect of bending force on the surface hardening of a sheet of unalloyed S235JR structural steel. The study aims to determine the relationship between bending force and the hardness and microstructural changes of the material. As part of the work, specimens were prepared for testing, metallographic samples were made, microstructure analysis and hardness measurements were carried out. Based on the tests and analyses carried out, it was found that an increase in bending force contributed to a proportional increase in the hardening of the surface of the sheets and affected the modification of the microstructure of the material.

WYNIKI

Siła gięcia i grubość próbek mają bezpośredni wpływ na zmiany mikrostruktury materiału, co prowadzi do stopniowego wzrostu twardości powierzchni. Wraz z rosnącą siłą gięcia obserwuje się intensyfikację zmian mikrostrukturalnych. W cieńszych próbkach dominują poślizgi i dyslokacje, a w grubszych pojawia się dodatkowo mechanizm bliźniakowania. Badania twardości wykazały, że twardość wzrasta proporcjonalnie do siły gięcia, co wskazuje na utwardzenie materiału pod wpływem rosnącego obciążenia.



Rys. 6 Wykres zależności twardości od siły gięcia dla próbek o różnych grubościach

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i analizy dostarczyły cennych informacji na temat silnego powiązania między siłą gięcia, twardością oraz zmianami mikrostrukturalnymi materiału. Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie praktyczne, umożliwiając optymalizację procesów technologicznych związanych z obróbką plastyczną stali konstrukcyjnych. Ponadto przeprowadzone badania i analizy mogą stanowić solidną podstawę do dalszych badań, które mogą być związane z innymi gatunkami stali, geometrią narzędzi oraz warunkami obciążenia.

Analiza właściwości mechanicznych płytek matrycy stalowej formy do prefabrykatów betonowych

Analysis properties mechanical tile template steely form through to prefabricated element concrete

Autor: inż. Karolina Kwaśnik

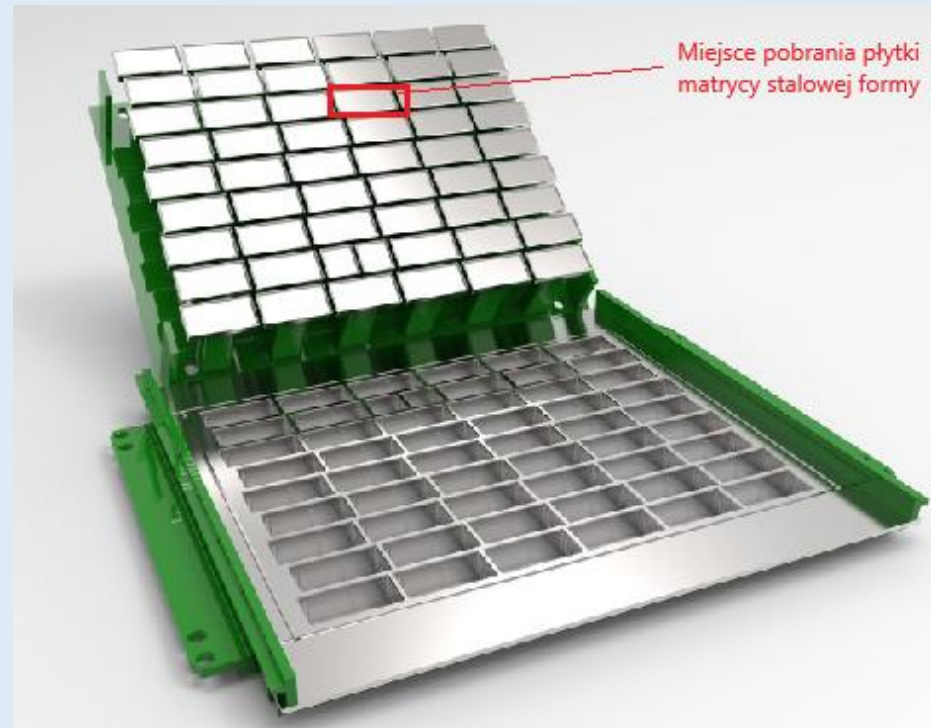
Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*

Promotor: dr inż. Wiesław Żelasko

Rok akademicki: 2024/2025

STRESZCZENIE

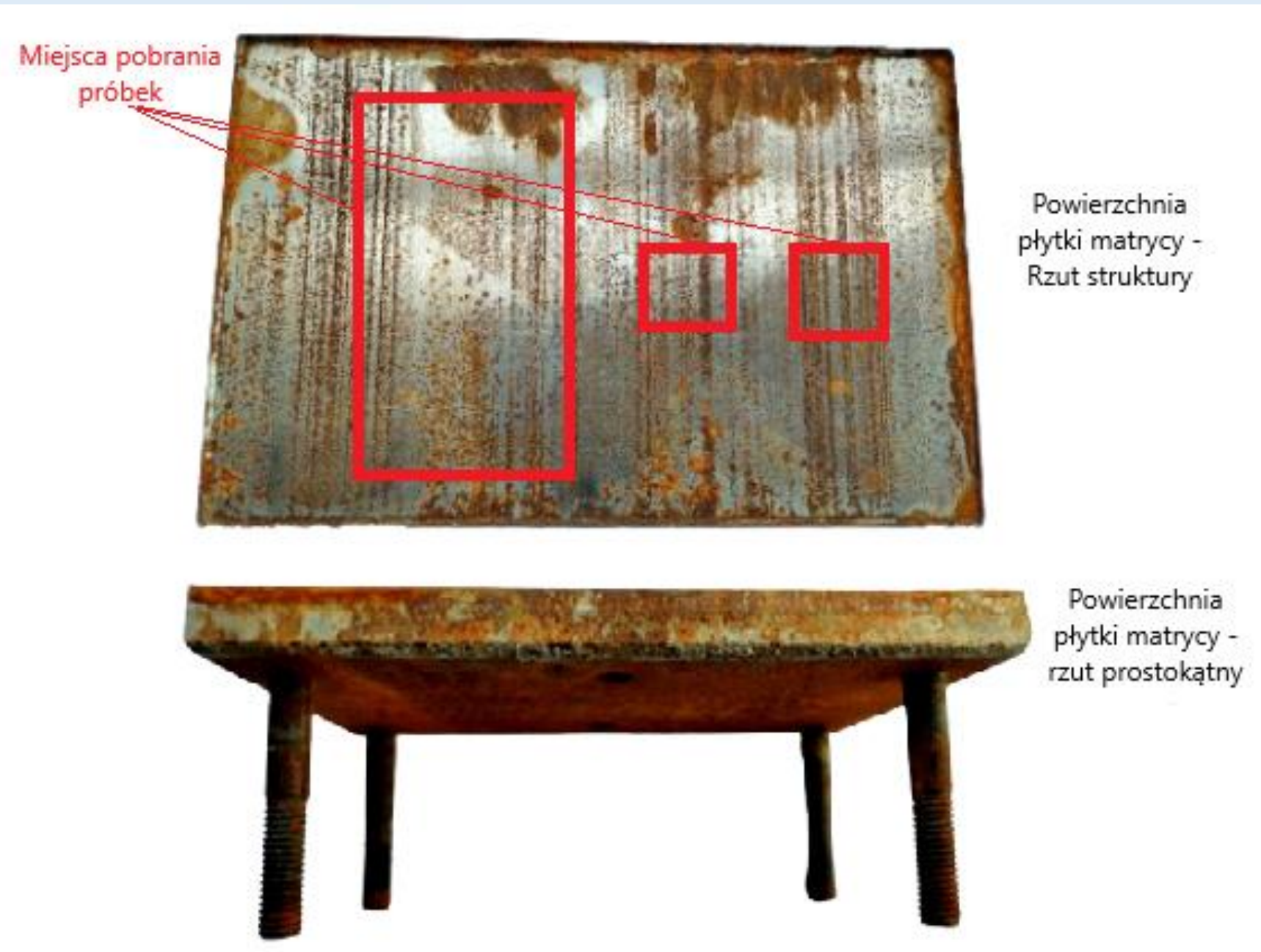
Prezentowana praca dyplomowa obejmuje analizę właściwości mechanicznych płytek matrycy stalowej do prefabrykatów betonowych i została podzielona na część teoretyczną i praktyczną. W części pierwszej pracy scharakteryzowano pojęcia związane z technologią produkcji wyrobów betonowych. Ponadto przedstawiono podstawowe właściwości geometryczne i mechaniczne, które mają kluczowe znaczenie dla określenia stopnia zużycia płytek matrycy stalowej formy do prefabrykatów betonowych. W ramach części praktycznej pracy przeprowadzono analizę wspomnianych właściwości określając między innymi twardość w skali HRC i HV czy strukturę geometryczną powierzchni użytej matrycy wykonanej ze stali 16HG. Przeprowadzone badania miały na celu określenie jej stopnia zużycia w oparciu o uzyskane dane produkcyjne, które obejmowały czas pracy matrycy, zastosowane parametry i charakterystykę procesu wytwarzania. Pracę zakończono podsumowaniem i wnioskami końcowymi, które mogą mieć istotny wpływ na wydłużenie czasu eksploatacji stosowanej matrycy stalowej do prefabrykatów betonowych.



ABSTRACT

The thesis presented here covers the analysis of the mechanical properties of steel die plates for precast concrete products and is divided into theoretical and practical parts. In the first part of the thesis, the concepts related to the technology of concrete product manufacturing are characterised. In addition, the basic geometrical and mechanical properties that are crucial for determining the wear rate of steel die plates of a precast concrete mould are presented. As part of the practical part of the work, an analysis of the aforementioned properties was carried out, determining, among other things, the hardness on the HRC and HV scale or the geometric structure of the surface of the die used, made of 16HG steel. The study was aimed at determining its degree of wear based on the production data obtained, which included the working time of the die, the parameters used and the characteristics of the manufacturing process. The work was concluded with a summary and final conclusions, which can have a significant impact on the extension of the service life of the used steel die for precast concrete products.

Materiał: Stal 16HG ulepszana cieplnie.



Rys.1 Płytkę matrycy stalowej formy



Rys.2 Pozyskiwanie próbek do badań

Tab.1.Właściwości materiału deklarowane przez producenta

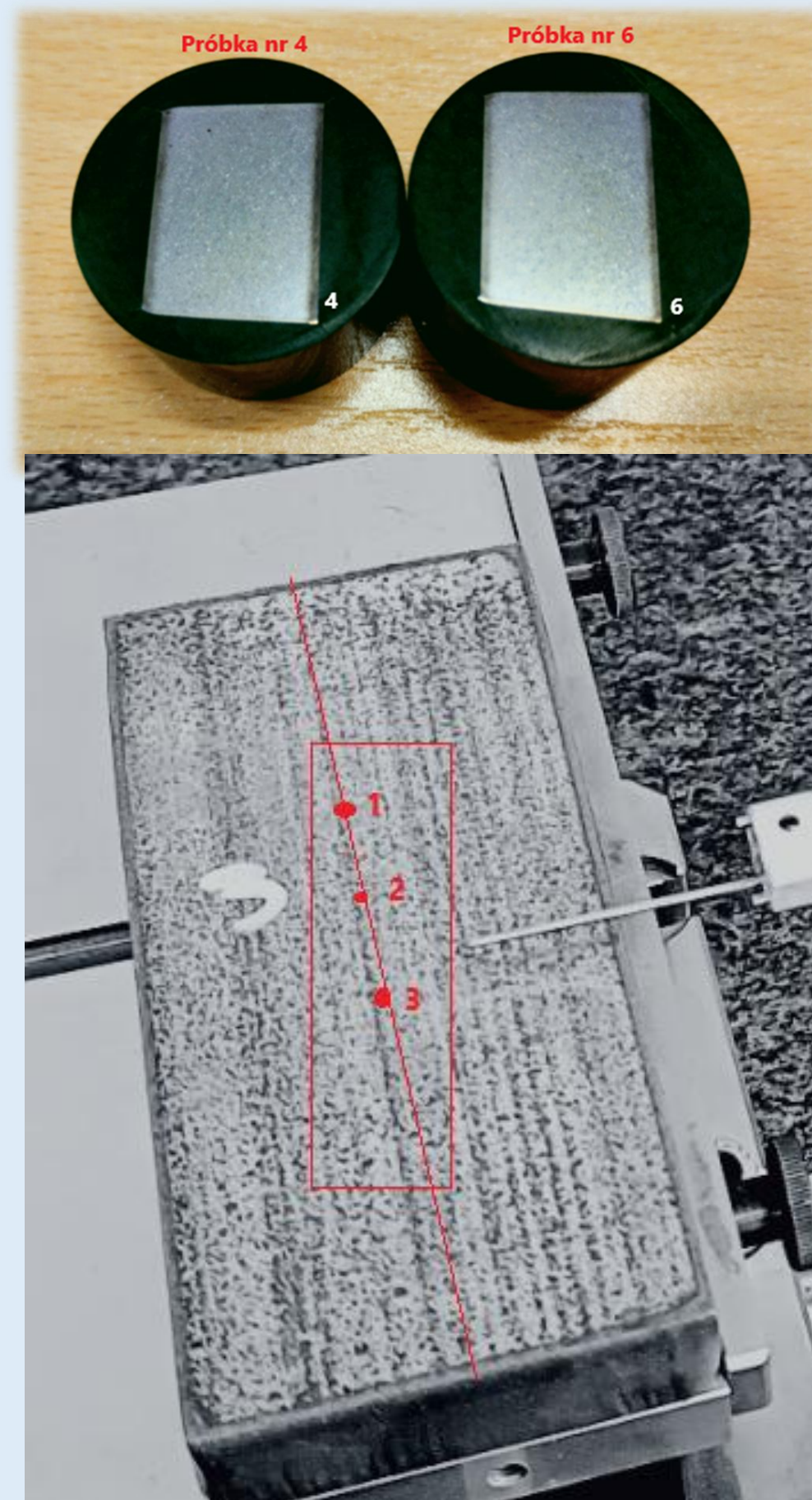
Strefa twardości	Głębokość płytki w [mm]	Wartość deklarowana [HV]	Wartość Deklarowana [HRC]
Powierzchnia ulepszana cieplnie	1,2	700- 750	61-63
Strefa przejściowa	1,2-5	Zależna od procesu obróbki	Zależna od procesu obróbki
Rdzeń materiału	5-20	250-350	25-35

Cel i zakres badań.

Celem niniejszej pracy badawczej była analiza właściwości mechanicznych oraz ocena stopnia zużycia płytek matrycy stalowej formy. Pozwoliło to na określenie właściwości eksploatacyjnych zastosowanej formy takich jak np. czas pracy i zastosowane parametry użytkowe. Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie wniosków końcowych które mogą mieć istotny wpływ na wydłużenie czasu eksploatacji wspomnianego oprzyrządowania i optymalizację kosztów produkcji.

Zakres badań:

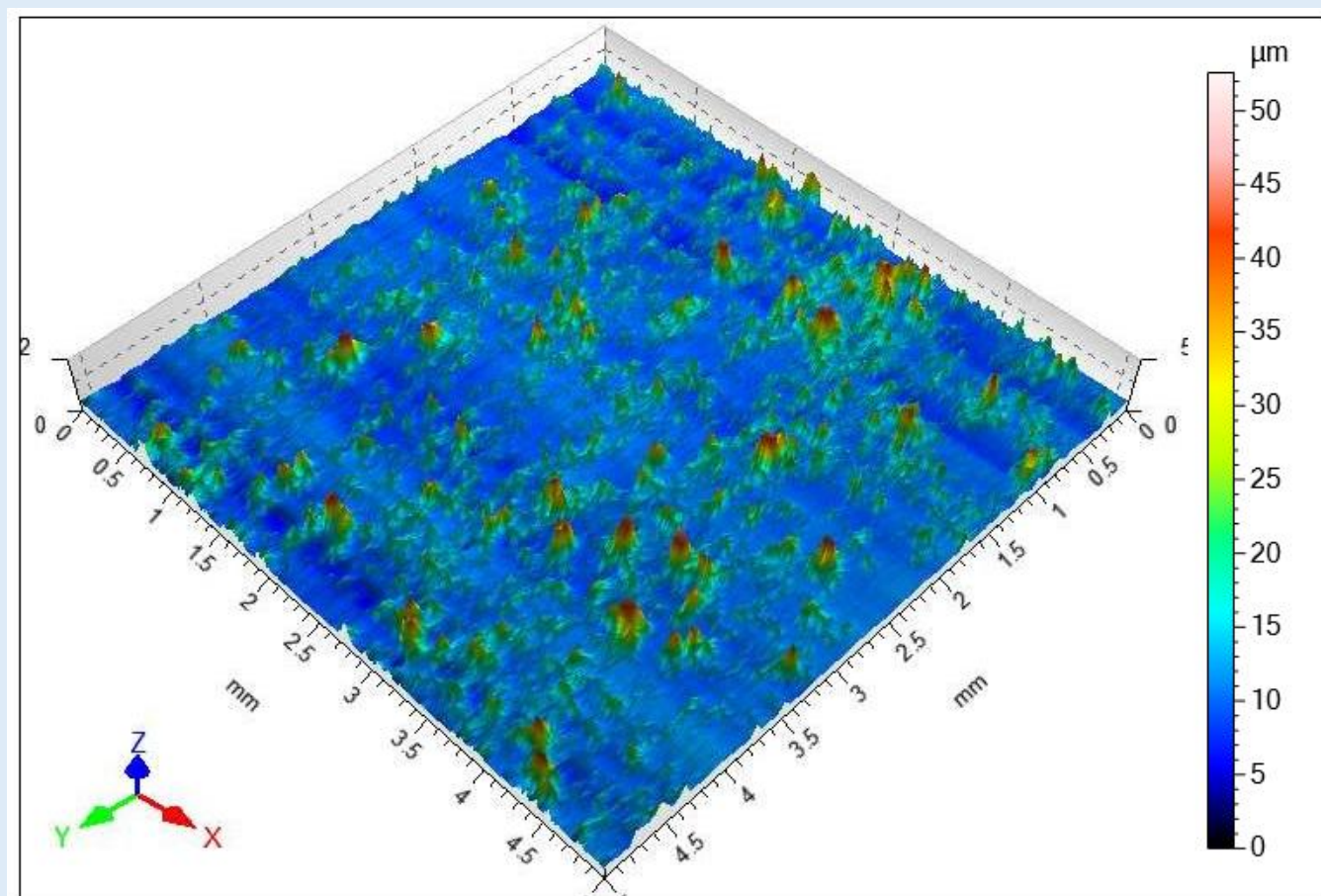
- 1.Przygotowano zgłady metalograficzne oraz płytkę o wymiarach 50x80mm.
2. Opracowano zestawienie czasu pracy i parametrów procesu
3. Wykonano pomiary struktury geometrycznej płytki
- 4.Przeprowadzono badania metalograficzne wykonanych zgładów.
5. Wykonano pomiary twardości metodami HV i HRC
- 6.Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników i opracowano wnioski końcowe które mogą mieć istotny wpływ na czas eksploatacji matrycy.



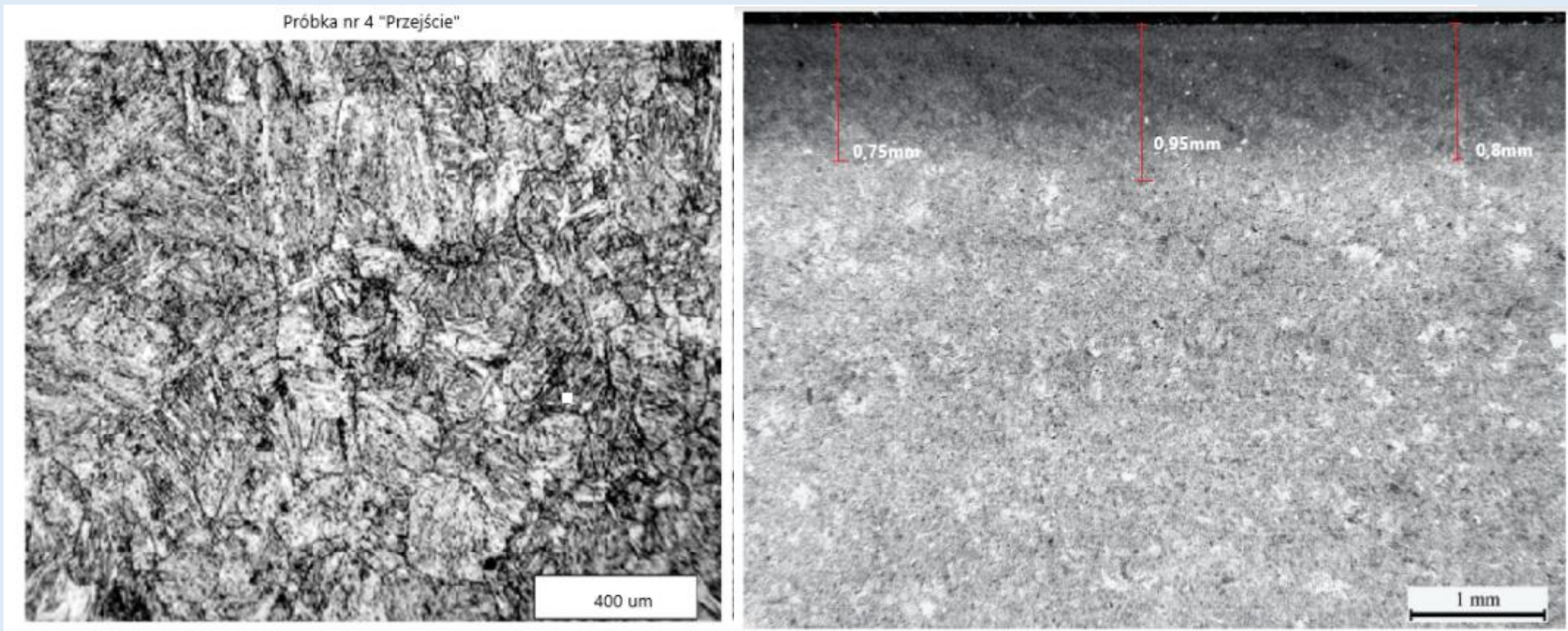
Rys.3. Próbkę materiałowe poddane badaniom

Wyniki pomiarów i obserwacje

Obraz Topografii 3D, przedstawia powierzchnie badaną zużytej płytki. Skala pomiarowa i osie XYZ, wskazują na liczne uwypuklenia powierzchni. Występujące zmiany są regularne, lokalnie rozmieszczone wskutek procesu tarcia. Struktura zmian powierzchni rozkłada się prostoliniowo wraz z kierunkiem tarcia.

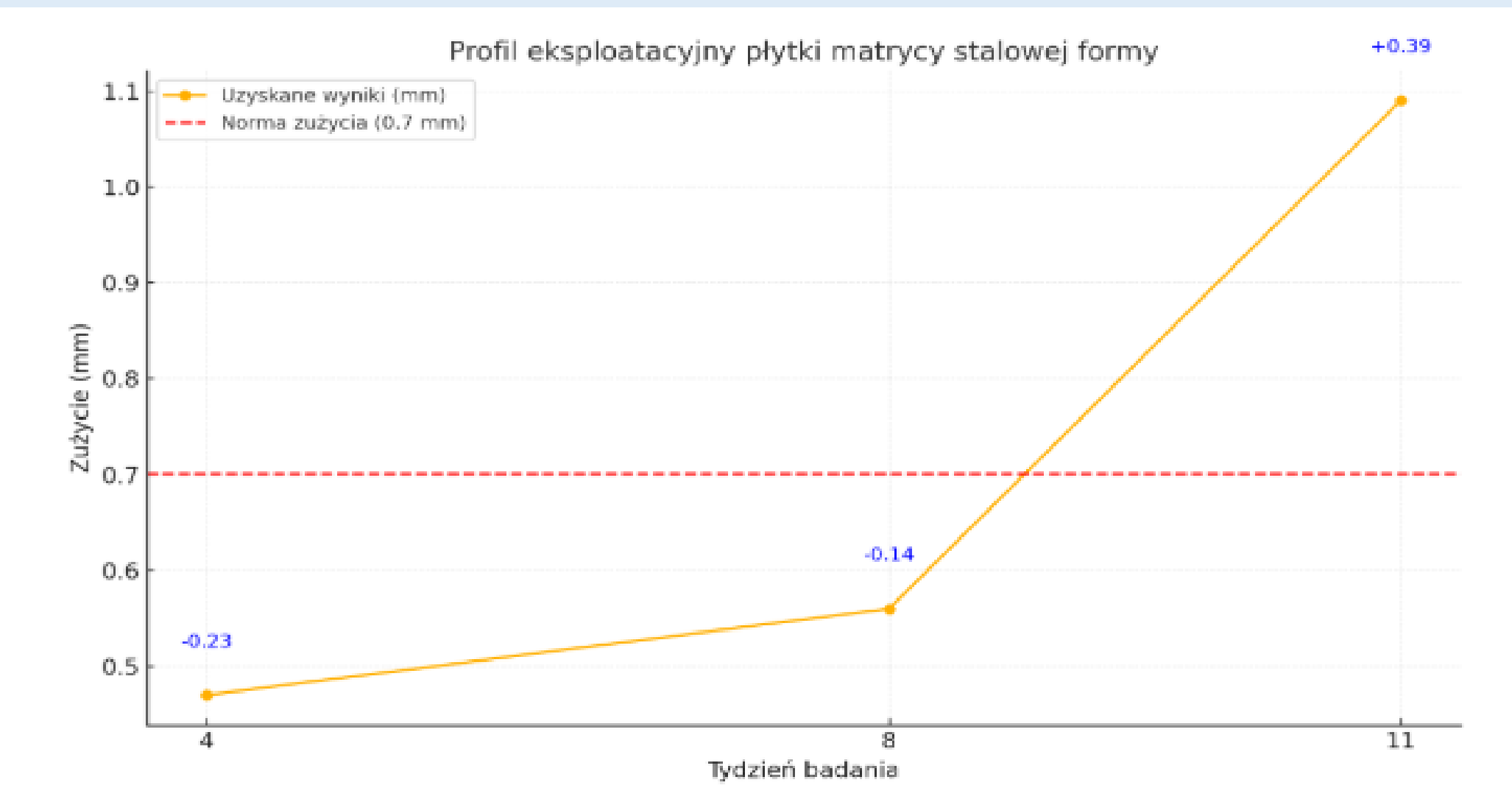


Rys. 5. Topografia powierzchni płytki matrycy



Rys.4. Wyniki pomiaru mikrostruktury i strefy wpływu ciepła dla próbki nr 4

Na podstawie przeprowadzonych badań mikroskopowych stwierdzono występowanie nieregularnej strefy wpływu ciepła, wynikającej z błędów procesu. Zaobserwowano jednorodną, drobnoziarnistą strukturę, obszary martenzytu (powierzchnię utwardzoną w wyniku hartowania) otoczonego przez ferryt.



Otrzymane wyniki pomiaru wielkości, parametrów i analiza właściwości mechanicznych płytek matrycy wskazały przyczynę szybkiego zużycia eksploatacyjnego.

W znacznym stopniu wynika ono z popełnionych błędów już na etapie produkcji matrycy stalowej do prefabrykatów betonowych.

$$\bar{Srednia} = \frac{63,3 + 63,2 + 63,4}{3} = 63,3 \text{ HRC}$$

Rys.6. Średnia pomiaru twardości metodą Rockwella



Analiza symulacji procesu orbitalnego spawania laserowego na stanowisku zrobotyzowanym

Simulation analysis of the orbital laser welding process on a robotic station

Autor: inż. Mateusz Lenart

Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*

Promotor: dr inż. Marcin Marciniak

Rok akademicki: 2024/2025

Streszczenie

Praca przedstawia projekt i analizę orbitalnego spawania laserowego rur wykonanych ze stpu aluminium 6082. Proces spawania przeprowadzono na na stanowisku zrobotyzowanym TRU LASER ROBOT 5020 firmy TRUMPF. W jego skład wchodzi ramię robota o udźwigu do 30 kilogramów wyposażonym w głowicę do spawania laserowego. W pierwszej kolejności przystąpiono do zamocowania próbek w uchwycie trójszczękowym na zintegrowanym stole obrotowym robota. W dalszym kroku przystąpiono do serii testów ze zmiennymi parametrami wiązki laserowej, takimi jak moc i prędkość liniowa głowicy. Symulacje wykonano przy użyciu programu Ansys w rozszerzeniu Mechanical. Podczas symulacji badano strefę wpływu ciepła jaka powstawała podczas spawania. Otrzymane wyniki porównano z rozkładem temperatur otrzymanym podczas rzeczywistego procesu spawania. Ostatecznym rezultatem pracy jest ramowy program do optymalizacji procesu spawania laserowego, który to w przyszłości może zostać edytowany i posłużyć jako baza do bardziej zaawansowanych projektów.

Słowa kluczowe: spawanie orbitalne, laser, aluminium, symulacja

1. Wprowadzenie

Z uwagi na wszechobecny postęp cywilizacyjny oraz rozwój technologii łączenia materiałów coraz większą rolę w procesie łączenia odgrywa spawanie. Swą popularność zawdzięcza relatywnie niskim kosztom operacji oraz szerokiej gamie metod ich wykorzystania. Z tego też względu cieszy się ono dużą popularnością w sektorze lotniczym, motoryzacyjnym oraz budowlanym. Cykl scalania opiera się o nagrzanie łączonych materiałów, którymi zazwyczaj są metale i stopienie ich krawędzi w miejscu łączenia. W zależności od przebiegu procesu łączenie odbywa się z dodaniem lub bez spoiwa. Obecny poziom przemysłu stawia przed metodą tą coraz to większe wyzwania między innymi coraz to większą precyzję oraz wytrzymałość wykonywanych spoin. Z tego też względu wciąż wzrasta rola spawania laserowego cechującego się wyżej wymienionymi zaletami. W celu optymalizacji procesu scalania współczesna technika wywiera presję na wdrażanie coraz to nowocześniejszych i tańszych rozwiązań w tej dziedzinie. W odpowiedzi na to zapotrzebowanie stosuje się komputerowe metody projektowania. Umożliwiają one zaprojektowanie dowolnej pojedynczej części, nadanie jej właściwości fizycznych oraz połączenie w docelowy zespół tworzących konkretny mechanizm lub jego część. Dzięki tej metodzie możliwe stało się wprowadzanie zmian na powolnym etapie konstrukcyjnym bez konieczności wykonywania nowych fizycznych modeli zwiększających kosztowność danego elementu.

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy było wykonanie symulacji komputerowej w programie Ansys bazującej na orbitalnym spawaniu laserowym. Otrzymane wyniki wygenerowane przez program porównane zostały z konwencjonalnym spawaniem laserowym wykonanym na trzech próbkach badawczych, z innymi parametrami pracy lasera.

Zakres pracy obejmował:

- Zaprojektowanie procesu orbitalnego spawania laserowego w oparciu o środowisko programu Ansys
- Wykonanie symulacji komputerowej bazującej na orbitalnym spawaniu laserowym
- Przygotowanie próbek materiału
- Umieszczenie termopar na powierzchni próbek
- Spawanie próbek
- Kontrola jakości
- Porównanie otrzymanych wyników z z symulacją

3. Spawanie laserowe

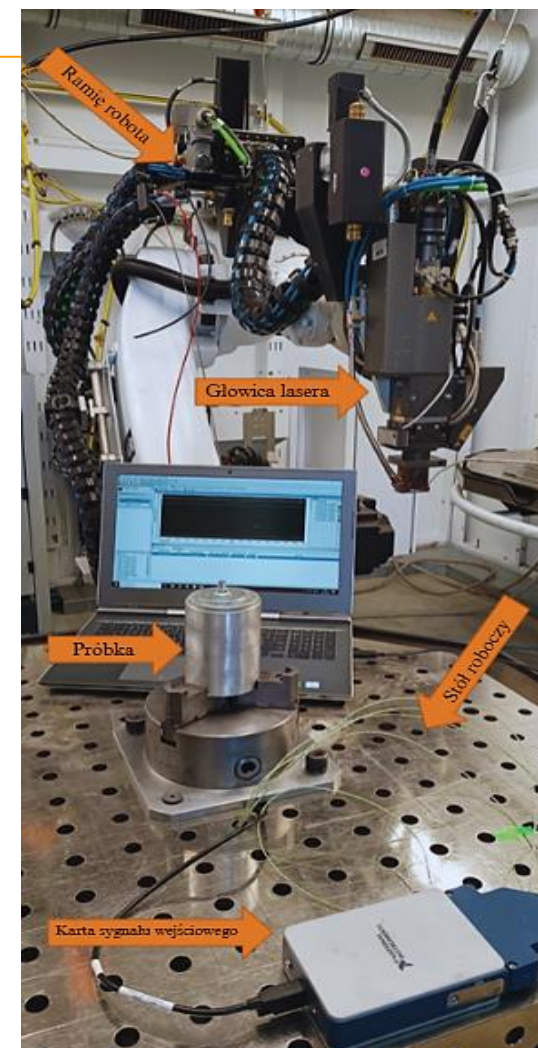
Spawanie laserowe to nowoczesna technologia, która zyskuje na popularności dzięki swoim unikalnym zaletom. Dzięki wysokiej intensywności i precyzji, wiązka laserowa umożliwia spawanie nawet cienkowarstwowych materiałów oraz grubych arkuszy, co czyni ją niezwykle wszechstronną. Dzięki niewielkiej strefie wpływu cieplnego, proces ten minimalizuje ryzyko deformacji i zmiany strukturalne materiału, co jest istotne w wielu zastosowaniach przemysłowych. Wysoka efektywność procesu pozwala na szybsze i bardziej ekonomiczne łączenie elementów, co ma ogromne znaczenie w branżach, gdzie czas produkcji i koszt materiałów są kluczowymi czynnikami. Możliwość spawania rozmaitych metali i tworzyw sztucznych oraz różnorodnych typów złączy sprawia, że technologia laserowa znajduje zastosowanie w wielu sektorach, od motoryzacji, poprzez przemysł lotniczy, aż po elektronikę. Proces odbywa się przy użyciu specjalnych narzędzi oraz stanowiska (rys. 2).

4. Materiał badawczy

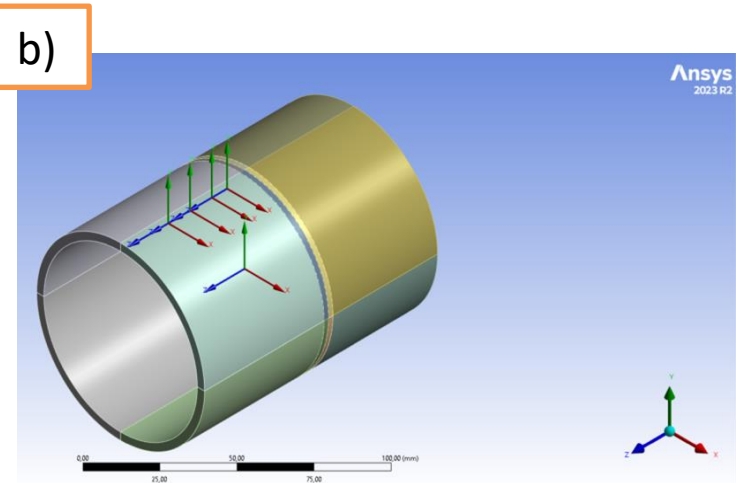
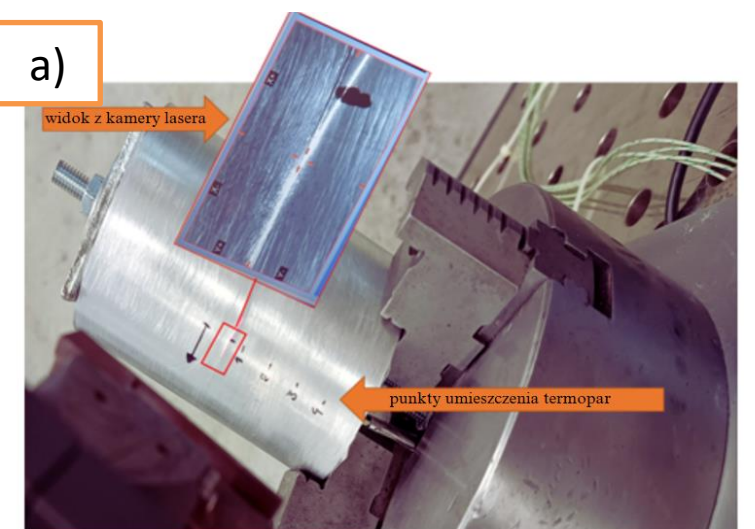
Materiałem wykorzystywanym podczas badań były rury wykonane z aluminium T6 EN AW-6082 (AlSi1MgMn) o wymiarach $\varnothing 80 \times 50 \times 2,5$ mm (rys.1). Stop ten charakteryzuje się średnią wytrzymałością oraz doskonałą odpornością na korozję. Należy do serii 6000, która obejmuje stopy magnezu i krzemu. W tej serii kluczowe znaczenie dla właściwości wytrzymałościowych ma ilość międzymetalicznej fazy MgSi, co pozwala na przeprowadzenie obróbki cieplnej oraz naturalne starzenie, tak jak w przypadku stali utwardzanych wydzieleniowo. Materiał EN AW-6082 cechuje się najwyższą wytrzymałością spośród wszystkich materiałów w serii 6000. W stanie utwardzonym osiąga wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą 310 MPa co jest skutkiem dodatku dużej ilości manganu wpływającego na kontrolę struktury ziarna.



Rys.1 Widok rur przed procesem spawania



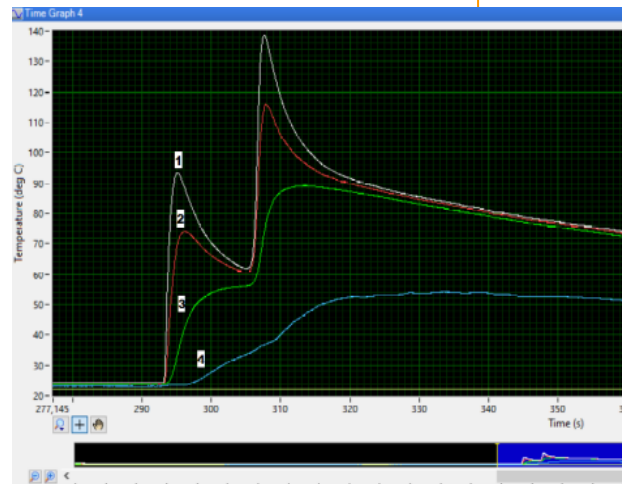
Rys.2 Stanowisko do spawania laserowego



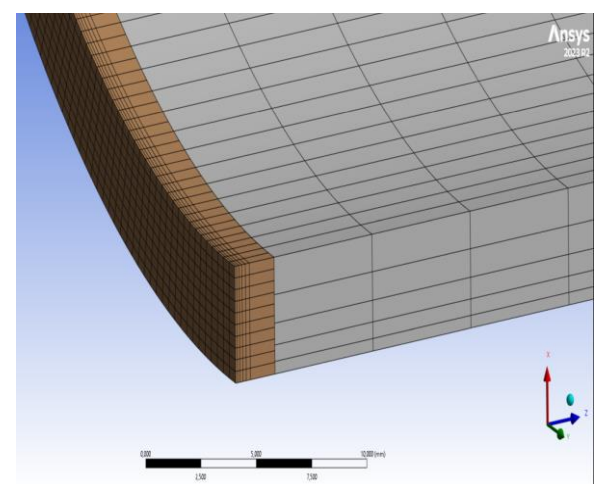
Rys.3 Rozmieszczenie termopar: a) podczas spawania laserowego b) w trakcie symulacji

5. Wyniki

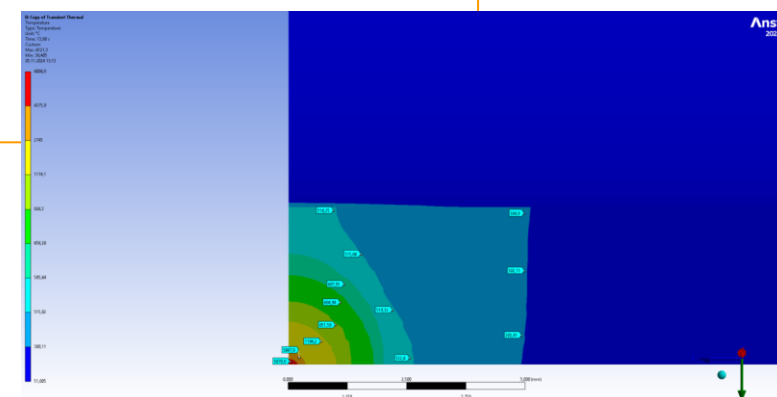
Podczas badań przeprowadzono trzy próby dla mocy wiązki lasera wynoszącej odpowiednio 1800 W, 2000 W oraz 2200 W. Otrzymane profile temperaturowe przedstawiono na rysunku 4. Na podstawie wyników pomiarów opracowano model matematyczny który to posłużył do przeprowadzenia symulacji z siatką elementów skończonych o różnych rozmiarach elementów (rys. 5). Otrzymane wyniki podczas symulacji ściśle pokrywały się z tymi otrzymanymi podczas rzeczywistego spawania. Zgodnie z początkowymi założeniami dokładność rozkładu temperatur y wzrastała wraz ze zmniejszeniem wymiarów elementów skończonych.



Rys.4 Profil temperaturowy dla mocy lasera 1800 W



Rys.5 Widok siatki elementów skończonych



Rys.6 Rozkład temperatur dla mocy lasera 1800W i obok widok zglądu ze spoiny

6. Wnioski

Opracowane narzędzie w jasny i przejrzysty sposób pozwala zasymulować proces spawania dzięki czemu znacząco obniża koszty oraz czas wprowadzenia technologii niezbędnej do wykonania danego wyrobu. W powyższym przypadku ze względu na uśrednienie temperatur w jeziorku spawalniczym, wynikające z wymiarów elementów skończonych, szczytowa temperatura jest nie widoczna w symulacjach. Aby symulacja była wystarczająco dokładna, rozmiar pojedynczego elementu skończonego nie powinien przekraczać promienia wiązki laserowej co ukazuje rys. 6.

Projekt i analiza stołu spawalniczego dla zrobotyzowanego stanowiska

Design and Analysis of a Welding Table for a Robotic Welding Station

Autor: **inż. Szymon Pyrkosz**
Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*
Promotor: **dr inż. Marcin Marciniak**
Rok akademicki: **2024/2025**

STRESZCZENIE

Praca przedstawia projekt i analizę stołu spawalniczego przeznaczonego dla zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego. W pracy omówiono kluczowe aspekty związane z budową i wyposażeniem zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych, w tym robotów spawalniczych, źródeł spawalniczych, stołów spawalniczych oraz systemów bezpieczeństwa. Szczególną uwagę poświęcono mobilnym stanowiskom spawalniczym wyposażonym w roboty kolaboracyjne, które mogą pracować ramię w ramię z człowiekiem. Stół został zaprojektowany od podstaw zgodnie z wytycznymi dla zachowania mobilności. Praca zawiera również analizę bezpieczeństwa zaprojektowanego stołu spawalniczego, uwzględniającą identyfikację zagrożeń i ocenę ryzyka. Wykonano analizę HAZOP (Hazard and Operability Study), na podstawie której w programie Robi dla wybranego robota Hanwaha HCR-5 przeprowadzono analizę bezpieczeństwa. Opracowana dokumentacja konstrukcji stołu oraz elementy związane z bezpieczeństwem będą wykorzystane do stworzenia rzeczywistego stanowiska.

Słowa kluczowe: zrobotyzowane stanowiska spawalnicze, roboty kolaboracyjne, stół spawalniczy, bezpieczeństwo, analiza ryzyka, HAZOP

1. Wstęp/Wprowadzenie

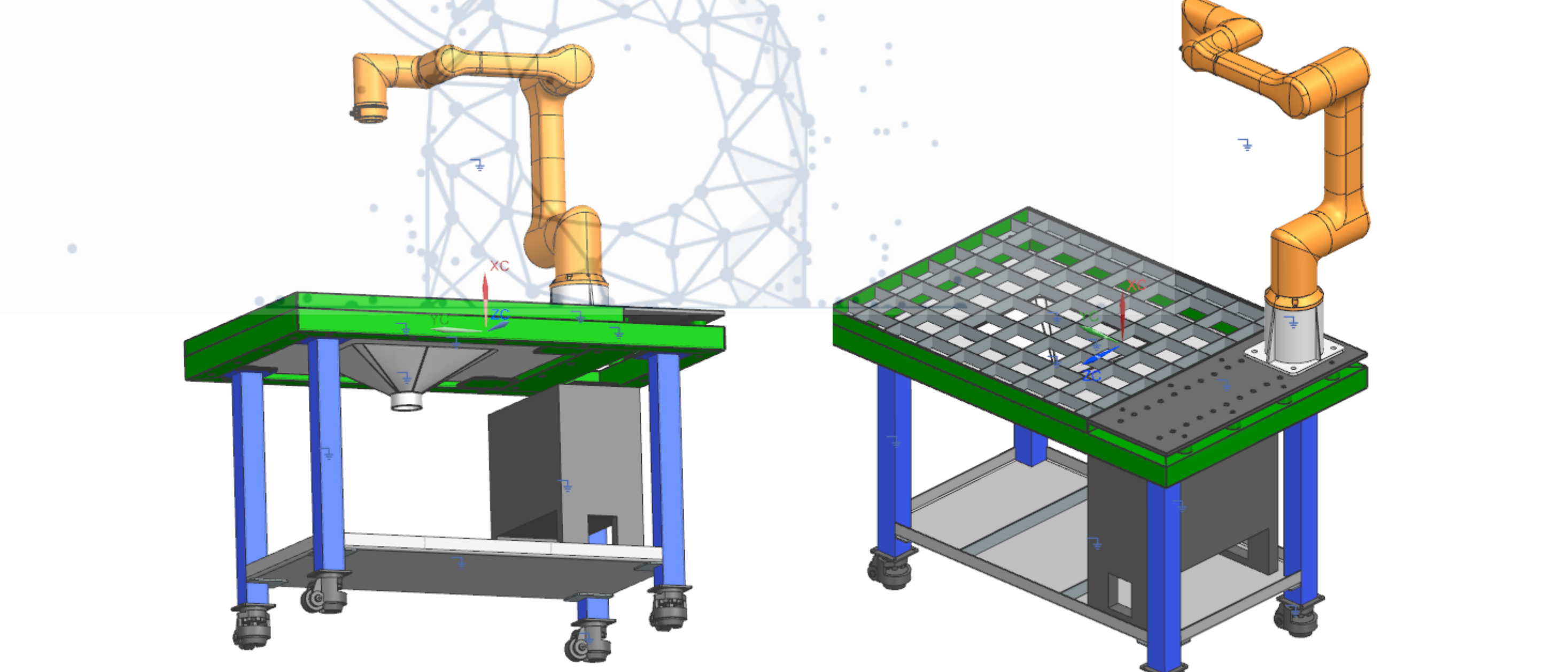
Obecny świat przeżywa czwartą rewolucję przemysłową nazywaną przemysłem 4.0. W wielu fabrykach produkcyjnych gromadzenie informacji w postaci chmur danych jest czymś powszechnym. Procesy produkcyjne są zdalnie sterowane z poziomu komputerów, a do prac fizycznych wykorzystywane są roboty. Wszystko to sprawia, że część obowiązków, które często byłyby monotonne, męczące oraz niebezpieczne dla pracowników, jest przejmowana przez systemy zautomatyzowane.

2. Opis ogólny i budowa zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych

Zrobotyzowane stanowiska spawalnicze są zbiorem elementów, które w odpowiednim rozmieszczeniu tworzą kompletną stację, służącą do łączenia w sposób trwały dwóch lub większej ilości detali w procesie spawania. Podstawowymi elementami są robot, źródło spawalnicze, stół spawalniczy oraz systemy bezpieczeństwa. Na rysunku 1 przedstawiono model stanowiska z modułowym stołem pozwalającym na współpracę operatora z cobotem.

3. Kluczowe właściwości zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych

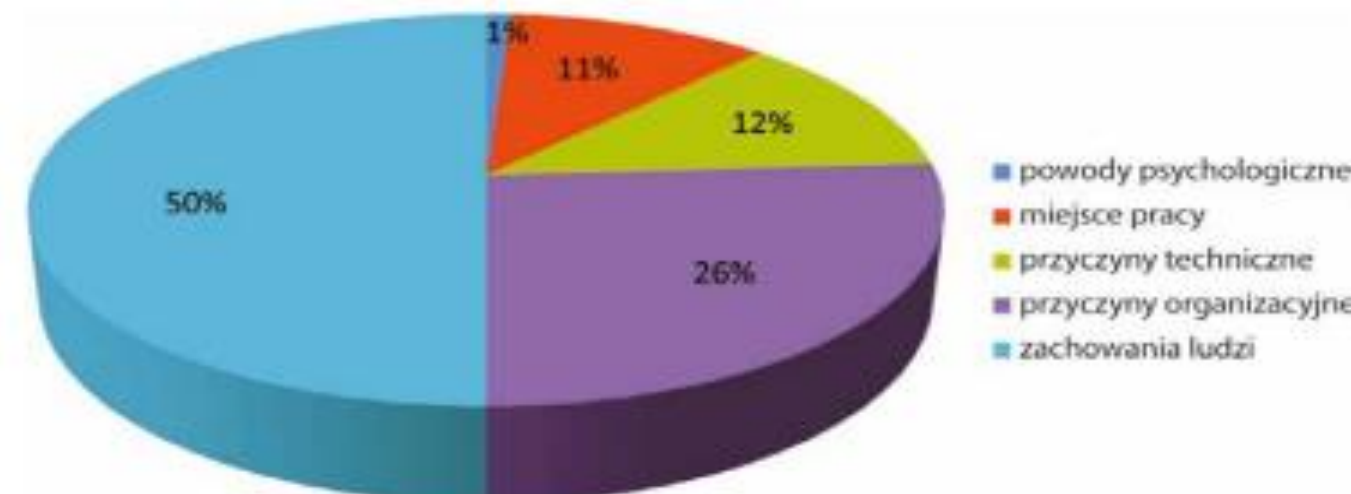
Kluczowymi właściwościami, które wpływają na wysoki popyt zrobotyzowanych stanowisk w branży spawalnictwa, są precyzja, powtarzalność wykonywanych zespołów oraz elastyczność w konfiguracji. Obecnie produkowane roboty spawalnicze osiągają dokładność pozycjonowania do 0,1 mm, co pozwala wykonywać połączenia spawane w mocno zacieśnionych tolerancjach wymiarowych.



Rys 1. Widok 3D zaprojektowanego mobilnego stołu spawalniczego wraz z modelem robota Hanwaha HCR-5 Przyczyny wypadków w przemyśle [opracowanie własne]

4. Bezpieczeństwo pracy w środowisku zrobotyzowanym

Roboty przemysłowe są wdrażane głównie w celu zwiększenia efektywności procesów produkcyjnych oraz zastąpienia pracowników w miejscach, gdzie istnieje ryzyko dla ich życia lub zdrowia (rys. 2). Bezpieczeństwo jest jedną z podstawowych potrzeb człowieka, obejmującą obszerny zasób wiedzy i kompetencji, które mają kluczowe znaczenie na etapach projektowania, produkcji oraz użytkowania zarówno maszyn, jak i kompletnych stanowisk produkcyjnych.



Rys 2. Przyczyny wypadków w przemyśle [źródło GUS]

ABSTRACT

This master's thesis presents the design and analysis of a welding table intended for a robotic welding station. The thesis discusses key aspects related to the construction and equipment of robotic welding stations, including welding robots, welding sources, welding tables, and safety systems. Special attention is given to mobile welding stations equipped with collaborative robots that can work side by side with humans. The welding table was designed from scratch according to guidelines to maintain mobility. The thesis also includes a safety analysis of the designed welding table, considering hazard identification and risk assessment. A HAZOP (Hazard and Operability Study) analysis was performed, based on which a safety analysis was conducted in the Robi program for the selected Hanwaha HCR-5 robot. The developed documentation of the table's construction and safety elements will be used to create a real workstation.

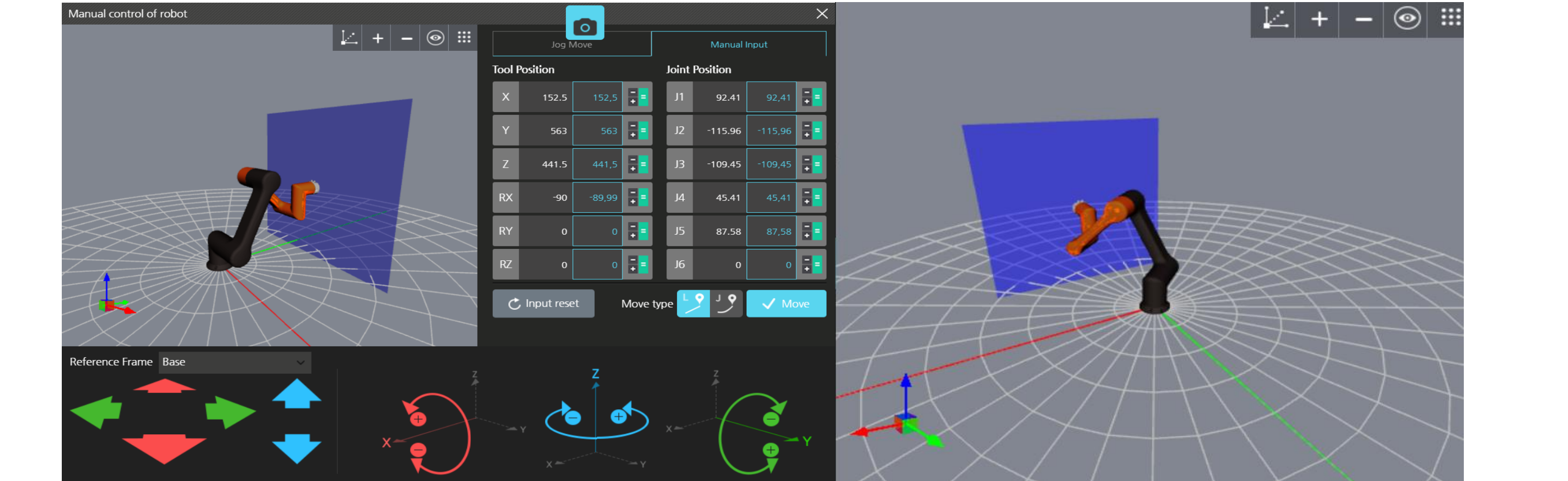
Keywords: robotic welding stations, collaborative robots, welding table, safety, risk assessment, HAZOP

Tabela 1. Fragment analizy HAZOP (Hazard and Operability Study) dla stanowiska mobilnego robota kolaboracyjnego zamontowanego na stole spawalniczym [opracowanie własne].

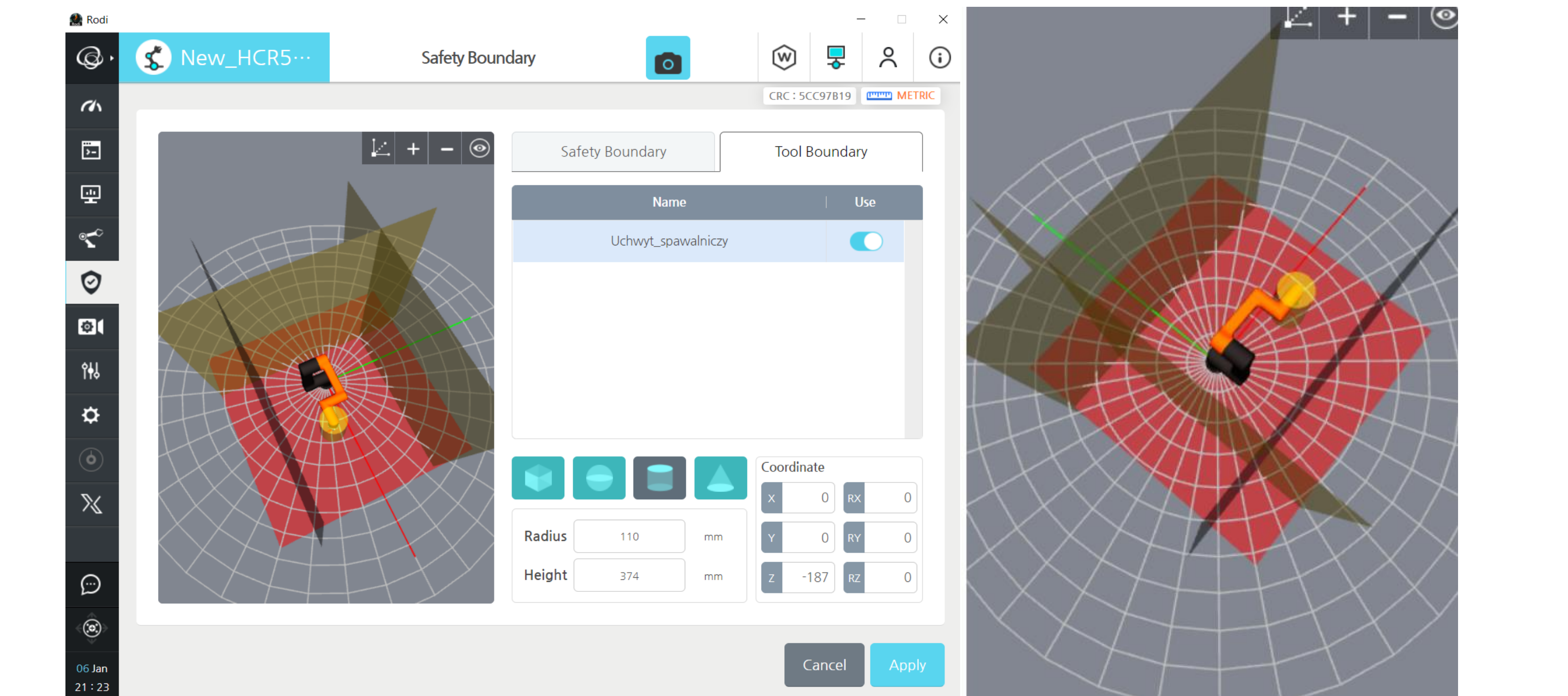
Element/ Wzrost	Odchylenie	Możliwe Przyczyny	Skutki	Istniejące Środki Kontroli	Ocena Ryzyka	Zalecane Działania	Odpowiedzialna Osoba/Dział
Robot	Nieprawidłowy ruch	Awaria systemu sterowania	Kolizje, urazy mechaniczne	Czujniki kolizji, system awaryjnego wyłączania	Wysokie	Regularne przeglądy systemu sterowania	Dział Utrzymania Ruchu
Stół spawalniczy	Promieniowanie spawalnicze	Proces spawania	Uszkodzenie wzroku i skóry	Oslony ochronne, okulary ochronne	Średnie	Szkolenie operatorów w zakresie BHP	Dział BHP
Środowisko pracy	Dym i gazy spawalnicze	Proces spawania	Zagrożenie dla układu oddechowego	Systemy wentylacyjne i odpylające	Wysokie	Regularne przeglądy systemów wentylacyjnych	Dział Techniczny
Robot	Iskry i odpryski	Proces spawania	Poparzenia, pożary	Odzież ochronna, osłony	Średnie	Regularne szkolenia z zakresu BHP	Dział BHP
Robot	Wysokie temperatury	Proces spawania	Poparzenia	Materiały niepalne i odporne na wysokie temperatury	Średnie	Regularne przeglądy stanowiska pracy	Dział Techniczny

5. Analiza bezpieczeństwa

Praca zawiera analizę bezpieczeństwa zaprojektowanego stołu spawalniczego, uwzględniającą identyfikację zagrożeń i ocenę ryzyka. Wykonano analizę HAZOP (Hazard and Operability Study) (Tab. 1), na podstawie której w programie Robi dla wybranego robota Hanwaha HCR-5 przeprowadzono analizę bezpieczeństwa.



Rys 4. Strefy bezpieczeństwa w postaci ograniczenia ruchów ramienia robota w jego osiach [opracowanie własne].



Rys 4. Strefy bezpieczeństwa w postaci powierzchni, których ramię robota wraz z osprzętem spawalniczym nie przekroczy w trakcie pracy.[opracowanie własne]

6. Wnioski

Opracowana dokumentacja konstrukcji stołu oraz elementy związane z bezpieczeństwem będą wykorzystane do stworzenia rzeczywistego stanowiska. Celem pracy jest przedstawienie nowoczesnych rozwiązań w zakresie zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych oraz ich wpływu na efektywność i bezpieczeństwo procesów spawalniczych. Praca może być praktycznym przewodnikiem dla integratorów zrobotyzowanych stanowisk przemysłowych.

Analiza wpływu turbodoładowania na pracę silnika spalinowego

Analysis of the effect of turbocharging on the operation of an internal combustion engine

Autor: **inż. Mateusz Skowyra**
Kierunek studiów: **mechanika i budowa maszyn**
Promotor: **dr inż. Wiesław Żelasko**
Rok akademicki: **2024/2025**

STRESZCZENIE

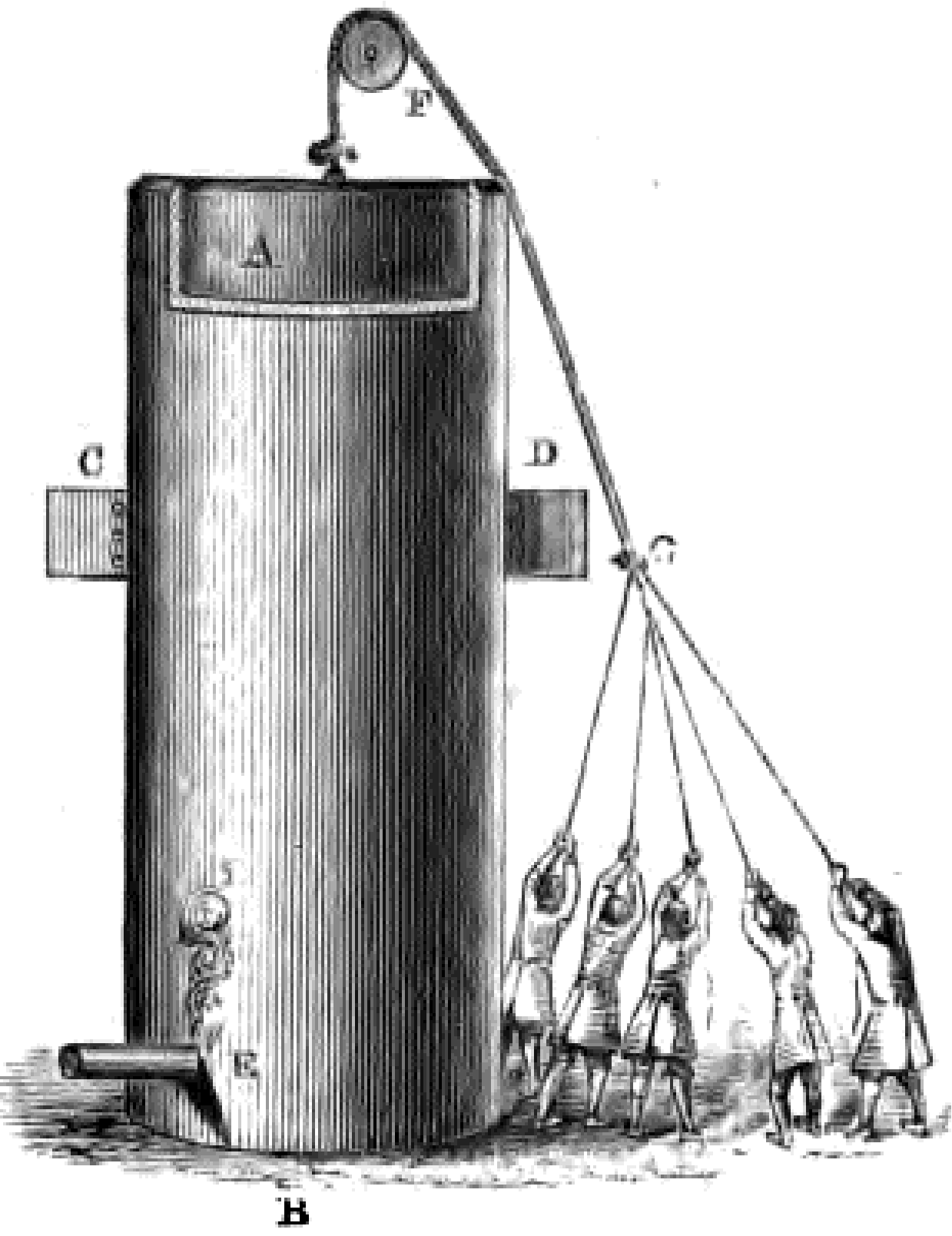
W pracy magisterskiej podjęto próbę analizy wpływu turbodoładowania na pracę silników spalinowych. Do badań i porównania wykorzystano silniki wolnossące (SDI) i turbodoładowane (TDI) pod kątem osiągnięć, możliwości modyfikacji i codziennej eksploatacji. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że modyfikacje w silnikach TDI pozwalają na uzyskanie znacznych przyrostów mocy i momentu obrotowego przy jednoczesnej poprawie elastyczności jednostki. W silniku SDI efekty wprowadzonych modyfikacji były mniejsze. Wyniki testów pokazały również, że po modyfikacjach w silniku TDI spadło zużycie paliwa, natomiast w silniku SDI wzrosło. Uzyskane wyniki wskazują, że przeprowadzone modyfikacje mogą poprawić parametry silnika w jednostkach turbodoładowanych.

ZAŁOŻENIA BADANIA

Głównym celem badania było sprawdzenie i analiza wpływu turbodoładowania na silniki z grupy VW, tj. jednostek 1.9 SDI oraz 1.9 TDI o bardzo zbliżonej konstrukcji. Silnik wolnossący (SDI) oraz silnik turbodoładowany (TDI) zostały porównane pod kątem eksploatacji, procesu spalania oraz parametrów pracy, takich jak m.in. moc silnika i moment obrotowy. Kolejnym krokiem było zainstalowanie zmodyfikowanego oprogramowania do sterowników ECU, pozwalające na ocenę wpływu turbodoładowania na pracę silnika spalinowego.

ABSTRACT

In his master's thesis, an attempt was made to analyze the impact of turbocharging on the operation of internal combustion engines. Naturally aspirated (SDI) and turbocharged (TDI) engines were used for testing and comparison in terms of performance, modability and everyday use. The results of the conducted research showed that modifications in TDI engines allow for significant increases in power and torque while improving the flexibility of the unit. In the SDI engine, the effects of the modifications were smaller. The test results also showed that fuel consumption was reduced after the modifications to the TDI engine, while fuel consumption increased to the SDI engine. The results indicate that the modifications carried out can improve the engine performance in turbocharged unit



Budowa silnika na proch, Christian’a Huygens



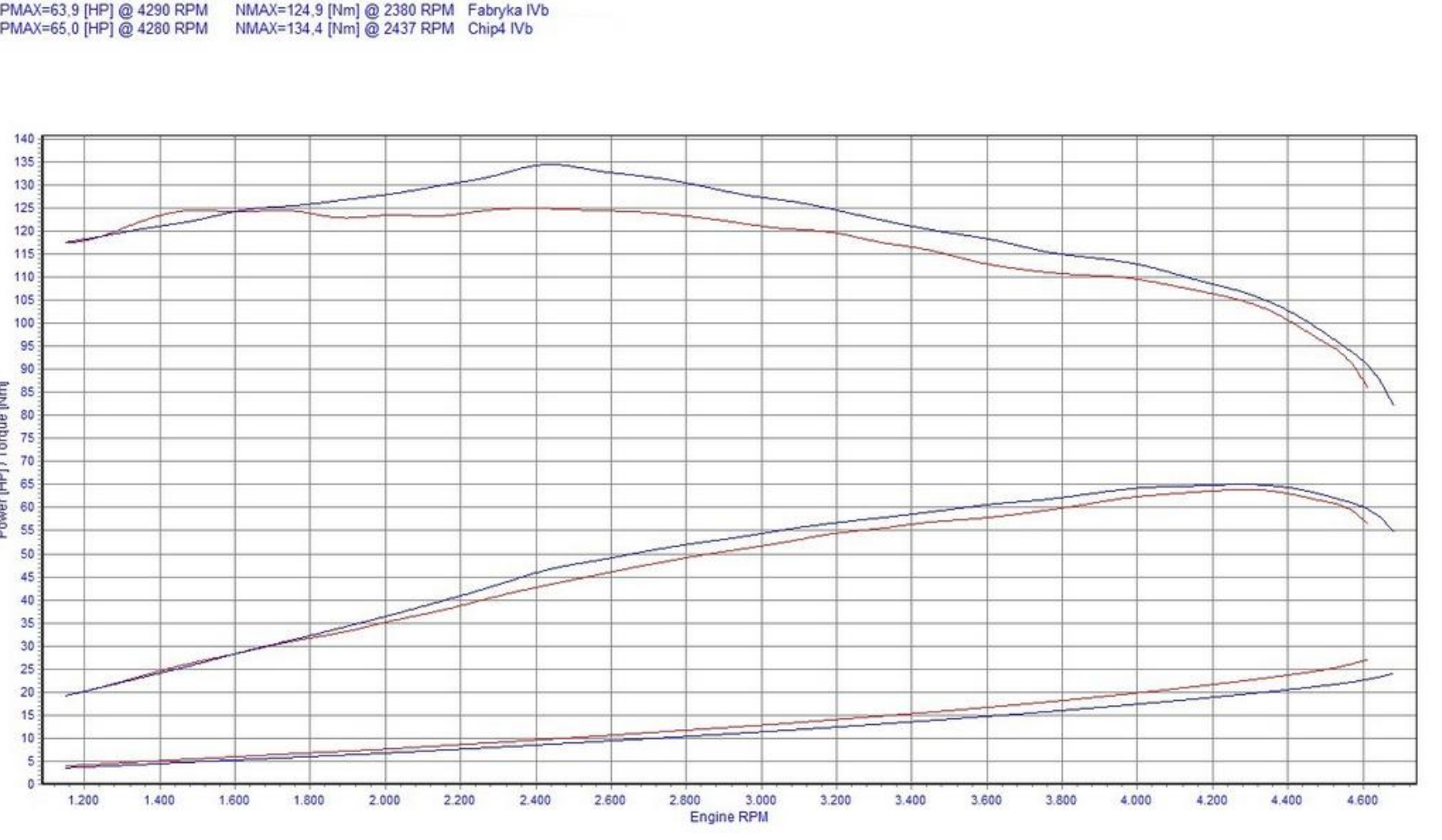
Stanowisko pracy, hamownia rolkowa – MAHA



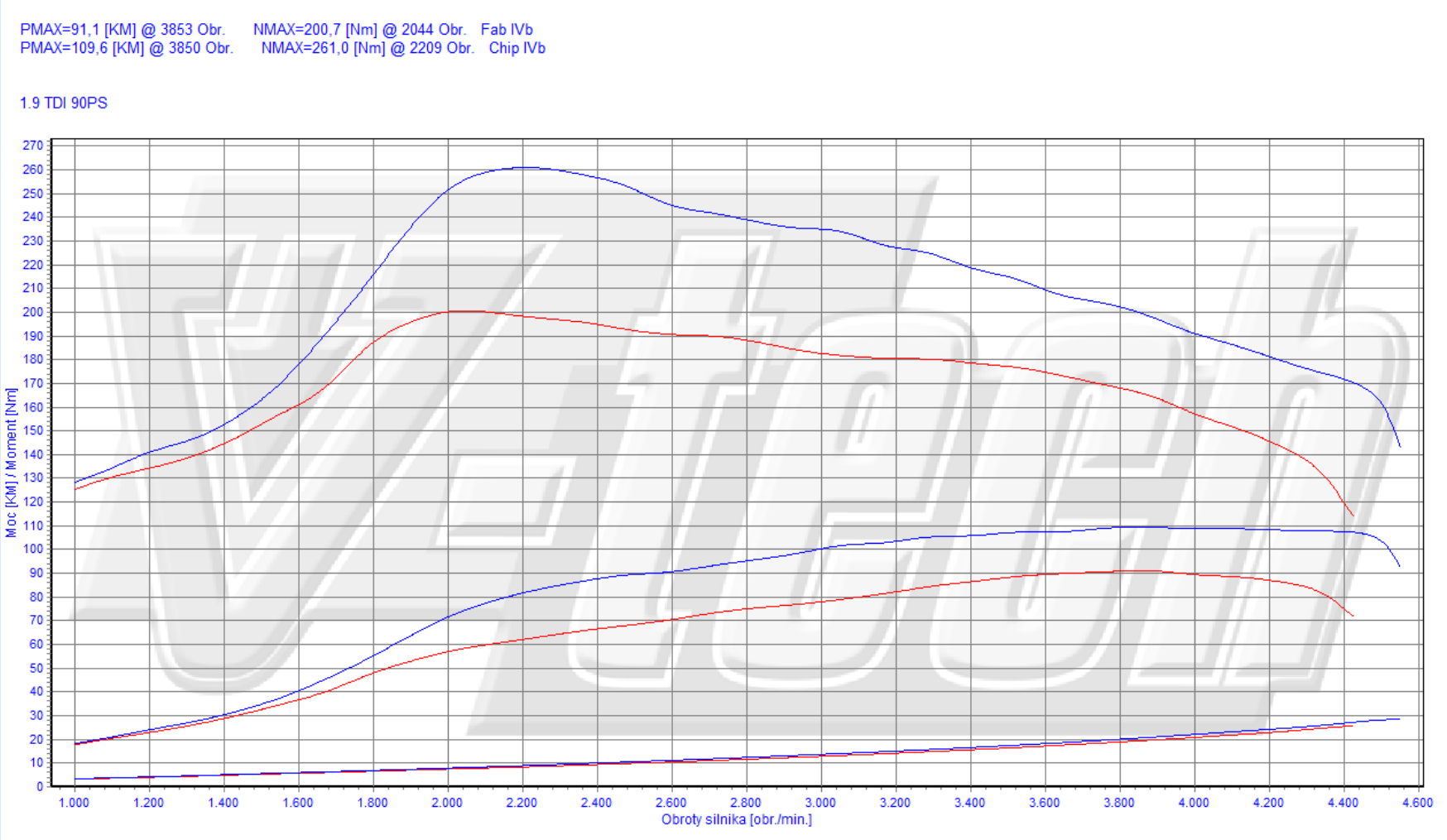
Silnik wysokoprężny Rudolfa Diesla

PRZEPROWADZENIE BADAŃ

Silniki poddane analizie, były zamontowane w samochodach VW Golf IV. Pierwszym etapem był pomiar mocy, momentu obrotowego oraz zużycia paliwa w obu pojazdach, które pokonały trasę 100 km przy średniej prędkości 90 km/h. Następnie samochody poddano testom na hamowni, gdzie zmierzono ich parametry przy użyciu specjalistycznego oprogramowania GALLETTO 1260, służącego do przeprogramowania sterowników silników. Po wprowadzonych modyfikacjach, silnik SDI osiągnął moc 65 KM i zwiększył moment obrotowy o 10 Nm. Zauważono jednak zadymienie przy wyższych obrotach, pomimo że elastyczność pracy silnika poprawiła się. Silnik TDI po przeprogramowaniu osiągnął moc 110 KM i moment obrotowy 261 Nm. Jego praca stała się bardziej płynna, uzyskano lepsze przyspieszenie i większą elastyczność bez występowania zadymienia. W wyniku nowych testów spalania, przejechaniu 100 km i ponownym tankowaniu, zmierzono zużycie paliwa, co pozwoliło na ocenę wpływu modyfikacji na ekonomikę pojazdów.



Silnik SDI po przeprogramowaniu



Silnik TDI po przeprogramowaniu

SILNIK	Średnie Spalanie
1.9 SDI AGP (64km) => 65km i 133 Nm	5.0
1.9 TDI ALH (90km) => 109km i 261Nm	5.2

Tabela 3 Spalanie po wprowadzonych modyfikacjach

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Porównanie silników 1.9 SDI i 1.9 TDI wykazało istotne różnice w wydajności, mocy i zużycia paliwa. Wynika to głównie z zastosowania turbosprężarki w silniku TDI. Silnik TDI, mimo tej samej pojemności co SDI, oferuje o 30 KM więcej mocy, o 90 Nm większy moment obrotowy oraz mniejsze zużycie paliwa po wprowadzonych modyfikacjach. Silnik SDI po modyfikacjach osiągnął niewielki wzrost mocy. Pojawiło się jednak zadymienie przy wyższych obrotach, co wskazywało na problemy ze spalaniem. Modyfikacje silnika TDI przyniosły znaczący wzrost mocy, momentu obrotowego oraz poprawę efektywności paliwowej, podczas gdy w silniku SDI nie uzyskano podobnych efektów. Można więc stwierdzić, że silniki TDI, dzięki turbodoładowaniu oferują lepsze osiągi, elastyczność i oszczędność paliwa, mimo wyższych kosztów utrzymania związanych z turbosprężarką.

PARTNER KONKURSU

