



**POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA**  
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

**Księga Plakatów  
POSTER MASTER**

---

**Rok akademicki 2025/2026**



**WYDZIAŁ  
MECHANICZNO-  
-TECHNOLOGICZNY**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

## **Księga Plakatów POSTER MASTER 2026**

zawiera postery przygotowane  
przez absolwentów II roku studiów II stopnia,  
których prace magisterskie były realizowane  
w roku akademickim 2025/2026 na  
Wydziale Mechaniczno-Technologicznym  
Politechniki Rzeszowskiej

---

### **Komisja oceniająca:**

Komitet Naukowy – wartość naukowa oraz oryginalność rozwiązań.

### **Komitet Naukowy:**

---

1. dr Andrzej Chmielowiec
2. dr inż. Tomasz Galek
3. dr Leszek Klich
4. dr inż. Krzysztof Szwajka
5. dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz
6. dr hab. inż. Mirosław Tupaj, prof. PRz
7. dr inż. Joanna Zielińska-Szwajka
8. dr inż. Wiesław Żelasko

---

### **Komitet Organizacyjny:**

1. dr inż. Marcin Marciniak – przewodniczący
2. mgr inż. Justyna Gumieniak – sekretarz
3. dr Agnieszka Kramek
4. mgr Patrycja Kuziora
5. mgr Adam Michajłyszyn
6. mgr inż. Wiktoria Zbyrad-Kołodziej

## SPIS POSTERÓW

- 1. inż. Bogumił Kopec** – *Analiza rozkładu naprężeń w materiale poddanym procesowi autofretażu*  
opiekun: dr inż. Krzysztof Sz wajka

---

- 2. inż. Szymon Kotwica** – *Integracja ręcznego źródła spawalniczego z robotem współpracującym w procesie spawania metodą MIG/MAG*  
opiekun: dr inż. Andrzej Chmielowiec

---

- 3. inż. Paweł Małek** – *Badanie kruchości wodorowej stali 42CrMo4 po procesie fosforanowania*  
opiekun: dr hab. inż. Mirosław Tupaj, prof. PRz

---

- 4. inż. Jacek Ochorok** – *Wpływ zabiegu wygrzewania na wybrane właściwości wydruków z PETG powstałych w procesie FDM*  
opiekun: dr inż. Marcin Marciniak

---

- 5. inż. Mariusz Partyka** – *Projekt, analiza i optymalizacja narzędzia skrawającego z powłokami PVD w procesach obróbczych stali nierdzewnej 316L*  
opiekun: dr inż. Wiesław Żelasko

---

- 6. inż. Łukasz Skawiński** – *Wpływ materiału oraz geometrii siatki wypełniającej na właściwości modeli odlewniczych wykonanych metodą druku 3D*  
opiekun: dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz

---

- 7. inż. Michał Smykła** – *Analiza wpływu parametrów skrawania i zasięgu narzędzia na stabilność obróbki przy frezowaniu*  
opiekun: dr inż. Joanna Zielińska-Szwajka

---

- 8. inż. Tomasz Tudryn** – *Wpływ obróbki mechanicznej na właściwości użytkowe odlewów ze stopów aluminium*  
opiekun: dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz

---

- 9. inż. Andrzej Ulrych** – *Projekt i wykonanie analizatora silników elektrycznych prądu stałego do predykcji stanów przedawaryjnych w czasie rzeczywistym*  
opiekun: dr Leszek Klich

# Analiza rozkładu naprężeń w materiale poddanym procesowi autofretażu

Autor: inż. Bogumił Kopeć

Promotor: dr inż. Krzysztof Sz wajka

Rok akademicki: 2025/2026

## Streszczenie:

Praca składa się z dwóch części: teoretycznej oraz badawczej. W części teoretycznej opisano zjawiska zachodzące w cylindrze grubościennym podczas działania wysokiego ciśnienia oraz mechanizm powstawania naprężeń resztkowych.

W części badawczej, przeprowadzono eksperyment polegający na rozcięciu próbek cylindra przed i po procesie autofretażu wzdłuż jego osi. Dokonano pomiaru odkształceń za pomocą tensometrów. Zebrane dane poddano obróbce i analizie. Kolejnym etapem pracy badawczej było przygotowanie symulacji MES procesu autofretażu. Analiza wyników przecinania pierścienia oraz symulacji MES pozwoliła na wyciągnięcie wniosków.

## Słowa kluczowe:

autofretaż, samowzmocnienie, cylindry grubościenne, zbiorniki wysokociśnieniowe.

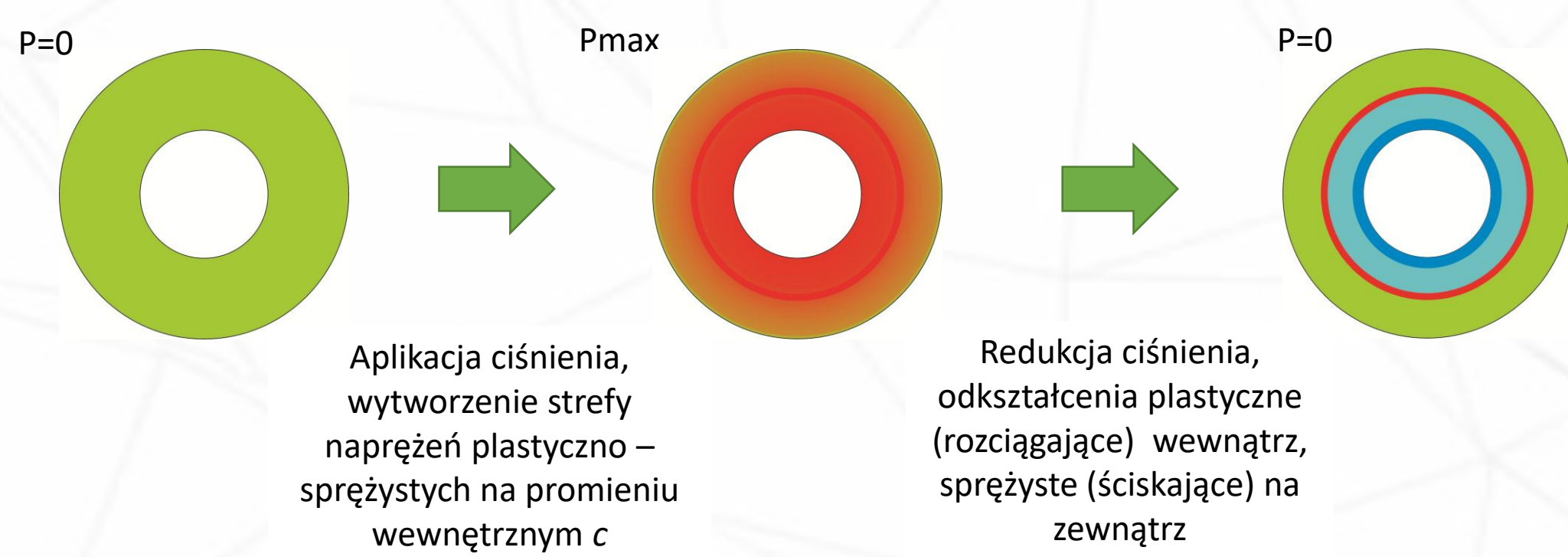
## Cel i zakres pracy:

Celem pracy jest analiza procesu autofretażu cylindra grubościennego jako metody zwiększania jego zdolności do przenoszenia wysokich ciśnień bez zmiany geometrii i materiału. Szczególny nacisk położono na wyznaczenie optymalnego ciśnienia autofretażu, decydującego o położeniu granicy sprężysto-plastycznej oraz minimalizacji maksymalnych naprężeń zredukowanych von Misesa w cyklu pracy.

Zakres pracy obejmował przeprowadzenie doświadczenia na próbce rury grubościennej oraz analizę numeryczną procesu autofretażu z wykorzystaniem metody analitycznej i metody elementów skończonych. Dokonano porównania otrzymanych wyników. Porównano wyniki analizy MES z wynikami przeprowadzonych badań niszczących próbek cylindra grubościennego.

## Część teoretyczna:

Autofretaż – zasada działania wysokiego ciśnienia na cylinder grubościenny



Cel: wytworzenie korzystnego rozkładu naprężeń ściskających na określonym promieniu c.

Metoda analityczna wyznaczania naprężeń – równania Lamego

Naprężenia w strefie sprężystej:

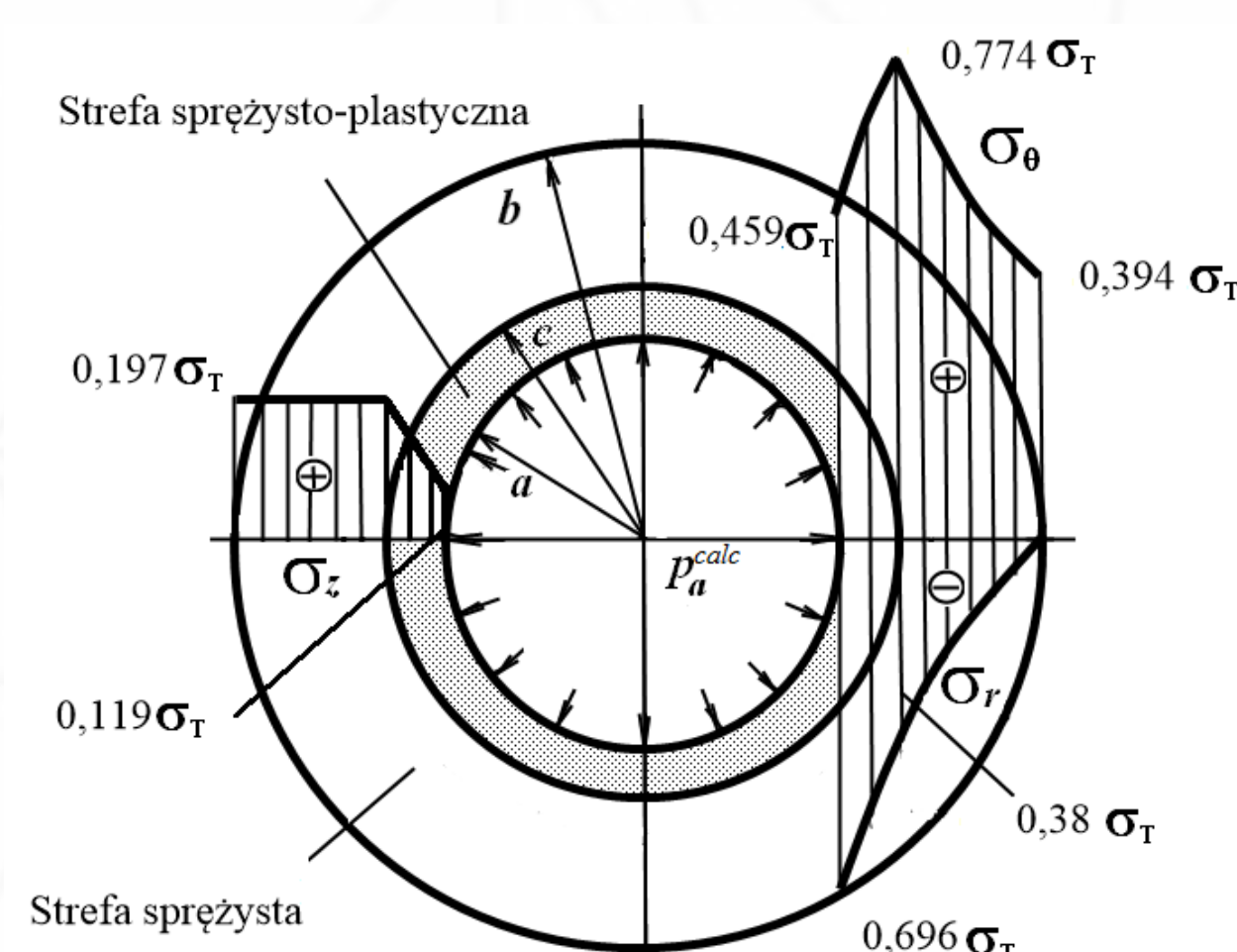
$$\sigma_r = p_a \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right); \sigma_\theta = p_b \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right)$$

Naprężenia w strefie sprężysto-plastycznej:

$$\sigma_r = -p_a + \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T \ln \frac{r}{a}; \sigma_\theta = \sigma_r + \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T$$

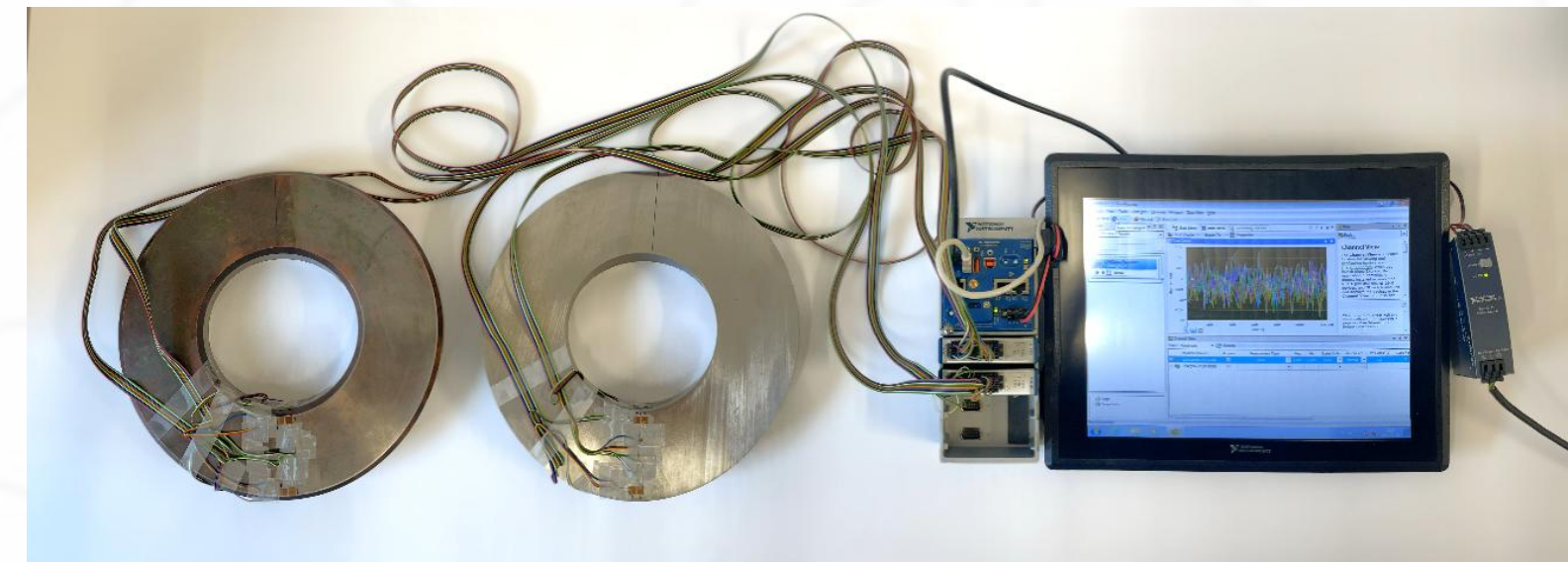
Przemieszczenia:

$$\epsilon_r = \frac{du}{dr}; \epsilon_\theta = \frac{u}{r}$$

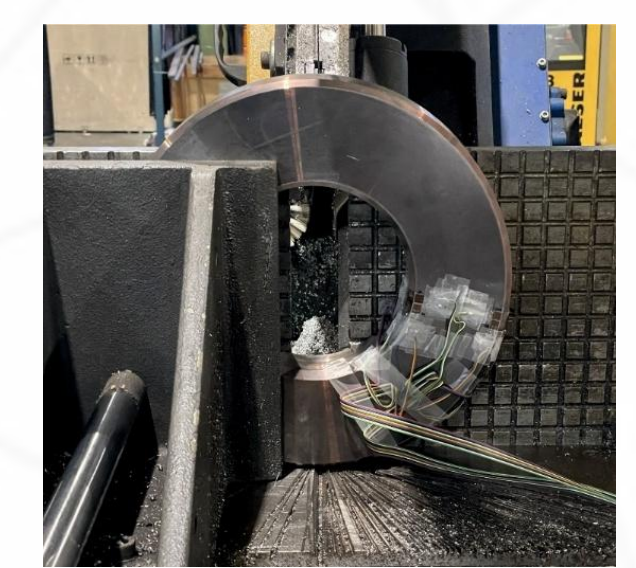


## Część praktyczna:

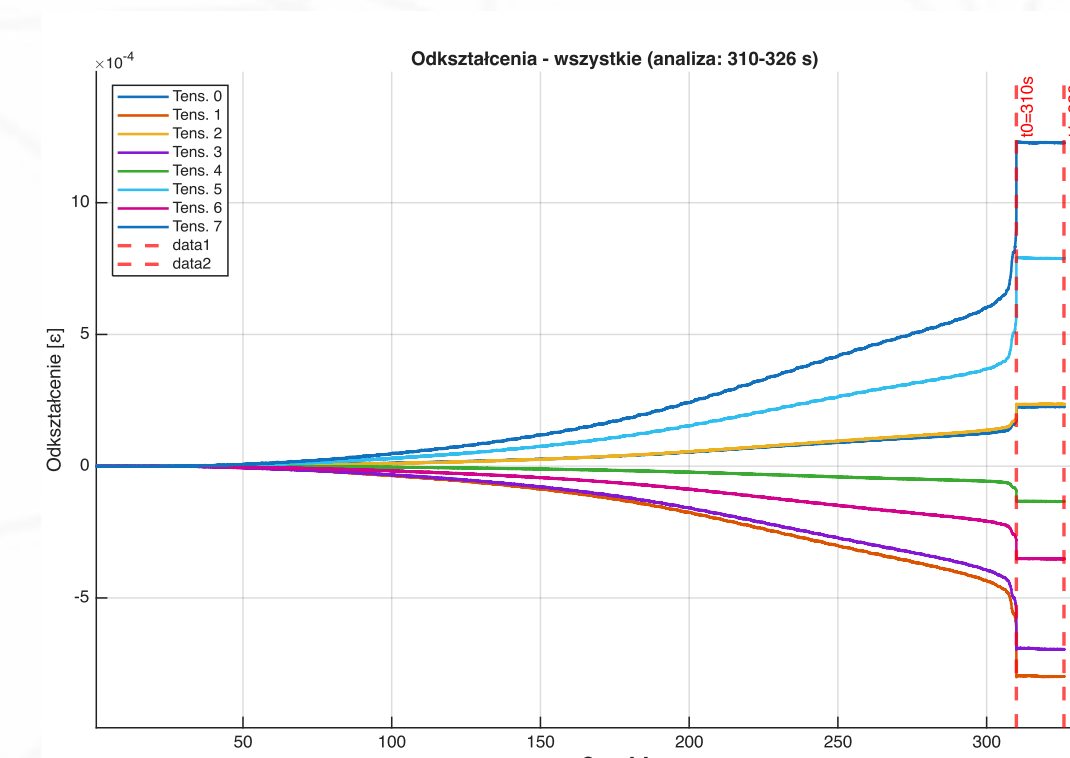
1. Budowa tensometrycznego toru pomiarowego.



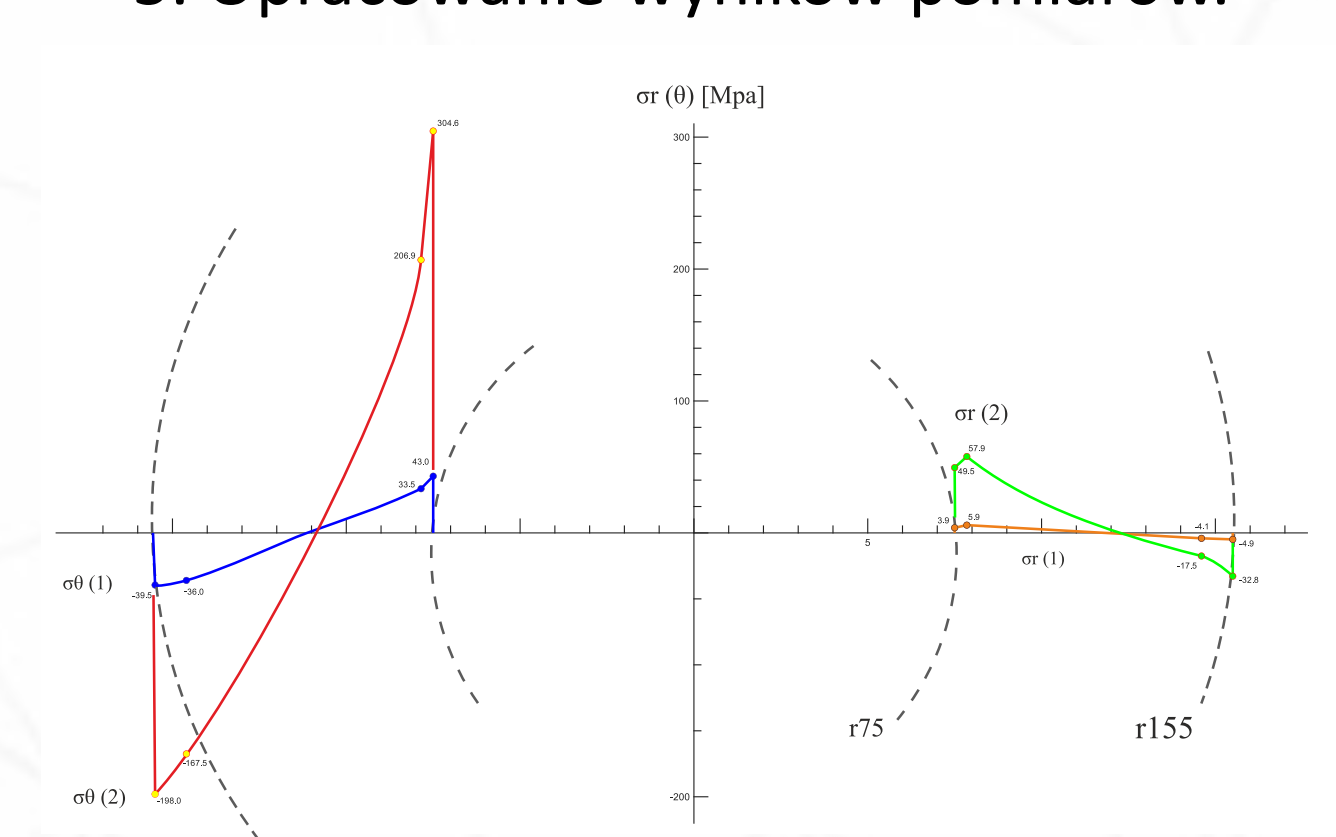
2. Przecinanie próbek i rejestracja sygnału.



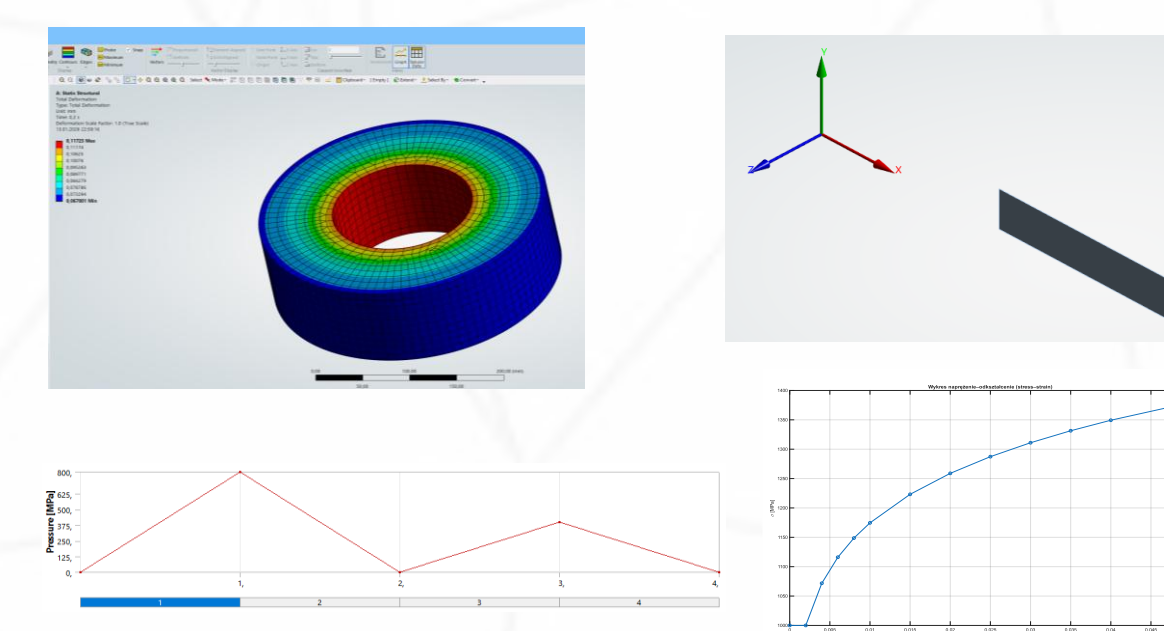
4. Obróbka danych w MATLAB.



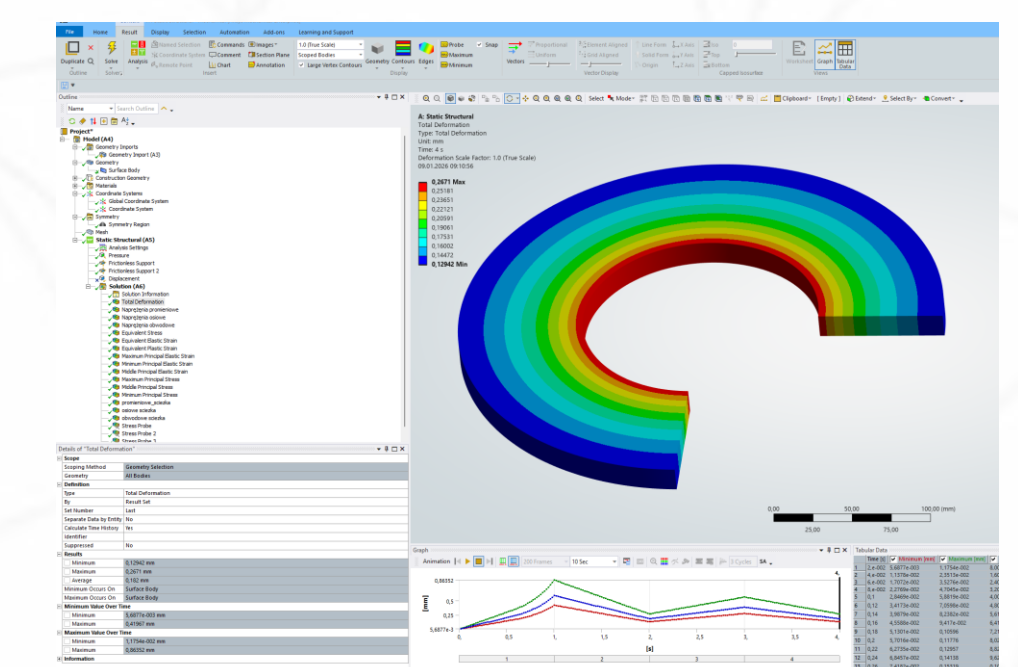
5. Opracowanie wyników pomiarów.



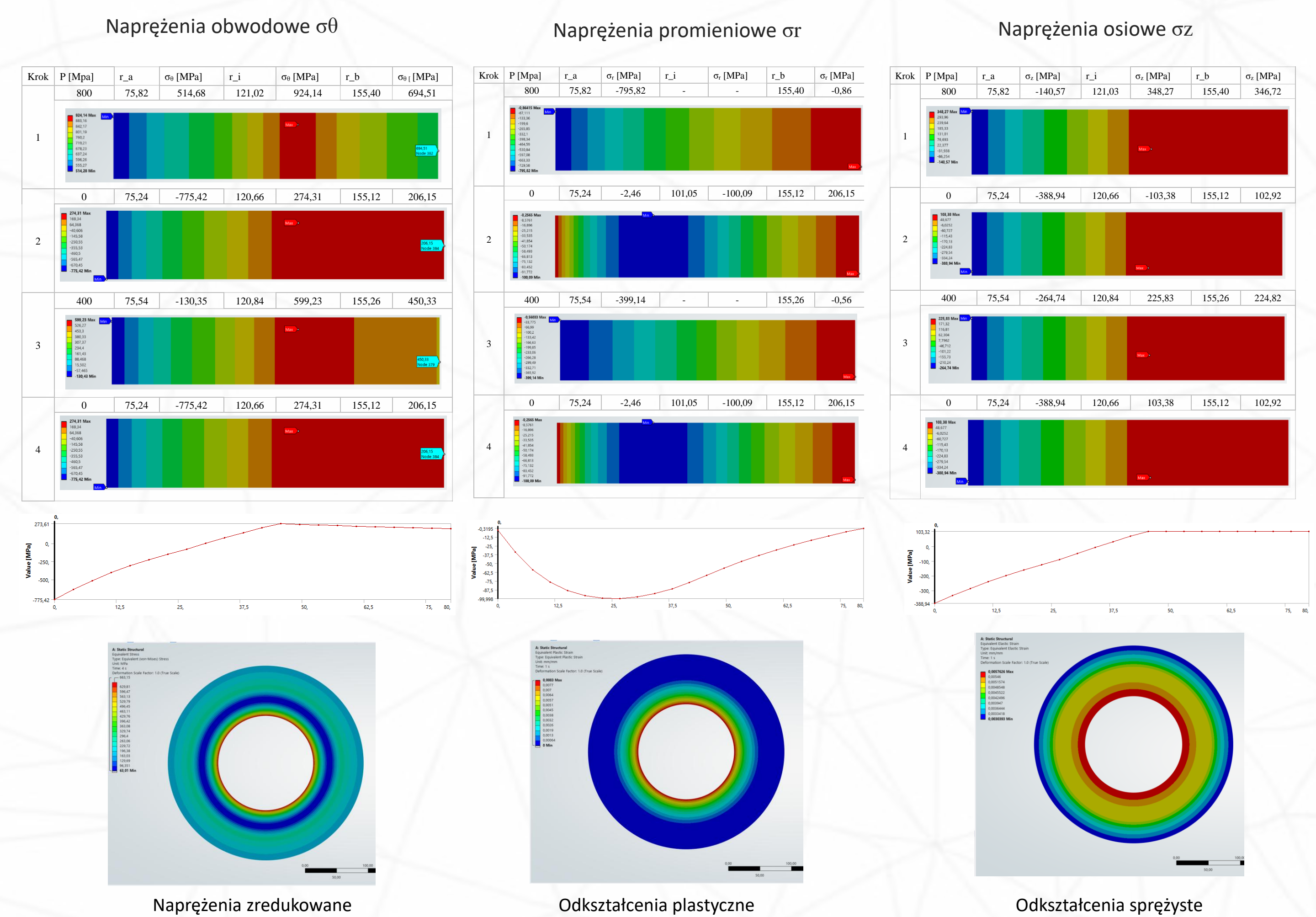
1. Przygotowanie analizy w ANSYS – model geometryczny, materiałowy, ustawienia przebiegu ciśnienia w czasie, wybór rozwiązań.



2. Przeprowadzenie symulacji z uwzględnieniem nieliniowego zachowania materiału.



3. Analiza wyników symulacji MES



## Podsumowanie:

Metoda elementów skończonych okazała się skutecznym narzędziem do analizy złożonych zagadnień sprężysto-plastycznych. Parametry fizyczne materiału są kluczowym aspektem analizy.

Metody analityczne, mimo swoich ograniczeń w zakresie opisu zjawisk nieliniowych i zmiennych w czasie, stanowią istotne narzędzie referencyjne, pozwalające na ocenę poprawności wyników numerycznych.

## Integracja ręcznego źródła spawalniczego z robotem współpracującym w procesie spawania metodą MIG/MAG

### Integration of a manual welding source with a collaborative robot in the MIG/MAG welding process

Autor: inż. Szymon Kotwica  
Promotor: dr Andrzej Chmielowiec  
Rok akademicki: 2025/2026

#### Streszczenie

Praca przedstawia integrację ręcznego źródła spawalniczego przy użyciu spawarki Lincoln Electric Speedtec 405 SP z robotem kolaboracyjnym Hanwha HCR-5 w procesie spawania MIG/MAG stali S355. Opracowano stanowisko badawcze z wykorzystaniem Raspberry Pi 4 do wizyjnego monitoringu procesu za pomocą kamery Arducam 477P z nałożonym filtrem ochronnym DIN12 oraz komunikacji z robotem. Przeprowadzono próby napawania wielowarstwowego w pozycji PA, analizując wpływ parametrów na geometrię oraz jakość napoin. Uzyskano powtarzalne napoiny obwodowe z kontrolowaną wysokością, z minimalnymi odpryskami, stabilnym łukiem i brakiem zapadania warstw. Wyniki potwierdzają skuteczność cobotów w automatyzacji spawalnictwa mało- i średnioseryjnego.

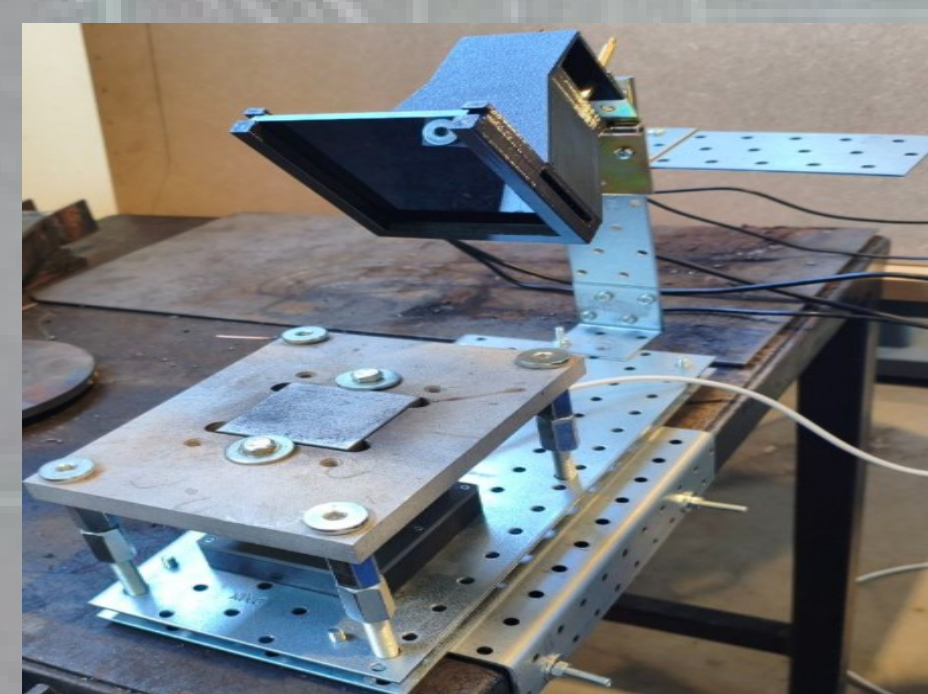
#### Wstęp

Spawanie metodą MIG/MAG stali konstrukcyjnej S355 to jeden z najpowszechniejszych stosowanych procesów w budownictwie, energetyce, transporcie i przemyśle wojskowym ze względu na wysoką wytrzymałość złączy i dobrą spawalność przy relatywnie niskich kosztach.

Uzyskanie powtarzalnych, bezwadowych spoin w zróżnicowanych warunkach środowiskowych i przy ograniczonym dostępie pozostaje jednak dużym wyzwaniem technologicznym.

Celem pracy było opracowanie i weryfikacja integracji ręcznego źródła spawalniczego z robotem HCR5 w celu automatyzacji spawania.

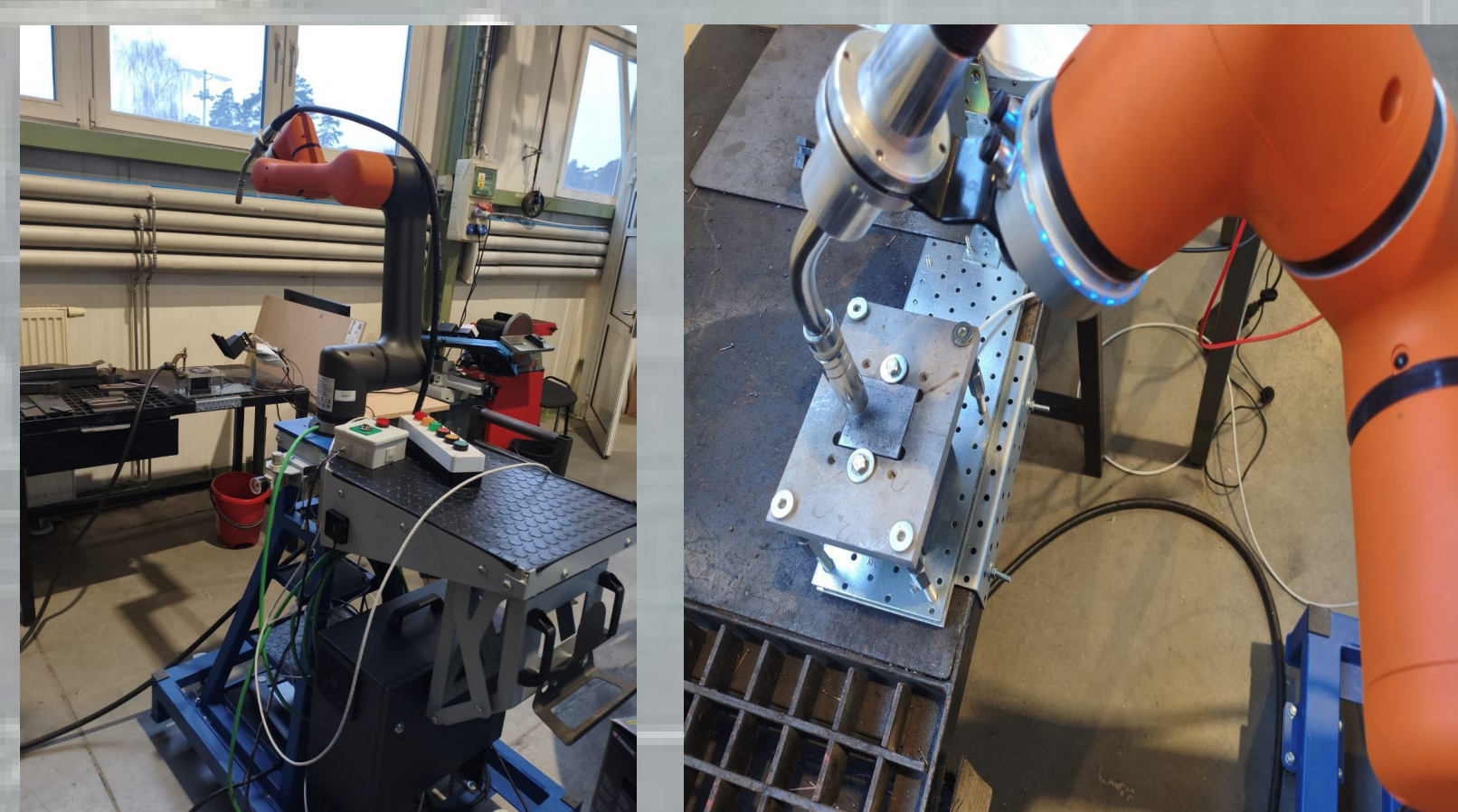
Wykorzystano mikrokomputer Raspberry Pi 4 do wizyjnego monitoringu procesu oraz komunikacji z robotem, co pozwoliło na uzyskanie powtarzalnych napoin wielowarstwowych o sumie całkowitej ok. 20mm przy minimalnych odpryskach i stabilnym łuku.



Rys. 1a. Stolik badawczy do napawania



Rys. 1b. Widok napoiny od buku



Rys. 2. Stanowisko badawcze + HCR5 + Spawarka Lincoln Electric

#### Cel i zakres pracy

Głównym celem pracy było opracowanie i eksperymentalna weryfikacja metody spawania MIG/MAG w celu uzyskania powtarzalnego wysokojakościowego procesu spawania stali konstrukcyjnej S355 przy zachowaniu niskich kosztów wdrożenia i bezpiecznej współpracy człowiek-robot.

#### Przebieg eksperymentu

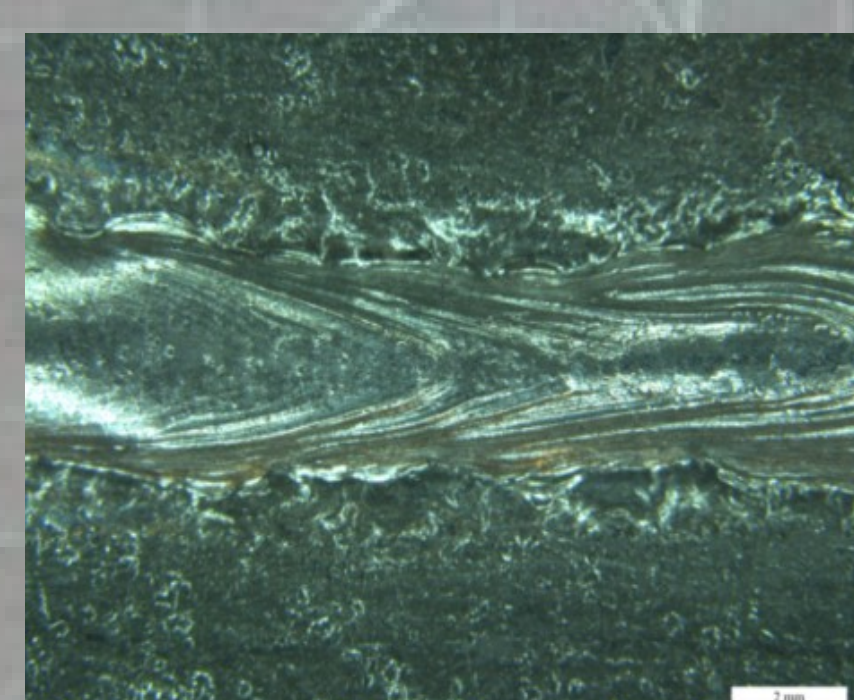
Eksperyment miał na celu zbadanie wpływu wybranych parametrów procesu napawania metodą MIG/MAG na geometrię oraz właściwości napoin wykonanych drutem G3Si1 na podłożu stali S355.

Proces prowadzono przy stałych wartościach większości parametrów, zmieniając jedynie trzy zmienne niezależne:

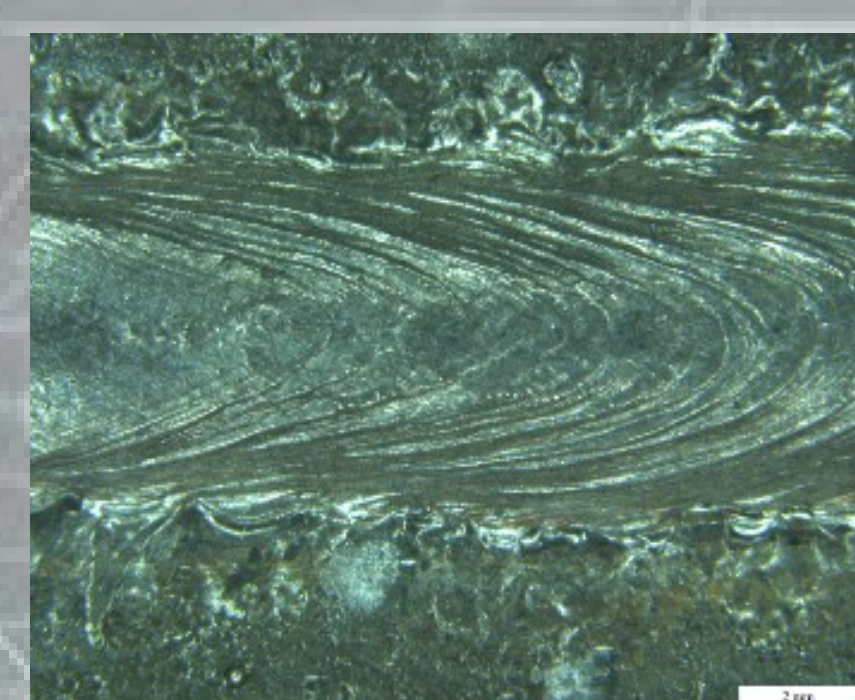
$V_t$  – prędkość podawania drutu [m/s]

$V_w$  – prędkość spawania / prędkość przesuwu palnika [m/s]

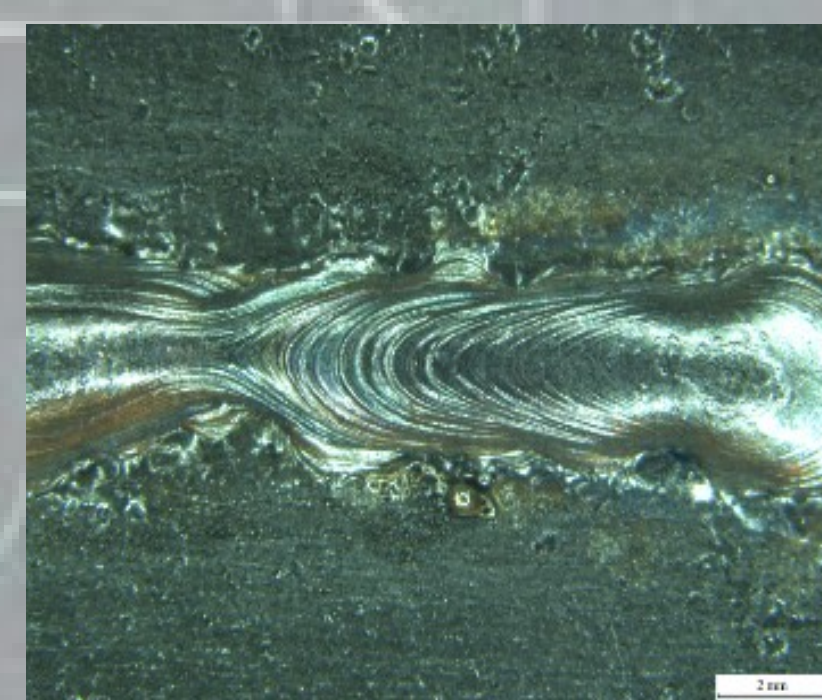
$H$  – parametr sterujący pozycją palnika [mm]



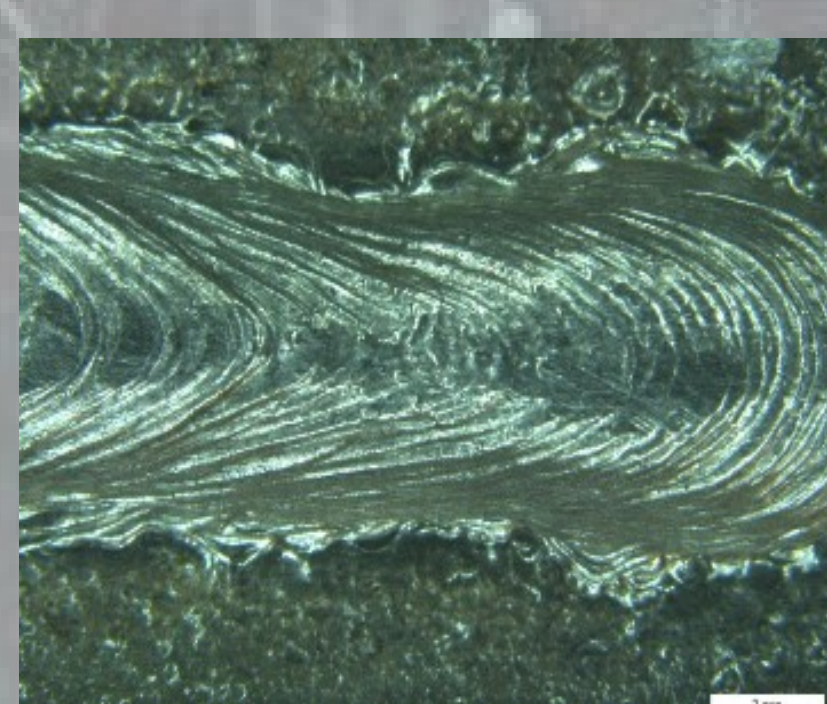
Rys. 3a. Próbka ID13 pod mikroskopem przy powiększeniu x8



Rys. 3b. Próbka ID10 pod mikroskopem przy powiększeniu x8



Rys. 3c. Próbka ID10 pod mikroskopem przy powiększeniu x8



Rys. 3d. Próbka ID13 pod mikroskopem przy powiększeniu x8

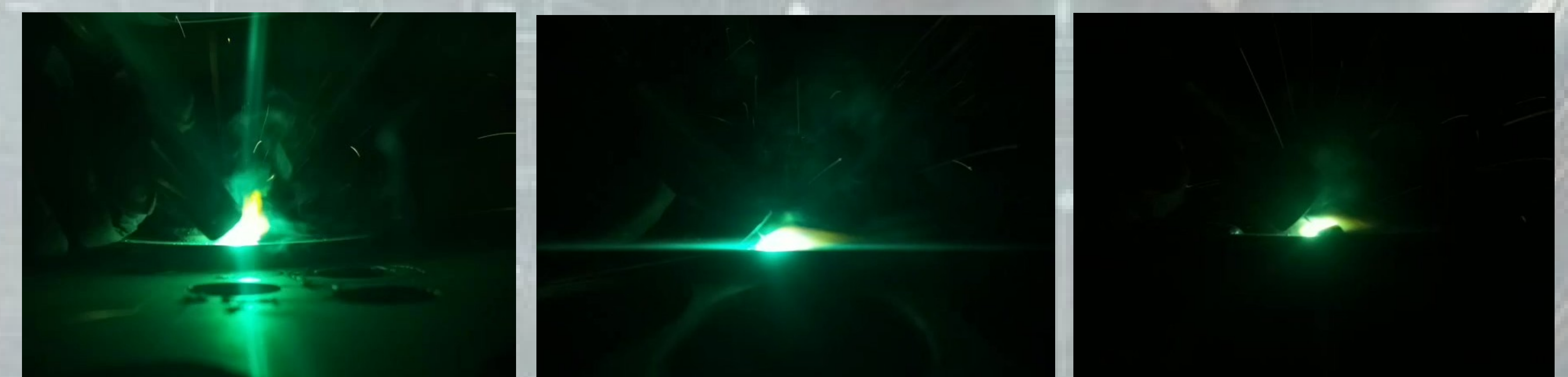


Rys. 3e. Próbka ID13 pod mikroskopem przy powiększeniu x8

#### Abstract:

This master's thesis presents the integration of a manual welding power source, the Lincoln Electric Speedtec 405 SP, with the Hanwha HCR-5 collaborative robot for the MIG/MAG welding process of S355 structural steel. A research test stand was developed utilizing a Raspberry Pi 4 for visual process monitoring via an Arducam 477P camera equipped with a protective DIN12 filter, as well as for communication with the robot. Multi-layer bead-on-plate welding trials were conducted in the PA position, analyzing the influence of key parameters—such as wire feed speed, welding speed, and layer height—on weld bead geometry and quality. Consistent circumferential weld beads were achieved with controlled height, minimal spatter, stable arc, and no layer collapse. The results confirm the effectiveness of collaborative robots in automating low- and medium-volume welding production, offering high trajectory repeatability, safe human-robot collaboration, and low implementation costs.

Przy użyciu odpowiedniego filtra ochronnego na kamerze Arducam 477P udało uzyskać się odpowiednią jakość nagrania w celu przeprowadzania badań. Próby wykonano na filtrze ochronnym DIN9, DIN10 oraz DIN12.



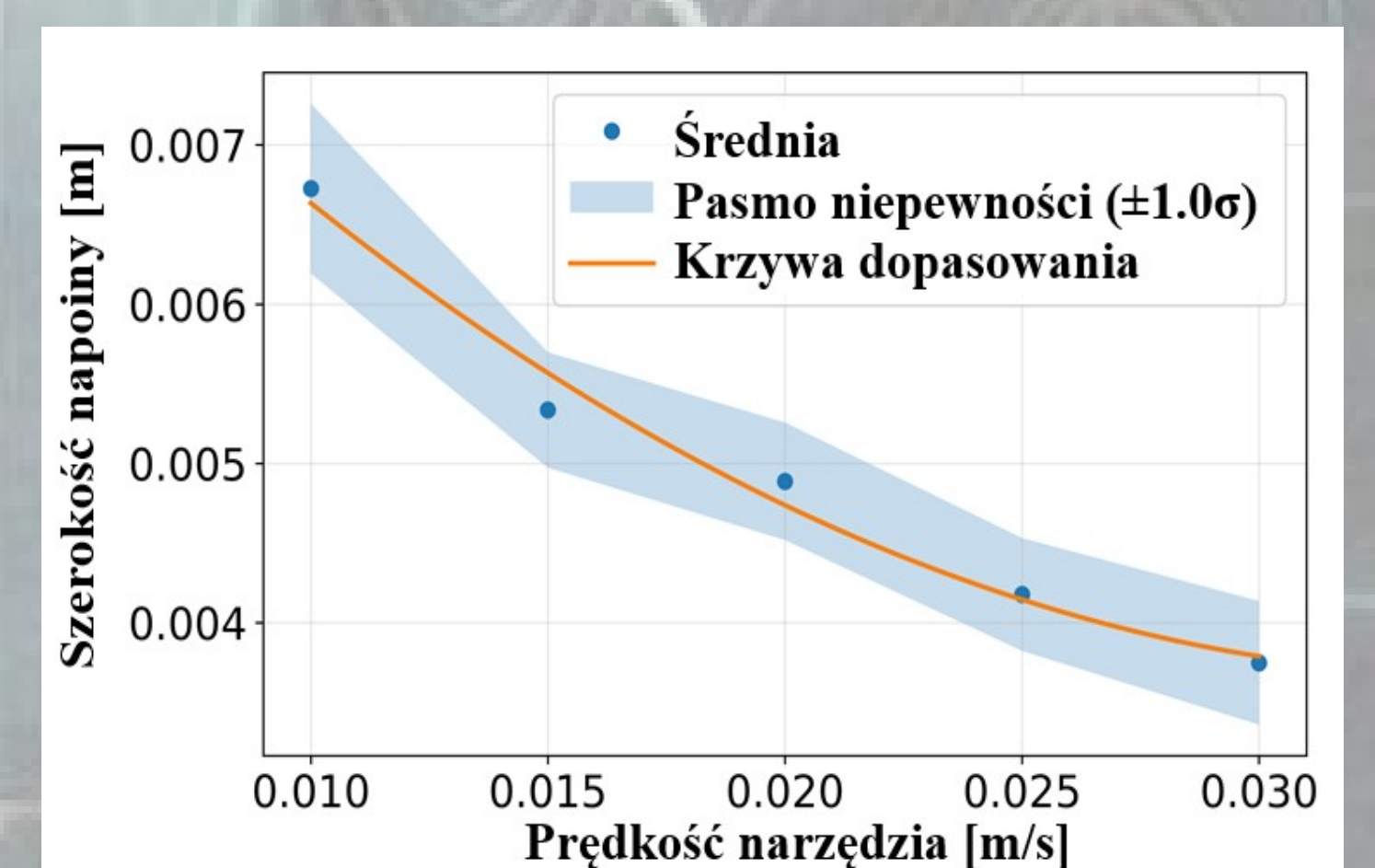
Rys. 4. Porównanie jakości nagrania w celu doboru odpowiedniego filtra. a) DIN9, b) DIN10, c) DIN12

Przeprowadzono serię badań, oraz analizę statyczną napoin. Wyliczono średnią szerokość spoin, odchylenie standardowe oraz stosunek odchylenia do średniej szerokości.

Tabela 1. Wyniki analizy statycznej geometrii spoin

Seria	Średnia szerokość spoin [mm]	Odchylenie standardowe [mm]	Stosunek odchylenia do średniej szerokości
ID01	6.374	0.579	0.0908
ID02	5.364	0.374	0.0697
ID03	4.713	0.364	0.0772
ID04	4.345	0.323	0.0743
ID05	4.276	0.458	0.1071
ID06	6.720	0.230	0.0342
ID07	5.221	0.378	0.0724
ID08	4.501	0.316	0.0702
ID09	4.321	0.282	0.0653
ID10	4.261	0.416	0.0976
ID11	6.095	0.373	0.0612
ID12	4.490	0.417	0.0929
ID13	3.898	0.321	0.0823
ID14	3.842	0.339	0.0882
ID15	4.494	0.275	0.0612
ID16	3.610	0.403	0.1116
ID17	3.533	0.213	0.0603
ID18	3.451	0.538	0.1559

Na wykresie przedstawiono średnią szerokość ścieżki napawania jako funkcję prędkości przesuwu narzędzia na podstawie pierwszych 5 eksperymentów. Zaciemniony obszar reprezentuje pasmo niepewności na podstawie odchylenia standardowego próbki, natomiast ciągła krzywa pokazuje kwadratową aproksymację wykonaną za pomocą metody najmniejszych kwadratów.



Przy użyciu modelu kwadratowego możliwa jest ciągła kontrola szerokości napoiny przez zmianę prędkości przesuwu narzędzia – co skraca czas naprawy, zmniejsza zużycie materiału i ogranicza obróbkę wykończeniową. Wynik ten stanowił jeden z elementów artykułu zgłoszonego na międzynarodową konferencję ICIE 2026 w Bukareszcie. W artykule zaproponowano metodę, która automatycznie wykrywa pęknięcie, tworzy stabilną binarną maskę, a następnie przekształca ją w zbiór kół, których środki wyznaczają trajektorię narzędzia, a średnice określają lokalną szerokość napoiny. Dzięki temu uzyskuje się adaptacyjną ścieżkę naprawczą z dynamiczną regulacją parametrów procesu.



Rys. 5. Przebieg pracy związany z ekstrakcją uszkodzeń i określeniem punktów trajektorii naprawy oraz szerokości ścieżki. a) oryginalny obraz defektu, b) wyodrębniona maska defektu, c) przekształcenie maski z podzbiór kół, których definiują punkty trajektorii narzędzia, a średnice określają minimalną szerokość ścieżki napawania, d) zbiór kół nałożony na oryginalny obraz.

# Badanie kruchości wodorowej stali 42CrMo4 po procesie fosforanowania

## Hydrogen embrittlement testing of 42CrMo4 steel after the phosphating process

Autor: **inż. Paweł Małek**  
Kierunek studiów: **mechanika i budowa maszyn**  
Promotor: dr hab. inż. **Mirosław Tupaj**, prof. PRZ  
Rok akademicki: **2025/2026**

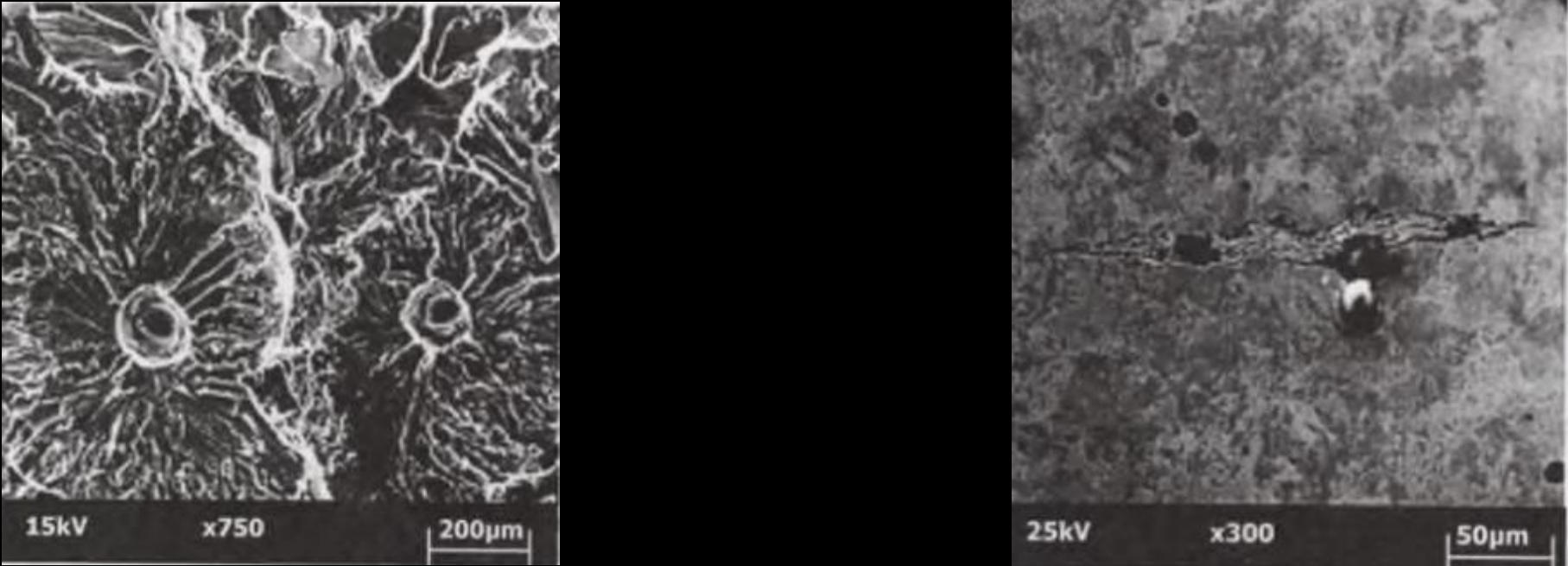
### STRESZCZENIE

W pracy poruszono zagadnienie kruchości wodorowej stali 42CrMo4 po procesie fosforanowania. Do badań przygotowano dwa warianty stali, jeden po ulepszeniu cieplnym, drugi po nawęglaniu, które poddano procesowi fosforanowania. Kolejnym etapem było wykonanie operacji odwodorowania próbek w odstępach czasowych. Próbki poddawano badaniom właściwości mechanicznych oraz badaniom makro i mikrostruktury z zastosowaniem mikroskopii optycznej oraz elektronowej. Wyniki badań przedstawiono w postaci zdjęć, makro i mikrostruktur, tabel i wykresów. Analiza wyników badań pozwoliła na określenie, jaki wpływ ma operacja odwodorowania próbek ze stali 42CrMo4 po procesie fosforanowania na wytrzymałość na rozciąganie, przewężenie oraz udarność, wykonana w odstępach czasu. Natomiast w badaniach makro i mikrostrukturalnych obu wariantów stali nie zaobserwowano istotnych zmian w ich mikrostrukturze, które mogłyby powodować pękanie materiału. Stwierdzono, że brak zastosowania odwodorowania po fosforanowaniu może mieć niekorzystny wpływ na właściwości mechaniczne stali 42CrMo4.

**Słowa kluczowe:** Badanie kruchości wodorowej stali.

### 1. Wprowadzenie

Kruchość wodorowa metali, znana od końca XIX wieku, dotyczy obecnie praktycznie wszystkich metali i ich stopów. Problem dewastacji materiałów metalicznych spowodowanej oddziaływaniem wodoru wciąż nie jest w pełni wyjaśniony ani teoretycznie, ani praktycznie, mimo licznych badań nad tym zjawiskiem. Żadna z istniejących teorii nie opisuje w pełni wszystkich przypadków niszczenia wodorowego. Nie istnieje uniwersalne rozwiązanie problemów związanych z oddziaływaniem wodoru w metalach, ze względu na dużą różnorodność czynników wpływających na zjawisko oraz złożoność warunków pracy materiałów.



Rysunek 1. Powierzchnia przetomu i zgrąd dla stali z widokiem tzw. „rybich oczu”

### 2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest sprawdzenie, jaki wpływ na stal gatunku 42CrMo4 po procesie galwanotechnicznym (fosforanowaniu) ma brak zastosowania odwodorowania w podwyższonej temperaturze po czasie. Zakres pracy obejmuje badanie stali o wytrzymałości na rozciąganie  $R_m \geq 1000$  MPa -  $R_m \leq 1400$  MPa umownie nazywanej w pracy jako STAL 42CrMo4 – 1000 oraz stali o wytrzymałości na rozciąganie  $R_m \geq 1400$  MPa -  $R_m \leq 1800$  MPa, umownie nazywanej w pracy jako STAL 42CrMo4 – 1400 w okresach czasowych.

Zakres badań obejmował:

- przygotowanie dwóch wariantów stali 42CrMo4, o różnych wartościach właściwości mechanicznych,
- przygotowanie próbek do statycznej próby rozciągania oraz do badania udarność,
- wykonanie ulepszenia cieplnego,
- wykonanie nawęglania,
- badania właściwości mechanicznych,
- porównanie i analiza wyników badania właściwości mechanicznych,
- badania makrostruktury,
- badania mikrostruktury,
- wykonanie zgrądów do badań metalograficznych,
- analiza wyników badań metalograficznych,
- podsumowanie i wnioski.

### 3. Technologia wykonania próbek

PROCES	OPIS	PARAMETRY
1. WYKONANIE PRÓBEK	Wariant 1: STAL 42CrMo4 - 1000	Wariant 2: STAL 42CrMo4 - 1400
2. WYKONANIE ULEPSZENIA CIEPLNEGO	1.1. Wariant 1: 850°C / 1h	1.2. Wariant 2: 850°C / 1h
3. WYKONANIE NAWĘGLANIA	2.1. Wariant 1: 920°C / 10h / 0.5% C	2.2. Wariant 2: 920°C / 10h / 0.5% C
4. FOSFORANOWANIE	3.1. Wariant 1: 100°C / 24h / 10%	3.2. Wariant 2: 100°C / 24h / 10%
5. ODWODOROWANIE	4.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	4.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
6. ODWODOROWANIE	5.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	5.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
7. ODWODOROWANIE	6.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	6.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
8. ODWODOROWANIE	7.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	7.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
9. ODWODOROWANIE	8.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	8.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
10. ODWODOROWANIE	9.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	9.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
11. ODWODOROWANIE	10.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	10.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
12. ODWODOROWANIE	11.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	11.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
13. ODWODOROWANIE	12.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	12.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
14. ODWODOROWANIE	13.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	13.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
15. ODWODOROWANIE	14.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	14.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
16. ODWODOROWANIE	15.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	15.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
17. ODWODOROWANIE	16.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	16.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
18. ODWODOROWANIE	17.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	17.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
19. ODWODOROWANIE	18.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	18.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
20. ODWODOROWANIE	19.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	19.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
21. ODWODOROWANIE	20.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	20.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
22. ODWODOROWANIE	21.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	21.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
23. ODWODOROWANIE	22.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	22.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
24. ODWODOROWANIE	23.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	23.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
25. ODWODOROWANIE	24.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	24.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
26. ODWODOROWANIE	25.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	25.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
27. ODWODOROWANIE	26.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	26.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
28. ODWODOROWANIE	27.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	27.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
29. ODWODOROWANIE	28.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	28.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
30. ODWODOROWANIE	29.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	29.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
31. ODWODOROWANIE	30.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	30.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
32. ODWODOROWANIE	31.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	31.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
33. ODWODOROWANIE	32.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	32.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
34. ODWODOROWANIE	33.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	33.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
35. ODWODOROWANIE	34.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	34.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
36. ODWODOROWANIE	35.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	35.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
37. ODWODOROWANIE	36.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	36.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
38. ODWODOROWANIE	37.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	37.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
39. ODWODOROWANIE	38.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	38.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
40. ODWODOROWANIE	39.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	39.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
41. ODWODOROWANIE	40.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	40.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
42. ODWODOROWANIE	41.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	41.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
43. ODWODOROWANIE	42.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	42.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
44. ODWODOROWANIE	43.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	43.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
45. ODWODOROWANIE	44.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	44.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
46. ODWODOROWANIE	45.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	45.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
47. ODWODOROWANIE	46.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	46.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
48. ODWODOROWANIE	47.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	47.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
49. ODWODOROWANIE	48.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	48.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
50. ODWODOROWANIE	49.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	49.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
51. ODWODOROWANIE	50.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	50.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
52. ODWODOROWANIE	51.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	51.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
53. ODWODOROWANIE	52.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	52.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
54. ODWODOROWANIE	53.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	53.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
55. ODWODOROWANIE	54.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	54.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
56. ODWODOROWANIE	55.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	55.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
57. ODWODOROWANIE	56.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	56.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
58. ODWODOROWANIE	57.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	57.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
59. ODWODOROWANIE	58.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	58.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
60. ODWODOROWANIE	59.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	59.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
61. ODWODOROWANIE	60.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	60.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
62. ODWODOROWANIE	61.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	61.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
63. ODWODOROWANIE	62.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	62.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
64. ODWODOROWANIE	63.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	63.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
65. ODWODOROWANIE	64.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	64.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
66. ODWODOROWANIE	65.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	65.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
67. ODWODOROWANIE	66.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	66.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
68. ODWODOROWANIE	67.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	67.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
69. ODWODOROWANIE	68.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	68.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
70. ODWODOROWANIE	69.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	69.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
71. ODWODOROWANIE	70.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	70.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
72. ODWODOROWANIE	71.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	71.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
73. ODWODOROWANIE	72.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	72.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
74. ODWODOROWANIE	73.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	73.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
75. ODWODOROWANIE	74.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	74.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
76. ODWODOROWANIE	75.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	75.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
77. ODWODOROWANIE	76.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	76.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
78. ODWODOROWANIE	77.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	77.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
79. ODWODOROWANIE	78.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	78.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
80. ODWODOROWANIE	79.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	79.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
81. ODWODOROWANIE	80.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	80.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
82. ODWODOROWANIE	81.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	81.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
83. ODWODOROWANIE	82.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	82.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
84. ODWODOROWANIE	83.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	83.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
85. ODWODOROWANIE	84.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	84.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
86. ODWODOROWANIE	85.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	85.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
87. ODWODOROWANIE	86.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	86.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
88. ODWODOROWANIE	87.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	87.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
89. ODWODOROWANIE	88.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	88.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
90. ODWODOROWANIE	89.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	89.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
91. ODWODOROWANIE	90.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	90.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
92. ODWODOROWANIE	91.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	91.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
93. ODWODOROWANIE	92.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	92.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
94. ODWODOROWANIE	93.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	93.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
95. ODWODOROWANIE	94.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	94.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
96. ODWODOROWANIE	95.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	95.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
97. ODWODOROWANIE	96.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	96.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
98. ODWODOROWANIE	97.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	97.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
99. ODWODOROWANIE	98.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	98.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%
100. ODWODOROWANIE	99.1. Wariant 1: 100°C / 1h / 10%	99.2. Wariant 2: 100°C / 1h / 10%



Rysunek 2. Procesy technologiczne próbek

### 4. Badania własności mechanicznych



Rysunek 3. Statyczna próba rozciągania oraz udarność

### ABSTRACT

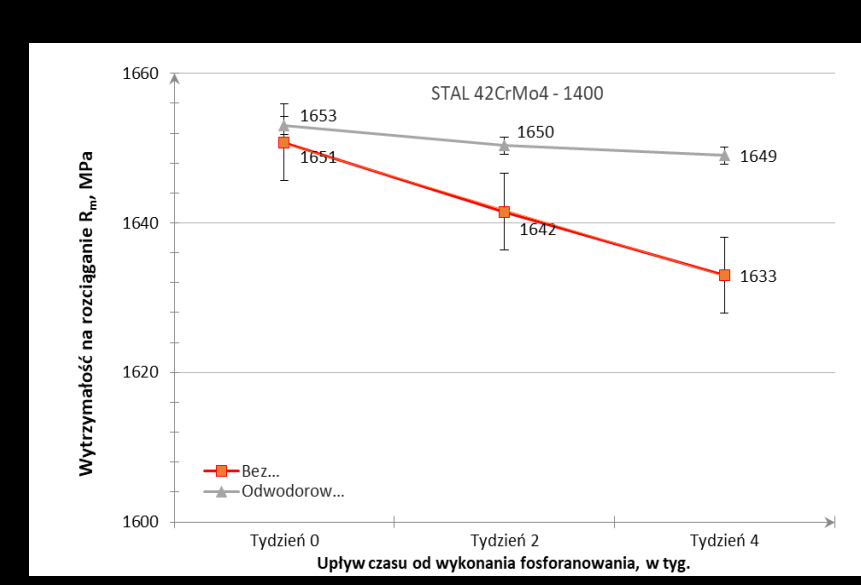
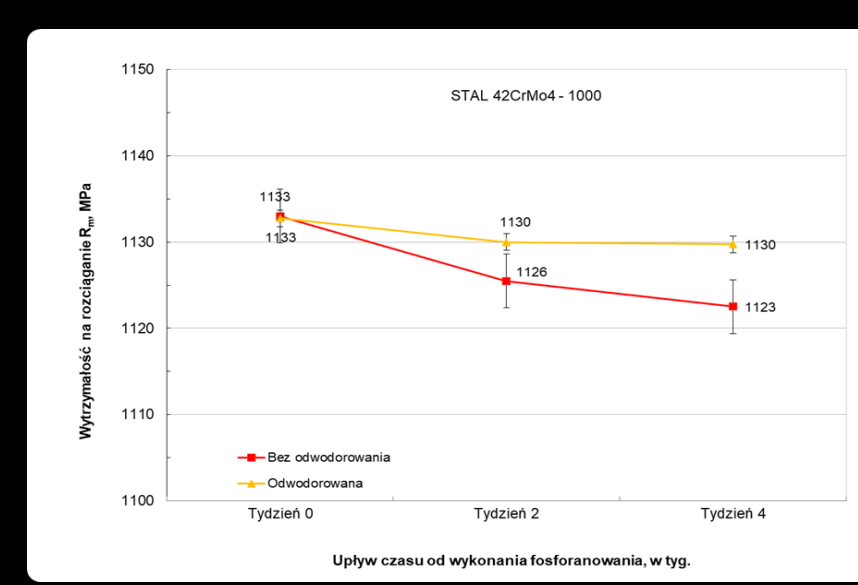
This paper addresses the issue of hydrogen embrittlement of 42CrMo4 steel after the phosphating process. Two variants of steel were prepared for testing, one after quenching and tempering, the other after carburisation, which was subjected to the phosphating process. The next stage was to perform dehydrogenation process at time intervals. The samples were subjected to mechanical properties tests and macro and microstructure studies using optical and electron microscopy. The results of the study are presented in the form of images, macro and microstructures, tables and graphs.

The analysis of the test results made possible to determine the impact of the dehydrogenation process of 42CrMo4 steel samples after the phosphating process on tensile strength, contraction and impact testing, performed at time intervals. However, in the macro and microscopic studies of both variants of steel, no significant changes in their microstructure were observed, that could cause cracking of the material. It was found, that the lack of dehydrogenation after phosphation may have an adverse effect on the mechanical properties of 42CrMo4 steel.

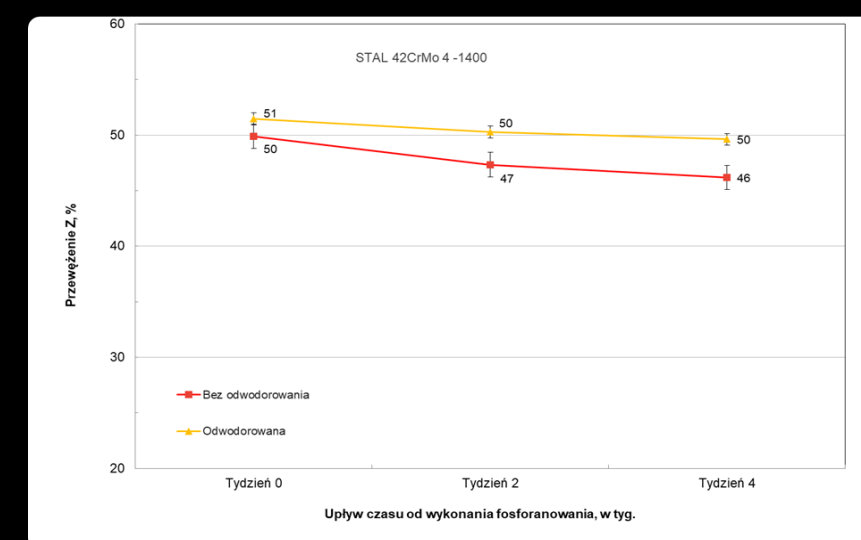
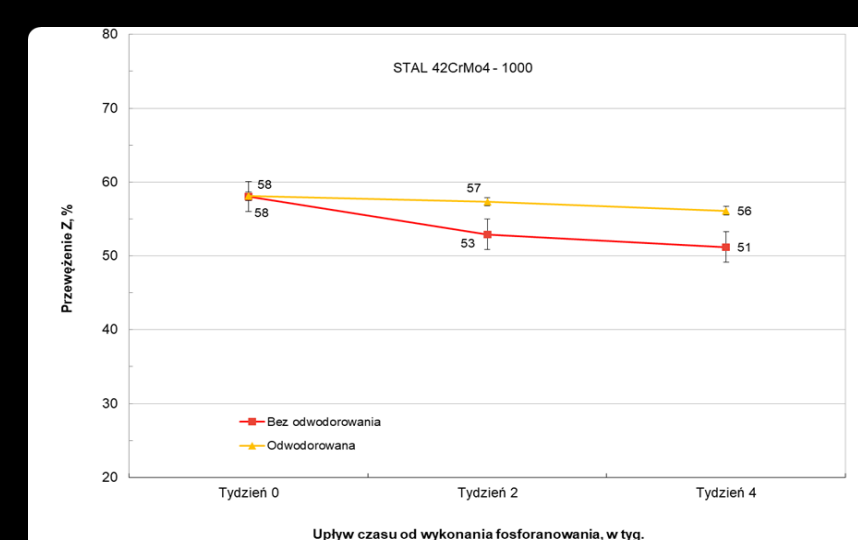
**Keywords:** Hydrogen embrittlement testing of steel

### 5. Wyniki badań

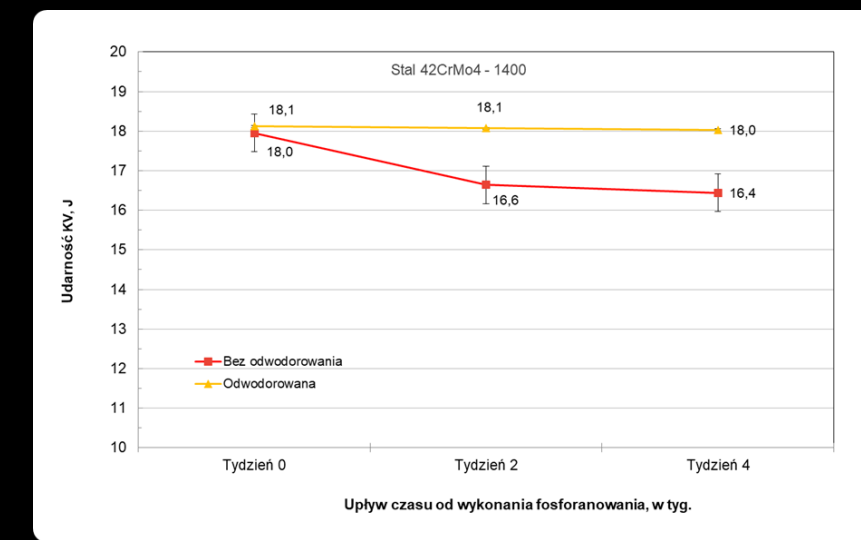
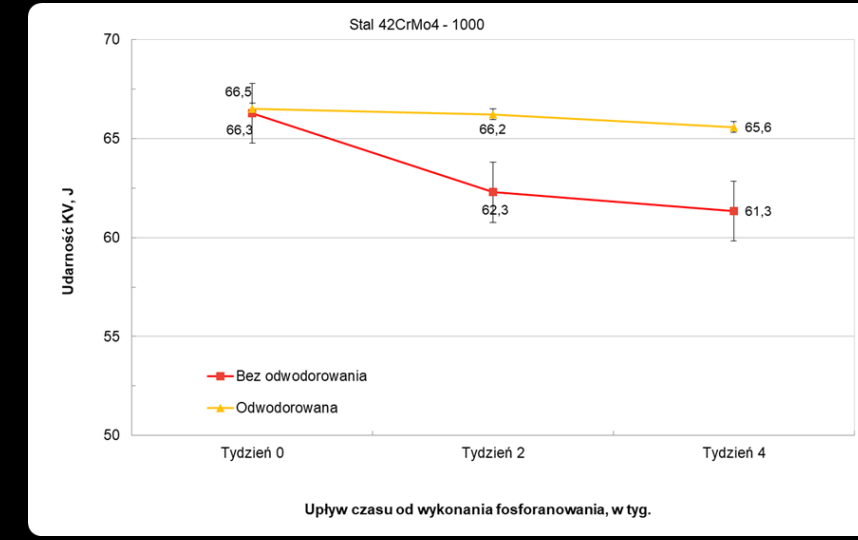
Wniki badań własności mechanicznych Rysunek 4 i Rysunek 5 pokazują, że zastosowanie odwodorowania próbek nawet w odstępach czasowych pozytywnie wpływa na ich własności, tak samo w przypadku udarność Rysunek 6. Analiza makrostruktury nie wykazała żadnych pęknięć ani obecności „rybich oczu” mogących spowodować opóźnione pękanie. Analiza mikrostruktury pozwoliła zaobserwować niewielkie wtrącenia i nieciągłości. Analiza mikrostruktury STALI 42CrMo4 – 1000 pozwoliła zaobserwować drobne węgliki o kształcie sferoidalnym w osnowie martenzytu odpuszczonego. W STALI 42CrMo4 – 1400 dało się zauważyć bainit górny, ferryt oraz bainit dolny z austenitem szczątkowy.



Rysunek 4. Wykresy dla statycznej próby rozciągania



Rysunek 5. Wykresy dla przewężenia



Rysunek 6. Wykresy udarność

# Wpływ zabiegu wygrzewania na wybrane właściwości wydruków z PETG powstałych w procesie FDM

## Impact of the Annealing Process on Selected Properties of PETG Prints Produced by FDM.

Autor: inż. Jacek Ochorok

Kierunek studiów: mechanika i budowa maszyn

Promotor: dr inż. Marcin Marciniak

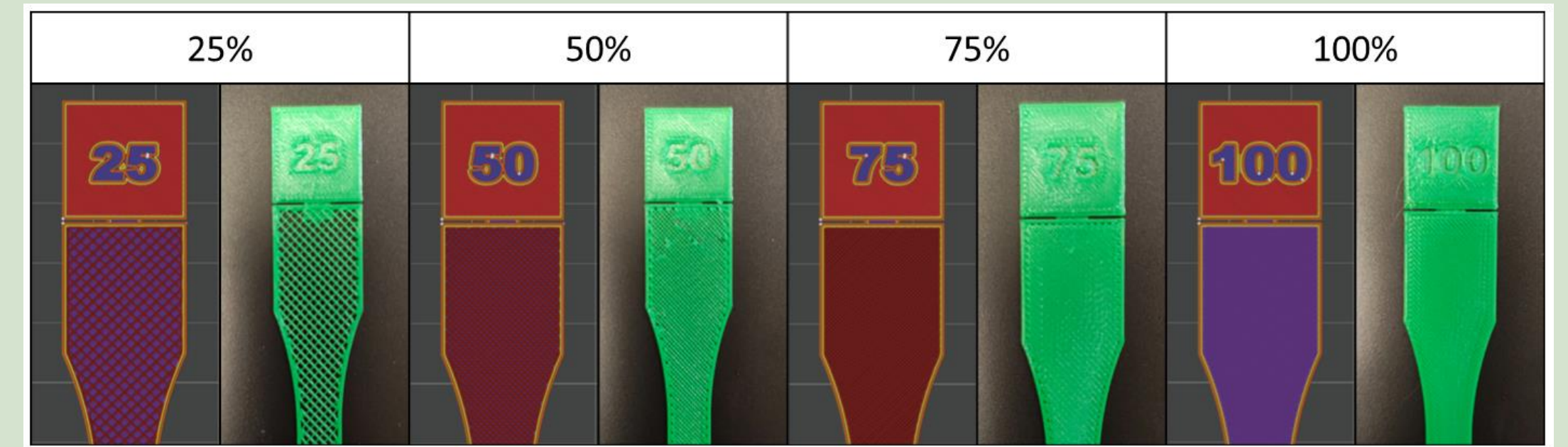
Rok akademicki: 2025/2026

### STRESZCZENIE

Praca dyplomowa bada, jak proces wygrzewania wpływa na właściwości mechaniczne i stabilność wymiarową wydruków z PETG wykonanych w technologii FDM. Opisano podstawy druku 3D, charakterystykę stosowanych materiałów oraz problemy typowe dla tej metody, takie jak anizotropia i naprężenia wewnętrzne. Głównym celem pracy było sprawdzenie, czy kontrolowane podgrzewanie gotowych elementów może poprawić ich wytrzymałość poprzez wzmocnienie połączeń między warstwami. W części badawczej przygotowano i wydrukowano próbki, następnie poddano je różnym wariantom wygrzewania i przebadano w próbie rozciągania. Wyniki wykazały, że właściwie dobrane parametry wygrzewania mogą korzystnie wpłynąć na właściwości PETG, choć proces ten wiąże się również ze zmianami wymiarowymi, które należy uwzględnić przy projektowaniu elementów.

### ABSTRACT

The thesis examines how the annealing process affects the mechanical properties and dimensional stability of PETG prints produced using FDM technology. It describes the fundamentals of 3D printing, the characteristics of the materials used, and issues typical for this method, such as anisotropy and internal stresses. The main objective was to determine whether controlled heating of finished parts can improve their strength by enhancing interlayer bonding. In the experimental section, samples were prepared and printed, then subjected to various annealing conditions and tested in a tensile test. The results showed that properly selected annealing parameters can positively influence the properties of PETG, although the process also leads to dimensional changes that must be taken into account during design.



Rys. 1. Przedstawienie gęstości wypełnień w symulacji oraz po wydrukowaniu.

### Cel pracy:

Głównym celem niniejszej pracy magisterskiej jest określenie wpływu zabiegu wygrzewania na wybrane właściwości wydruków z PETG powstałych w procesie FDM.

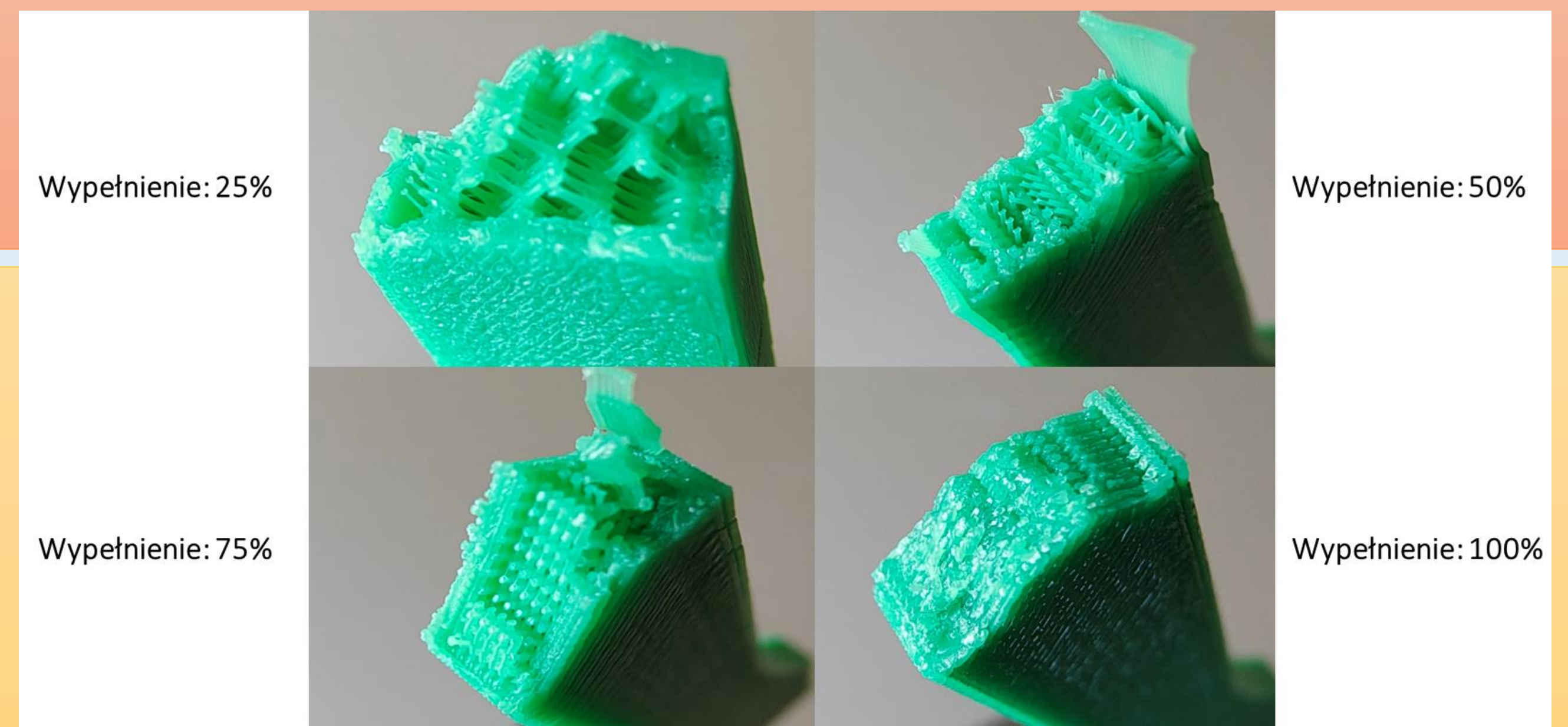
Badania skupią się na następujących aspektach:

- Właściwości mechaniczne: Analiza zmian wytrzymałości na rozciąganie.
- Stabilność wymiarowa: Ocena skurczu i odkształceń wywołanych obróbką cieplną.

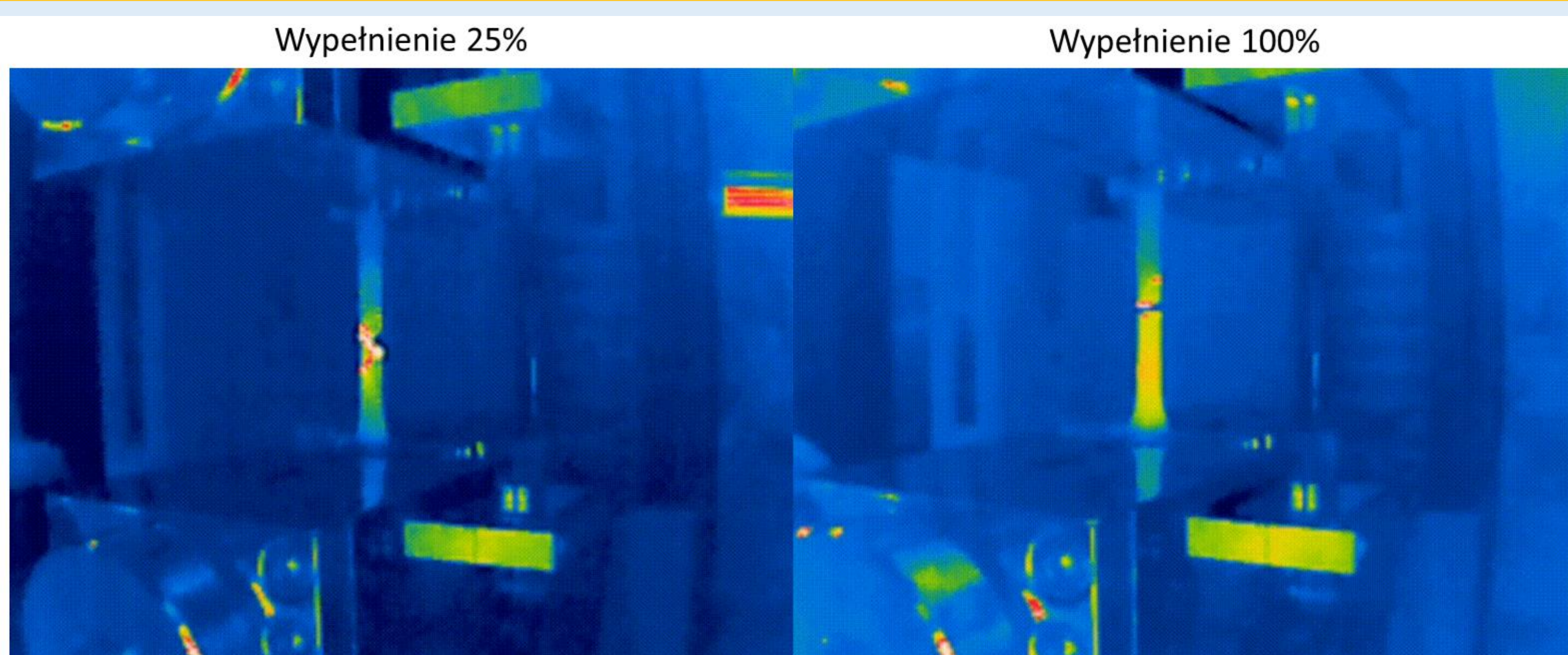
### Zakres pracy:

W ramach realizacji badań przeprowadzono:

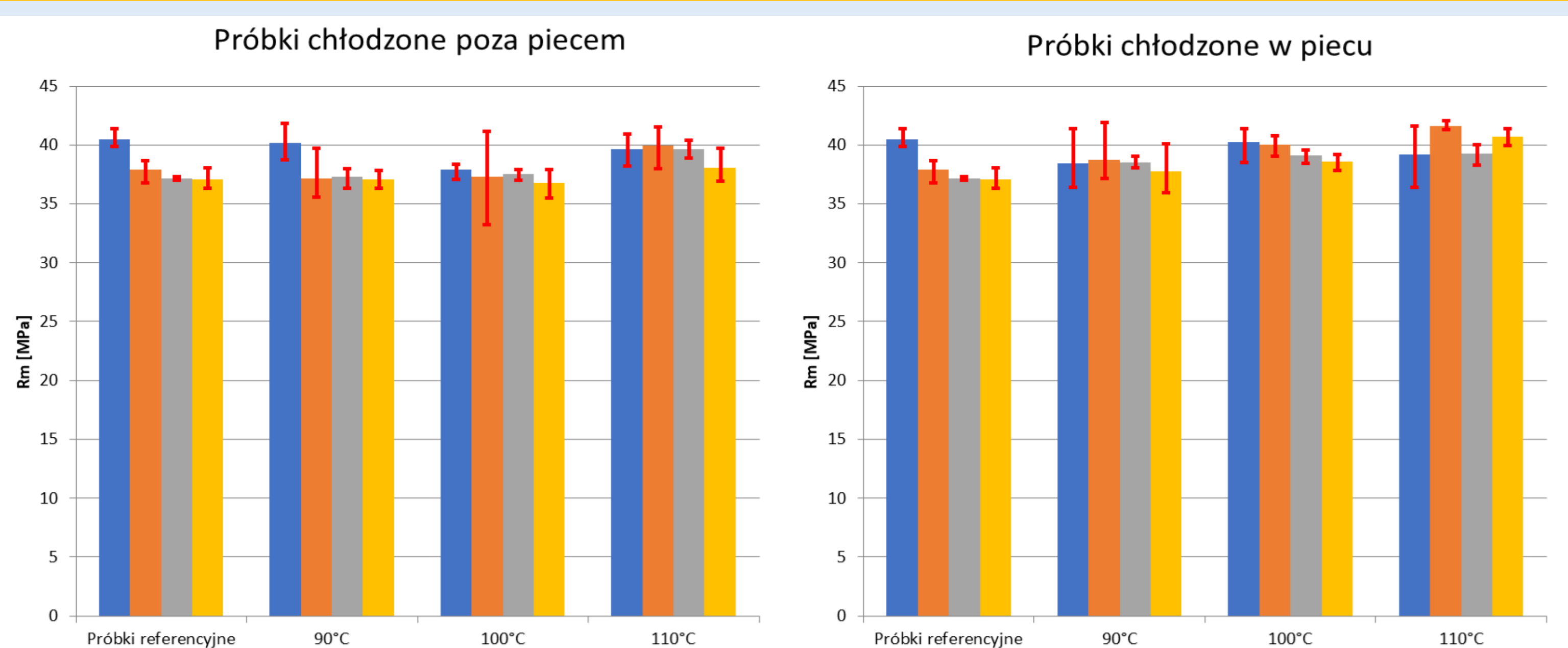
- ✓ Przegląd dostępnej literatury
- ✓ Przygotowanie zgodnie z normą modelu próbki
- ✓ Dobranie odpowiednich parametrów druku próbki
- ✓ Wykonanie wydruku modelu próbki z materiału PETG z różnym wypełnieniem (rys. 1.)
- ✓ Poddanie wydrukowanych próbek procesowi wygrzewania
- ✓ Przeprowadzenie badań wytrzymałościowych w statycznej próbie rozciągania (rys. 2. oraz rys. 3.)
- ✓ Analiza wyników i sformułowanie wniosków (rys. 4.; rys. 5.; rys. 6.)



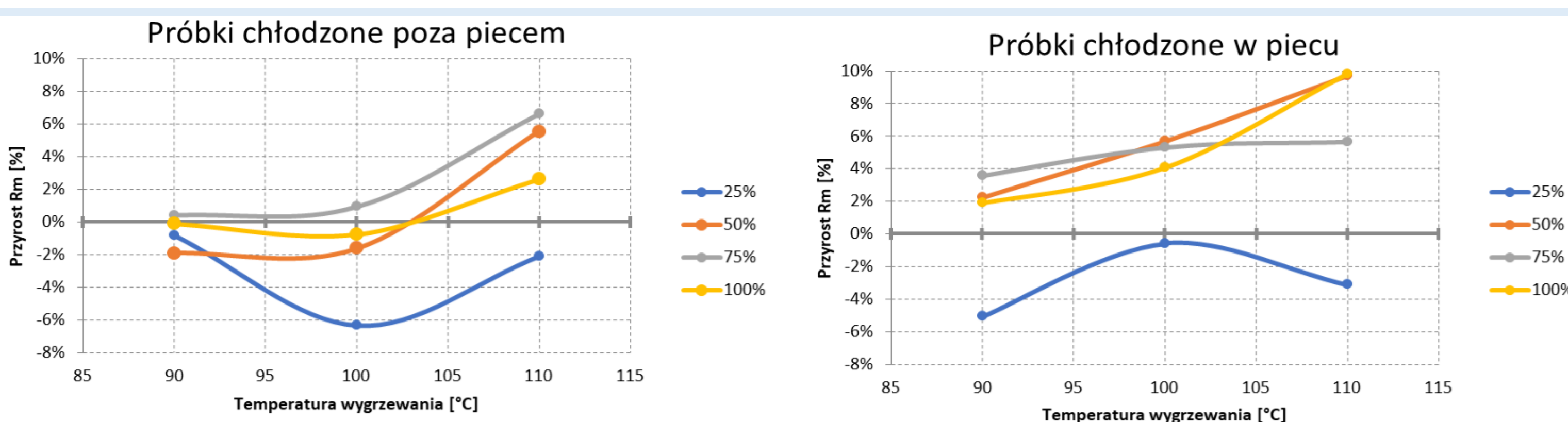
Rys. 2. Wygląd przekroju próbek po zerwaniu



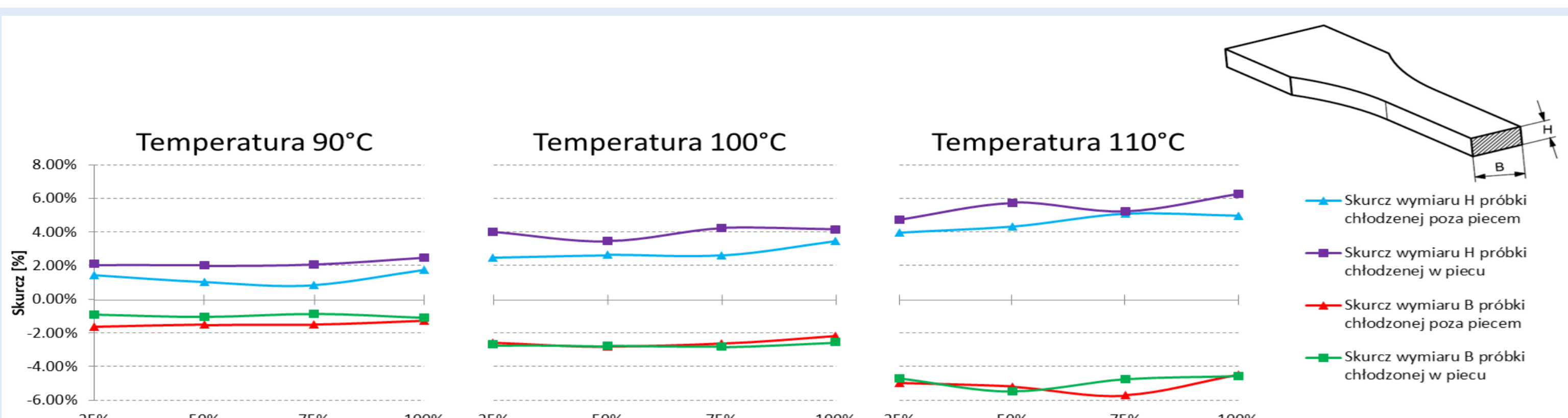
Rys. 3. Termogram podczas zrywania próbek o wypełnieniu 25% oraz 100%



Rys. 4. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie po wygrzewaniu



Rys. 5. Przyrost wytrzymałości na rozciąganie próbek po wygrzewaniu



Rys. 6. Deformacja geometryczna - skurcz

### Podsumowanie:

1. Wygrzewanie wpływa na właściwości mechaniczne próbek PETG, jednak jego efekty są wyraźnie zależne od stopnia wypełnienia
2. Największe korzyści przyniosło wygrzewanie w temperaturze 100°C
3. Chłodzenie w piecu sprzyja stabilności wymiarowej oraz jednorodności struktury (rys. 6.)
4. Wygrzewanie skutecznie redukuje naprężenia wewnętrzne, jednak powoduje również skurcz materiału
5. Badania termowizyjne ujawniły mechanizm lokalnej koncentracji naprężeń podczas rozciągania (rys. 3.)
6. Próbki niewygrzewane o niskim wypełnieniu (25%) wykazały wyższą nominalną wytrzymałość na rozciąganie niż próbki wypełnione w 100%, co wynika z dominacji perymetrów pracujących jak elementy cienkościenne



## Projekt, analiza i optymalizacja pracy narzędzia skrawającego z powłokami PVD w procesach obróbczych stali nierdzewnej 316L

Design, analysis, and optimization of the work of a cutting tool with PVD coatings in the machining processes of 316L stainless steel.

Autor: inż. Mariusz Partyka

Promotor: dr inż. Wiesław Żelasko

Rok akademicki: 2025/2026

### Streszczenie:

W ramach zrealizowanej pracy dyplomowej przeprowadzona została optymalizacja pracy narzędzia z powłokami PVD podczas skrawania stali nierdzewnej 316L. W części pierwszej pracy scharakteryzowano podstawowe zjawiska i zasady procesu skrawania, geometrię ostrza i współczesne materiały narzędziowe. W ramach części praktycznej przeprowadzono analizę technologiczną procesu obróbki stali nierdzewnej 316L. Zaprojektowano i wyprodukowano 2 frezy monolityczne, na które nałożono różne powłoki PVD: powłoki Alnova i powłoki TiXCo mające na celu maksymalne wydłużenie okresu ich eksploatacji. Wykonane frezy poddane zostały próbom testowym pozwalającym na ocenę ich stopnia zużycia. Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników badań, w których stwierdzono że znacznie lepsze warunki eksploatacji zapewnia powłoka Alnova.

### Abstract:

As part of this thesis, the performance of a PVD-coated tool during the cutting of 316L stainless steel was optimized. The first part of the thesis characterized the basic phenomena and principles of the cutting process, cutting edge geometry, and modern tool materials. The practical part involved a technological analysis of the 316L stainless steel machining process. Two monolithic milling cutters were designed and manufactured, each with a different PVD coating: Alnova and TiXCo coatings, designed to maximize their service life. The manufactured end mills were subjected to tests to assess their wear rate. The obtained test results were analyzed, concluding that the Alnova coating provided significantly better operating conditions

Słowa kluczowe: narzędzie, stal nierdzewna, powłoka PVD

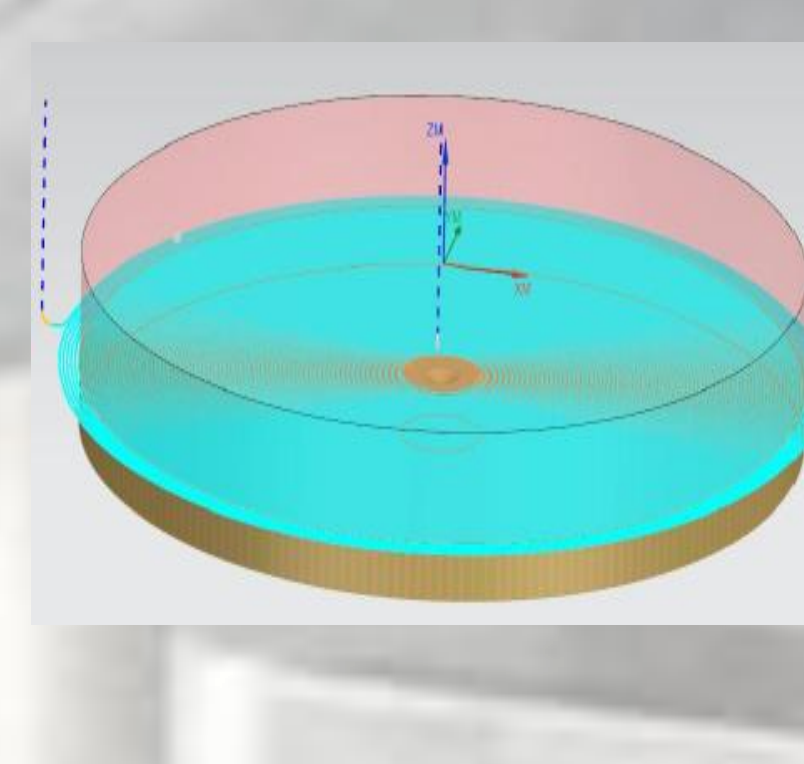
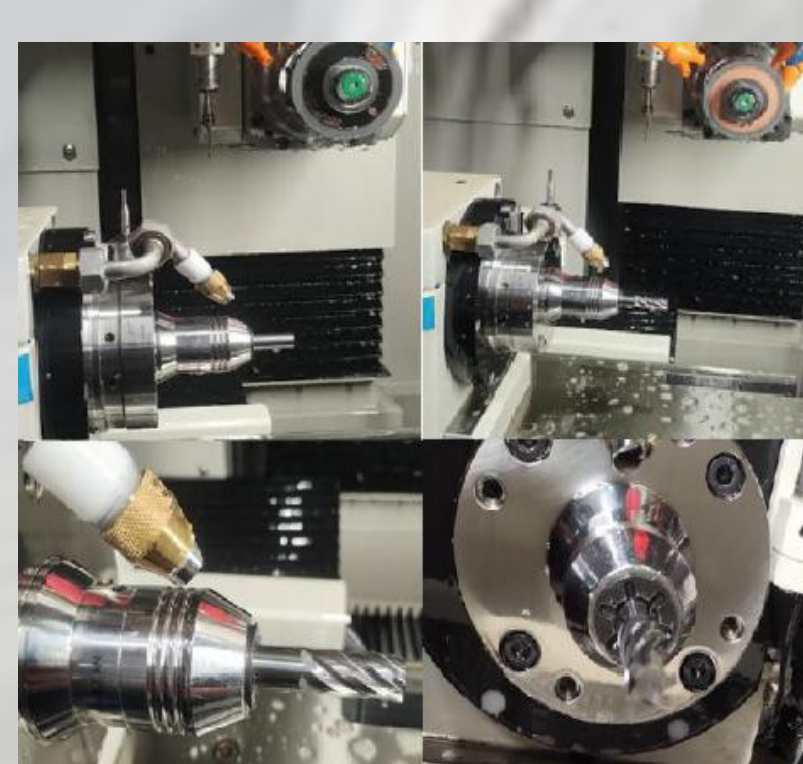
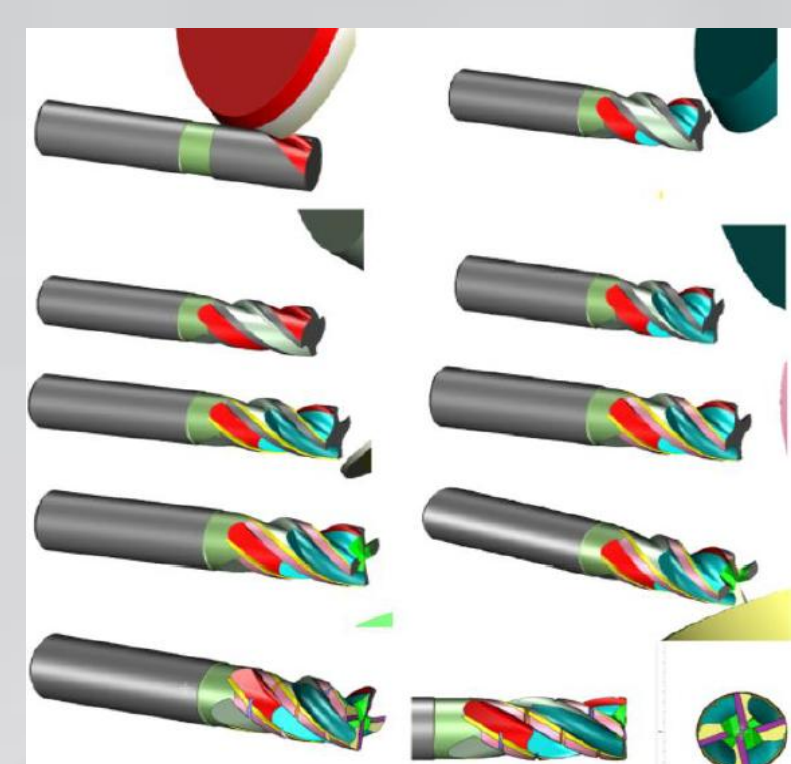
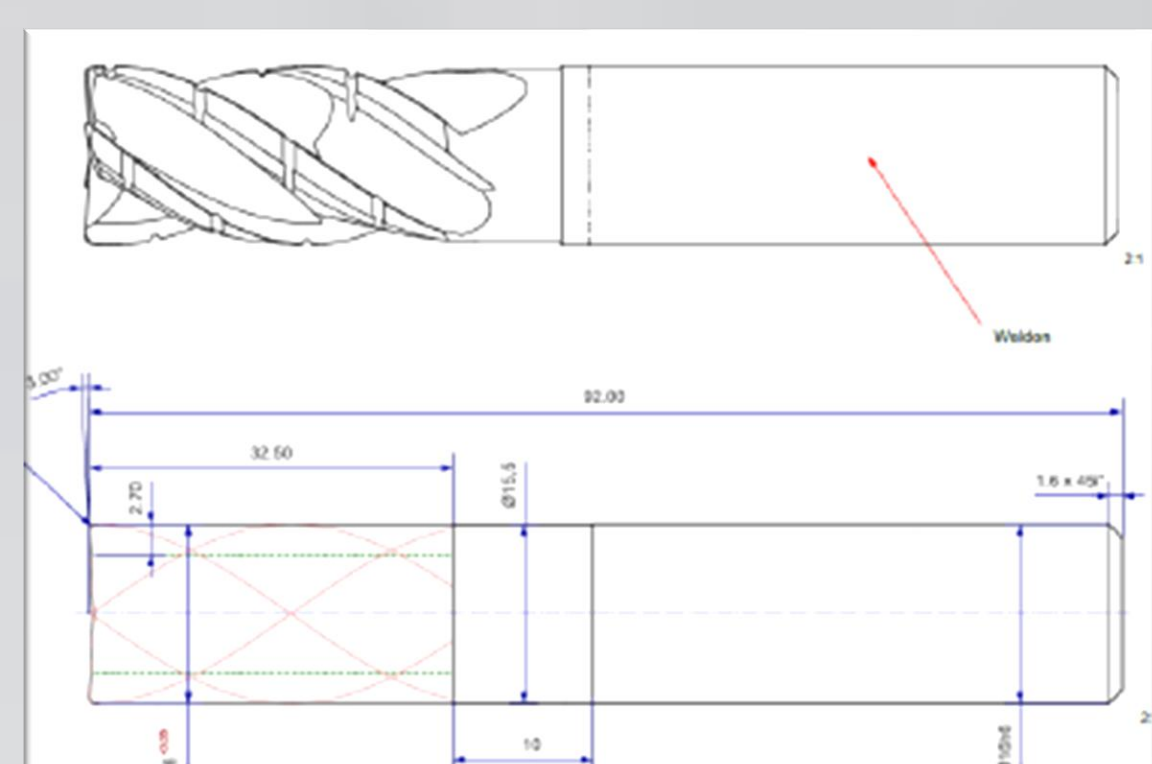
Key words: tool, stainless steel, PVD coating

### Cel Pracy:

Optymalizacja pracy narzędzia skrawającego z powłokami PVD w procesach obróbczych stali nierdzewnej 316L oraz maksymalne wydłużenie okresu eksploatacji zaprojektowanego i wykonanego narzędzia skrawającego.

### Zakres pracy :

- ✓ Analiza technologiczna.
- ✓ Opracowanie geometrii freza do obróbki stali nierdzewnych
- ✓ Wyprodukowanie frezów węglkowych
- ✓ Wykonanie powłok PVD
- ✓ Testy maszynowe w celu porównania parametrów i czasu pracy
- ✓ Pomiar i analiza wyników testu
- ✓ Opracowanie wniosków końcowych i podsumowanie



Rysunek wykonawczy freza FVCZ

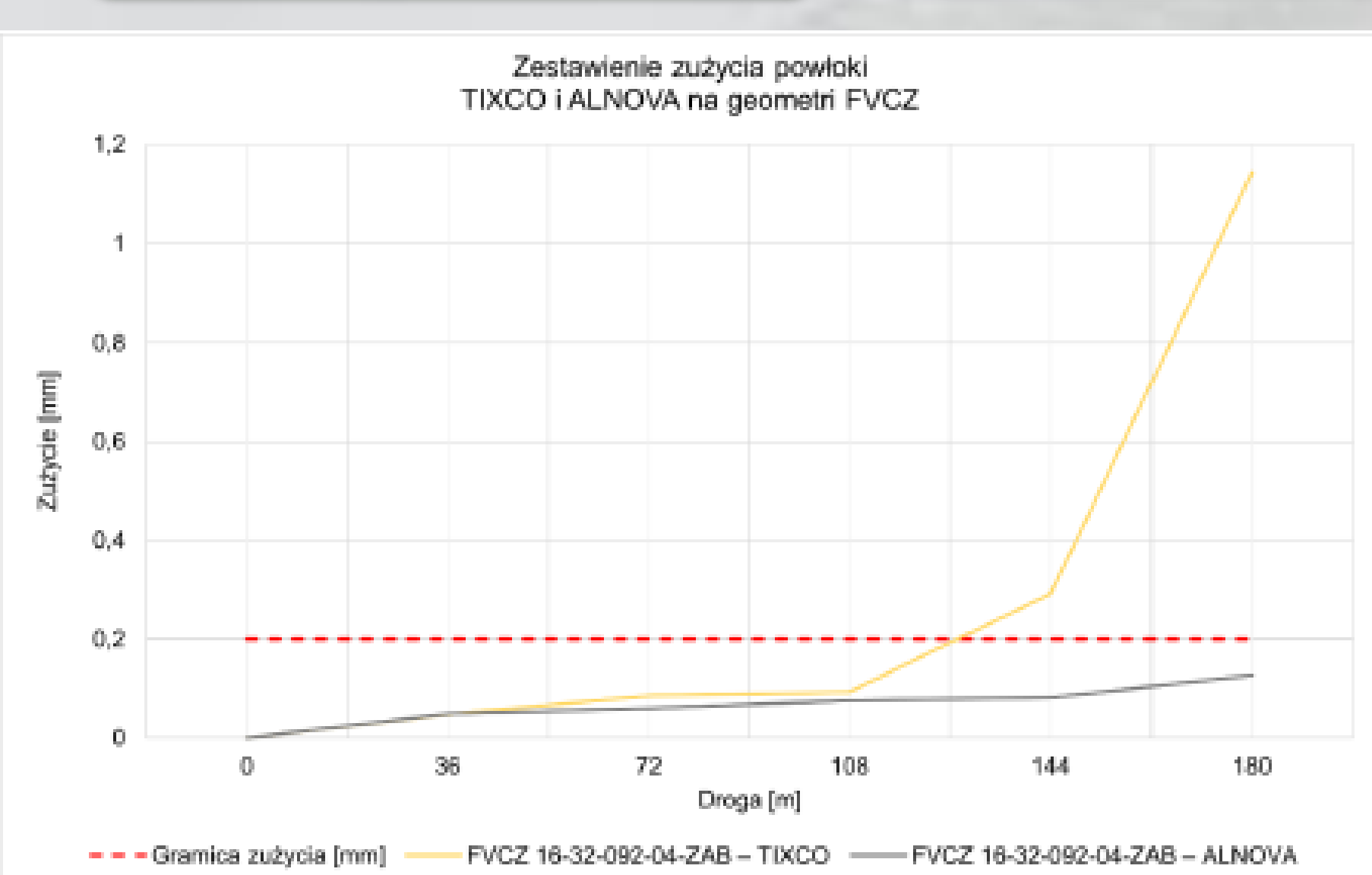
Symulacja programowa NUMROTO

Produkcja freza FVCZ

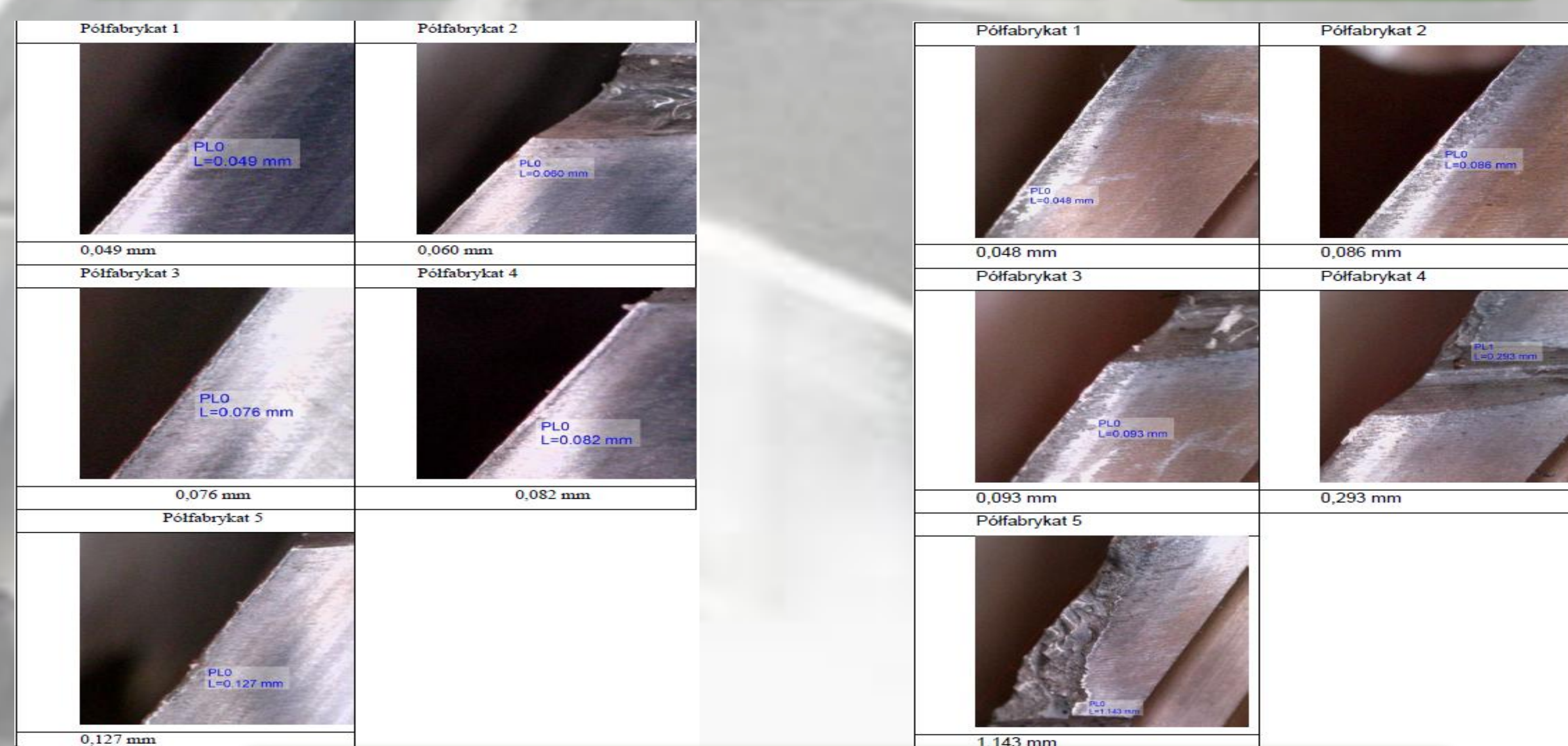
Wykonanie powłok PVD

Symulacja testu maszynowego NX

Testy na maszynie CNC



Test wykazał, że powłoka ALNOVA zachowała pełną sprawność operacyjną przez całe 180 metrów drogi, nie przekraczając granicy technologicznej zużycia. W przypadku powłoki TiXCO, po 108 metrach nastąpiła gwałtowna degradacja, która doprowadziła do przegrzania węglika i całkowitego zniszczenia ostrza na końcowym etapie próby.



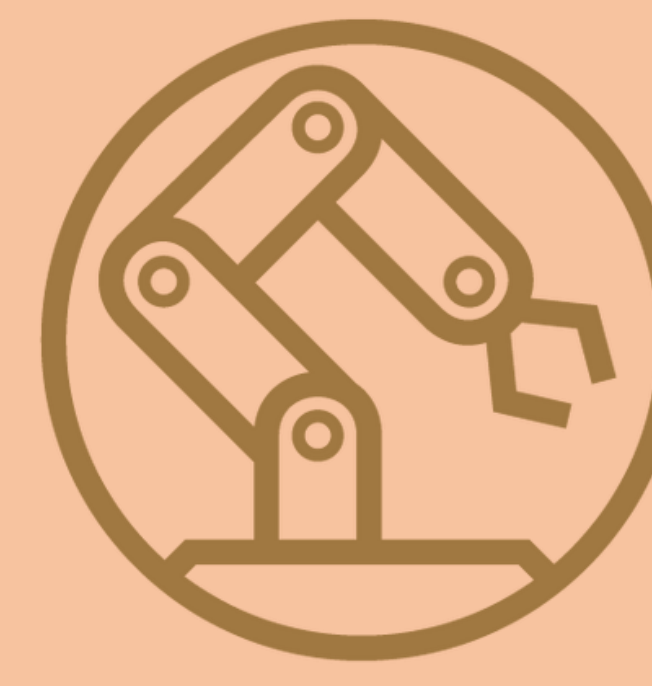
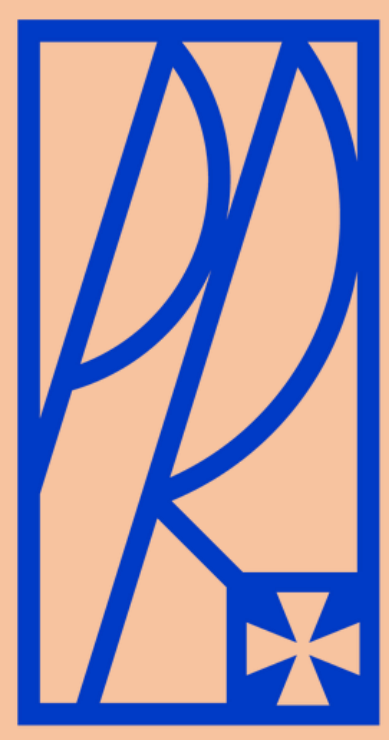
Pomiary mikroskopowe zużycia krawędzi skrawającej

### Część teoretyczna:

Stal nierdzewna gatunku 316L jest materiałem o niskiej obrabialności. Wynika to przede wszystkim ze skomplikowanej struktury krystalicznej i właściwości fizykochemicznych wspomnianego materiału. Największym problemem podczas jej obróbki metodą frezowania jest zjawisko intensywne umocnienia zgniotowego. Wynika to głównie z bardzo dużych nacisków ostrza narzędzia skrawającego na stal nierdzewną 316L. Warstwa materiału którą narzędzie powinno usunąć w kolejnym przejściu, staje się twardsza od materiału rodzimego, co drastycznie zwiększa siły skrawania i generuje wysoką temperaturę. Ze względu na tak trudne warunki pracy, konwencjonalne narzędzia z węglków spiekanych bez odpowiedniej ochrony powierzchniowej mogą ulegać przedwczesnemu zużyciu. W celu ograniczenia tego problemu często stosowane są rozwiązania polegające na nanoszeniu cienkich powłok ochronnych metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej.

### Podsumowanie:

W projekcie osiągnięto zamierzony cel. Zoptymalizowano proces frezowania stali nierdzewnej 316L, poprzez opracowanie autorskiej geometrii ostrza oraz dobór powłok ochronnych PVD. Wykazano, że połączenie nowoczesnej geometrii z łamaczem wióra oraz powłoki PVD, pozwala na wielokrotne zwiększenie trwałości narzędzia, redukcję kosztów, oraz wydajność i stabilność realizacji procesów produkcyjnych



## WPŁYW MATERIAŁU ORAZ GEOMETRII SIATKI WYPEŁNIAJĄCEJ NA WŁAŚCIWOŚCI MODELI ODLEWNICZYCH WYKONANYCH METODĄ DRUKU 3D

Autor: **inż. Łukasz Skawiński**

Promotor: **dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz**

Rok akademicki: **2025/2026**

### Streszczenie:

Praca dotyczy analizy wpływu materiału oraz geometrii wypełnienia na właściwości mechaniczne elementów wytwarzanych metodą druku 3D FDM oraz możliwości ich zastosowania jako modeli odlewniczych do wykonywania elementów ramy drona FPV. Badaniom poddano próbki z materiałów PLA, PET-G i ABS przy wypełnieniu 40% i różnych strukturach wewnętrznych. Wyniki wykazały istotne różnice pomiędzy właściwościami mechanicznymi wydruków a danymi katalogowymi filamentów, potwierdzając wpływ geometrii wypełnienia i anizotropii technologii FDM. Najkorzystniejsze właściwości uzyskano dla PET-G z wypełnieniem sześciennym 40%, który wykorzystano do wykonania modelu odlewniczego. Praca potwierdza, że druk 3D FDM stanowi efektywne narzędzie do szybkiego wytwarzania modeli odlewniczych w zastosowaniach prototypowych.

### Słowa kluczowe:

prototypowanie, druk 3D, technologia FDM, PET-G, struktura wypełnienia, modele odlewnicze, właściwości mechaniczne.

### Cel i zakres pracy:

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu rodzaju materiału oraz geometrii siatki wypełniającej na właściwości mechaniczne modeli odlewniczych wykonywanych metodą druku 3D FDM. Celem niniejszej pracy jest wybór materiału do druku 3D oraz geometrii siatki na przykładzie modelu korpusu drona typu FPV quadcopter.

#### Zakres pracy obejmuje :

- analizę technologii druku 3D FDM,
- dobór materiałów polimerowych, dobór siatki wypełniającej,
- zaprojektowanie wariantów geometrii siatki wypełniającej,
- wykonanie wytrzymałościowych próbek badawczych,
- zaprojektowanie modelu odlewniczego ramy drona FPV,
- wykonanie modelu odlewniczego ramy drona FPV.

### Część teoretyczna:

**Druk 3D, a szczególnie technologia FDM, umożliwia wytwarzanie elementów poprzez nakładanie kolejnych warstw materiału, co pozwala tworzyć złożone geometrie niedostępne dla metod tradycyjnych. Jednym z kluczowych parametrów wpływających na właściwości wydruków jest geometria wypełnienia, która decyduje o sztywności, masie i wytrzymałości elementu.**



Filament do wydruku 3D zastosowany do badań

**W modelach odlewniczych często stosuje się materiały takie jak PLA, PET-G i ABS, różniące się odpornością cieplną, sztywnością i podatnością na pękanie. Dobór materiału ma bezpośredni wpływ na stabilność wymiarową oraz trwałość modelu podczas formowania.**

**Technologie przyrostowe pozwalają znacząco skrócić czas przygotowania modeli odlewniczych, eliminując konieczność obróbki mechanicznej. Jednocześnie właściwości mechaniczne wydruków są silnie zależne od parametrów procesu, co prowadzi do charakterystycznej anizotropii elementów drukowanych warstwowo.**

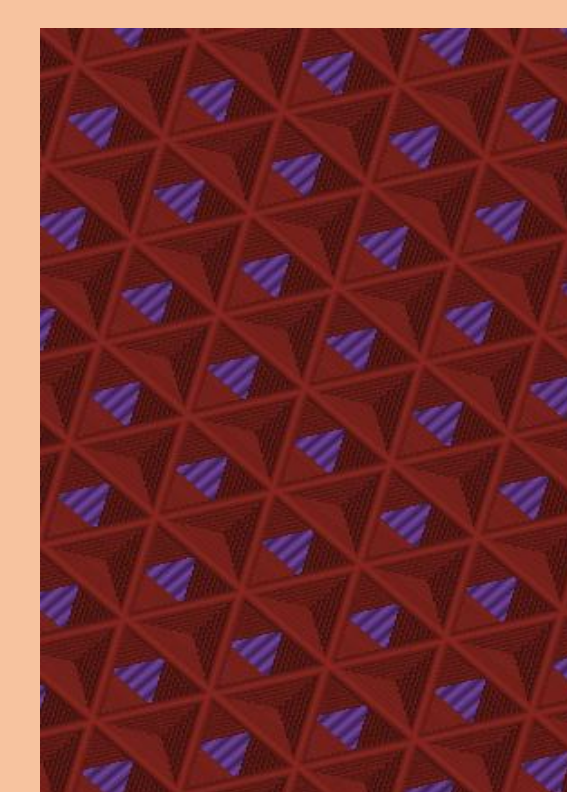
### Część praktyczna:

#### 1. Przygotowanie próbek

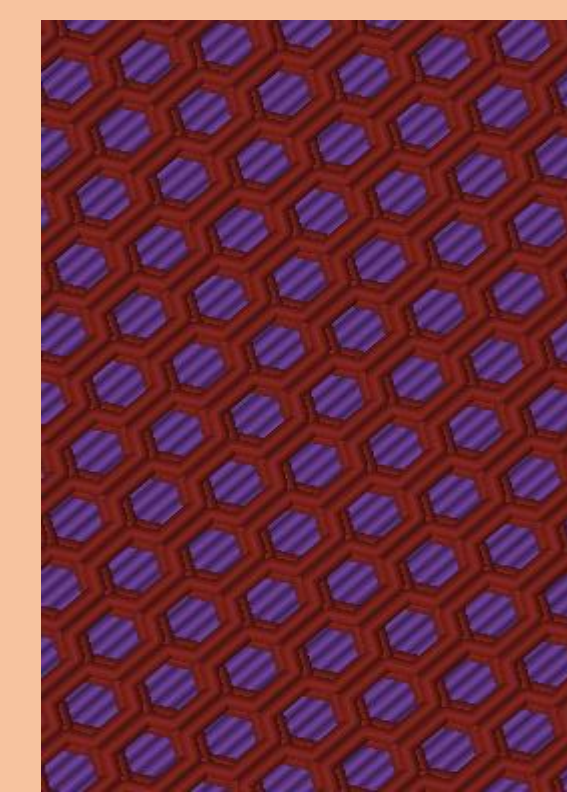
- Wykonano 27 próbek zgodnych z ISO 527-2 Typ 1B, drukowanych metodą FDM z materiałów PLA, PET-G i ABS.
- Zastosowano trzy struktury wypełnienia: gyroid, plaster miodu, cubic (40%).
- Parametry druku utrzymano stałe, aby porównać wyłącznie wpływ materiału i geometrii.



Wypełnienie gyroid



Wypełnienie cubic



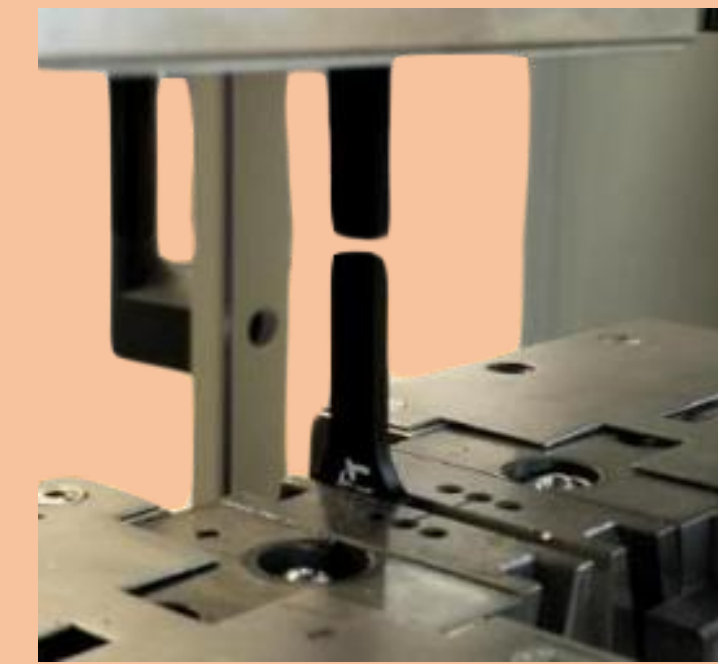
Wypełnienie plaster miodu



Drukarka FDM

#### 2. Badania wytrzymałościowe

Próby rozciągania przeprowadzono na maszynie Zwick/Roell Z100, rejestrując siłę maksymalną, wydłużenie, moduł Younga i wytrzymałość na rozciąganie.



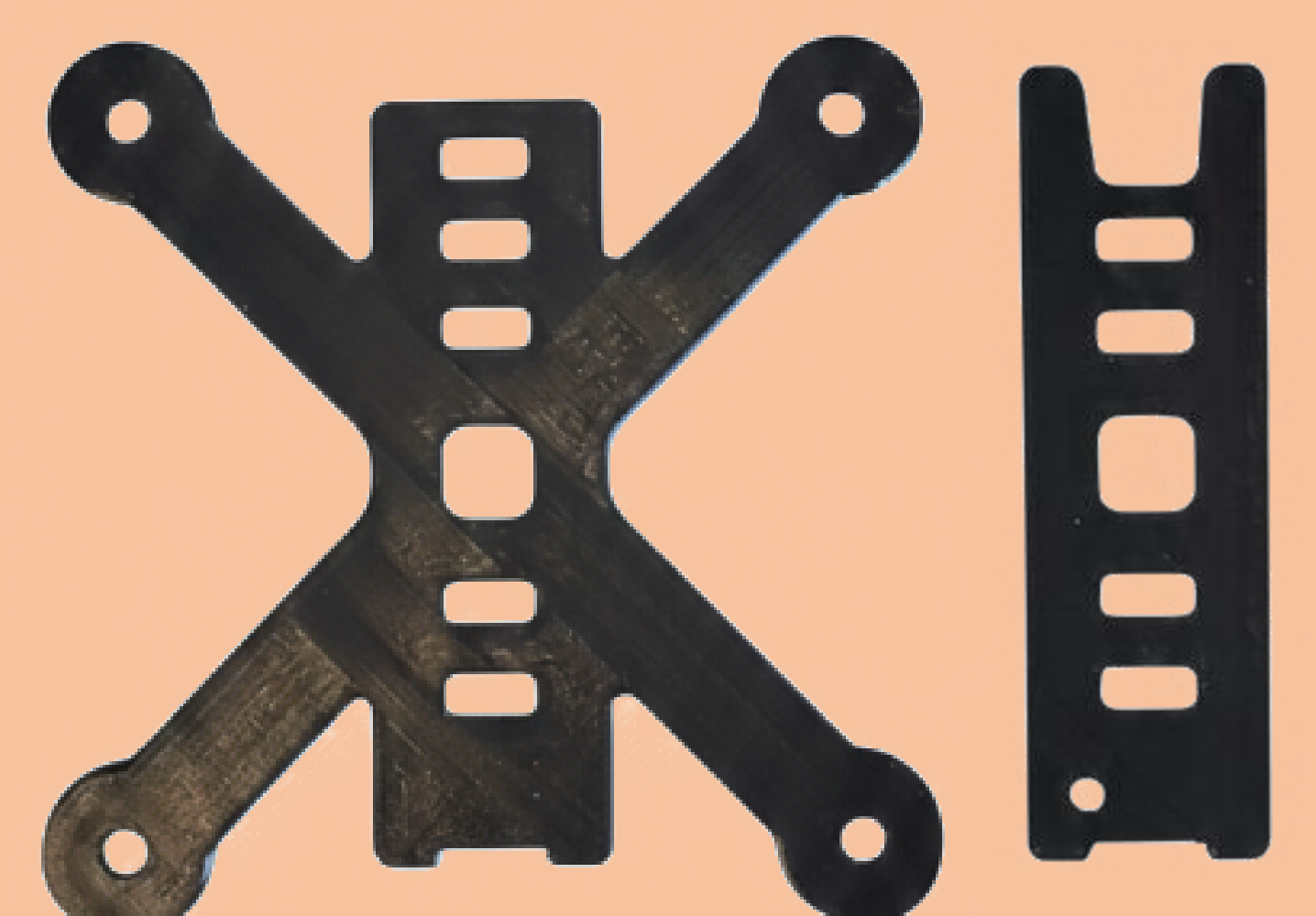
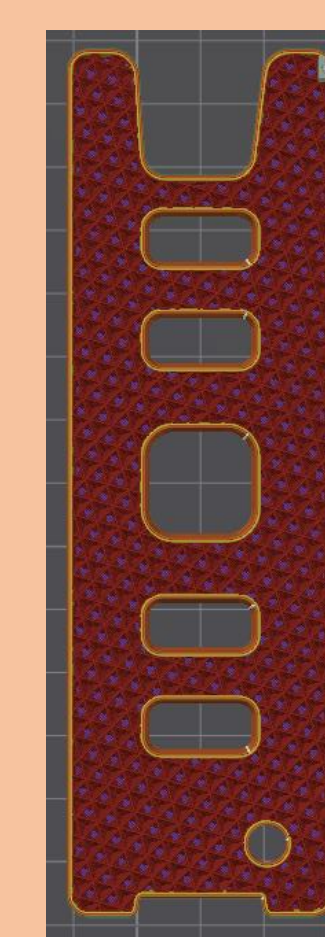
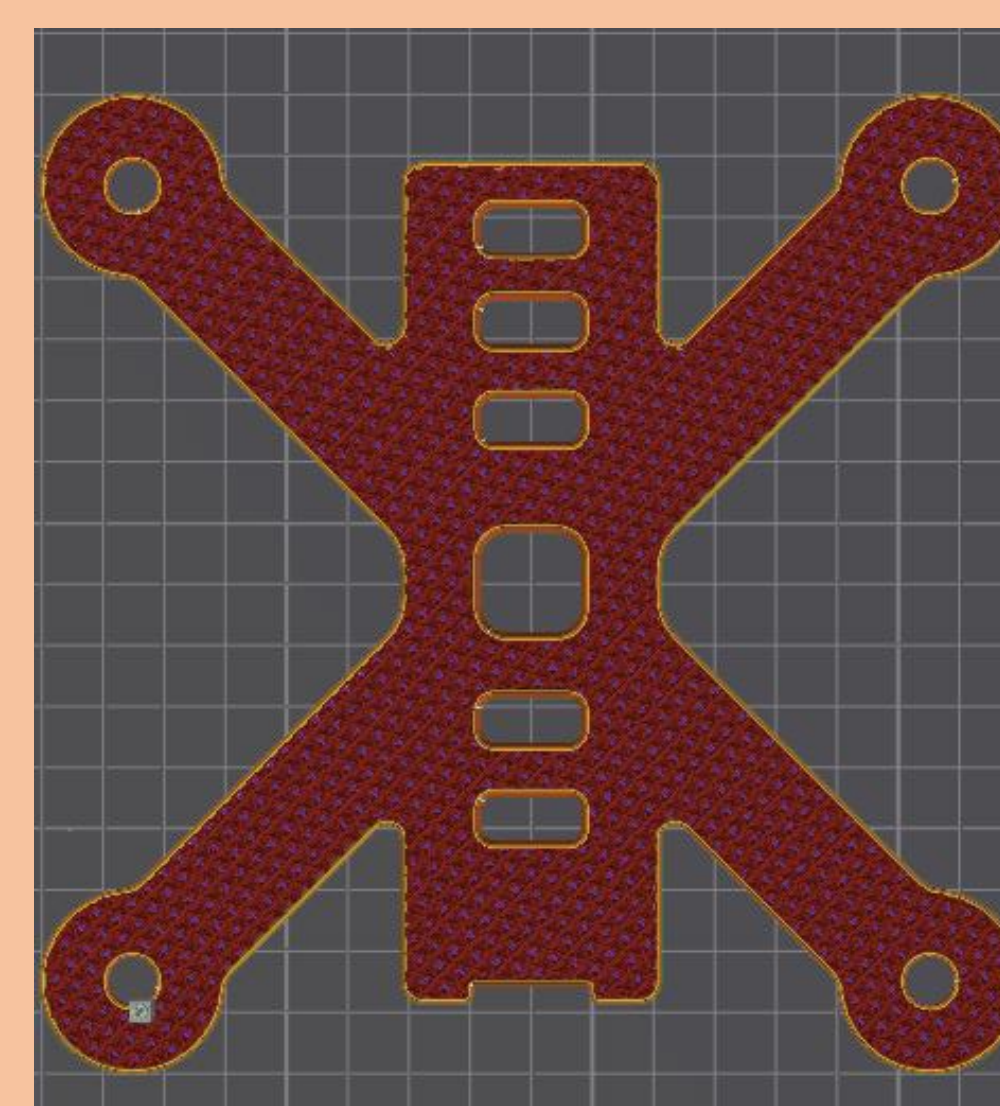
Przykładowe próbki po badaniach wytrzymałościowych

#### 3. Wyniki i obserwacje:

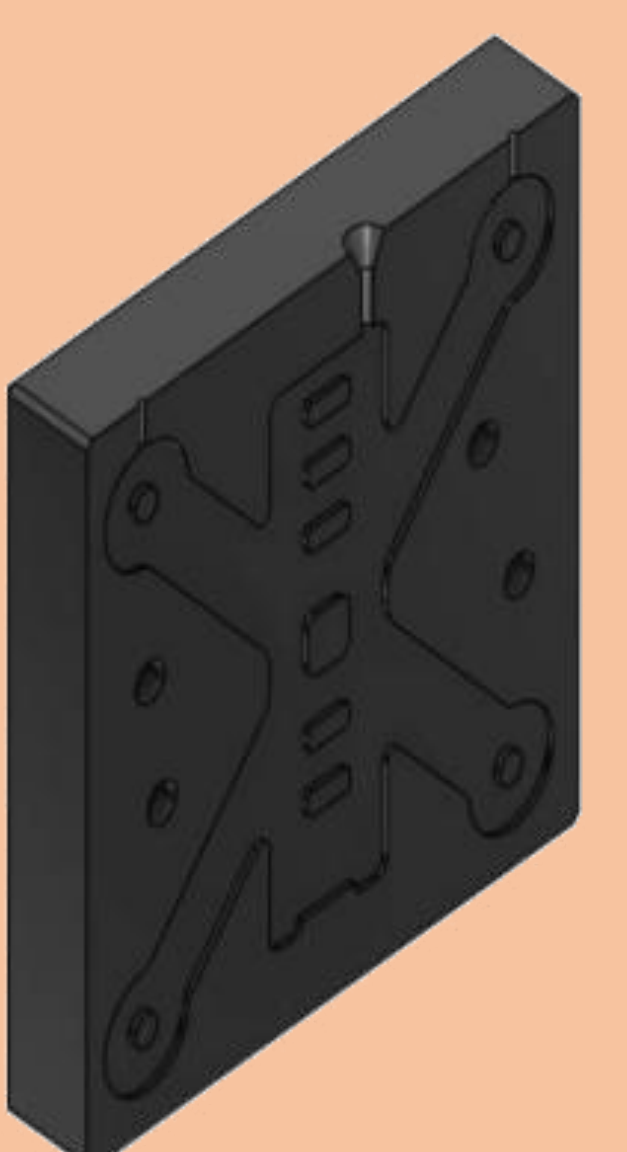
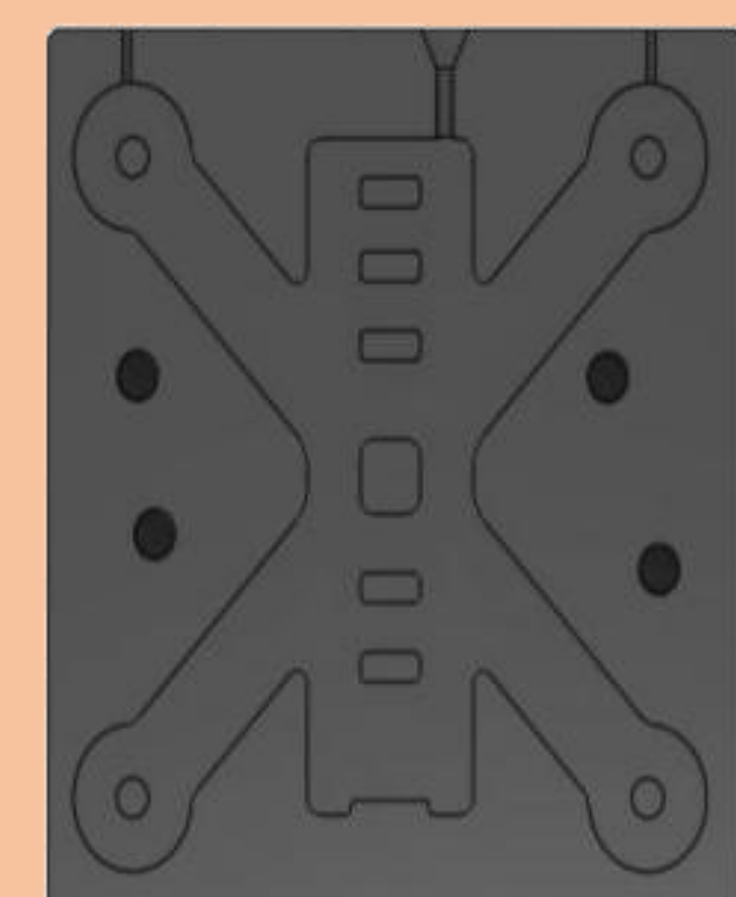
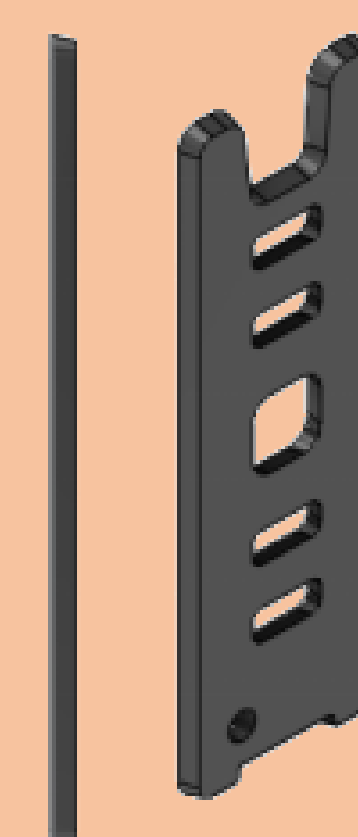
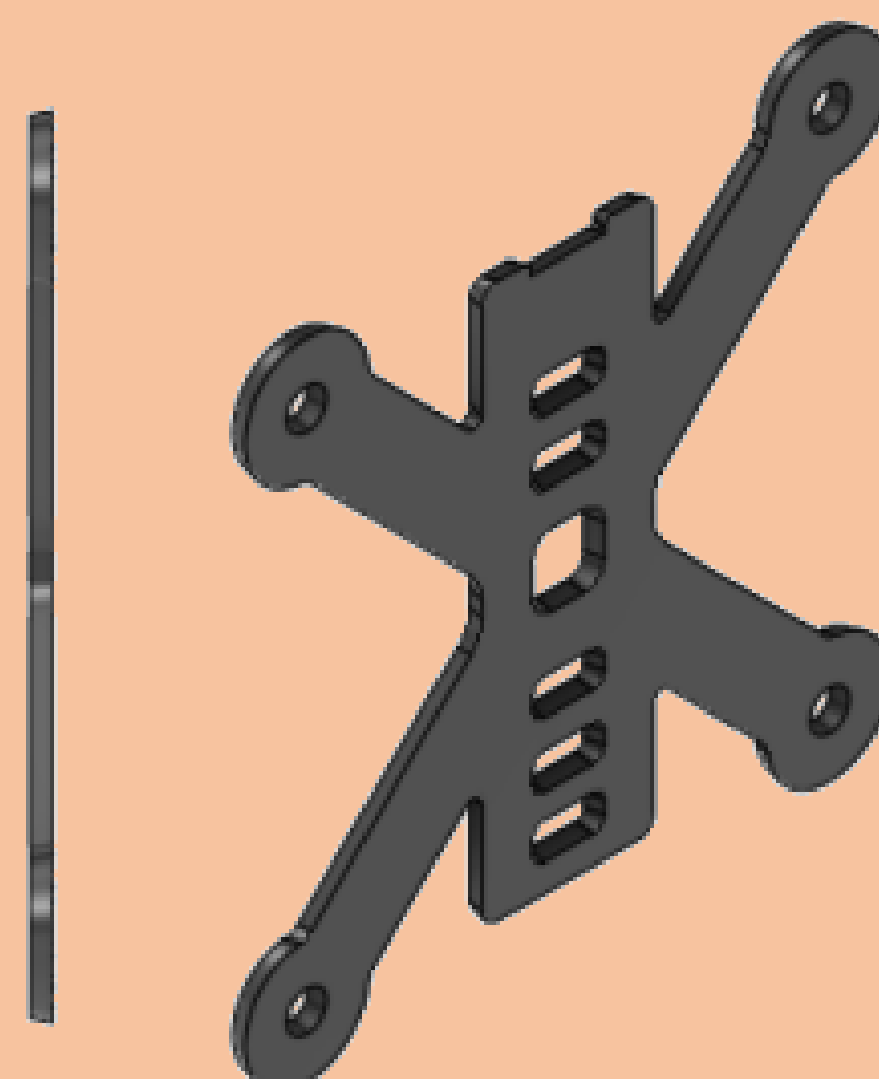
- PET-G osiągnął najlepszy kompromis między sztywnością a elastycznością.
- Wypełnienie sześcienne zapewniło najwyższą stabilność mechaniczną.
- PLA – wysoka sztywność, niska odporność na pękanie.
- ABS – największa podatność na delaminację.
- Wyniki potwierdziły silną anizotropię FDM i odchylenia od danych katalogowych.

#### 4. Model odlewniczy drona FPV

- Na podstawie wyników badań opracowano model odlewniczy korpusu drona FPV, dostosowany do wymagań technologii formowania w masach formierskich:
- Uwzględniono podziały formy, pochylenia i naddatki,
- Przygotowano również koncepcję metalowej formy odlewniczej umożliwiającej produkcję wilekoseryjną.
- Efektem tej części było stworzenie w pełni funkcjonalnego modelu odlewniczego oraz potwierdzenie praktycznej przydatności druku 3D



Opracowane konstrukcje korpusów drona FPV do badań: model CAD, wydruk 3D



Opracowane konstrukcje korpusów drona FPV do badań: model odlewniczy CAD, koncepcja formy metalowej CAD

### Podsumowanie:

- Oceniono wpływ materiału i geometrii wypełnienia na właściwości mechaniczne modeli wydrukowanych metoda FDM.
- Wytypowano optymalną konfigurację do zastosowań odlewniczych.
- Opracowano modele odlewnicze korpusu drona FPV.
- Przygotowano koncepcję formy metalowej do produkcji seryjnej.
- Potwierdzono praktyczną przydatność druku 3D w przygotowaniu modeli odlewniczych.

# Analiza wpływu parametrów skrawania i wysięgu narzędzia na stabilność obróbki przy frezowaniu

## Analysis of the Influence of Cutting Parameters and Tool Overhang on Machining Stability during Milling

Autor: **inż. Michał Smykła**

Kierunek studiów: *mechanika i budowa maszyn*

Promotor: **dr inż. Joanna Zielińska-Szwajka**

Rok akademicki: **2025/2026**

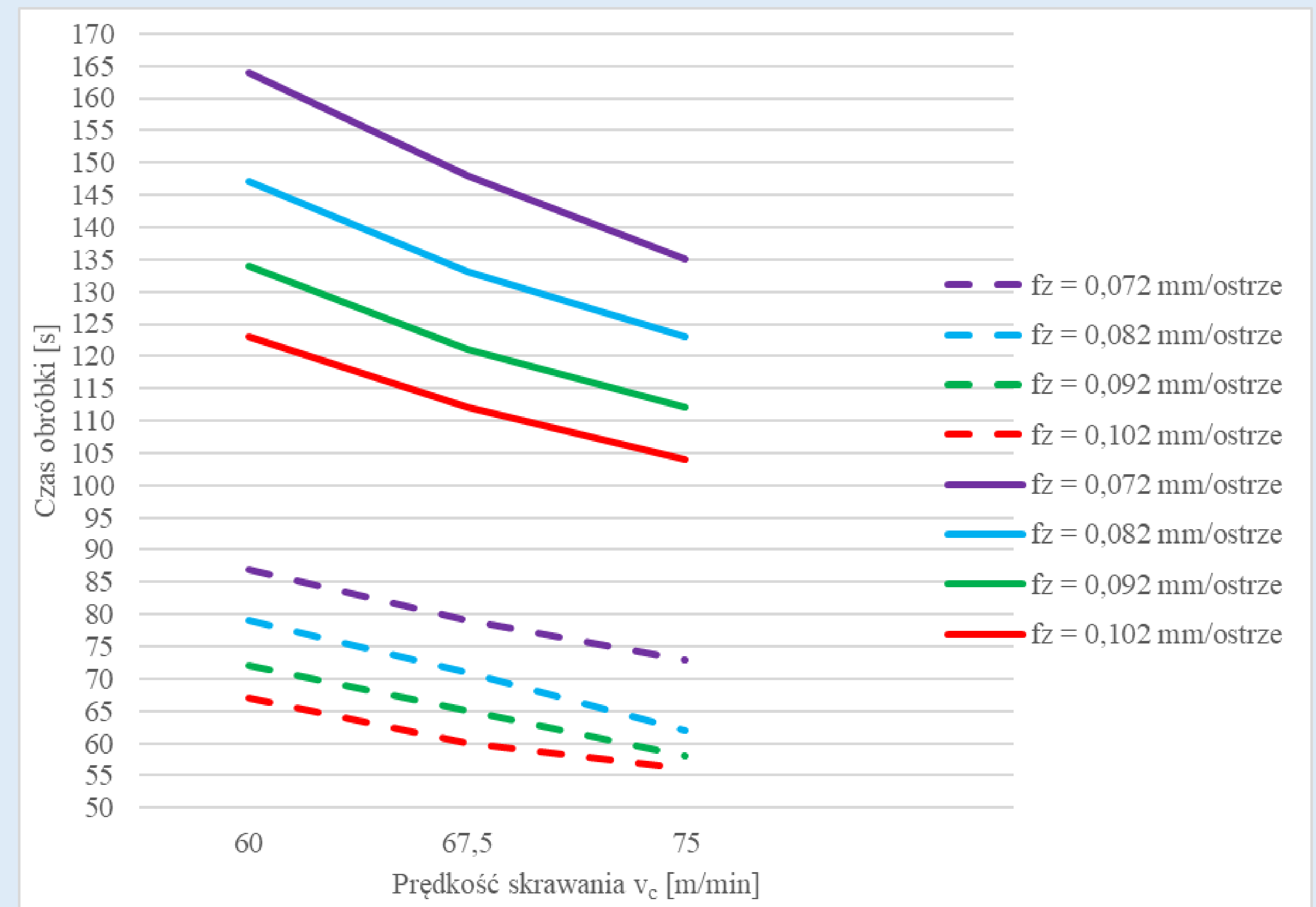
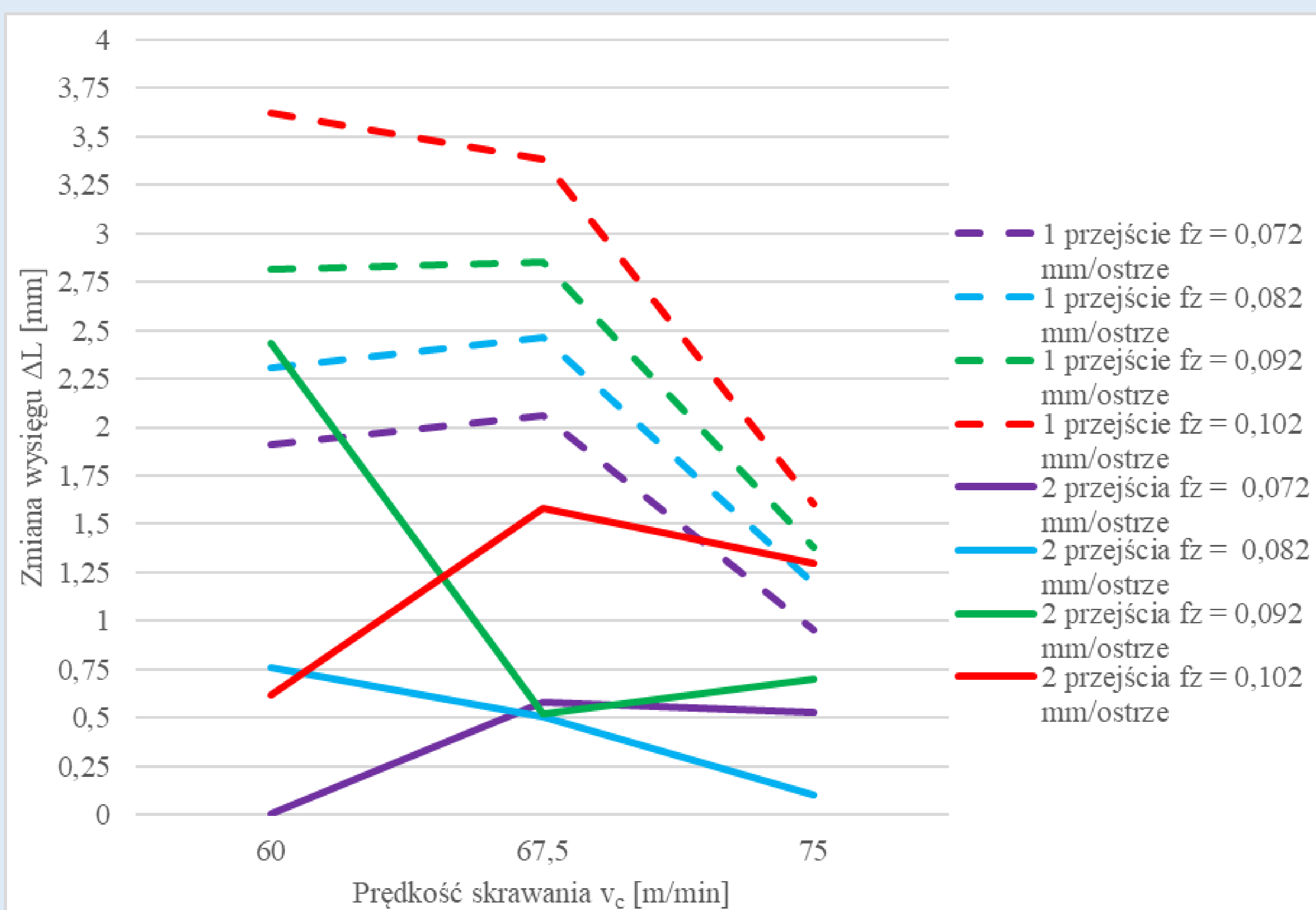
### STRESZCZENIE

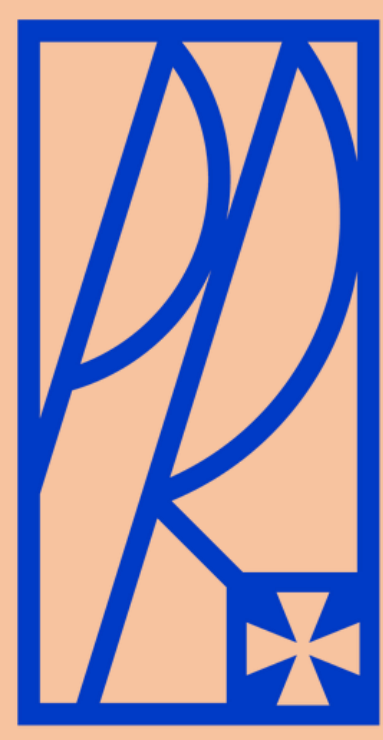
Praca magisterska dotyczy analizy wpływu parametrów skrawania oraz wysięgu narzędzia na stabilność procesu frezowania koła łańcuchowego. Stabilność obróbki ma kluczowe znaczenie dla jakości powierzchni, dokładności geometrycznej oraz efektywności procesu wytwarzania elementów maszynowych realizowanych na obrabiarkach CNC. Szczególnie istotnym czynnikiem jest wysięg narzędzia, którego zwiększenie może prowadzić do wzrostu drgań, pogorszenia jakości obróbki oraz skrócenia trwałości narzędzia. W części teoretycznej przedstawiono przegląd literatury dotyczącej konstrukcji i zastosowania kół łańcuchowych, materiałów wykorzystywanych do ich produkcji oraz technologii obróbki skrawaniem CNC z wykorzystaniem systemów CAD/CAM. Część badawcza obejmuje opracowanie procesu technologicznego wykonania koła łańcuchowego oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych, których celem była ocena wpływu parametrów skrawania na zmianę wysięgu narzędzia i czas obróbki. Uzyskane wyniki poddano analizie, co umożliwiło sformułowanie wniosków dotyczących optymalizacji procesu frezowania i poprawy jego stabilności.

### ABSTRACT

This master's thesis investigates the influence of cutting parameters and tool overhang on the stability of the milling process of a chain sprocket. Machining stability is a key factor affecting surface quality, geometric accuracy, and overall efficiency of CNC manufacturing processes. In particular, an increased tool overhang may lead to higher vibration levels, reduced machining quality, and accelerated tool wear.

The theoretical part of the thesis presents a literature review on the design and application of chain sprockets, materials used for their manufacturing, and CNC machining technologies supported by CAD/CAM systems. The experimental part includes the development of a complete technological process for manufacturing a chain sprocket and experimental investigations aimed at evaluating the effect of cutting parameters on tool overhang variation and machining time. The obtained results were analyzed, allowing conclusions to be drawn regarding the optimization of milling parameters and improvement of process stability.





# Wpływ obróbki mechanicznej na właściwości użytkowe odlewów ze stopów aluminium

Autor: inż. Tomasz Tudryn

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Trytek, prof. PRz

Rok akademicki: 2025/2026

## Streszczenie:

Celem pracy było porównanie czterech wariantów programów obróbczych stosowanych na tokarkach CNC podczas obróbki felg wykonanych w technologii flow-formingu. Analizowano wpływ kierunku obróbki oraz zależności między głowicami na czas wykonania detalu oraz wartości niewyważenia statycznego i dynamicznego. Dla każdego wariantu wykonano serię próbek, które poddano pomiarom czasu, badaniom niewyważenia, twardości oraz analizie rentgenowskiej. Najlepsze rezultaty uzyskano dla wariantu, w którym zmieniono kolejność zabiegów oraz zastosowano jednoczesną obróbkę ścianek zewnętrznych i wewnętrznych.

## Słowa kluczowe:

felga, niewyważenie, program CNC, flow-forming, obróbka skrawaniem

## Cel pracy:

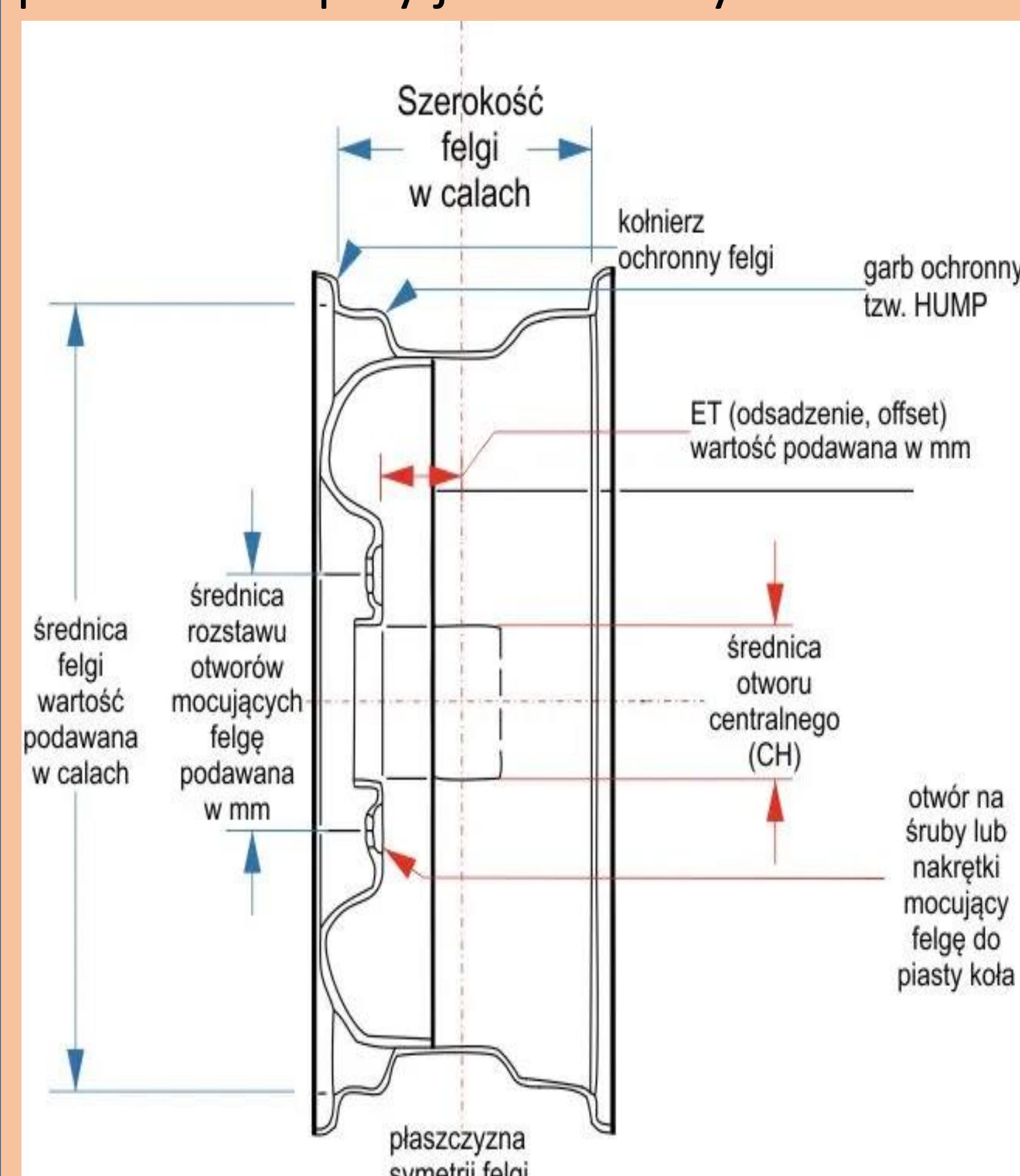
Celem pracy jest określenie optymalnego kierunku obróbki jak również uzależnień między dwoma niezależnymi suportami narzędziowymi tokarki w celu otrzymania najniższych wartości niewyważenia dynamicznego oraz statycznego, a co za tym idzie zmniejszenie ilości felg niezgodnych.

## Zakres pracy:

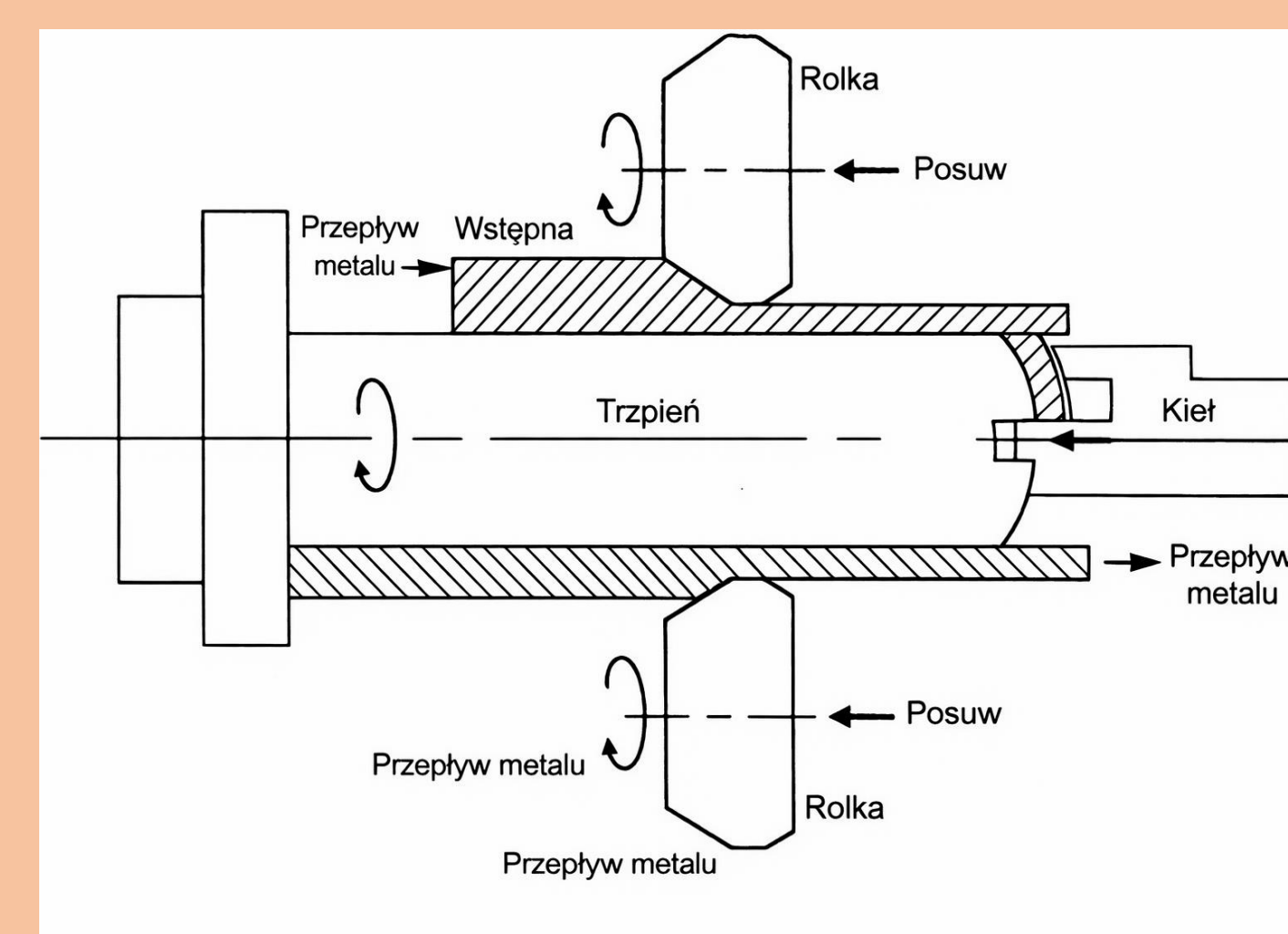
- Opracowanie 4 wariantów programów CNC.
- Wykonanie próbek i pomiar czasu obróbki.
- Badania niewyważenia statycznego i dynamicznego.
- Badania twardości i analiza rentgenowska.
- Pomiar czasu potrzebnego na obróbkę.

## Część teoretyczna:

Flow-forming to kluczowy etap przygotowania półfabrykatów felg, który bezpośrednio wpływa na ich późniejszą obróbkę mechaniczną oraz właściwości użytkowe. W praktyce proces ten polega na plastycznym kształtowaniu obręczy poprzez docisk obracających się rolek do półfabrykatu osadzonego na trzpieniu. Materiał jest rozciągany wzdłużnie, a jego ścianki ulegają znacznemu pocienieniu przy jednoczesnym wzroście wytrzymałości.



Budowa felgi ze stopów aluminium



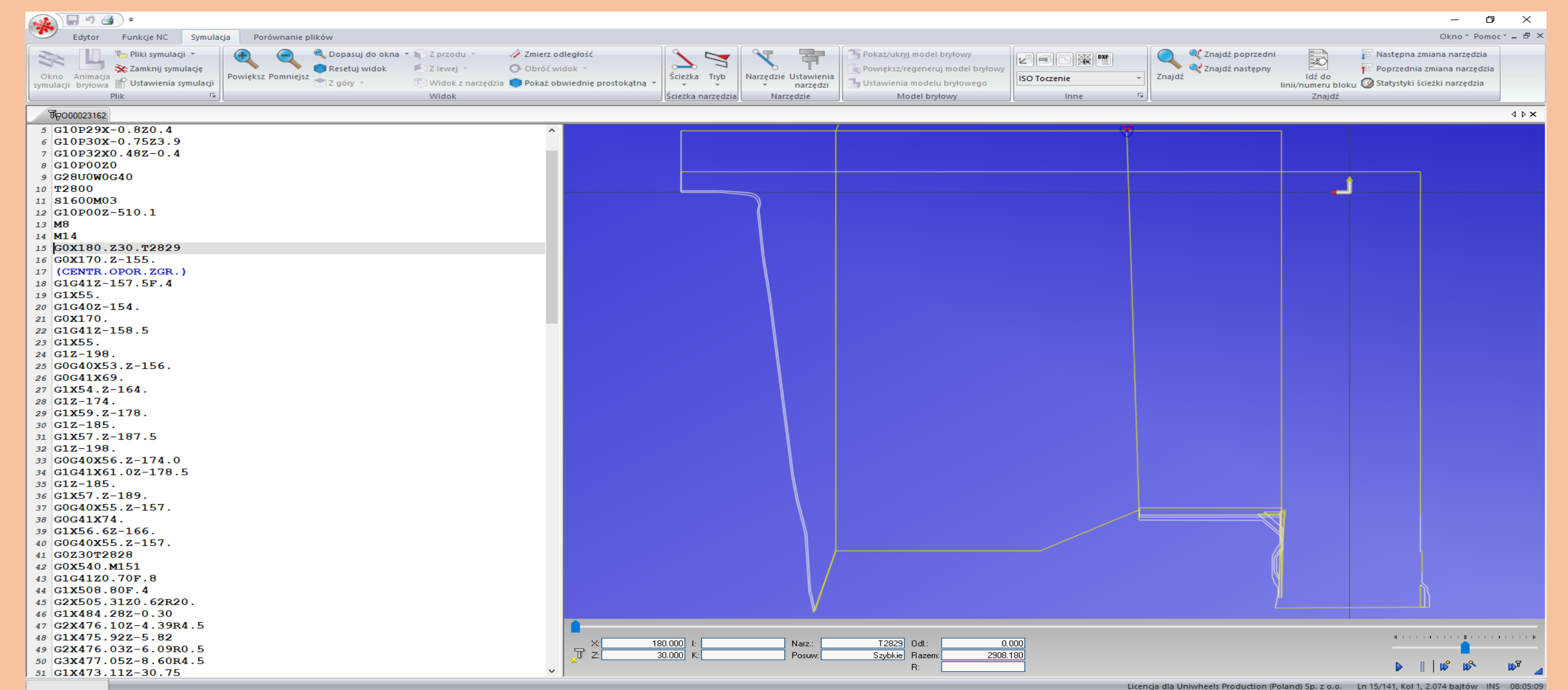
Schemat procesu flow-formingu felgi



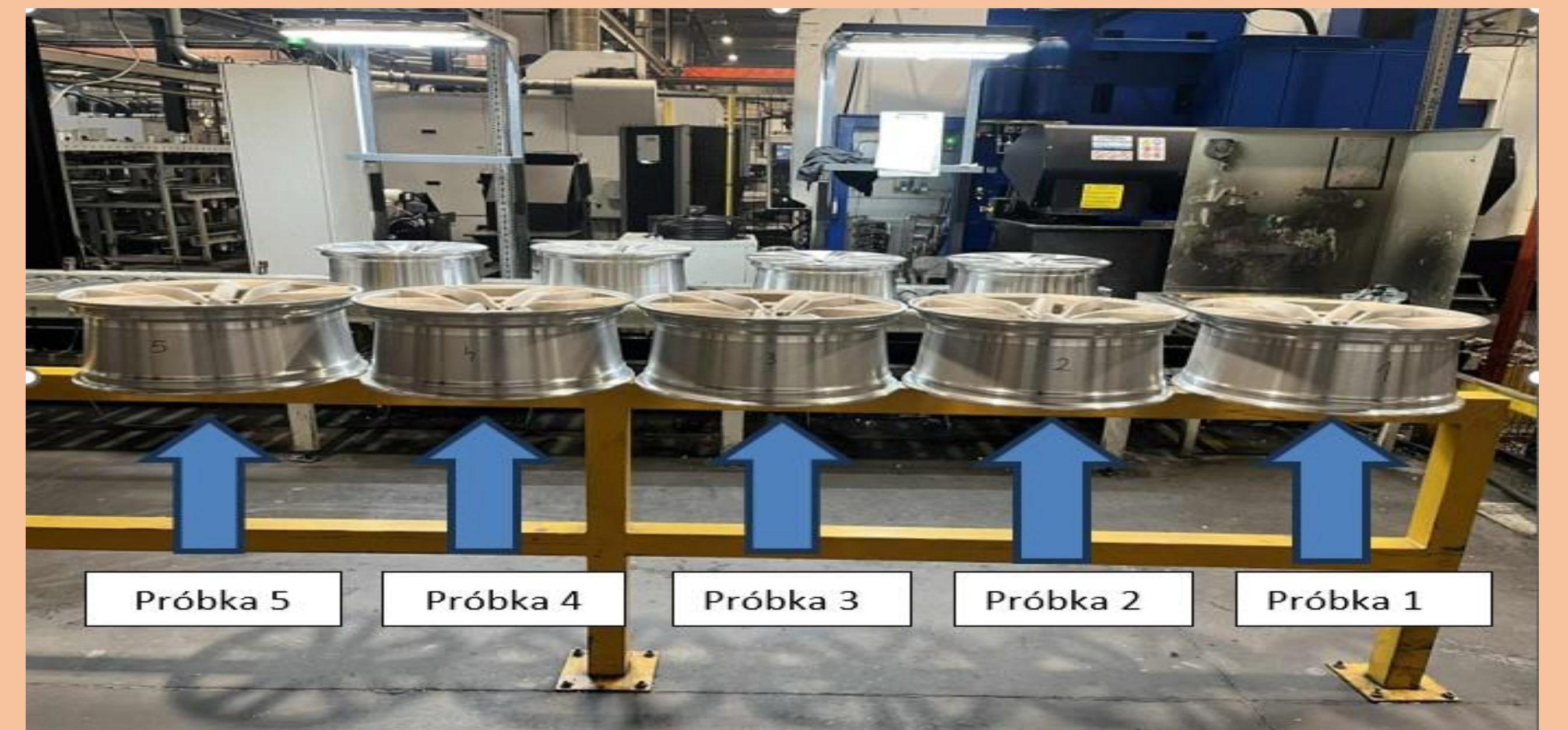
Widok procesu flow-formingu felgi

## Część praktyczna:

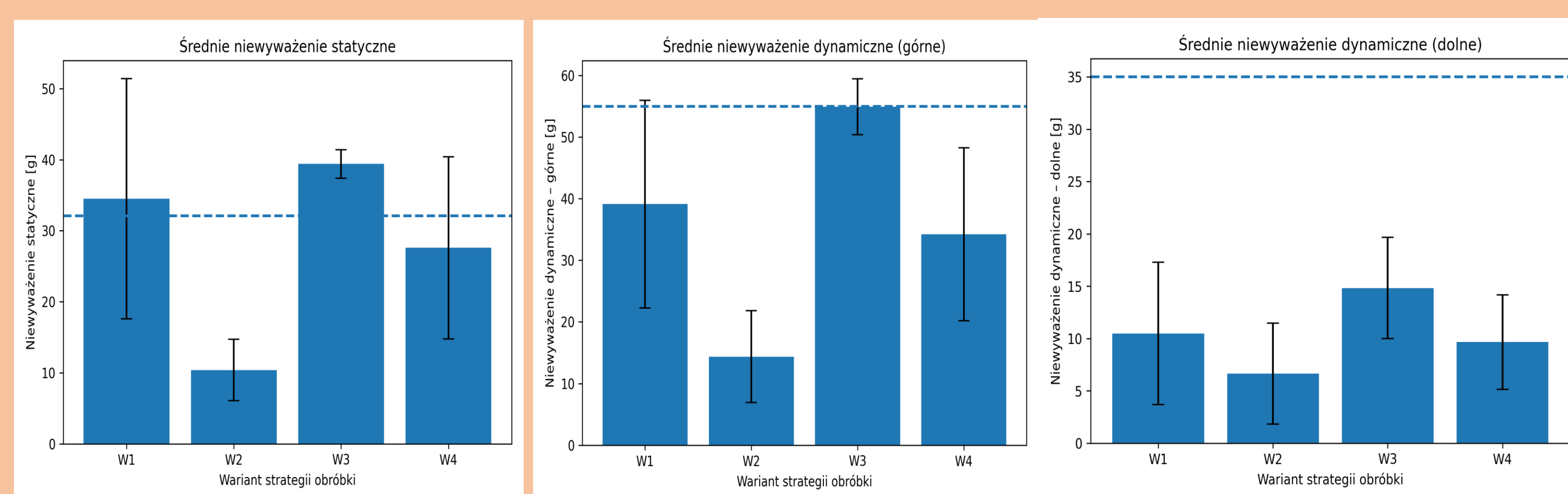
1. Tworzenie programu obróbczego w 4 wariantach na podstawie rysunku technicznego przy pomocy oprogramowania wspomagającego CIMCO.



2. Wykonanie 20 próbek. Próbki zostały wykonane na celi automatycznej w której skład wchodziły 2 tokarki oraz frezarka a robot kuka był odpowiedzialny za transport między maszynami.



3. Pomiar niewyważenia pokazał że zastosowanie wariantu 2 programu gdzie ścianki zewnętrzne oraz wewnętrzne obrabiane były jednocześnie daje najlepsze wyniki niewyważenia dynamicznego oraz statycznego.



4. W celu weryfikacji czy najkorzystniejszy wariant programu może być wykorzystany w produkcji masowej dokonano pomiaru twardości próbki oraz bada} rentgenowskich.



## Podsumowanie:

Utworzono nowy program na felgę wykonaną w technologii flow-formingu, Czas potrzebny na wykonanie 1 sztuki skrócił się o 29 s, co spowoduje zwiększenie ilości obrobionych detali na jednej celi produkcyjnej. Wartości niewyważenia okazały się być korzystniejsze niż w przypadku używania programu wykonanego w sposób standardowy.

# Projekt i wykonanie analizatora silników elektrycznych prądu stałego do predykcji stanów przedawaryjnych w czasie rzeczywistym

Autor: **inż. Andrzej Ulrych**

Promotor: **dr Leszek Klich**

Rok akademicki: **2025/2026**

## Streszczenie:

W ramach pracy zaprojektowano autorskie stanowisko do badania silników elektrycznych oparte na mikrokontrolerze wraz z oprogramowaniem. Przeprowadzono badania podczas pracy silnika elektrycznego w trybach: bez obciążenia, z obciążeniem, z uszkodzonym łożyskiem, z uszkodzonym wałem oraz podczas braku napędu.

## Słowa kluczowe:

predykcja, utrzymanie ruchu, silniki elektryczne, mikrokontroler, diagnostyka, IoT, przemysł 4.0.

## Cel i zakres pracy:

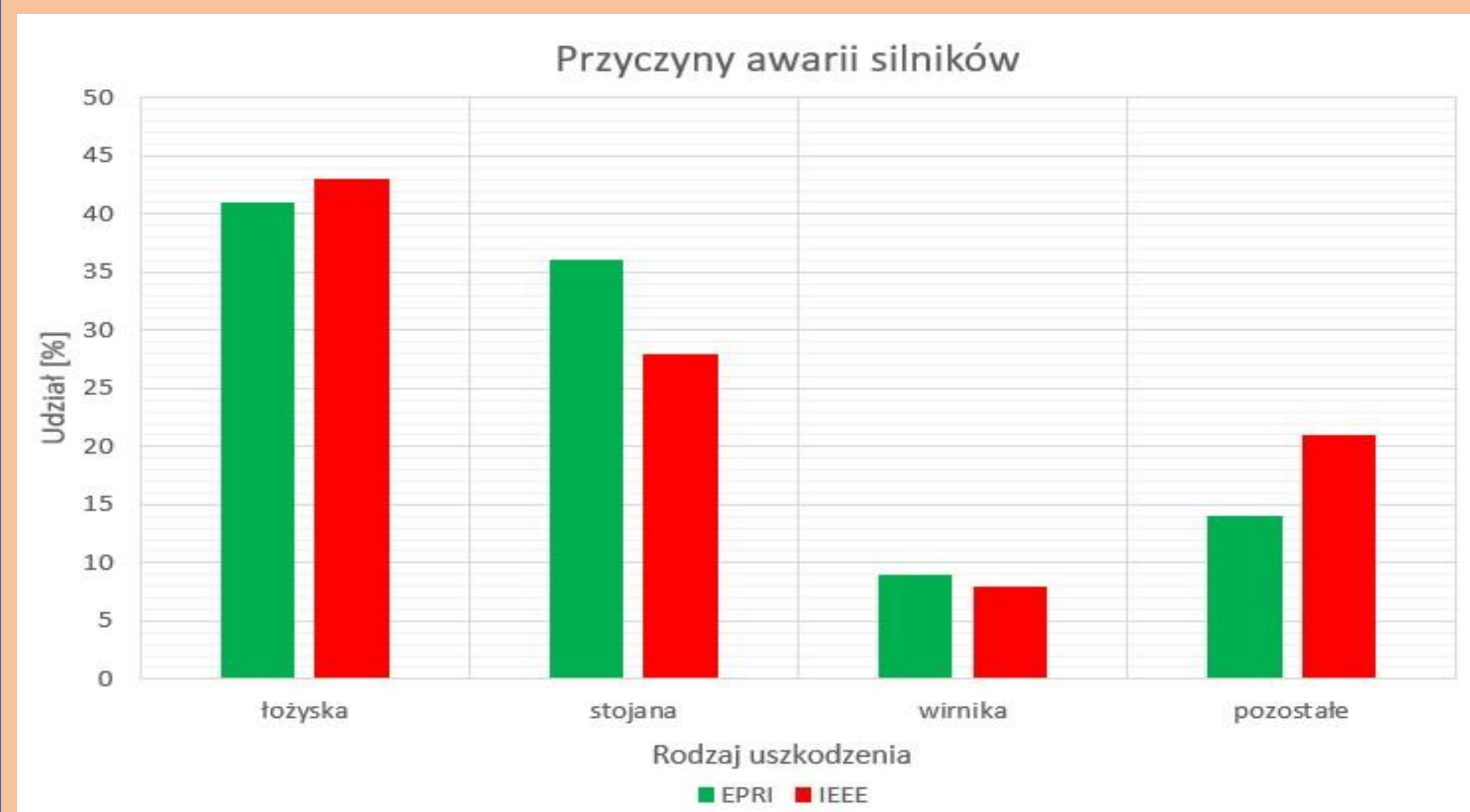
Celem pracy było wykonanie urządzenia do badań silników elektrycznych prądu stałego w czasie ich pracy. Dodatkowo zaprojektowano i zaprogramowano oprogramowanie do analizy i predykcji awarii. Projekt został opracowany z myślą o zastosowaniach dydaktycznych, zaś w przyszłości do zastosowań przemysłowych.

Zakres badań obejmował:

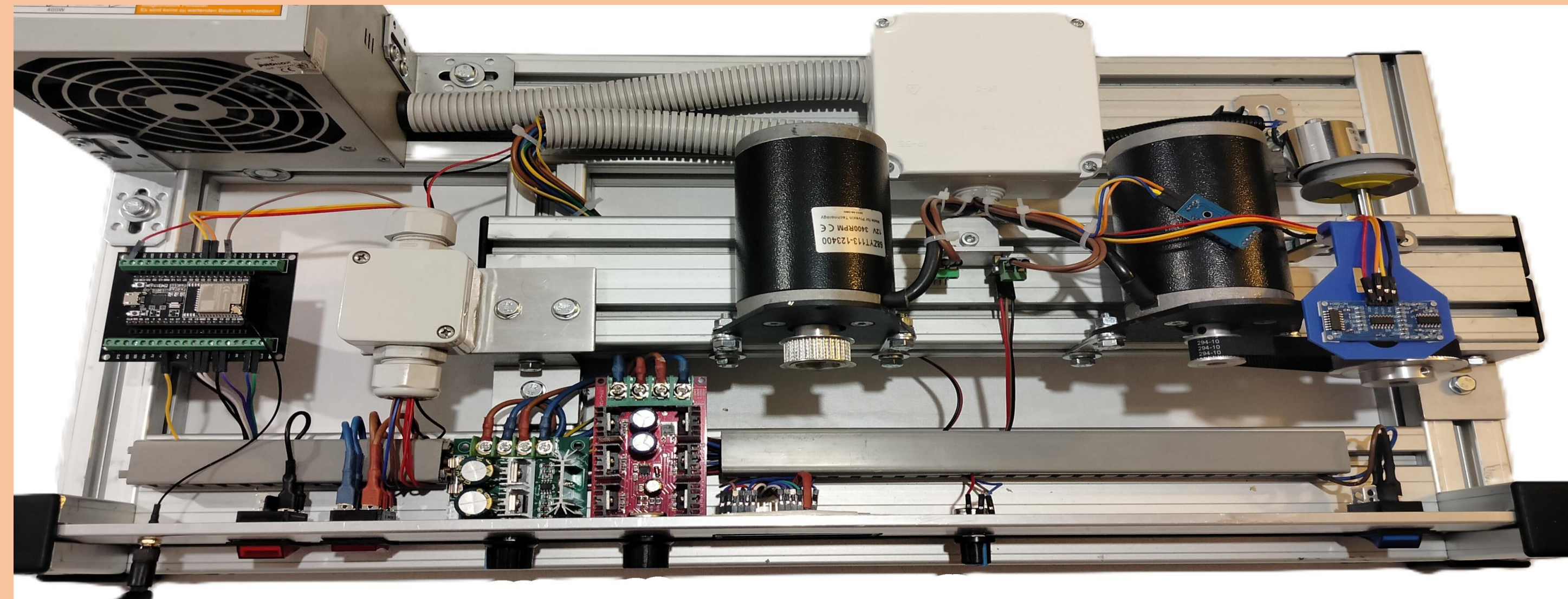
- Budowę i testowanie komponentów analizatora silników
- Opracowanie niezbędnego oprogramowania (firmware, Google Sheets i Adafruit IO).
- Przeprowadzenie badań diagnostycznych wybranego silnika

## Część teoretyczna:

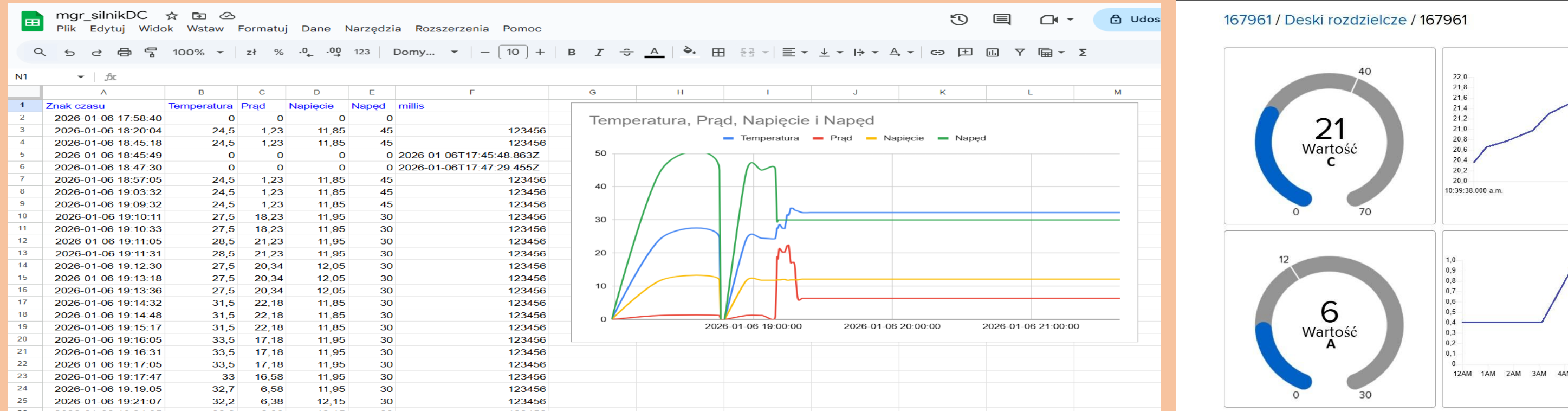
Według wielu źródeł główną przyczyną awarii silników są uszkodzenia łożysk. W tym celu mierzy się różne wielkości fizyczne, takie jak temperatura, wibracje, zjawiska akustyczne, strumień magnetyczny oraz prąd stojana.



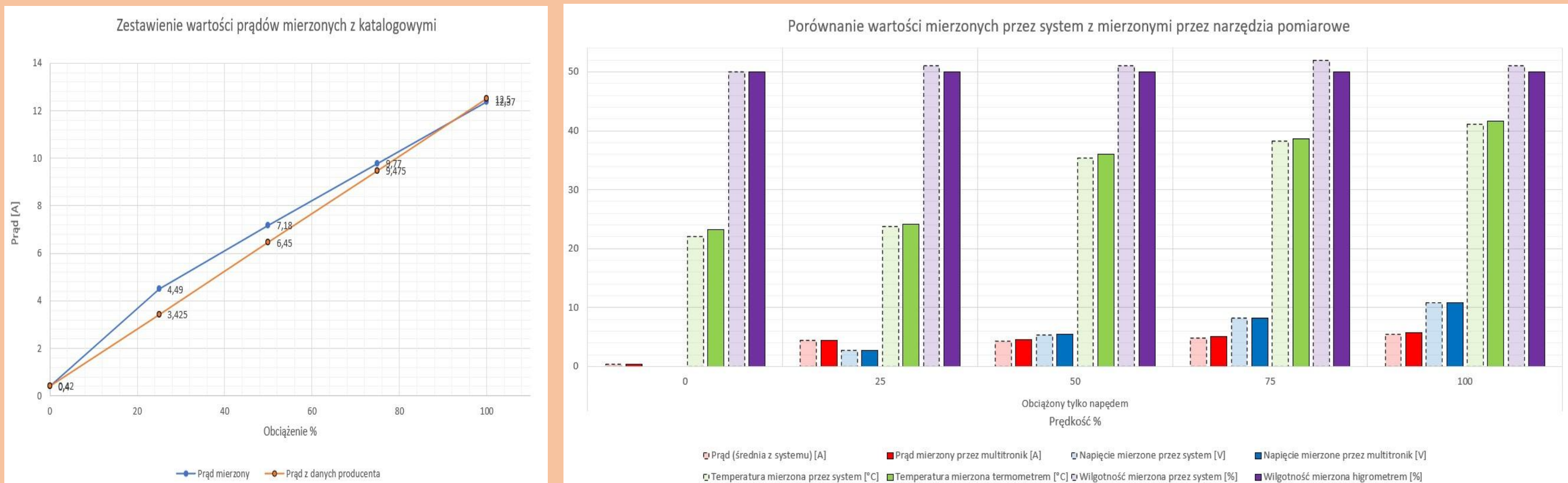
## Część praktyczna:



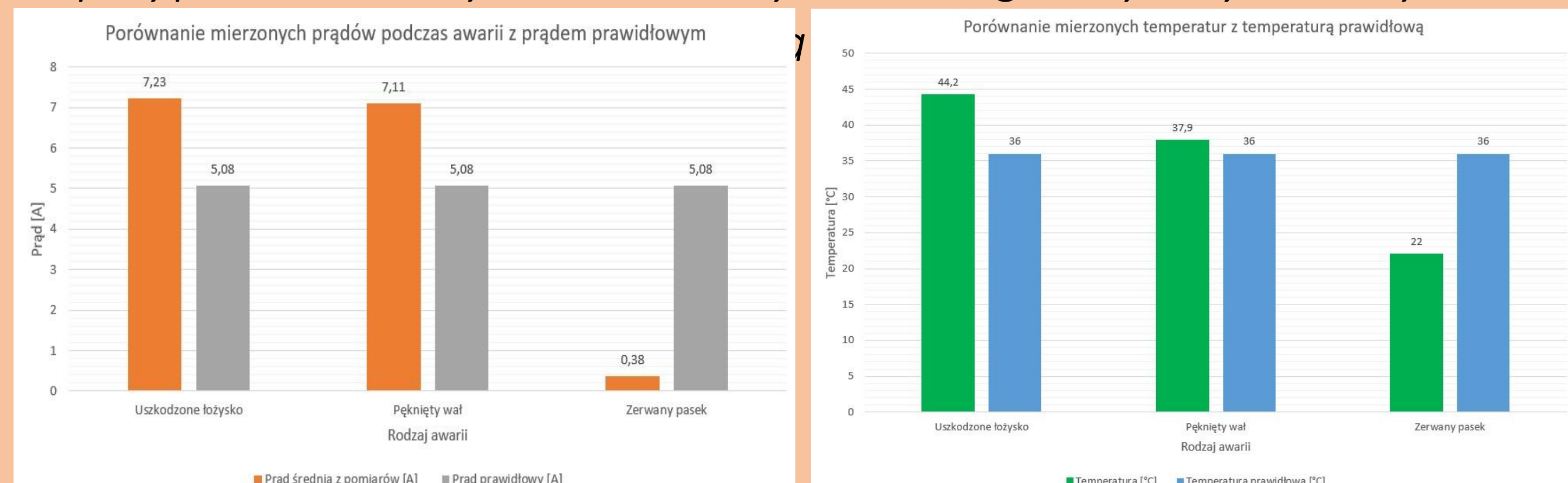
Analizator zbiera dane z pracującego silnika, a dzięki Google Sheets i Adafruit IO utrzymanie ruchu może wykrywać anomalie i wcześniej planować serwis, eliminując kosztowne p



Cały system poprawnie reaguje na zmiany parametrów pracy



W przypadku analizy uszkodzeń system diagnostyczny dokonywał



## Podsumowanie:

Zaprojektowany i zbudowany analizator silników elektrycznych spełnia dobrze swoją rolę, monitorując na bieżąco dane z pracującego silnika. Właściwie przeprowadzona diagnostyka online, bazująca na analizie prądów, napięcia, wibracji i temperatury, pozwala na wczesne wykrycie defektów i zaplanowanie konserwacji profilaktycznej. W konsekwencji pozwala to uniknąć niezaplanowanych i drogich przestoju.

## PARTNERZY KONKURSU



euro-park  
**wistosan**

Tarnobrzaska Specjalna  
Strefa Ekonomiczna  
Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.

**35** lat  
**arp**

Agencja  
Rozwoju  
Przemysłu  
S.A.