

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

## Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)

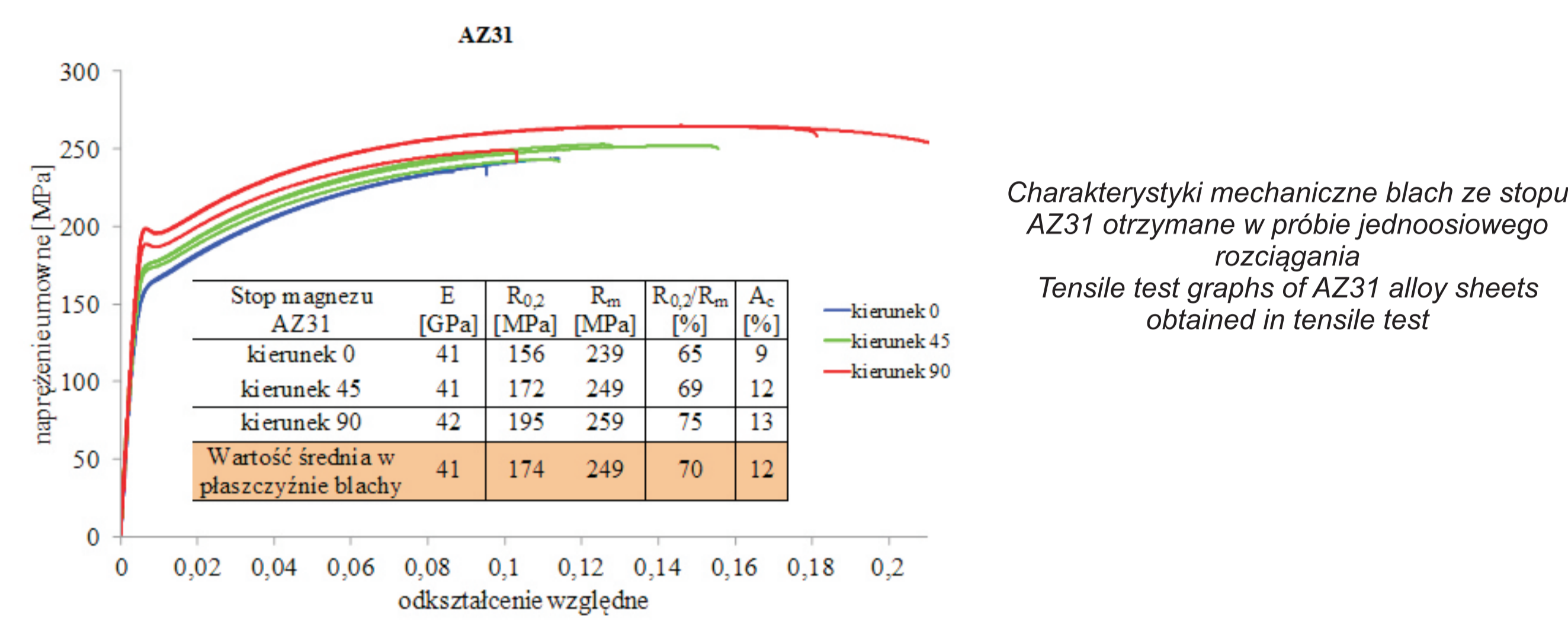
### Plastic forming of magnesium alloys (precision forging, stamping, extrusion and the like)

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

#### Wyniki badań Results

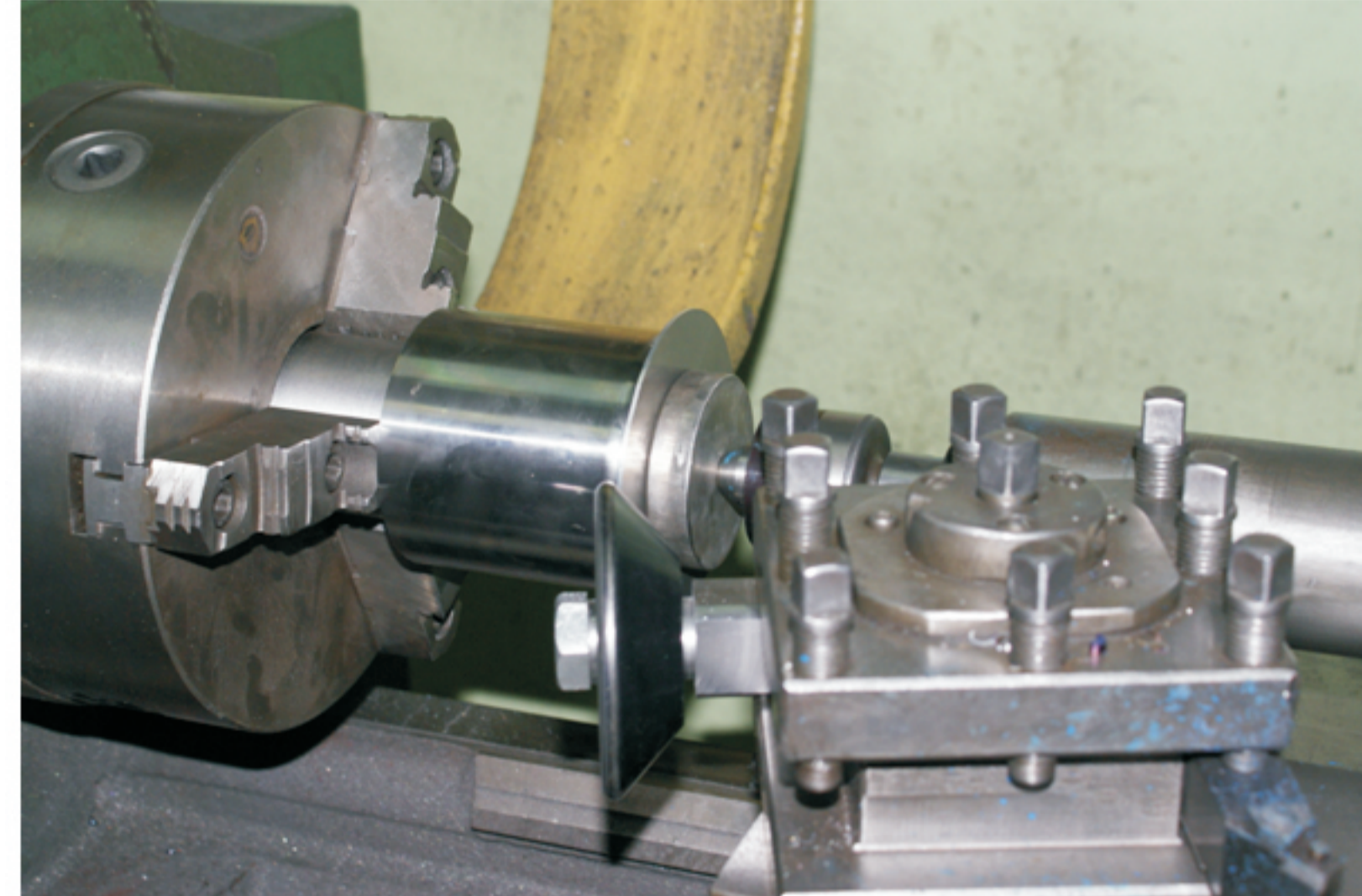
##### Wyoblanie blach ze stopu magnezu AZ31 Sheet metal spinning of AZ31 magnesium alloy

Proces wyoblania przeprowadzono na tokarce konwencjonalnej. Stosowano wsad w postaci krążków blachy o grubości 1 mm i trzech różnych średnicach: 120, 130 i 140 mm. Wzornik zamocowany we wrzecionie miał kształt cylindra o średnicy 100 mm i promieniu zaokrąglenia krawędzi dno - ścianka boczna  $r = 10$  mm. Prędkość obrotową wrzecioną zmieniano w granicach 100 - 500 obr/min. Ze względu na niskie właściwości plastyczne stopów magnezu w temperaturach otoczenia, proces wyoblania przeprowadzono w temperaturze pokojowej oraz w temperaturach podwyższonych uzyskiwanych przez podgrzewanie krążka blachy palnikiem benzynowym lub palnikiem acetylenowo-tlenowym. Temperaturę podczas procesu kontrolowano kamerą termowizyjną.

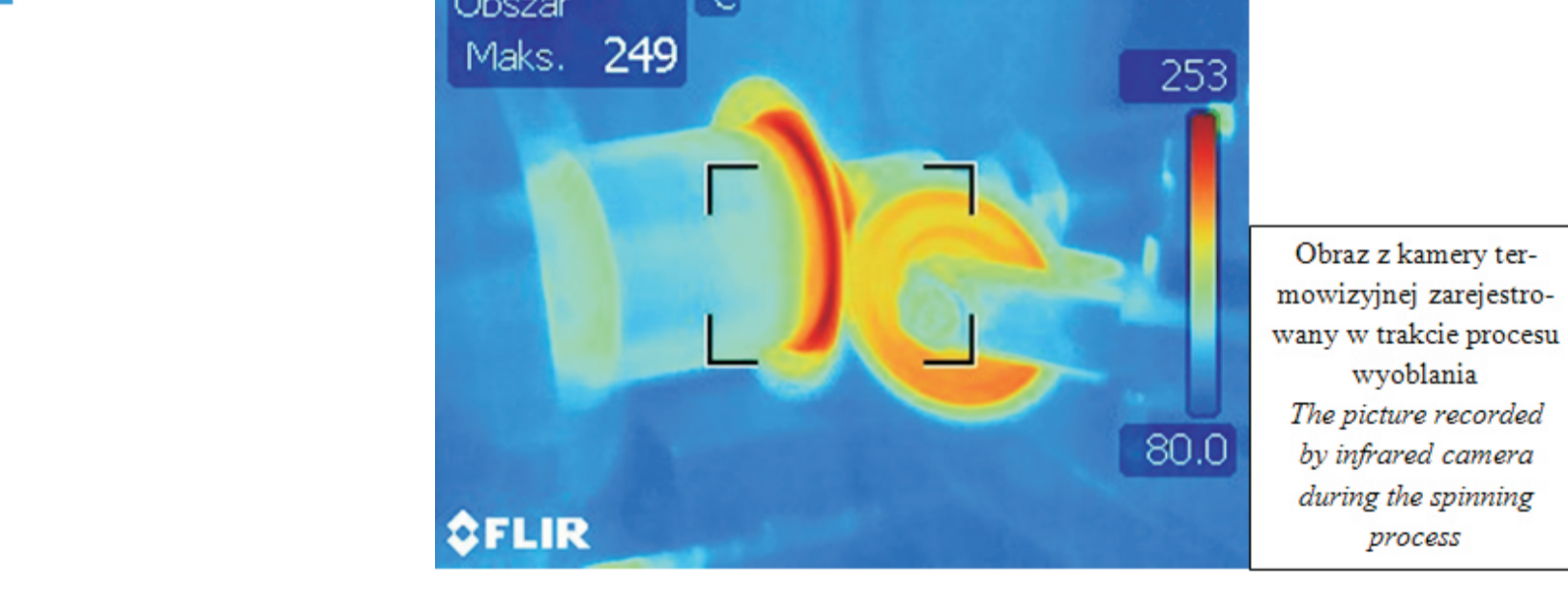
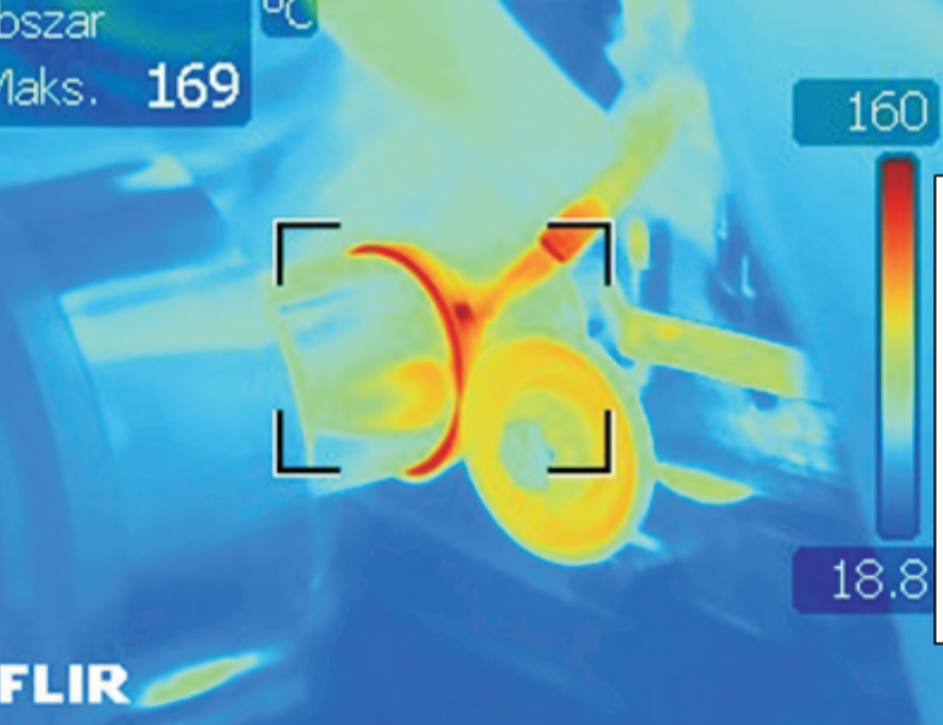
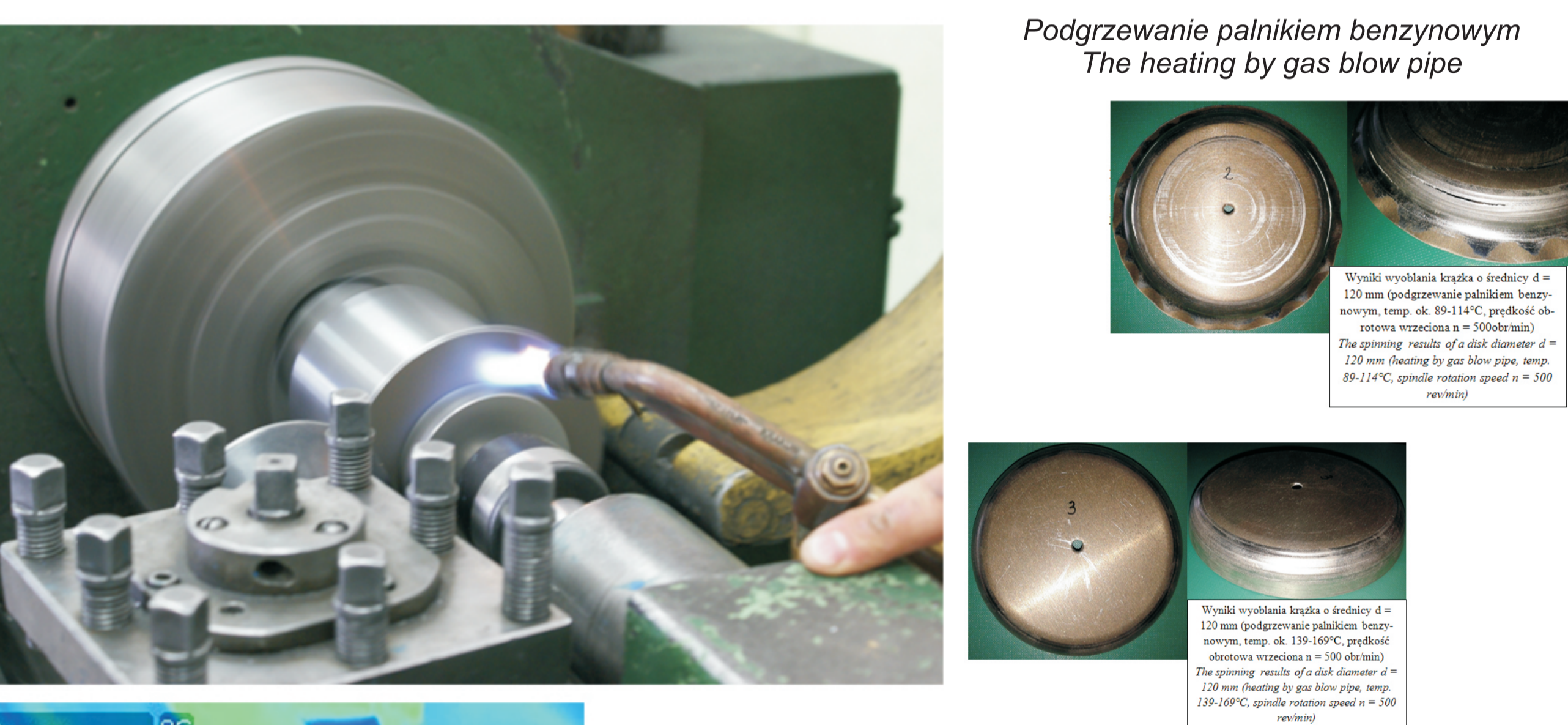


Charakterystyki mechaniczne blach ze stopu AZ31 otrzymane w próbie jednoosiowego rozciągania  
Tensile test graphs of AZ31 alloy sheets obtained in tensile test

##### Stanowisko do wyoblania Set-up of sheet metal spinning



##### Podgrzewanie palnikiem benzynowym The heating by gas blow pipe



#### Wnioski Conclusions

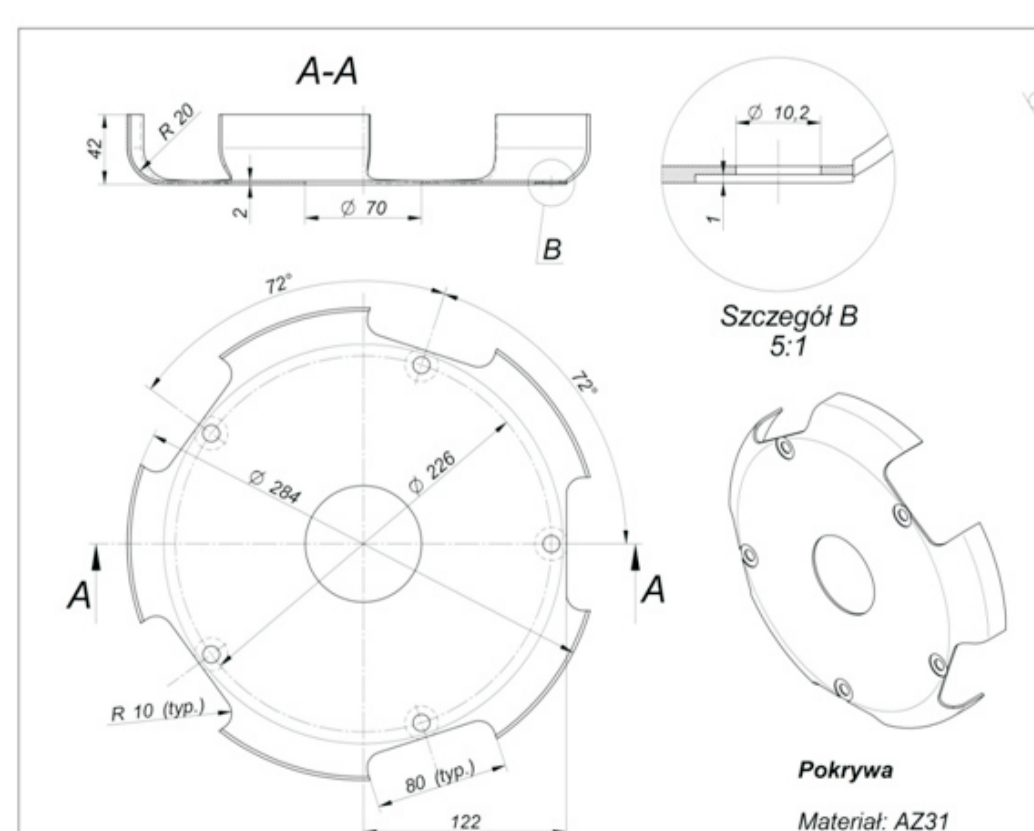
Wyoblanie blach ze stopu magnezu AZ31 w temperaturach otoczenia jest bardzo utrudnione ze względu na małą odkształcalność materiału. Wyoblanie można realizować z podgrzewaniem materiału w obszarze kołnierza i odpowiednim doбором prędkości obrotowej krążka. Optymalne temperatury grzania powinny być nie mniejsze niż 200°C.

Sheet metal spinning of AZ31 magnesium alloy at room temperature is very difficult because of low deformability of this material. Effectively spinning process can be realized with additional heating of the disk collar and proper choice of its rotational speed. Optimal heating temperature for AZ31 should be over 200°C.

#### Wyniki badań Results

##### Wyoblanie pokrywy wirnika helikoptera Metal spinning of advancing blade rotor bonnet

Wyoblanie przeprowadzono z nagrzewaniem kołnierza wytłoczki za pomocą palnika acetylenowo - tlenowego. Temperatura powierzchni blachy zmierzona kamerą termowizyjną wynosiła ok. 250°C.



Kształt i wymiary pokrywy  
Shape and dimensions of the bonnet

Półwyrobek pokrywy po wyoblaniu (stop AZ31)  
Semi-finished product of the bonnet after spinning (AZ31 alloy)

#### Wyniki badań Results

##### Kucie wyrobów ze stopów magnezu do zastosowań w konstrukcjach lotniczych Forging of magnesium alloys for aeronautical applications.

Wykonano analizę porównawczą wyników kucia swobodnego próbek ze stopów magnezu AZ31, AZ60, AZ80 i WE43. Dokonano symulacji numerycznej kucia swobodnego próbek o różnym kształcie i takim samym polu przekroju poprzecznego w różnych warunkach realizacji procesu (temperatura, prędkość kucia). Wykazano efekty uwzględnienia czynników kształtu w określaniu parametrów siłowych procesu kucia. Porównano wyniki badań teoretycznych z badaniami eksperymentalnymi procesu kucia wyrobów ze stopów magnezu.

Comparative analysis of the results of forging of magnesium alloy AZ31, AZ60, AZ80 and WE43 has been presented. The results of numerical simulation of forging samples of different shape and of the same initial cross-section under different conditions (temperature, speed) has been shown. The effects of introduction of the shape factors to determine forging load has been presented. The results of theoretical studies and experimental research of forging magnesium alloys samples have been presented.

Założenia do badań  
Badania eksperymentalne obejmują proces splotania próbek z wyselekcjonowanych stopów magnezu do zastosowań w lotnictwie: AZ31, AZ61, AZ80, WE43.

- Warunki realizacji procesu splotania to:
  - stała prędkość odkształcenia w różnym zakresie temperatur
  - różna prędkość odkształcenia w stałej temperaturze.

Symulację splotania przeprowadzono dla materiału wsadowego w postaci próbki walcowej o przekroju poprzecznym w kształcie koła i próbek prostopadłościennych o przekroju poprzecznym w zróżnicowanych kształtach w tym kwadratu, prostokąta i trójkąta.

Tabela 1. Porównanie wpływu prędkości odkształcenia na wartości siły podczas procesu splotania stopów magnezu AZ31, ZA61, AZ80, WE43 w temperaturze 300°C.  
Table 1 Comparison of the effect of strain rate on the value of the force during the upsetting process of magnesium alloy AZ31, ZA61, AZ80, WE43 at 300 °C.

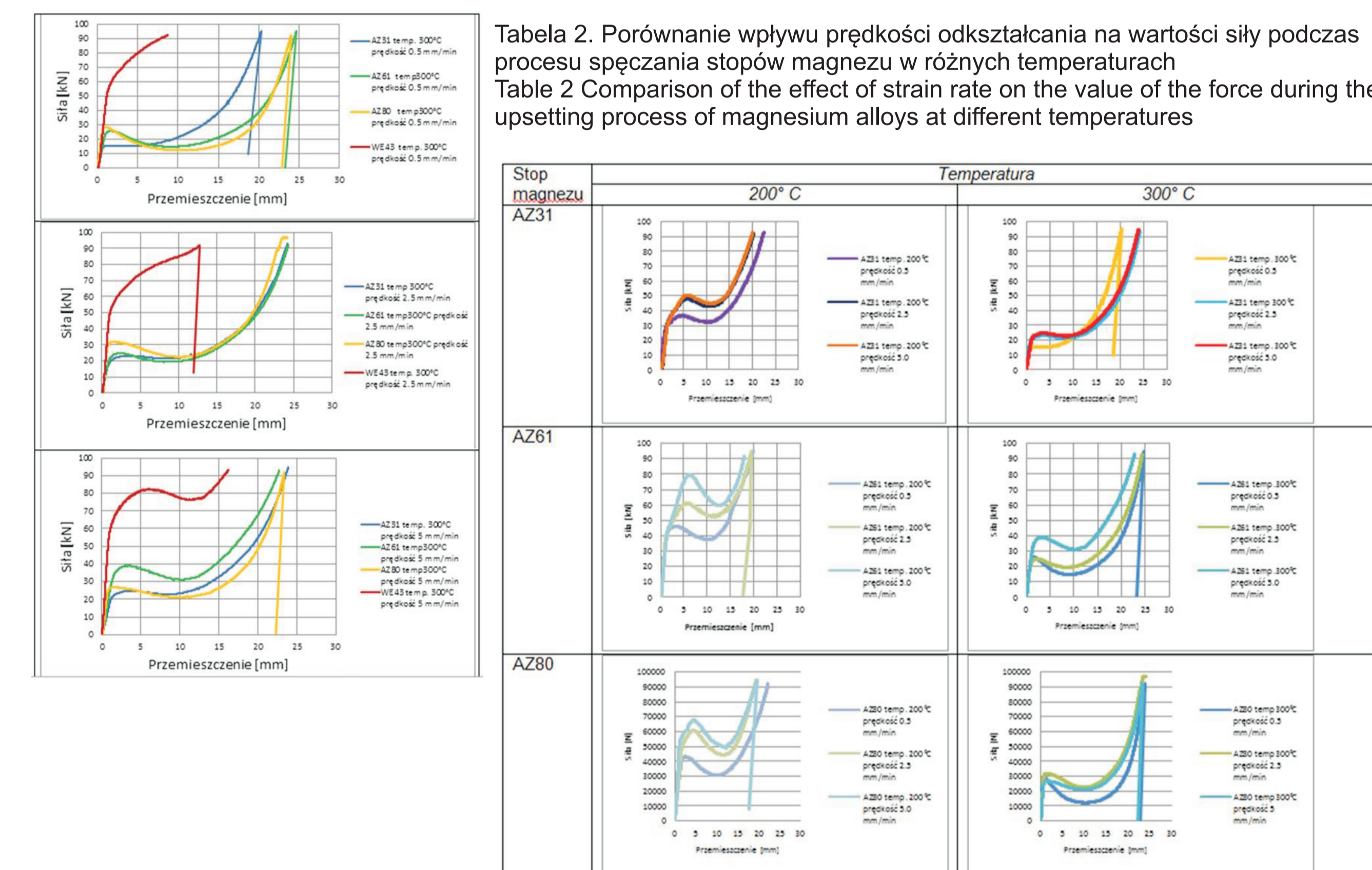
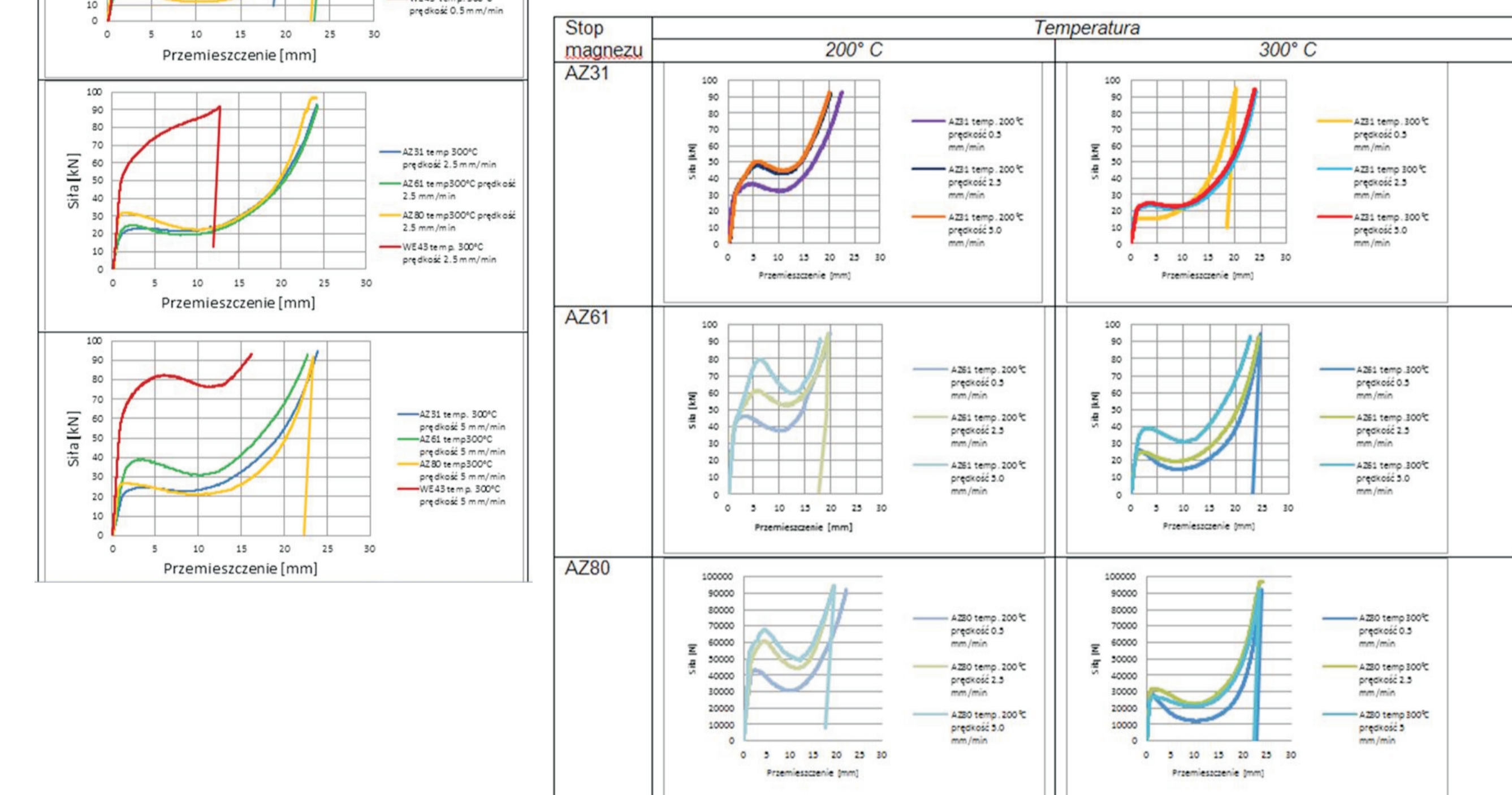
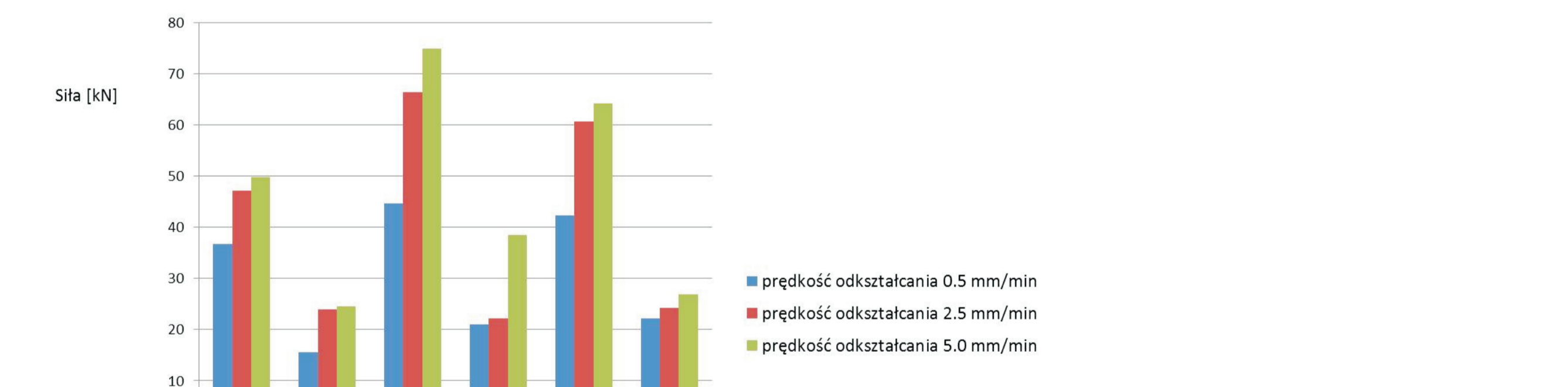


Tabela 2. Porównanie wpływu prędkości odkształcenia na wartości siły podczas procesu splotania stopów magnezu w różnych temperaturach  
Table 2 Comparison of the effect of strain rate on the value of the force during the upsetting process of magnesium alloys at different temperatures

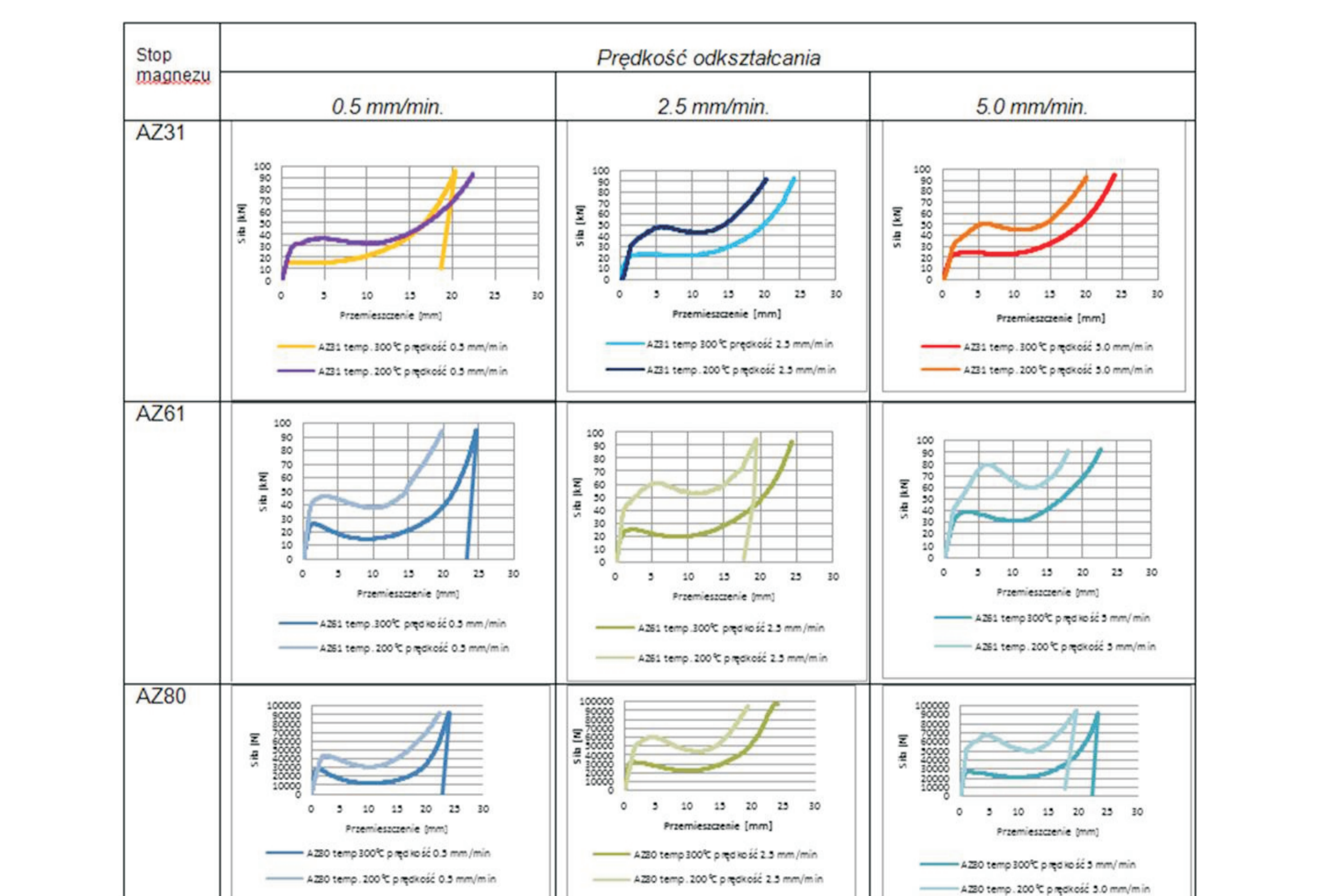


Analizując otrzymane wyniki potwierdza się zależność wzrostu wielkości siły podczas procesu splotania wraz ze wzrostem prędkości odkształcenia tak w temperaturze 200 °C jak i 300 °C. Analyzing the results confirmed an increase in the strength of the relationship during the upsetting process with increasing strain rate as at 200 °C and 300 °C



Rys.1. Poziom maksymalnej siły potrzebnej do odkształcenia próbek ze stopów magnezu  
Fig.1. The level of the maximum force required to deform the sample of magnesium alloys

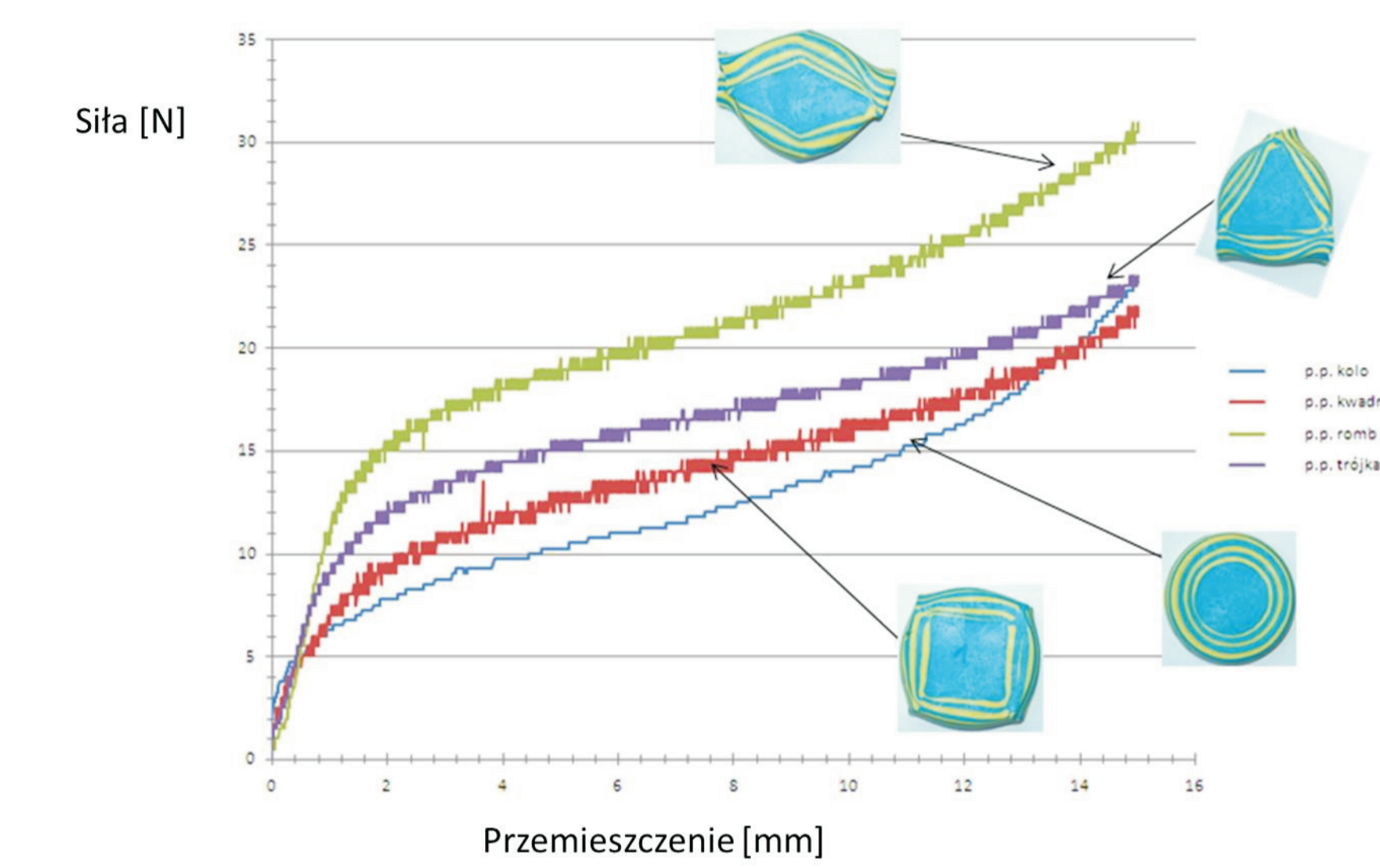
Tabela 3. Porównanie wpływu temperatury na wartości siły podczas procesu splotania stopów magnezu przy różnych prędkościach odkształcenia.  
Table 3 Comparison of the effect of temperature on the value of the force during the upsetting process of magnesium alloys at various deformation speeds.



Przy wyborze rodzajów próbek do symulacji procesu splotania stopu magnezu kierowano się możliwością doboru kształtu wsadu odpowiednio dobranych cech charakterystycznych wyrobu gotowego. Zaproponowano wprowadzenie do formuł określających maksymalną siłę kształtowania odpowiednio dobranych czynników kształtu, służących lepszemu projektowaniu procesów technologicznych kucia oraz zmniejszeniu kosztów wytwarzania elementów gotowych.

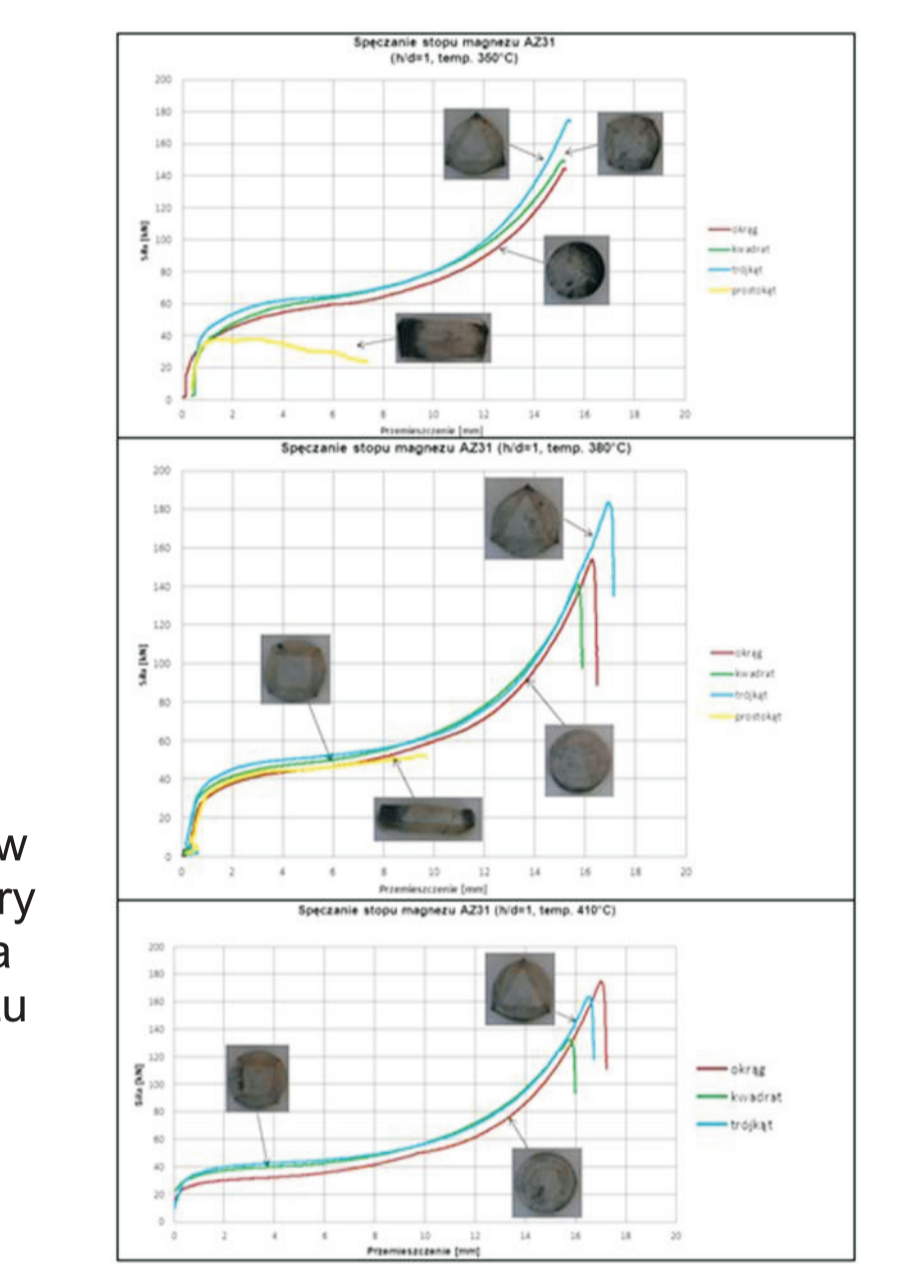
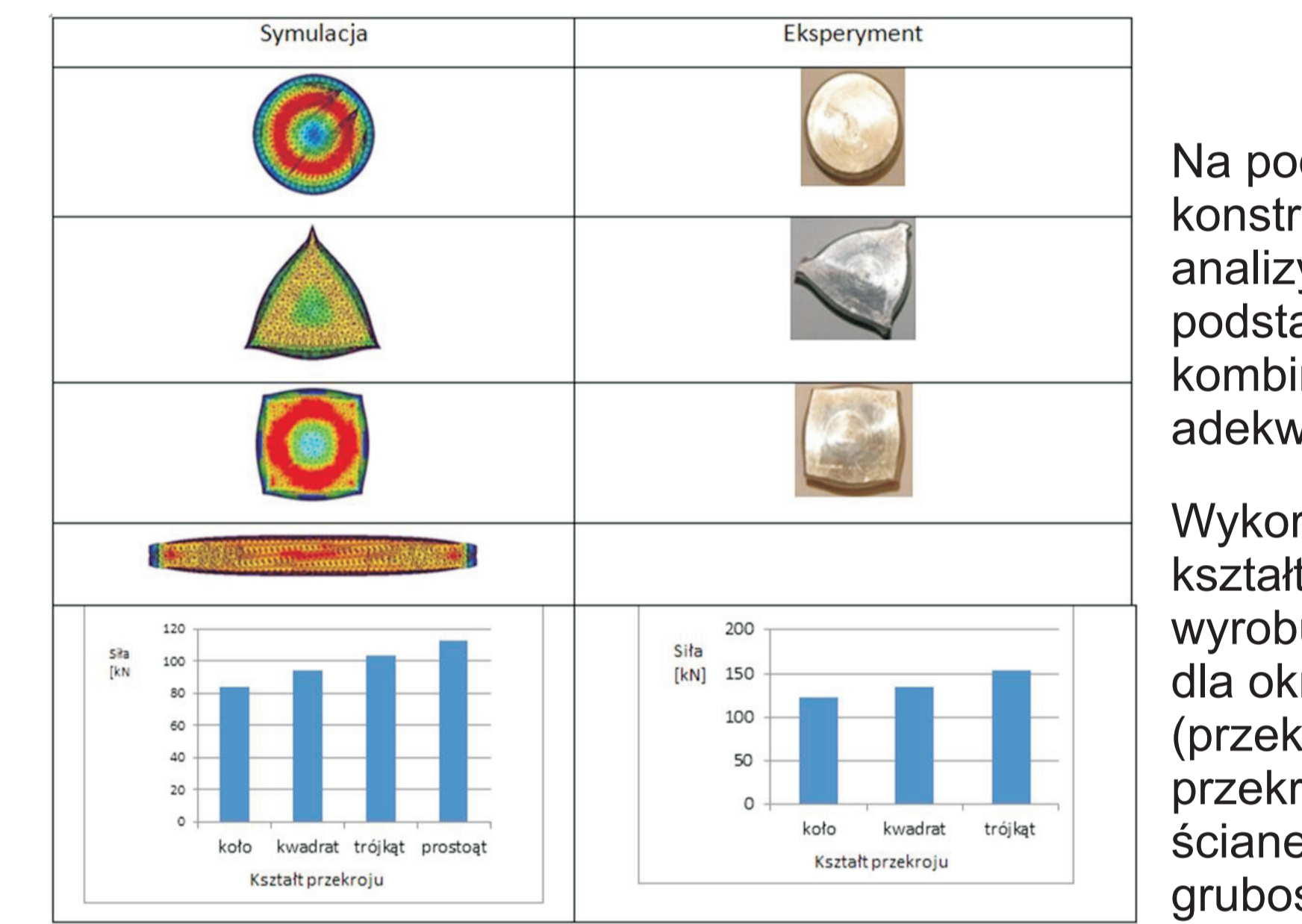
Kształt przekroju poprzecznego kształtowanego wyrobu posiada cechy, które mogą być podstawą określenia parametrów wykorzystanych przy modyfikacji formuły określającej wartość siły kształtowania w procesie kucia. Wpływa ona na kształt otrzymany po próbie

splotania. Uzasadnione jest uwzględnienie cech kształtu przekroju poprzecznego tj. np: występowanie i ilość naroży, ilość osi symetrii, ilość płaszczyzn symetrii, zróżnicowanie wymiarów charakterystycznych przekroju w określaniu teoretycznym parametrów siłowych Przeprowadzono analizę wpływu przekroju poprzecznego kształtowanych brył na charakter odkształcania stopów magnezu w różnych warunkach symulacji próby splotania. Dokonano porównania wyników odkształcania plastycznego w różnych warunkach modelowania z uwzględnieniem wpływu cech materiałowych badanych stopów magnezu z punktu widzenia osiągania pożądanych cech wyrobu gotowego w zastosowaniu tego materiału na elementy konstrukcji lotniczych.



Rys.2. Wpływ kształtu przekroju poprzecznego bryły na efekt zróżnicowania charakterystyk siłowych na przykładzie splotania próbek z materiału modelowego.  
Fig.2. Effect of cross-sectional shape of the body on the strength characteristics of the diversity effect of the recess on the example model of a material sample.

Tabela 4. Wpływ kształtu przekroju poprzecznego splotanej bryły na efekt zróżnicowania charakterystyk siłowych w zależności od temperatury na przykładzie splotania próbek ze stopu magnezu AZ31  
Table 4. The effect of the deformation during the simulation and experimental tests, and upset magnesium strength characteristics diversity effect depending on the cross-sectional shape of the solid forged during simulation.



Na podstawie analizy wielu elementów konstrukcyjnych części kutech dokonano analizy geometrycznych przypadków podstawowych, których odpowiednie kombinacje będą podstawą określenia adekwatnych czynników kształtu.

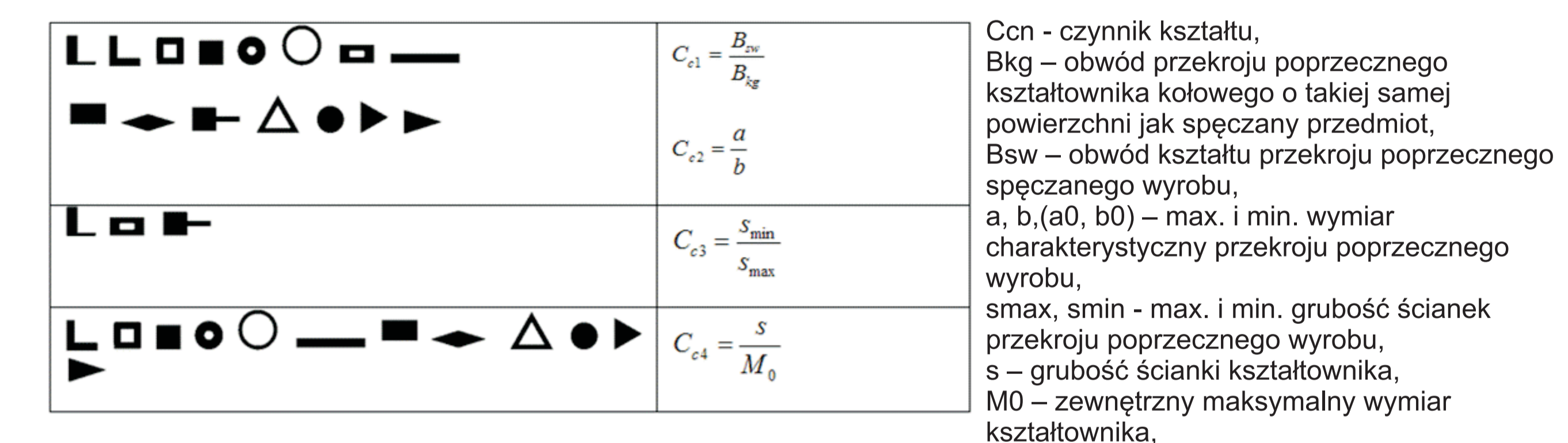
Wykorzystując charakterystyczne cechy kształtu przekroju poprzecznego kutego wyrobu zaproponowano czynniki kształtu dla określonego typu kutej próbki (przekroje poprzeczne pełne i puste, przekroje o zróżnicowanych grubościach ścianek, przekroje puste o stałej grubości ścianki, o różnym stopniu symetrii).

#### Charakterystyczne parametry brył o różnych przekrojach poprzecznych

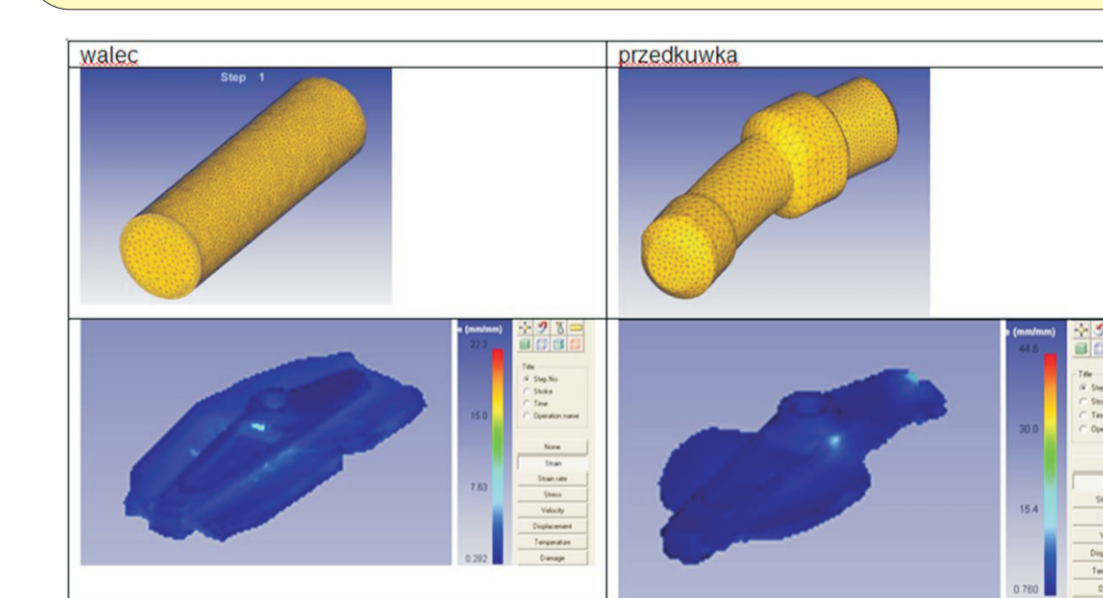
Tabela 6. Charakterystyczne parametry brył o różnych przekrojach poprzecznych  
Table 6 Characteristic values of the solid of a different cross-sections

Charakterystyczny parametr	Pole przekroju poprzecznego												
	pełny						pusty						
1. Ilość wierzchołków	0	4	3	3	4	4	4	0	3	4	4	4	4
2. Ilość wierzchołków zewnętrznych	0	4	3	3	4	4	4	0	3	4	4	4	4
3. Ilość płaszczyzn symetrii	=	4	3	1	2	2	2	=	3	2	4	4	2
4. Osi symetrii	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5. Kąty ostre (usztybki)	0	4	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
6. Kąty rozwarte	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
7. Kąty wypukłe	0	4	3	3	4	4	4	0	3	4	4	4	4
8. Bła	-1	1	1	1	0,61	0,57	0,14	0,32	0,28	0,25	0,24	0,28	0,28
9. B <sub>max</sub>	1	1	1	1	0,67	0,57	0,14	0,31	1	1	0,31	1	0,37
10. B <sub>min</sub>	=	max	min	min	max	min	min	max	min	max	min	max	min

Tabela 7. Typy kształtu poprzecznego przekroju części kutej oraz cząstkowe czynniki kształtu C<sub>cn</sub>  
Table 7. Typy cross-sectional shape of the forged part and partial factors shape C<sub>cn</sub>



#### Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Rys.2. Rozkład odkształceń na powierzchni wyrobu w końcowym etapie procesu symulacji kucia  
Fig.2. Strain distribution on the surface of the product in the final stage of the forging simulation

#### Wnioski Conclusions

Wykazane efekty zróżnicowania charakterystyk siłowych podczas kucia wyrobów o zróżnicowanej geometrii przekroju poprzecznego dokumentują wpływ kształtu przekroju poprzecznego kutej próbki na maksymalną wartość siły kształtowania. Efekt ten wykazują wyniki badań teoretycznych i eksperymentalnych. Wykazano zasadność uwzględnienia czynników kształtu w określaniu parametrów siłowych procesu, co ma istotne znaczenie w projektowaniu efektywnego, ekonomicznie uzasadnionego procesu.

The results of various characteristics of load in the forging process indicate impact of shape factors of the forged sample on its maximum value. Effect of cross-sectional shape on the force required for the deformation can be observed in both the theoretical and experimental results. Introduction of shape factors into theoretical formula determining maximum load in forging make possible better designing of economical process.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

- Prace mgr, dr, hab.**  
Prace magisterskie:  
Jacek Motyka: *Analiza procesu wyoblania blachy z lotniczego stopu magnezu AZ31*, Promotor : dr hab. inż. Tadeusz Balawender
- Prace doktorskie:**  
Marta Dymek: *Kształtowanie plastyczne stopów magnezu w procesie kucia elementów konstrukcji lotniczych o złożonej geometrii* . Promotor: Prof. dr hab. inż. Romana E. Śliwa,