

# Projekt kluczowy

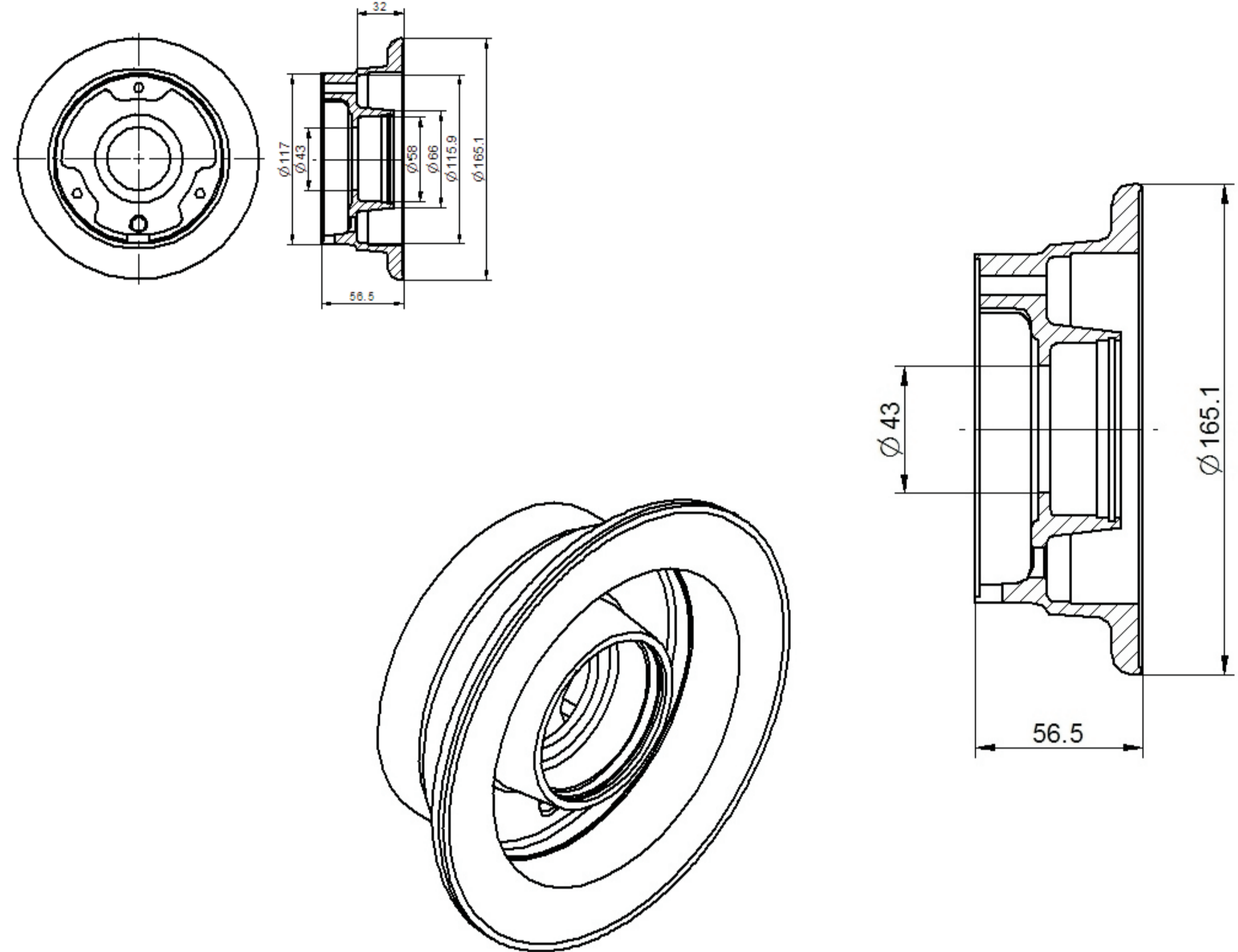
## Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

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

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

#### Wyniki badań

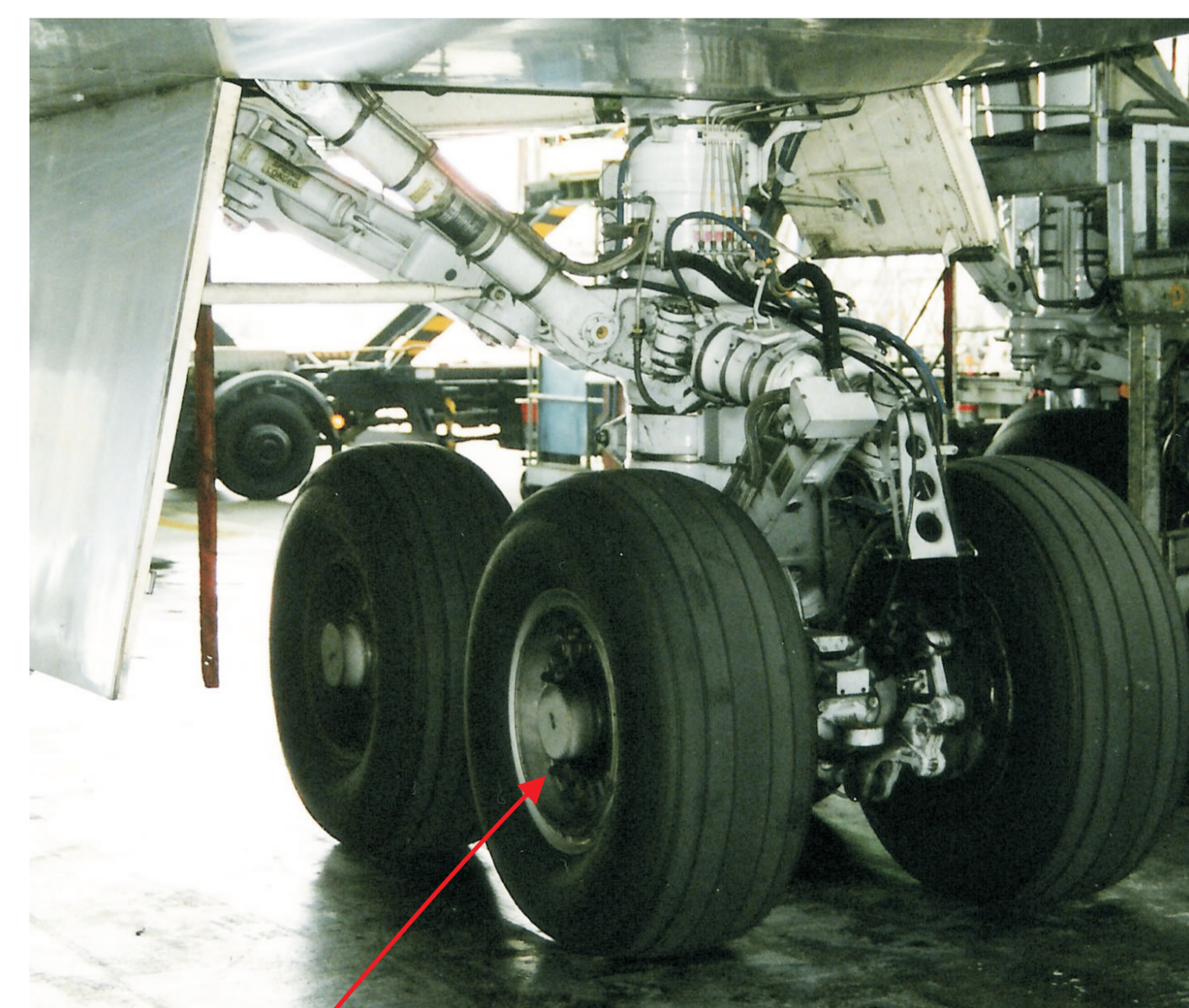
Modelowanie piasty koła samolotu ze stopu magnezu



**PARAMETRY KOŁA 5.00-5 W WERSJI ZE STOPÓW MAGNEZU**  
Program koła realizowany będzie zgodnie z wymaganiami przepisów TSO C26 D  
Koło współpracować będzie z oponą 5.00-5 (f-my Goodyear lub Michelin)

**Obciążenia przyjęte do analizy wytrzymałościowej koła:**  
Maksymalne obciążenie pionowe : 25 800,0 N  
Maksymalne obciążenie boczne : 12 910,0 N

Obciążenie statyczne: 9 560,0 N  
Ciśnienie napelniania opony : 0,61 MPa

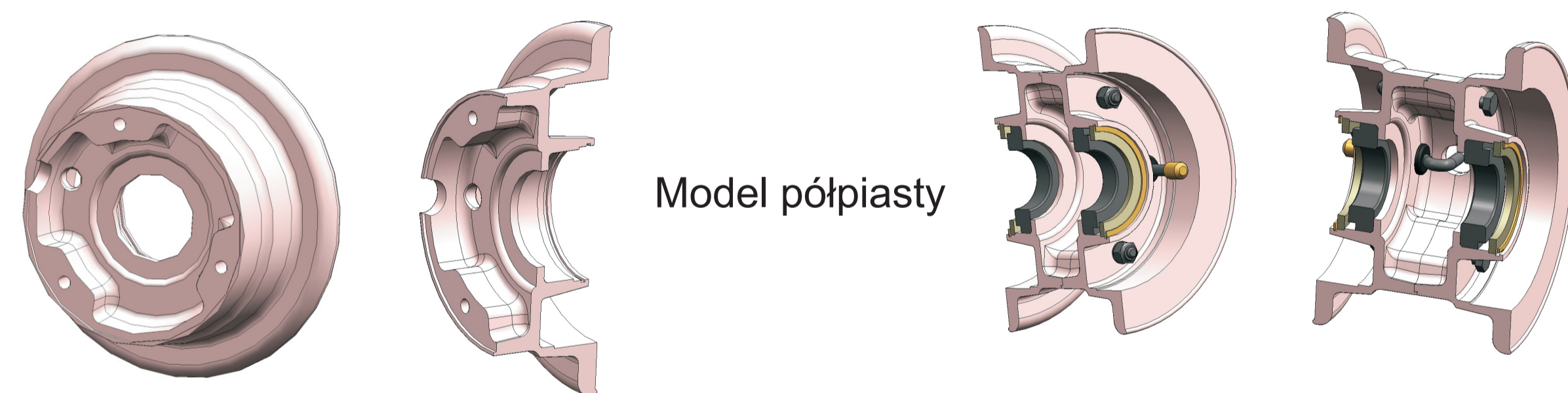


Podwozie przednie samolotu I-23 Manager z kołem aluminiowym 5.00-5 podczas badań dynamicznych

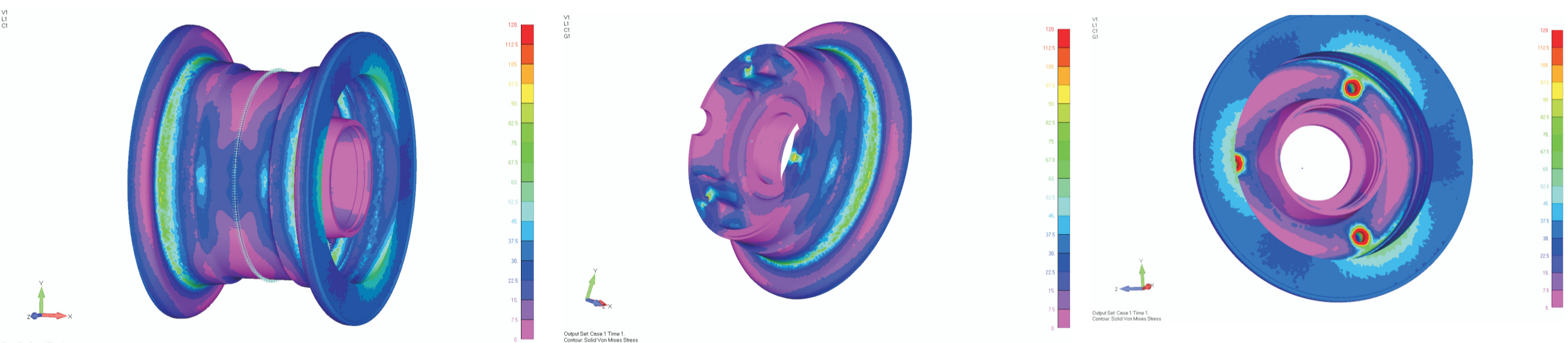


Samolot I-23 Manager (masa startowa 1150 kg)

Piasta koła



Model półpiasty

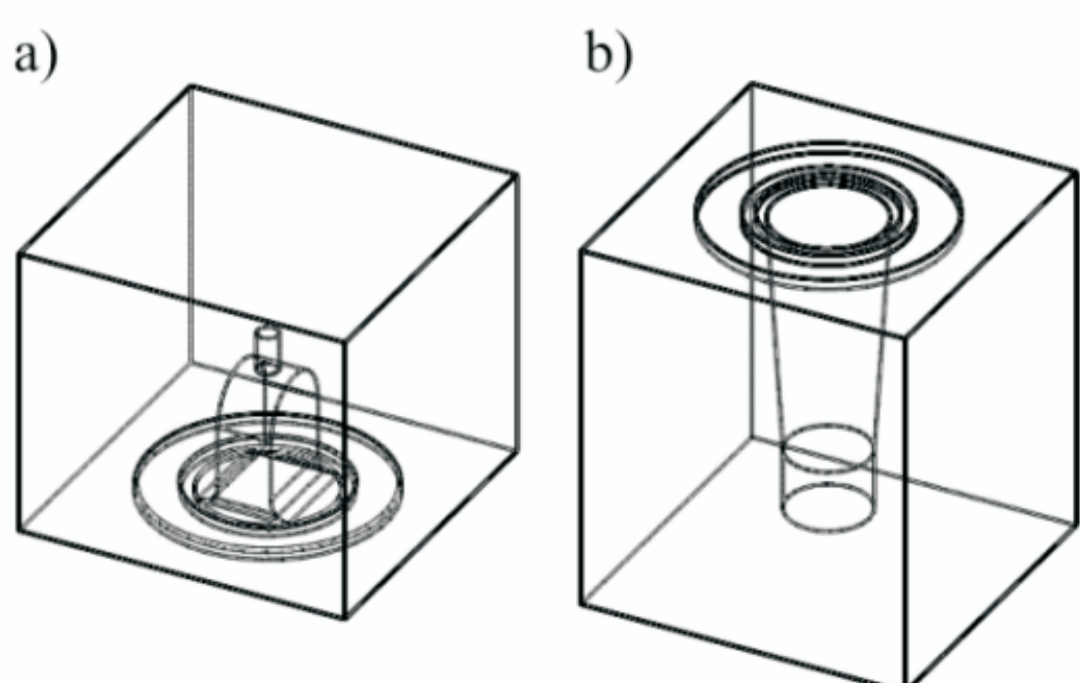


Naprężenia zredukowane piasty koła obciążonego ciśnieniem Pop = 0,61 [MPa]

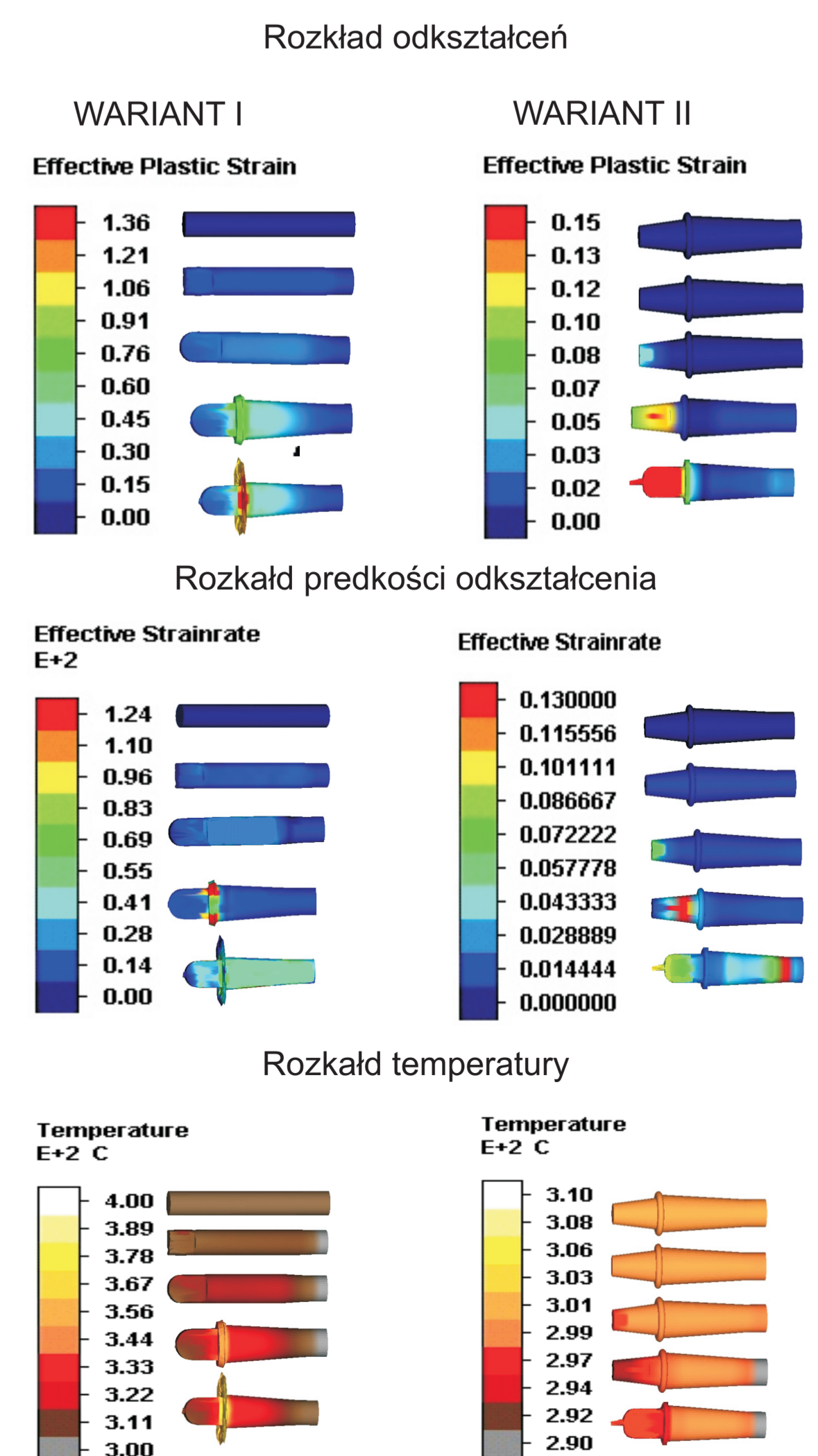
Naprężenia zredukowane piasty koła obciążonego ciśnieniem Pop = 0,61 [MPa]

**Symulacja procesu kucia matrycowego odkuwki ze stopu magnezu ZK60A trzpienia stosowanego jako elementu podwozia samolotu**

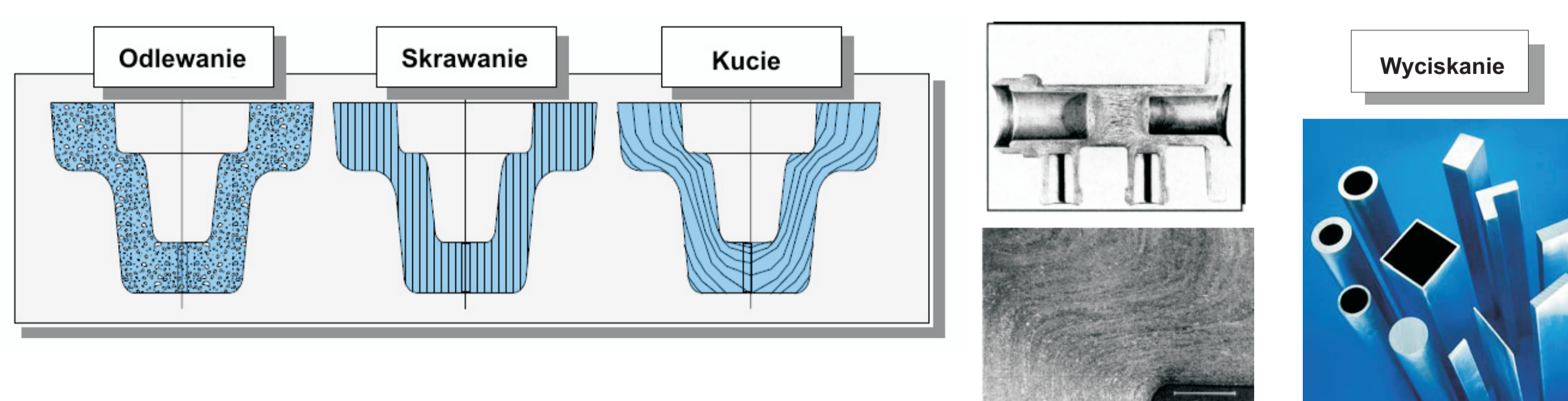
Model matrycy górnej(a) i dolnej(b)



Odkuwka trzpienia stosowanego jako element podwozia samolotu F-16



#### Cechy szczególne odkształcania plastycznego stopów magnezu



Cechy obróbki mechanicznej (ubytkowej):

- łatwopalność wiórow ze stopów magnezu
- poprzecinane włókna

Oznaczenie	Skład chemiczny	R <sub>0,2</sub> /R <sub>m</sub> /A <sub>10</sub> (MPa/MPa%)	Charakterystyka
AZ31	Mg-6Al-0,5Zn	160/260/6	Wysoka i duża wytrzymałość mechaniczna
AZ61	Mg-6Al-2Zn	180/260/6	Wysoka i duża wytrzymałość mechaniczna
AZ80	Mg-4Al-0,5Zn	160/260/6	Wysoka i duża wytrzymałość mechaniczna
WE43	Mg-4Y-3RE-0,5Zr	160/260/6	Wyciskane i kute stopy z dobrą wytrzymałością w wysokich temperaturach

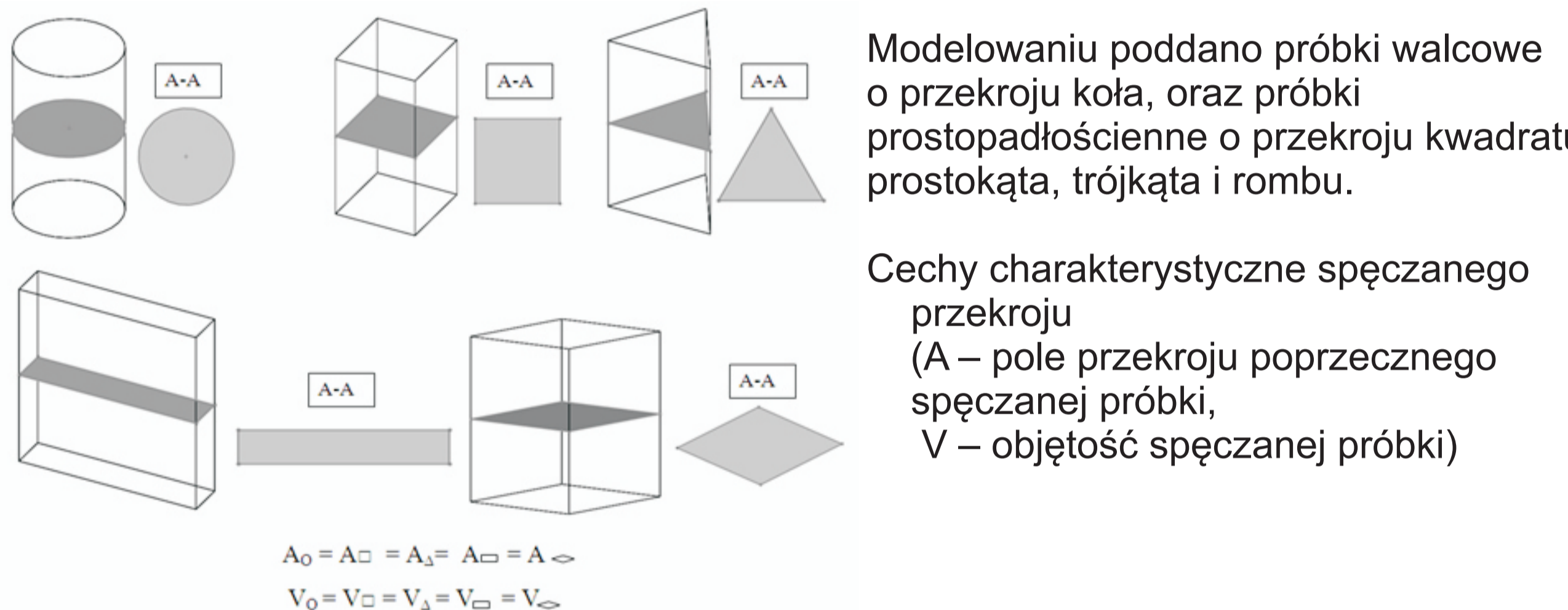
Wyselekcjonowane stopy: ZA31, AZ61, AZ80, WE43

#### Badania teoretyczne w zakresie analizy:

- warunków i korzyści zastosowania stopów magnezu w lotnictwie
- korzyści i ograniczenia w zastosowaniu stopów magnezu kształtowanych plastycznie
- analiza mechanicznego zachowania się stopów magnezu w różnych warunkach odkształcania: warunki tarcia, wielkość odkształcania, prędkość odkształcania, temperatura, parametry geometryczne narzędzi.
- charakter plastycznego płynięcia (np.: w procesie kucia i wyciskania) stopu magnezu (reprezentowany poprzez elementy struktury wewnętrznej – strefy odkształcania, rozkład wielkości ziarna)

**Adekwatne uwzględnienie w modelowaniu procesu kucia i wyciskania cech charakterystycznych dla przekroju poprzecznego kształtu wyrobu** (w tym zróżnicowane grubości ścianek, zmienność przekrojów, występowanie otworów, symetryczność kształtów itp.)

#### Modelowanie numeryczne procesu kucia matrycowego stopów magnezu



Modelowaniu poddano próbki walcowe o przekroju koła, oraz próbki prostokątne o przekroju kwadratu, prostokąta, trójkąta i rombu.

Cechy charakterystyczne spęczanego przekroju (A – pole przekroju poprzecznego spęczanej próbki, V – objętość spęczanej próbki)

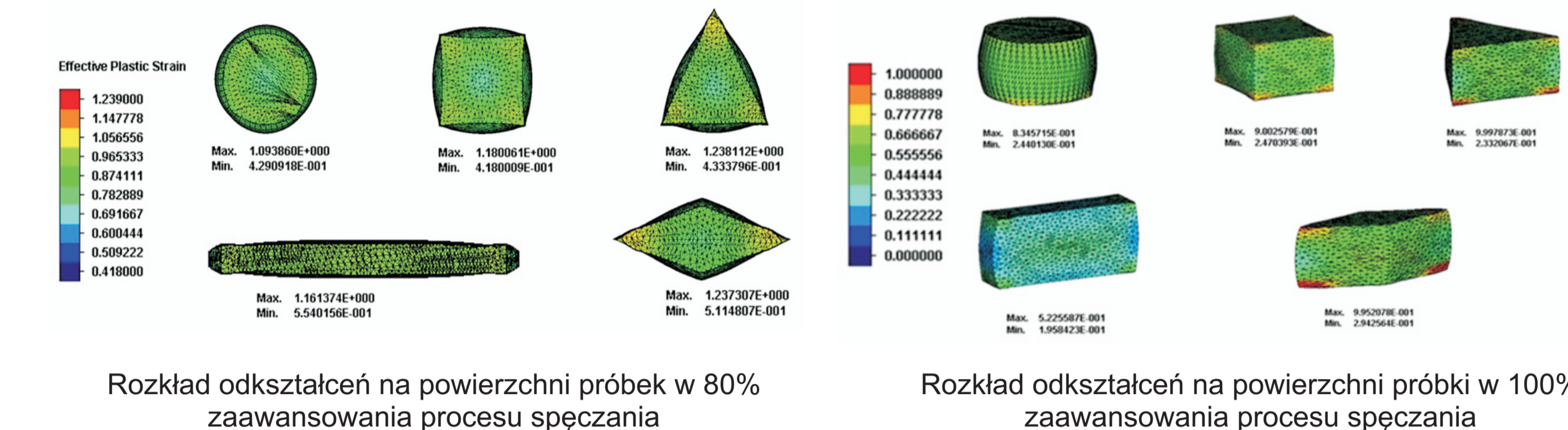
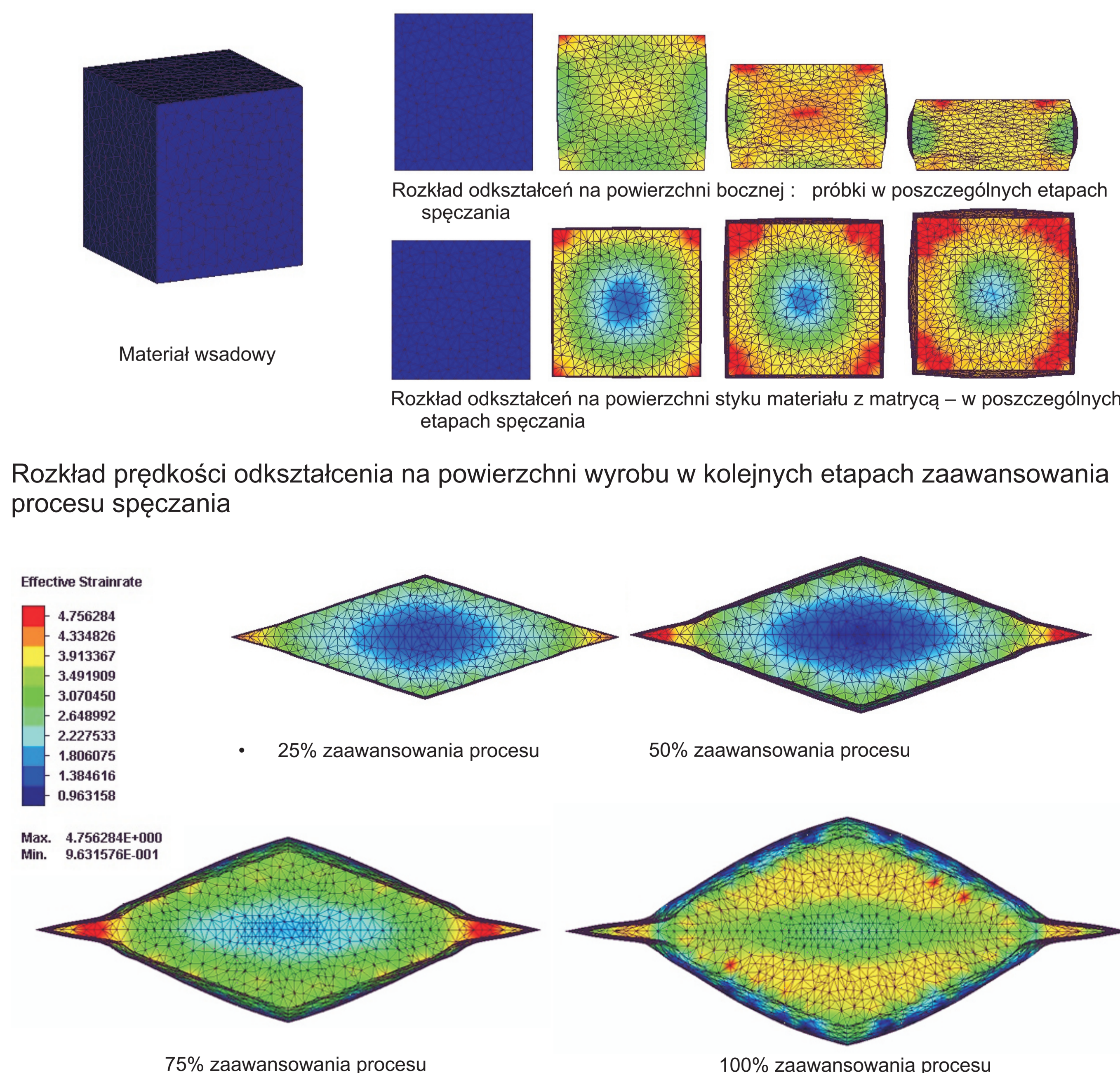
#### Modelowanie numeryczne procesu kucia matrycowego stopów magnezu bez uwzględnienia czynników kształtu

**Warunki brzegowe**  
Model tarcia wg Coulomba:  
 $\tau = \mu \sigma_n$   
gdzie:  $\mu$  – współczynnik tarcia,  $\sigma_n$  – naprężenie normalne w obszarze kontaktu materiał-narzędzie (matryca).  
Równanie konstytutywne opisujące proces kucia matrycowego na gorąco  
naprężenie rzeczywiste  
 $\sigma = \max(\sigma_c, \sigma_p)$   
gdzie:  $\sigma_c$  – naprężenie uplastyczniające,  $\sigma_p$  – prędkość odkształcania,  $c$  – stała płynięcia,  $m$  – wykładnik prędkości odkształcania.  
Prędkość odkształcania określono wg. relacji:  
 $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d\ln \epsilon}{dt} = \frac{v_0}{h}$   
gdzie:  $\epsilon$  – uogólnione odkształcenie,  $h$  – wysokość próbki,  $v_0$  – prędkość odkształcania

**Warunki modelowania**  
Na modelach próbek użytych w procesie symulacji spęczania widoczne jest siatka, która została automatycznie wygenerowana w programie, minimalizuje to dane wejściowe wymagane do opisanie problemu. Nie tylko redukuje czas potrzebny na przygotowanie danych, ale również eliminuje błędy wprowadzane podczas ręcznego przygotowywania danych. Kombinacja programu automatycznej generacji siatki z grafiką komputerową jest szczególnie cenna ponieważ wynik może być monitorowany wizualnie.  
Preferowana jest siatka niejednorodna jeśli z góry wiadomo, że szukany parametr zmienia się gwałtownie w określonych częściach regionu rozwiązania. Siatka taka pozwala skoncentrować relatywnie małe elementy w rejonie gwałtownych zmian parametru. Rejony takie są często przedmiotem największego zainteresowania.

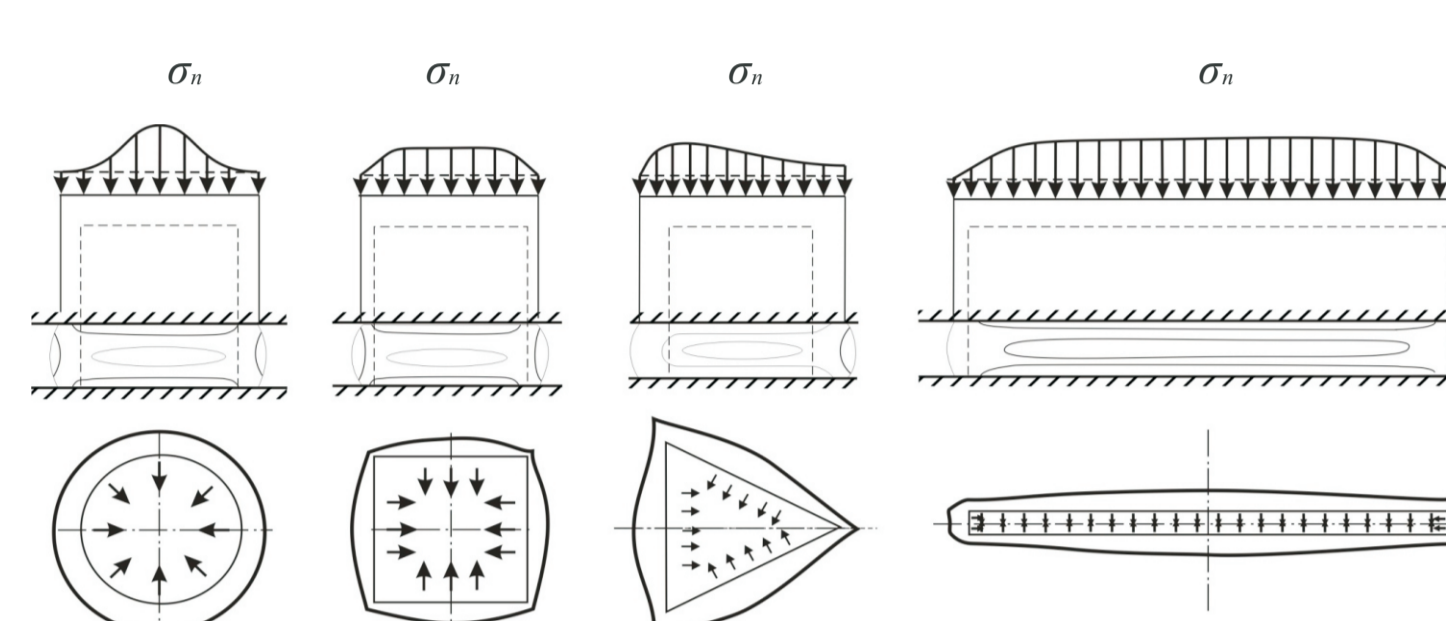
Złożenia do symulacji próby spęczania  
Temperatura wsadu 150 °C  
Temperatura matrycy 100 °C

#### Wybrane wyniki modelowania numerycznego



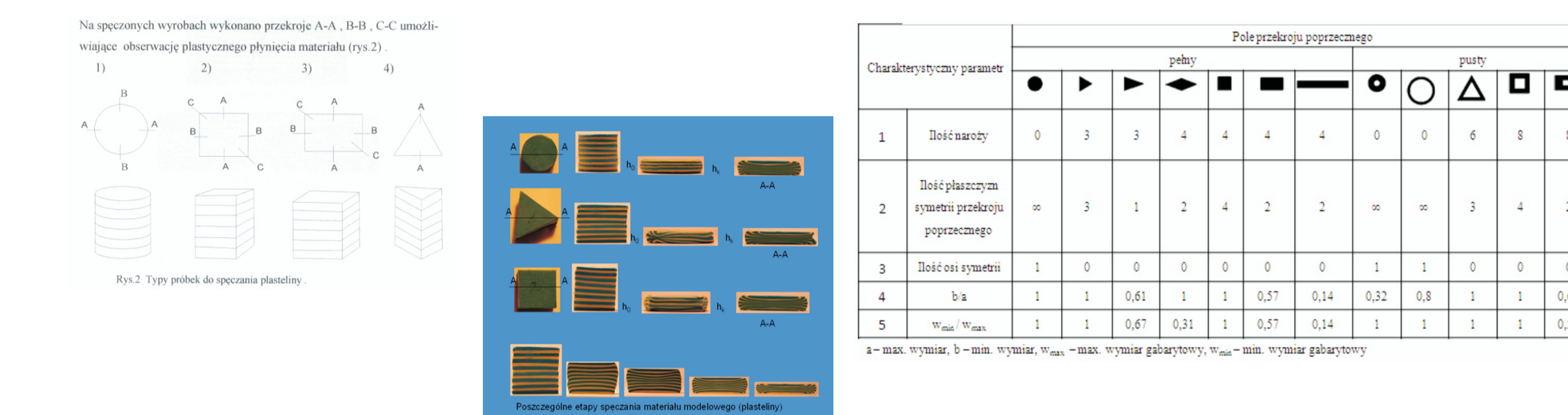
#### Analiza stref odkształceń w oparciu o wyniki badań numerycznych

Strefy odkształceń przy spęczaniu próbek o różnych przekrojach poprzecznych

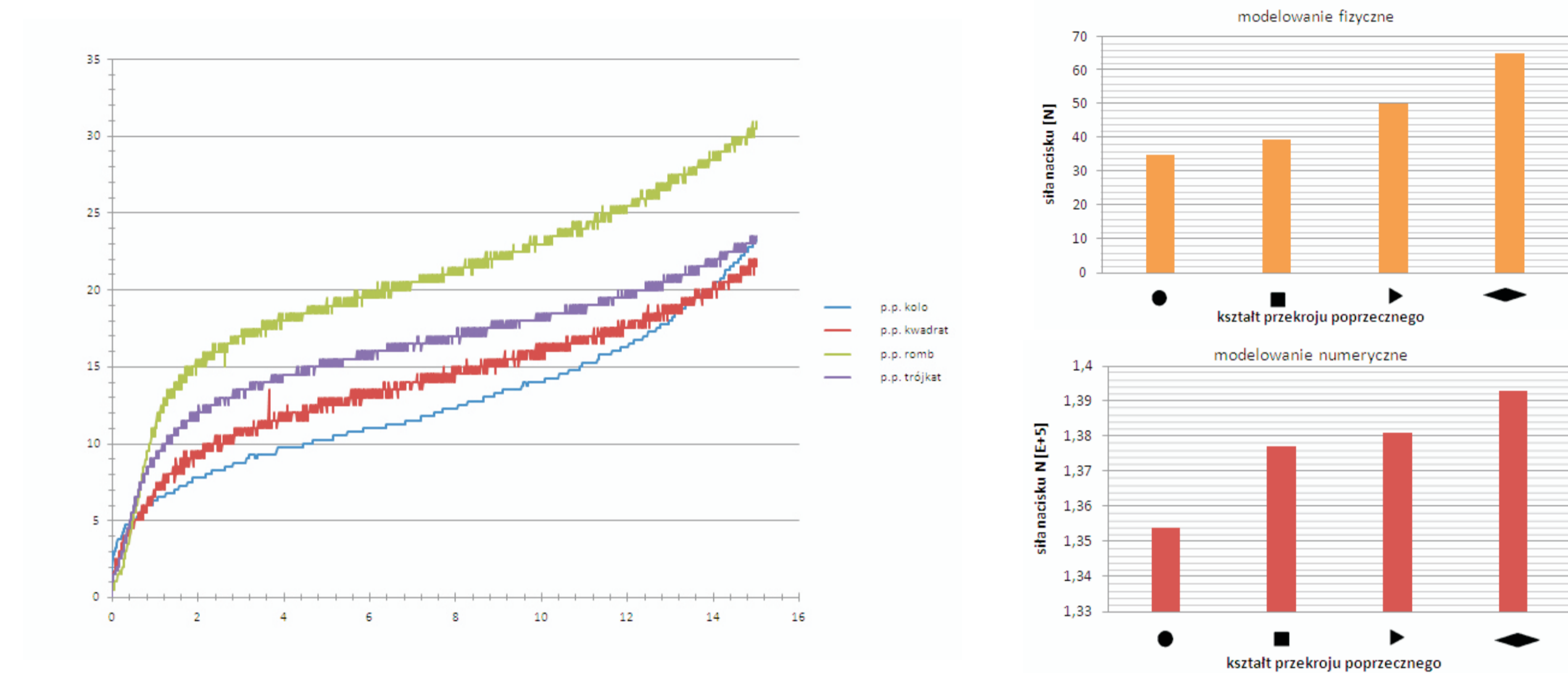


Wpływ warunków procesu spęczania próbki walcowej i próbek prostokątnych o przekroju poprzecznym w kształcie kwadratu, trójkąta i prostokąta w kowadłach płaskich: nierównomierność odkształcania oraz schemat naprężeń normalnych  $\sigma$  i stycznych  $\tau$

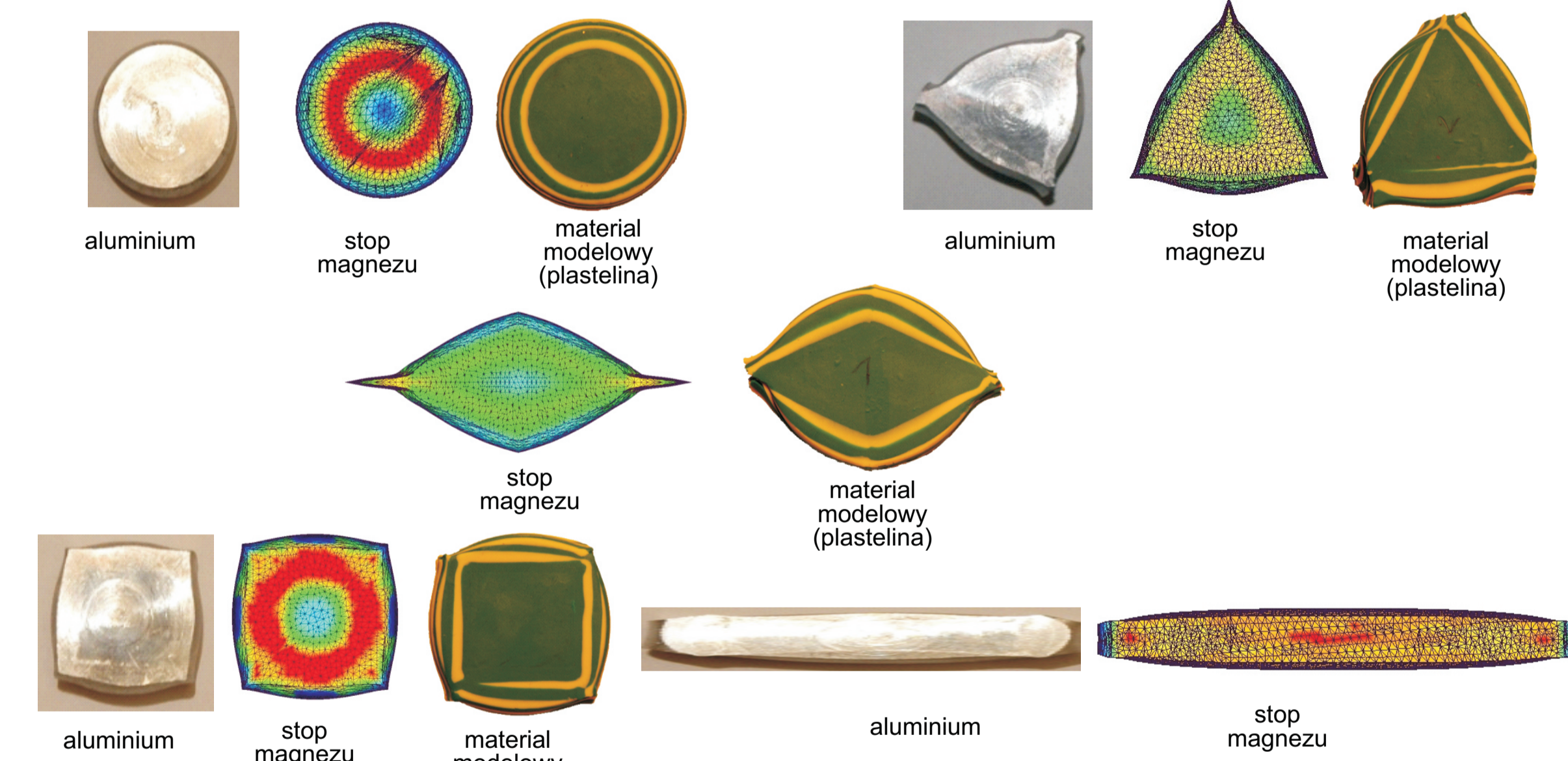
#### Fizyczne modelowanie testu spęczania bryły o różnym kształcie przekroju poprzecznego



#### Efekt zróżnicowania charakterystyk siłowych w zależności od kształtu przekroju poprzecznego spęczanej bryły



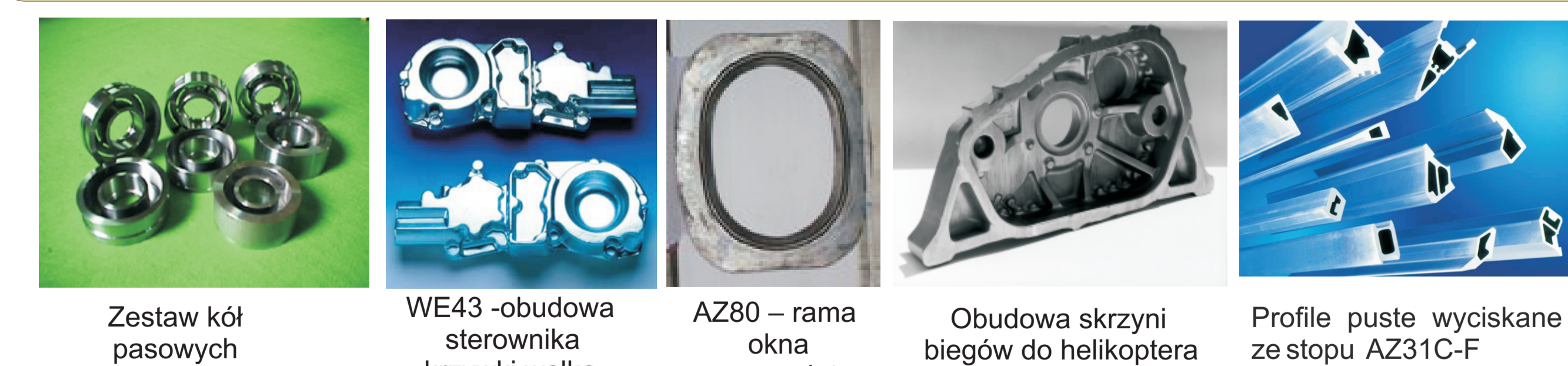
#### Porównanie końcowych efektów próby spęczania próbek z materiału metalowego (Al) i materiału modelowego (plasteliny) z wynikami z symulacji próby spęczania stopu magnezu WE43



#### Wnioski

- Kształt przekroju poprzecznego spęczanego wyrobu zasadniczo wpływa na wielkość siły kształtowania (tu w próbie spęczania) uzasadnione jest więc uwzględnienie cech kształtu przekroju poprzecznego (wpływ ilości naroży, ilość osi symetrii, ilość płaszczyzn symetrii, objętość strefy plastycznej, zróżnicowanie wymiarów charakterystycznych przekroju w określeniu teoretycznym parametrów siłowych).
- Wyniki modelowania uzyskane w postaci rozkładów temperatury, rozkładu naprężeń i odkształceń pozwoliły na wyselekcjonowanie warunków realizacji procesu rzeczywistego prowadzącego do uzyskania wyrobu bez wad o wysokich wymaganiach jakościowych.

#### Przykłady zastosowania



#### Wskaźniki realizacji celów projektu

- Referaty**
- Eugeniusz Hadasik, Anna Szula, Dariusz Kuc: *Zmiany struktury odkształcanego na gorąco stopu magnezu AZ31*. Materiały konferencji naukowej KM PAN Odształcalność Metali i Stopów, Łańcut - Zamek 2009
  - Marta Dymek, Romana Śliwa: *Ocena odkształcalności lotniczych stopów magnezu w próbie spęczania*. Materiały konferencji naukowej KM PAN Odształcalność Metali i Stopów, Łańcut - Zamek 2009
- Publikacje**
- Marta Dymek, Romana Śliwa: *Teoretyczne modelowanie procesu kucia matrycowego stopu magnezu ZK60A przeznaczanego na elementy konstrukcji lotniczych*. Acta Mechanica Slovaca 3-A/2008 str. 93-100
- Prace mgr. dr. hab.**
- Praca doktorska
  - mgr inż. Marta Dymek. Kształtowanie plastyczne stopów magnezu do zastosowań w konstrukcjach lotniczych. Opiekun pracy: dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa, prof. PRZ, (przed otwarciem przewodu)