

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

## Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti

### Forming of aeronautical Al (including Al - Li) and Ti alloys

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

#### Wyniki badań Results

#### Wyciskanie kształtowników konstrukcji lotniczych Extrusion of aviation profiles

Zakres badań:

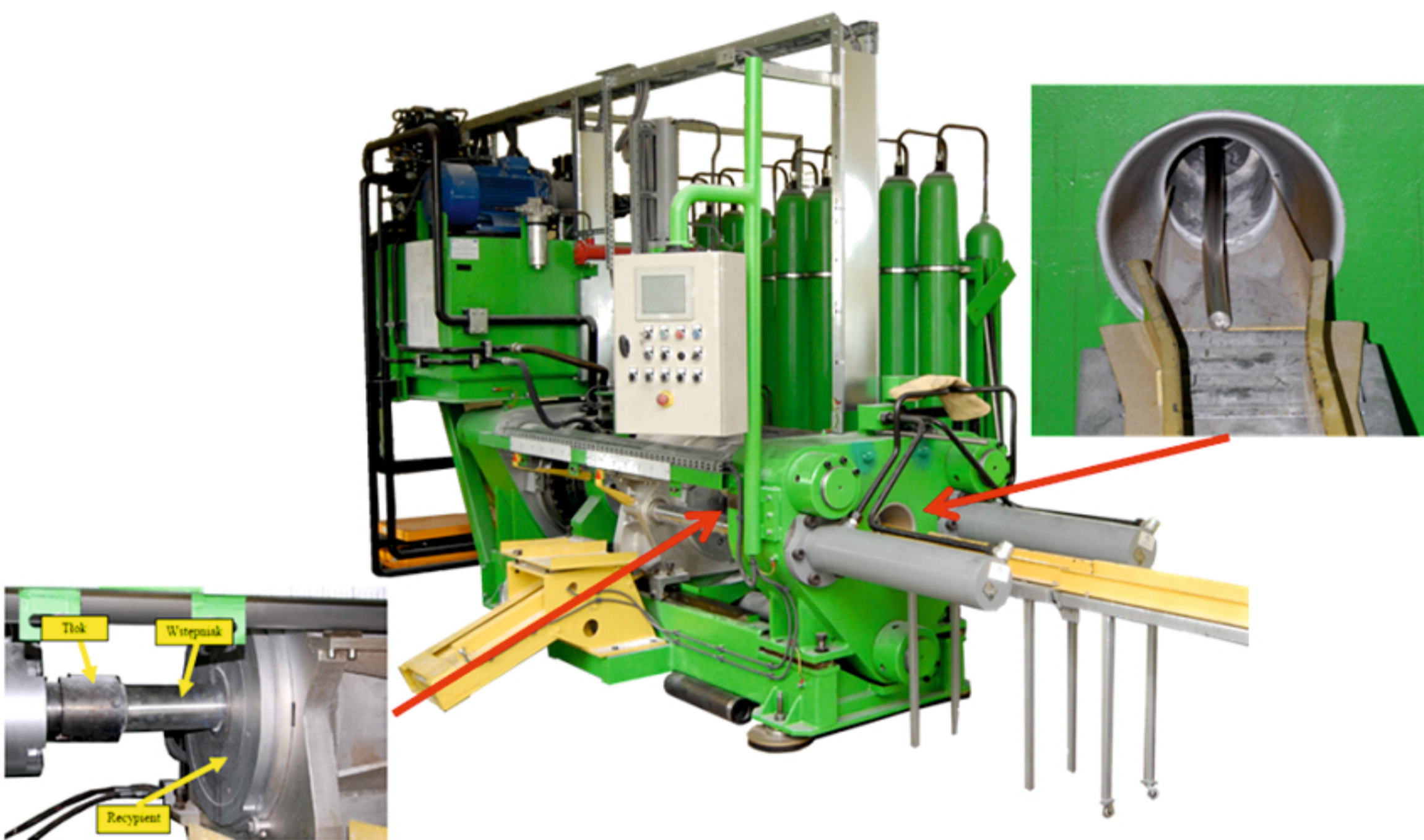
Przeprowadzenie badań stopów aluminium typu: 2618A, 2014A i 2099 w zakresie określenia charakterystyk naprężenie – odkształcenie w próbie spęczania. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane pod kątem doboru parametrów kształtowania plastycznego lotniczych stopów aluminium w procesie kucia i wyciskania.

Carried out a study of aluminum alloys: 2618A, 2014A and 2099 in determining the characteristics of the stress - strain in the sample upsetting. The results obtained will be used for the selection of flight parameters of plastic forming of aluminum alloys in the process of forging and extrusion.

Ustalenie parametrów temperaturowo-prędkościowych dla procesu wyciskania przeciwbieżnego stopu aluminium 2618A oraz zbadanie wpływu temperatury, prędkości wyciskania i stopnia odkształcenia na siłę wyciskania.

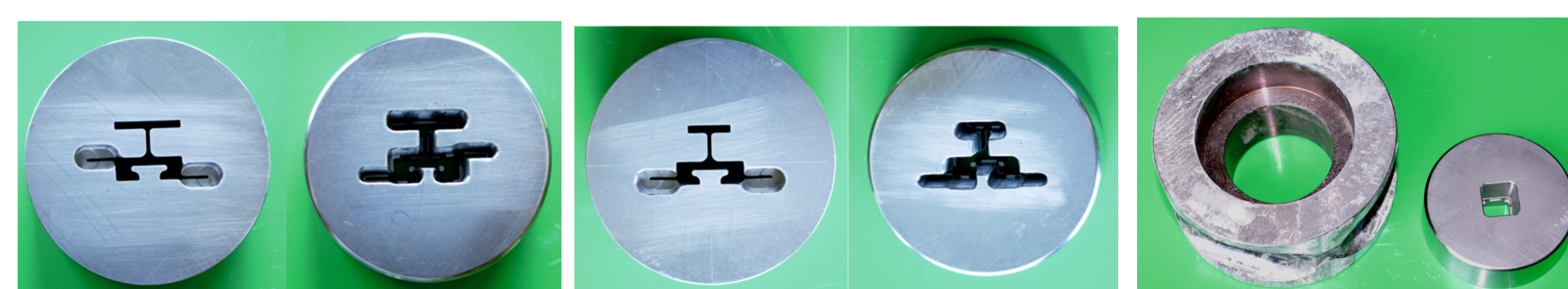
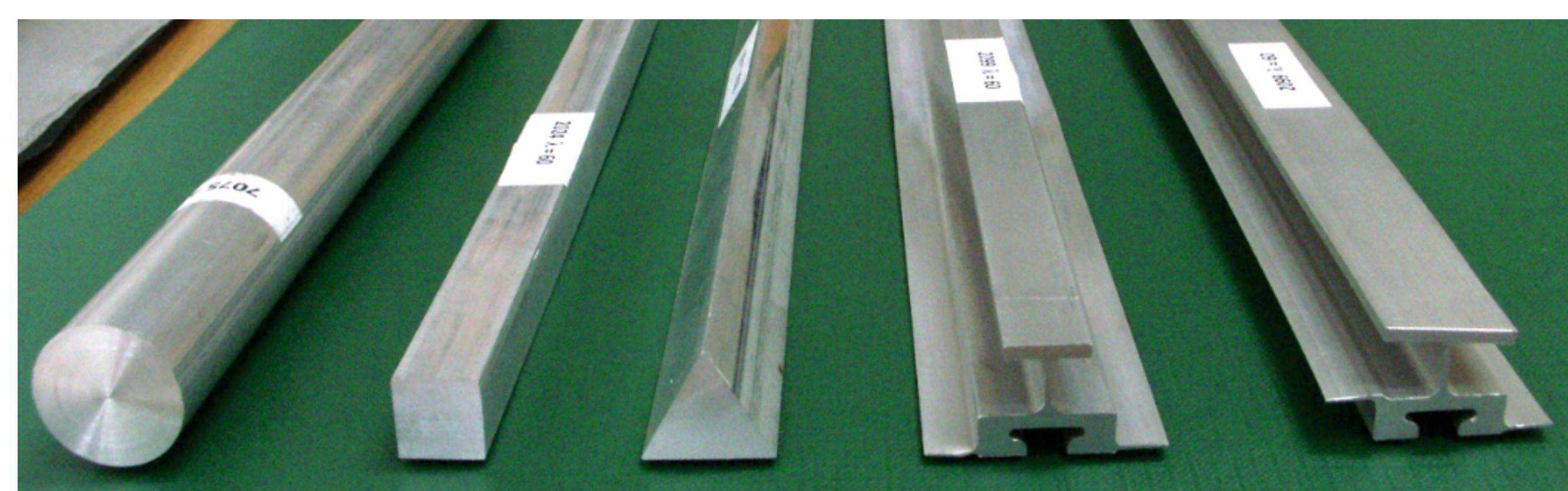
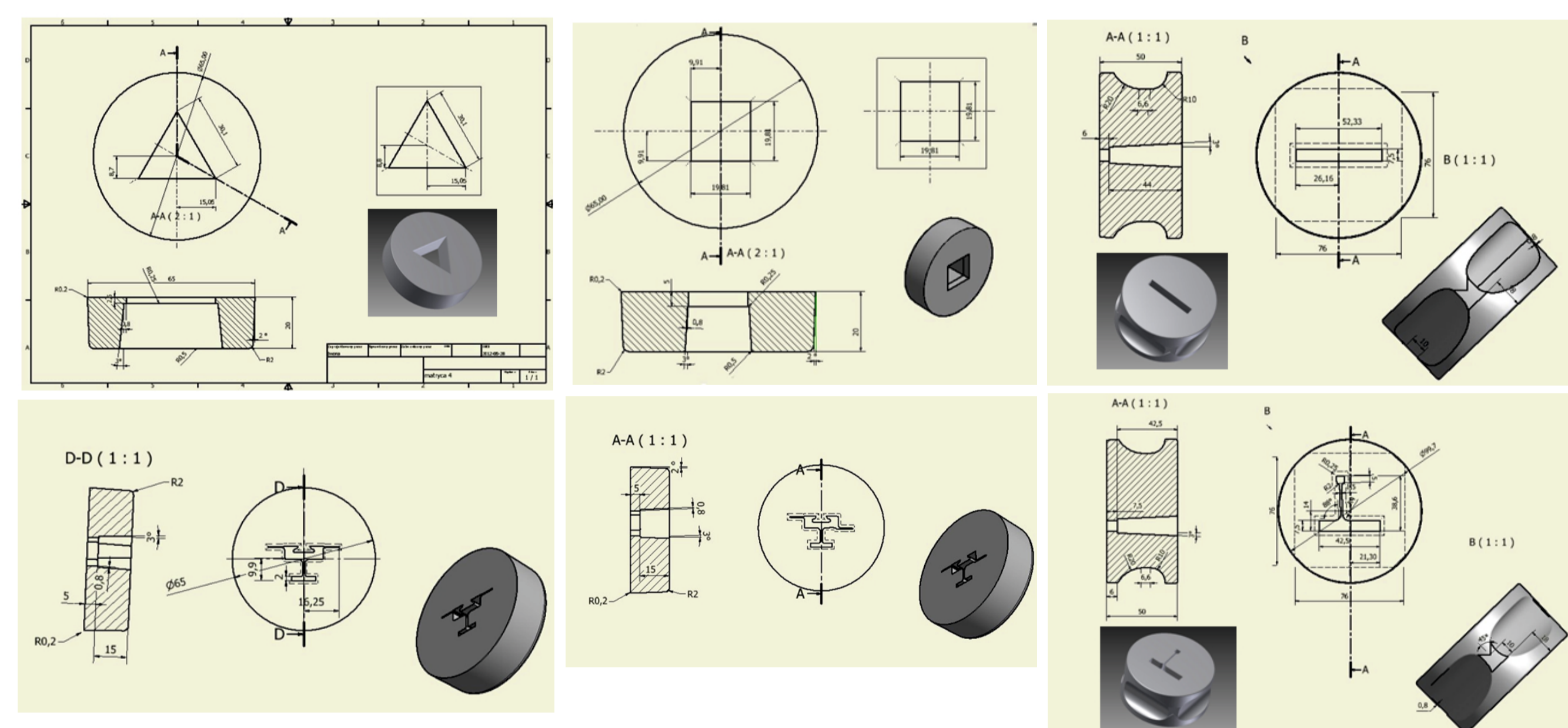
Determining the temperature-velocity parameters for the process of extrusion of aluminum alloy 2618A, and to investigation of the effect of temperature, extrusion speed and extrusion ratio on the extrusion load.

Zaprojektowanie matryc do wyciskania profili złożonych ze stopów aluminium stosowanych w lotnictwie.  
Designing of dies for extrusion of complex profiles of aluminum alloys used in aviation.



Hydrauliczna prasa pozioma o nominalnej sile nacisku 5 MN do wyciskania przeciwbieżnego typ PH-LR 500  
Backward extrusion 5 MN capacity hydraulic press - type PH-LR 500

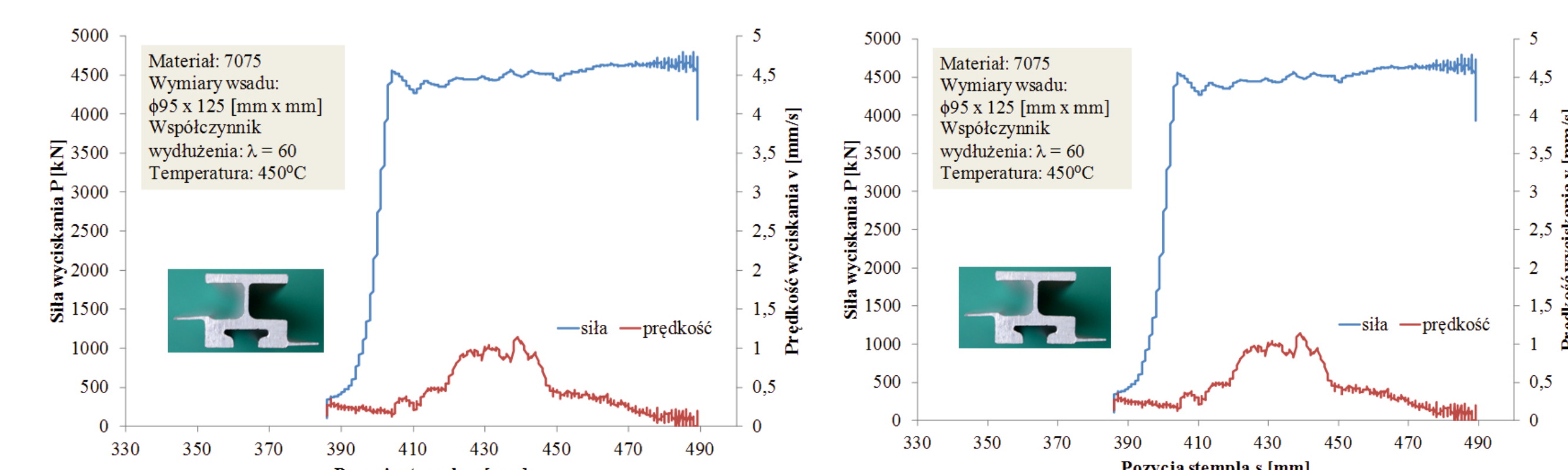
#### Matryce do wyciskania Dies to extrusion



Matryca do wyciskania profilu złożonego I  
The die to extrusion of complex section I

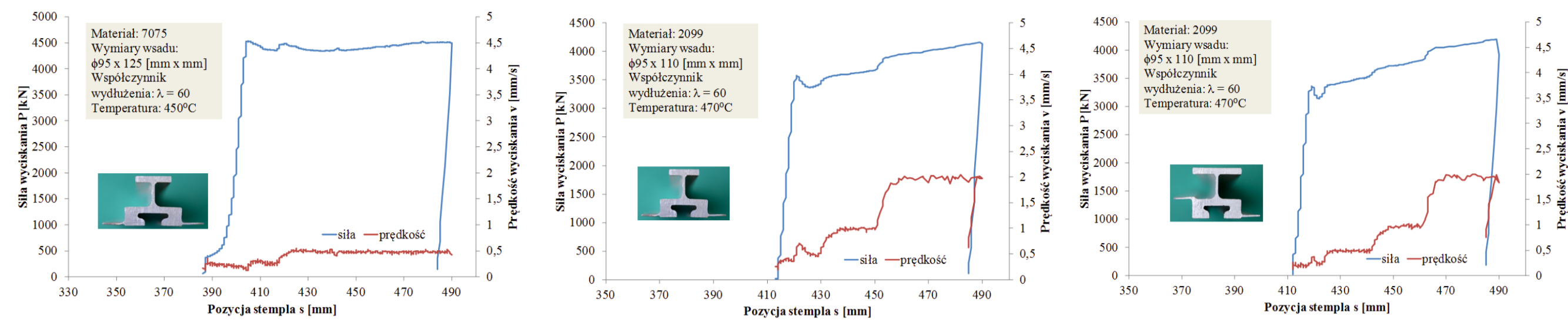
Matryca do wyciskania profilu złożonego II  
The die to extrusion of complex section II

Oprawa matrycy i wkładka matrycowa do wyciskania profilu kwadratowego  
The die case and the die to extrusion the square section

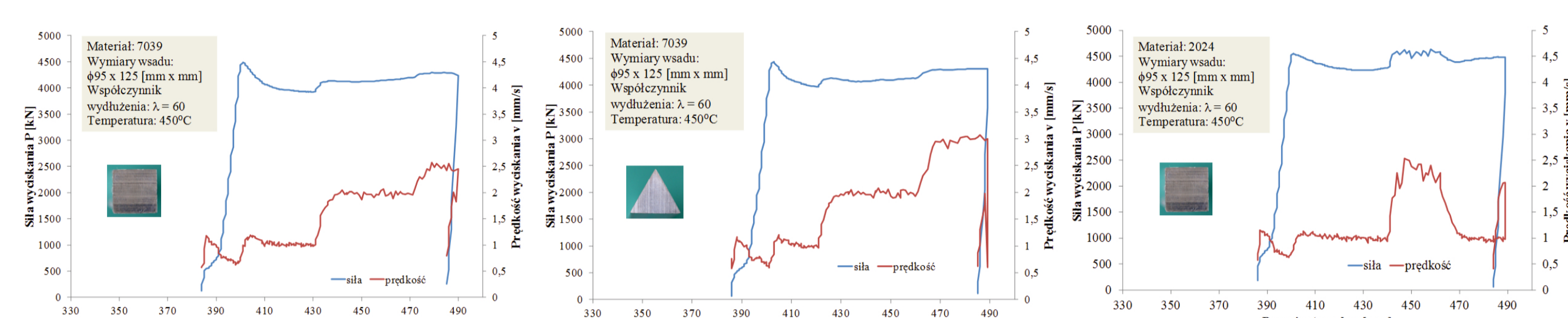


Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu złożonego I ze stopu 7075 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 7075 during extrusion of complex section I (λ = 60)

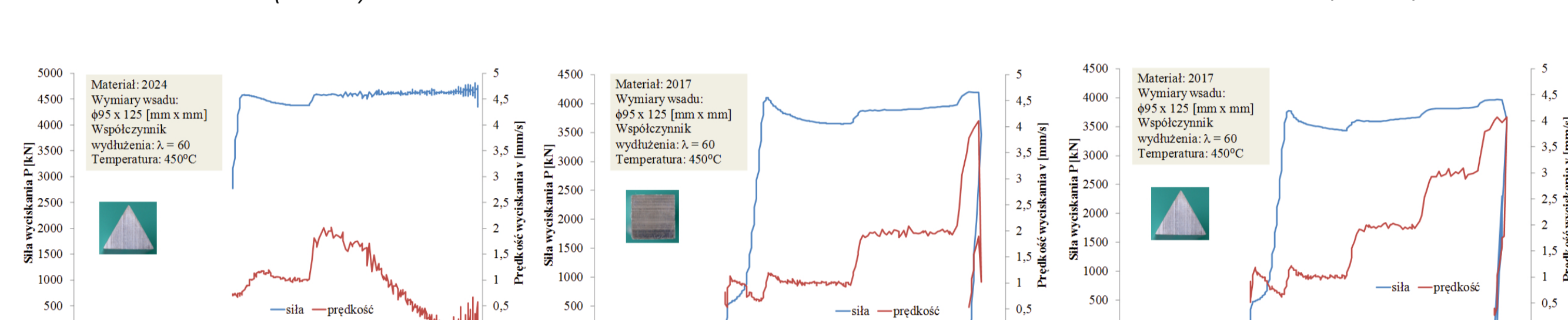
Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu złożonego I ze stopu 7075 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 7075 during extrusion of complex section I (λ = 60)



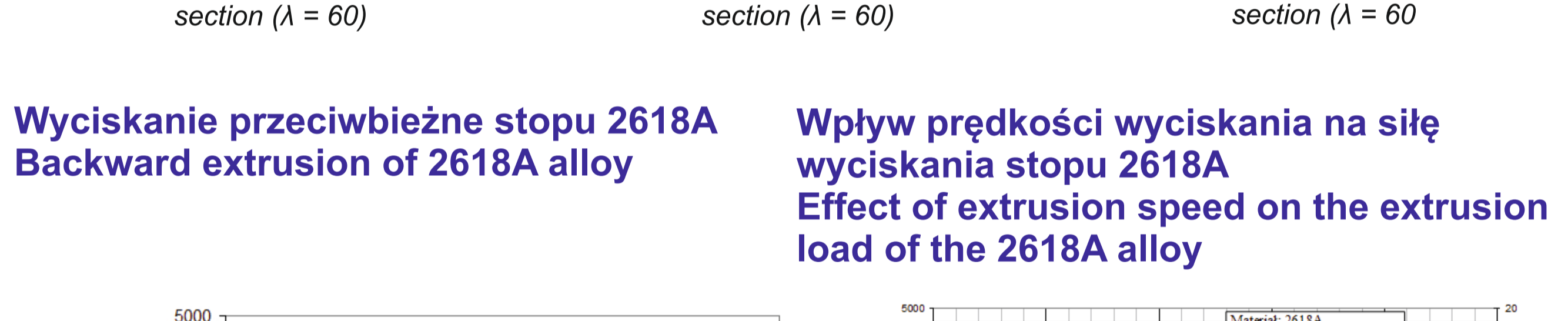
Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu złożonego II ze stopu 7075 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 7075 during extrusion of complex section II (λ = 60)



Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu trójkątnego ze stopu 2099 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 2099 during extrusion of triangle section (λ = 60)

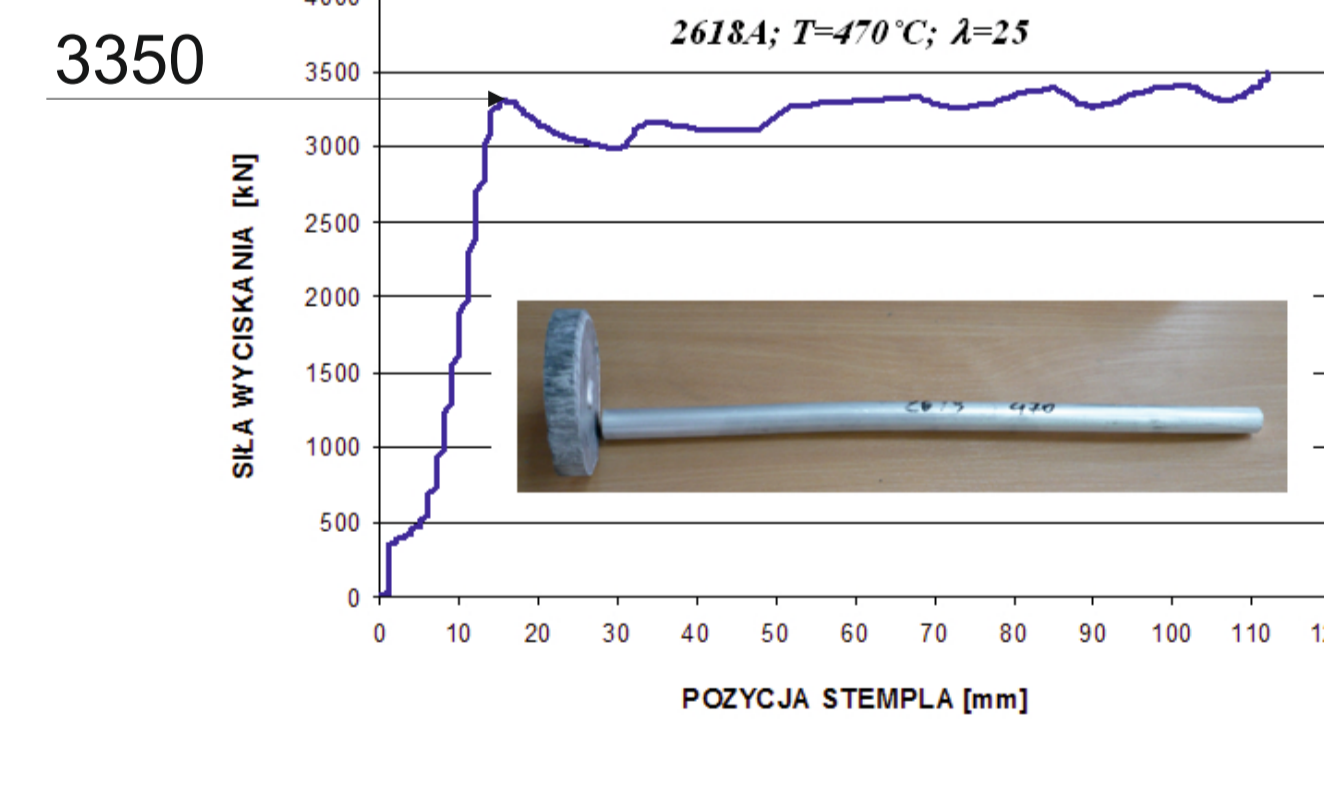
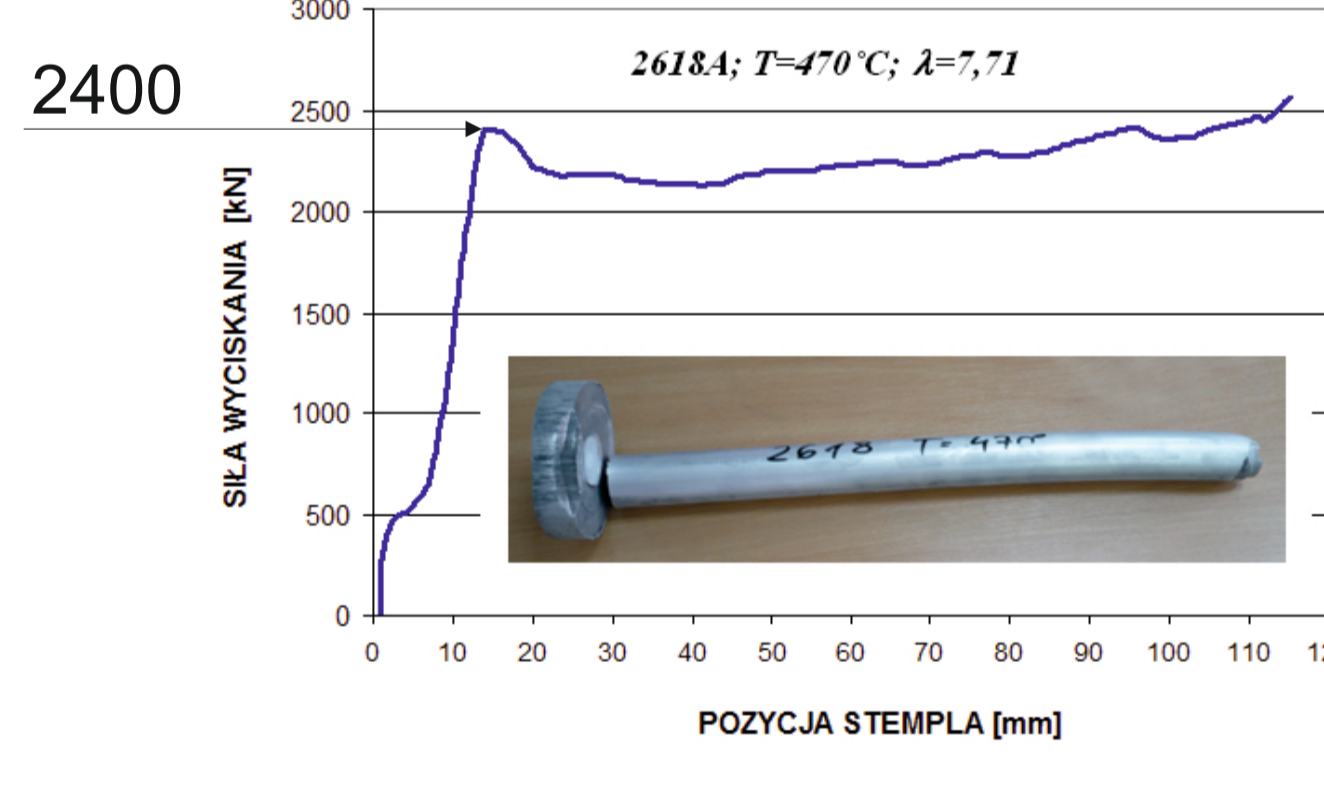
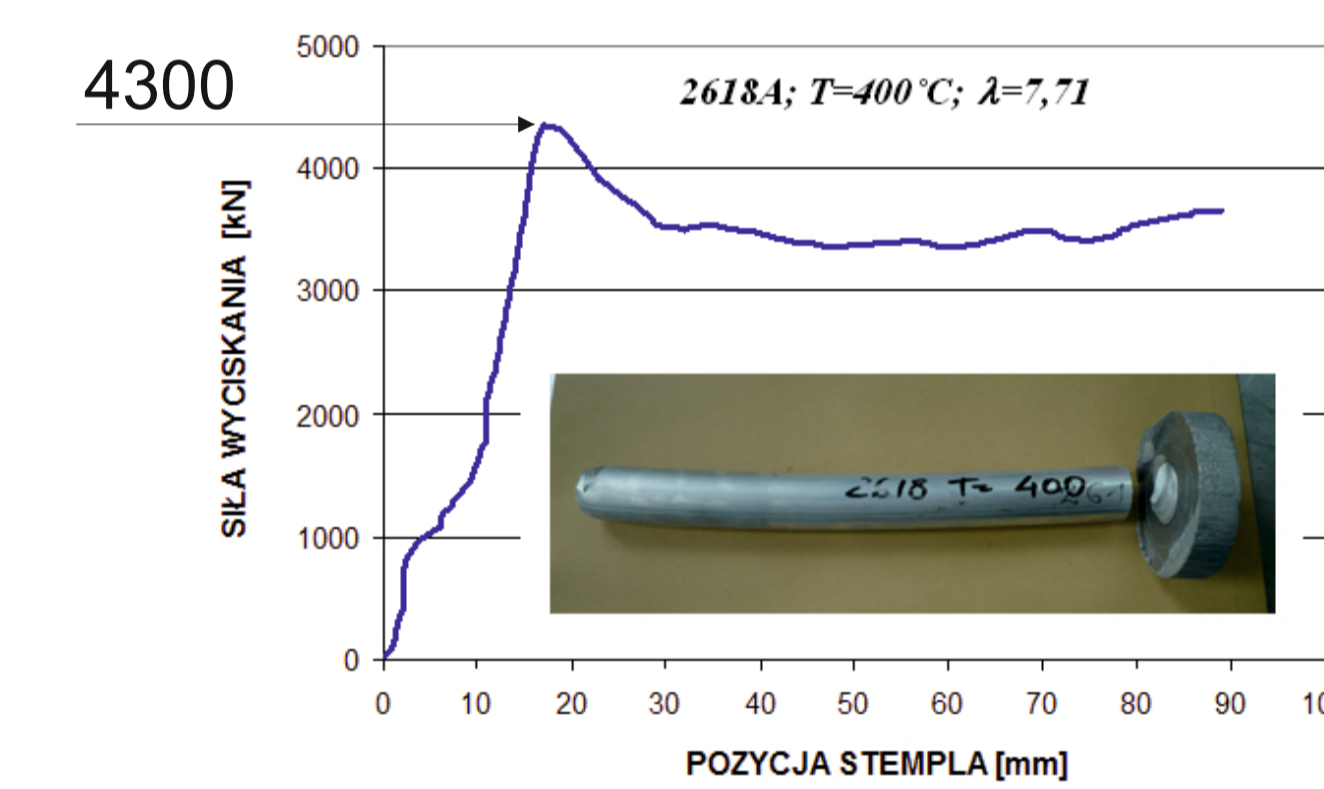


Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu kwadratowego ze stopu 2024 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 2024 during extrusion of square section (λ = 60)



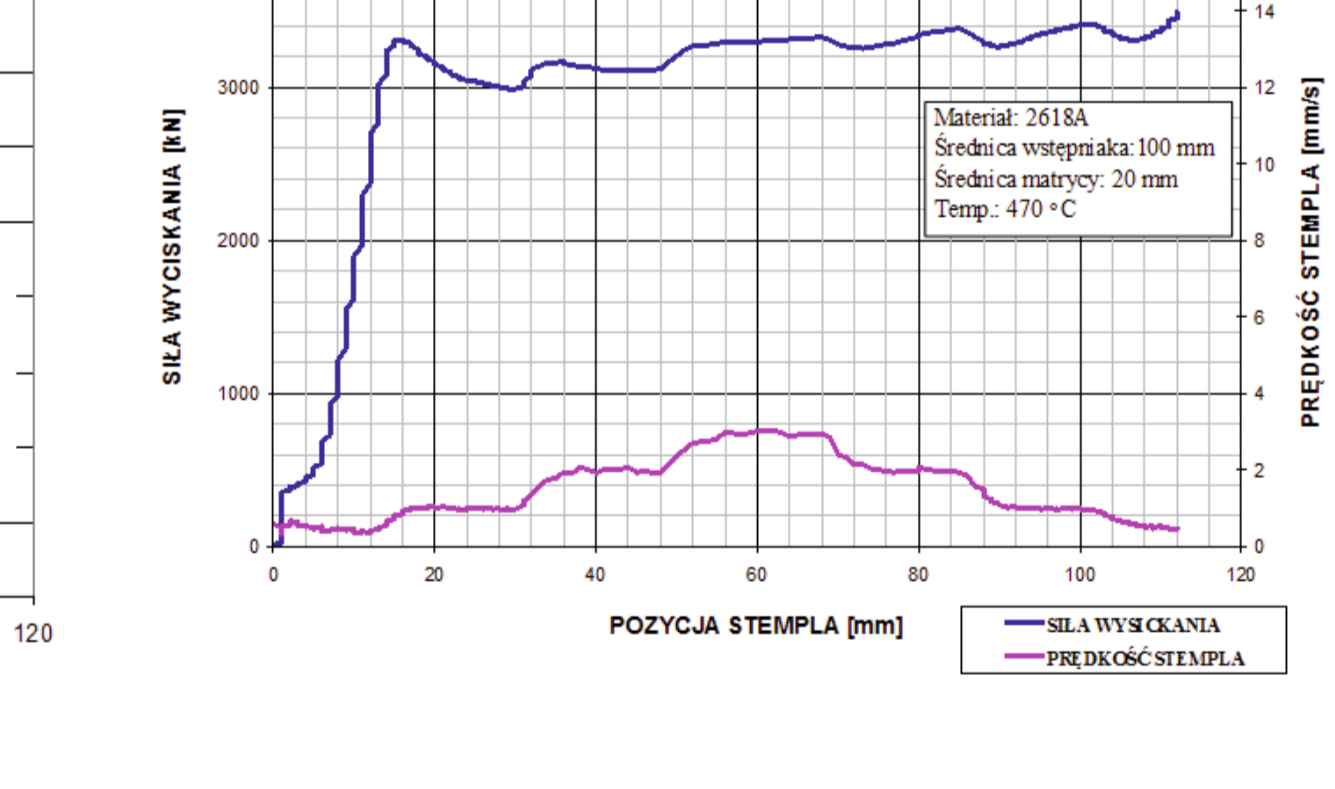
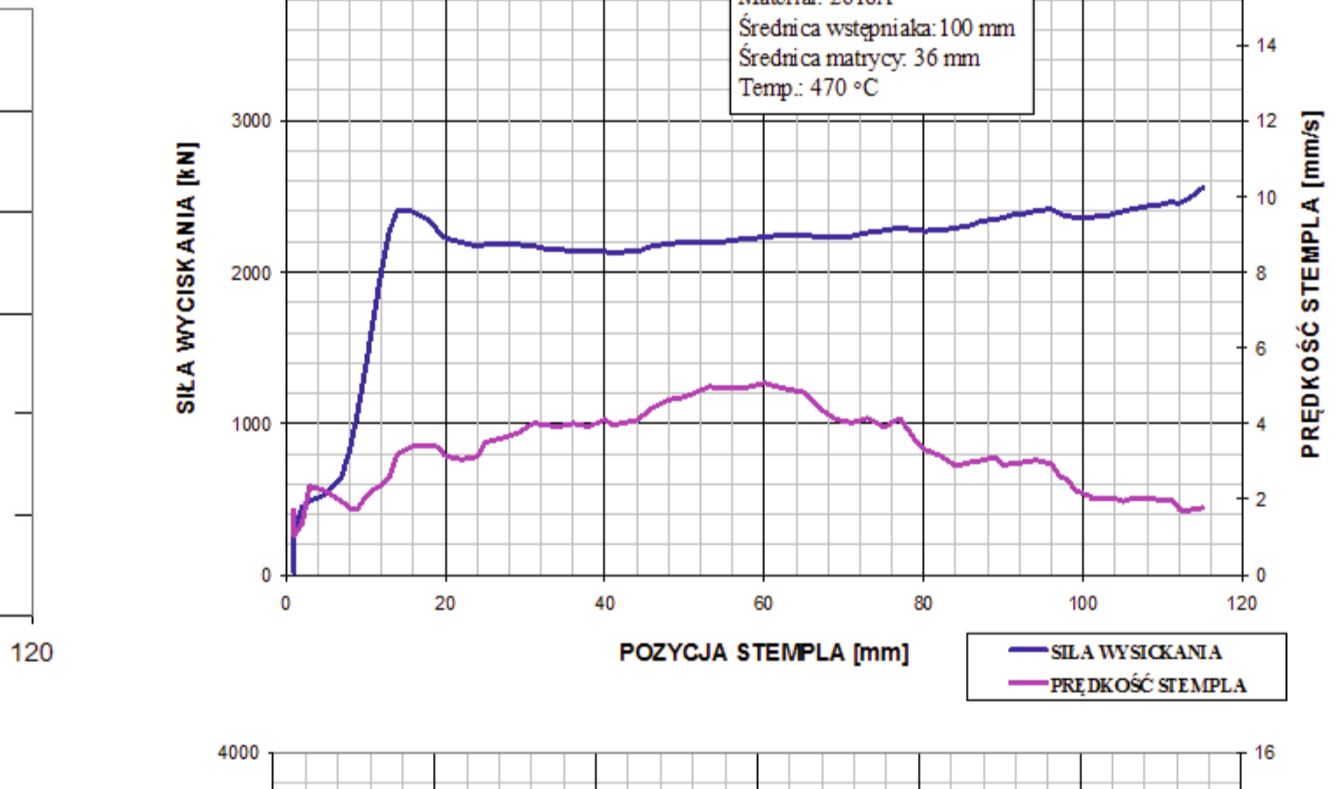
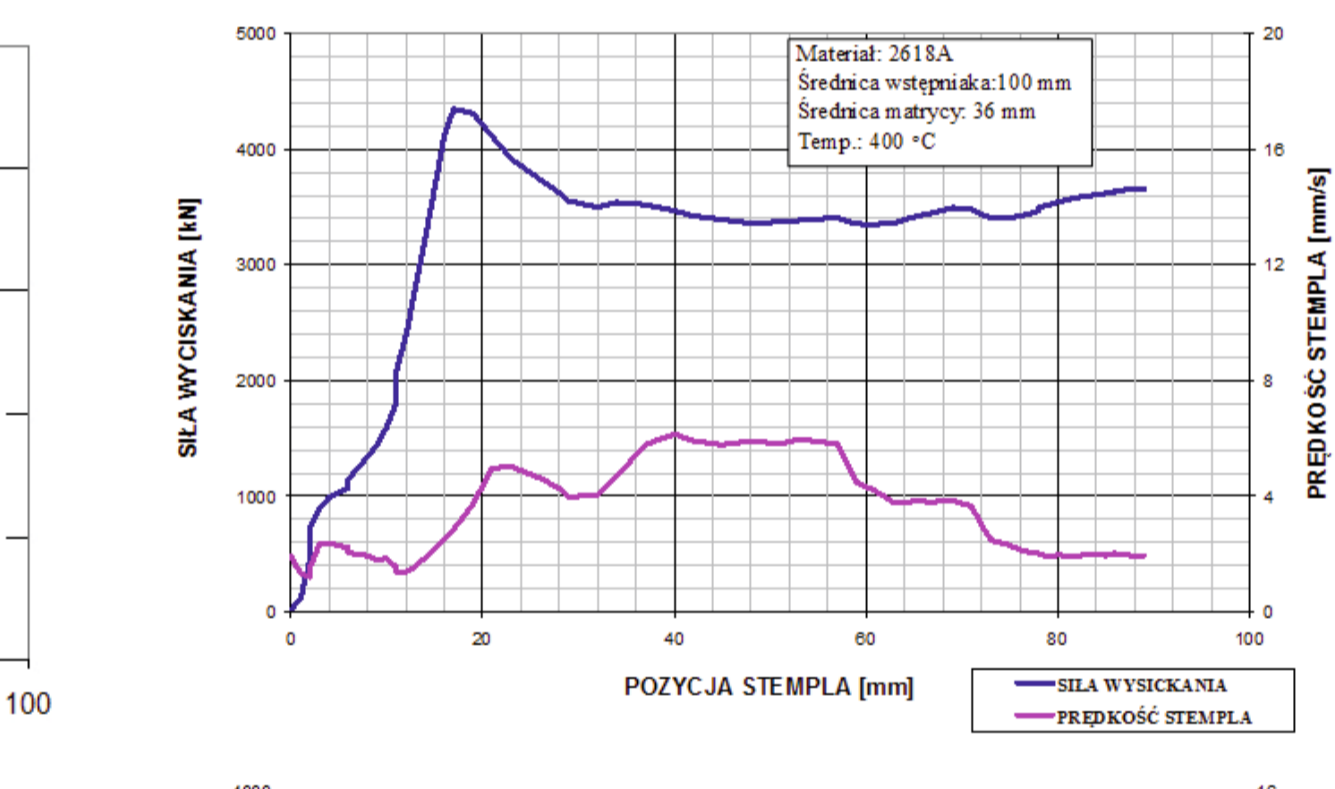
Sila i prędkość wyciskania w funkcji pozycji stempla zarejestrowane podczas wyciskania profilu trójkątnego ze stopu 2017 (λ = 60)  
The extrusion load and the stem velocity versus the stem displacement recorded for 2017 during extrusion of triangle section (λ = 60)

#### Wyciskanie przeciwbieżne stopu 2618A Backward extrusion of 2618A alloy

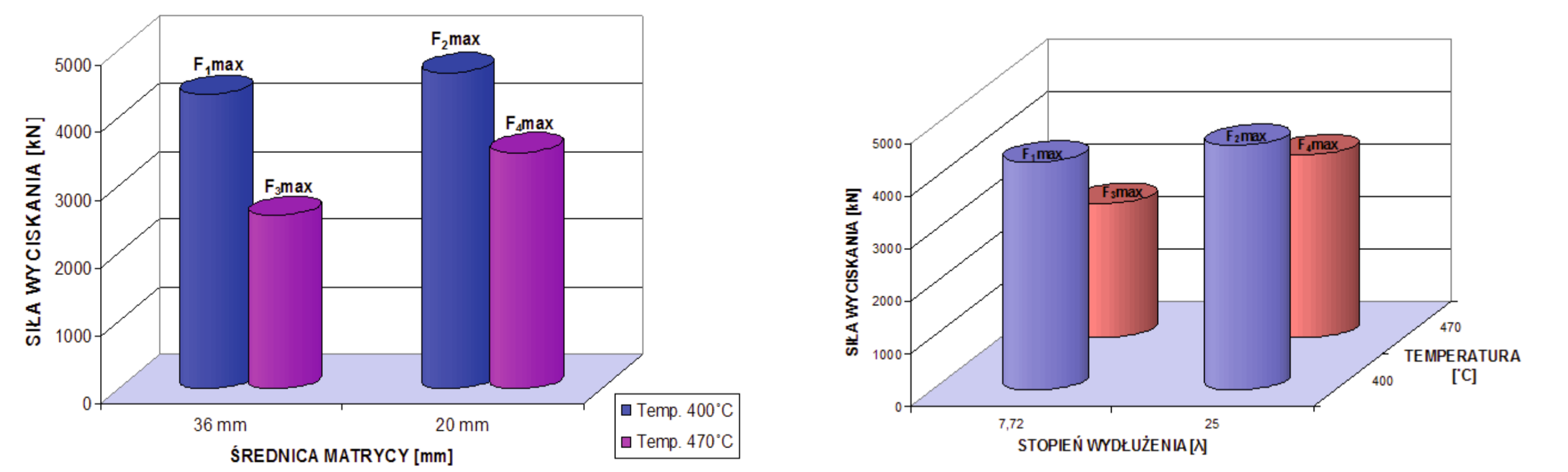


Wpływ temperatury na siłę wyciskania stopu aluminium 2618A  
Effect of temperature on the extrusion load of the 2618A alloy

#### Wpływ prędkości wyciskania na siłę wyciskania stopu 2618A Effect of extrusion speed on the extrusion load of the 2618A alloy

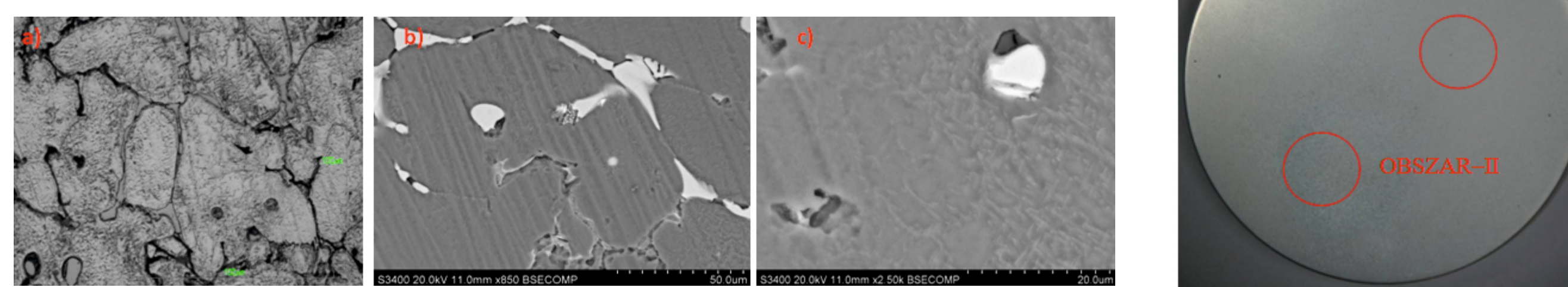


Wpływ współczynnika wydłużenia na siłę wyciskania stopu aluminium 2618A  
Effect of extrusion ratio on the extrusion load of the 2618A alloy

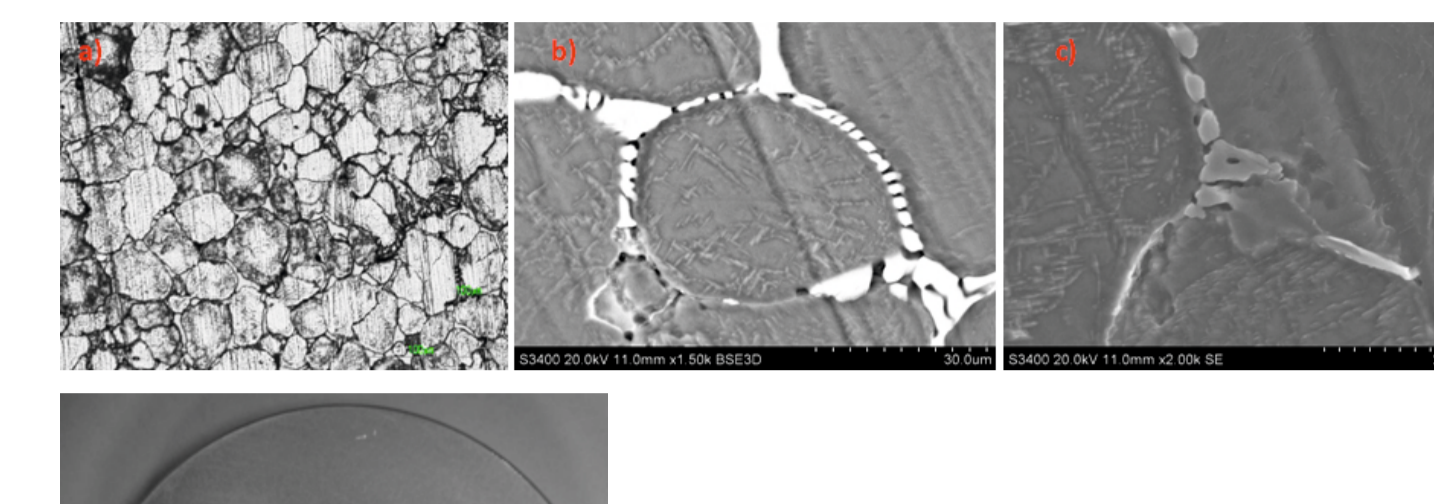


#### Makro- i mikrostruktura stopów 2014A, 2618A, 2099 Macro- and microstructure of 2014A, 2618A, 2099 alloys

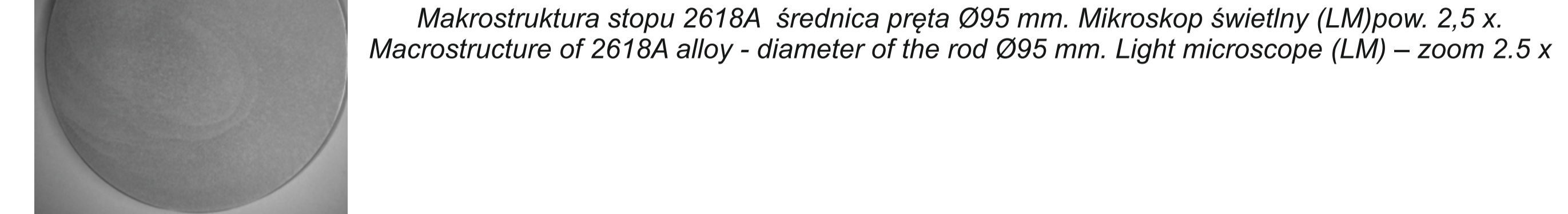
Makrostruktura stopu 2014A średnica pręta Ø95 mm. Obszary o różnicowanym rozmiarze ziarna: OBSZAR I - drobne ziarno, OBSZAR II - większe ziarno. Mikroskop świetlny (LM) pow. 2,5 x. Macrostructure of 2014A alloy - diameter of the rod Ø95 mm. Areas with different grain size: area I - fine grain, area II - larger grain. Light microscope (LM) - zoom 2,5 x.



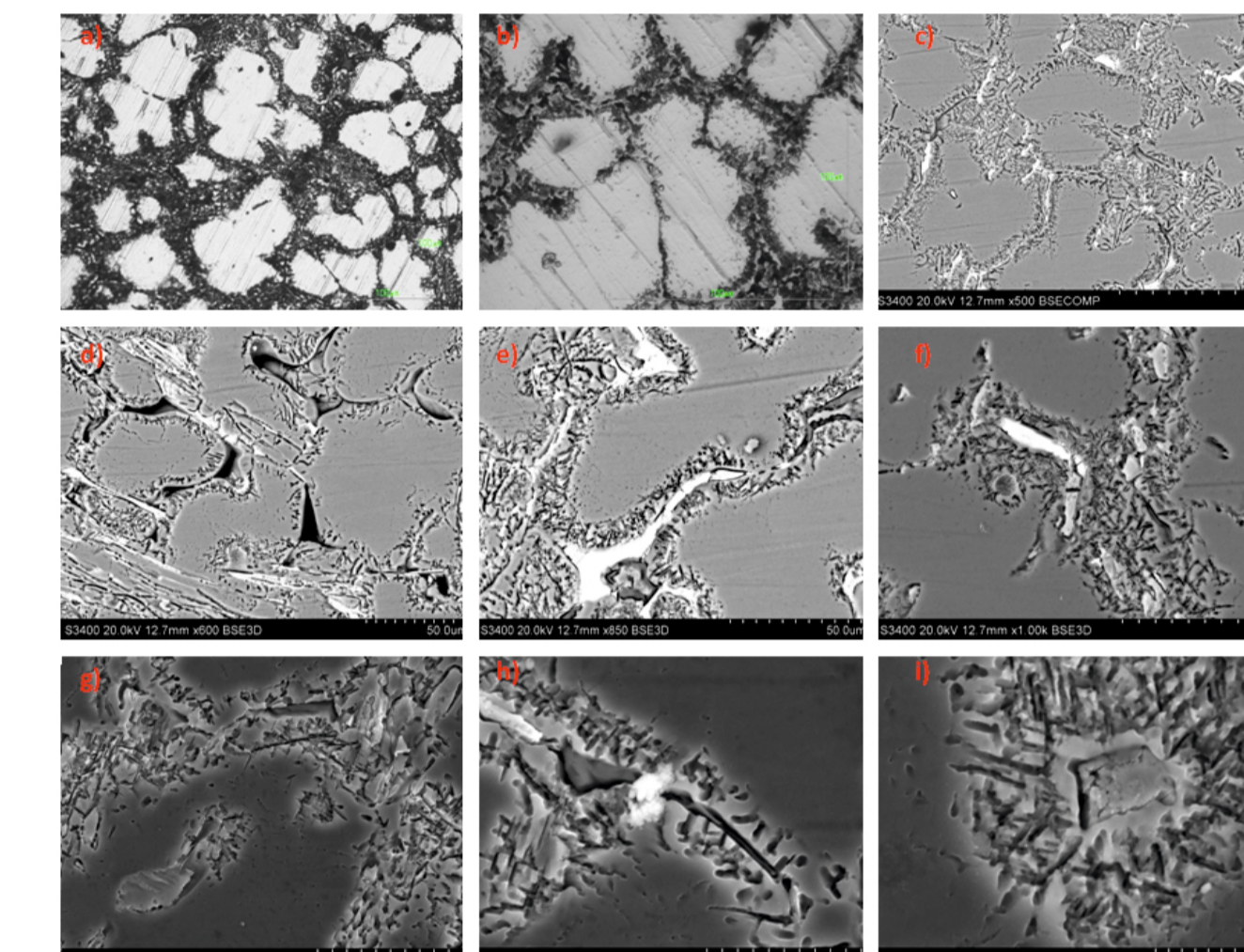
Mikrostruktura stopu 2014A (OBSZAR I): a) mikroskop świetlny (LM) pow. 500 x, b) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 850 x, c) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 2500 x. Microstructure of 2014A alloy - (area I) - a) light microscope (LM) - zoom 500 x, b) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 850 x, c) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 2500 x.



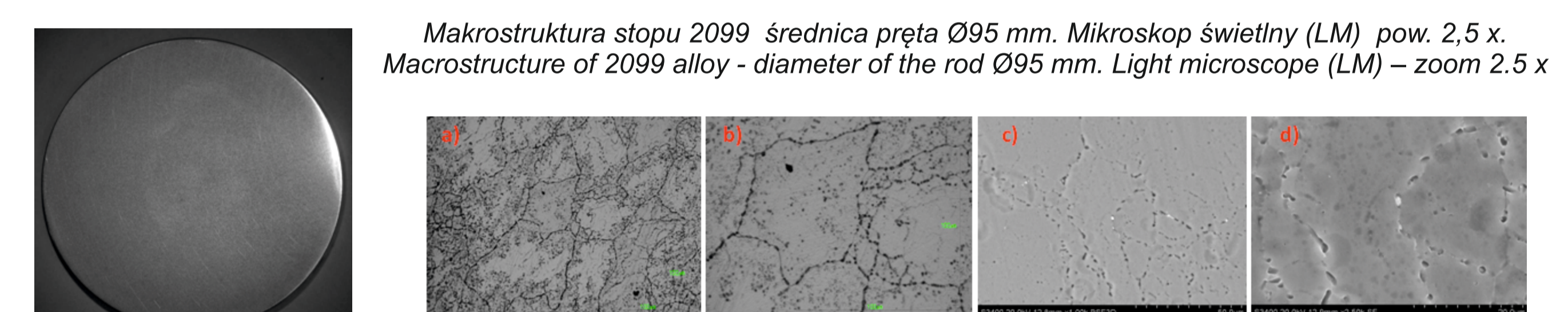
Mikrostruktura stopu 2014A (OBSZAR II), a) mikroskop świetlny (LM) pow. 200 x, b) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 1500 x, c) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 2000 x. Microstructure of 2014A alloy - (area II) - a) light microscope (LM) - zoom 200 x, b) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 1500 x, c) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 2000 x.



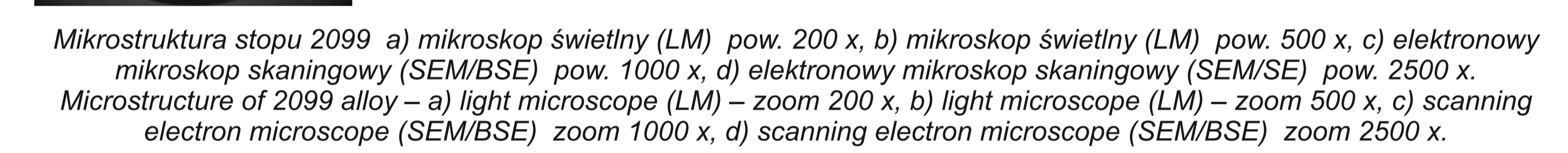
Makrostruktura stopu 2618A średnica pręta Ø95 mm. Mikroskop świetlny (LM) pow. 2,5 x. Macrostructure of 2618A alloy - diameter of the rod Ø95 mm. Light microscope (LM) - zoom 2,5 x



Mikrostruktura stopu 2618A a) mikroskop świetlny (LM) pow. 200 x, b) mikroskop świetlny (LM) pow. 500 x, c) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 150 x, d) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 600 x, e) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 850 x, f) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 1000 x, g) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 1500 x, h) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 2500 x, i) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 4000 x. Microstructure of 2618A alloy - a) light microscope (LM) - zoom 200 x, b) light microscope (LM) - zoom 500 x, c) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 150 x, d) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 600 x, e) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 850 x, f) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 1000 x, g) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 1500 x, h) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 2500 x, i) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 4000 x.

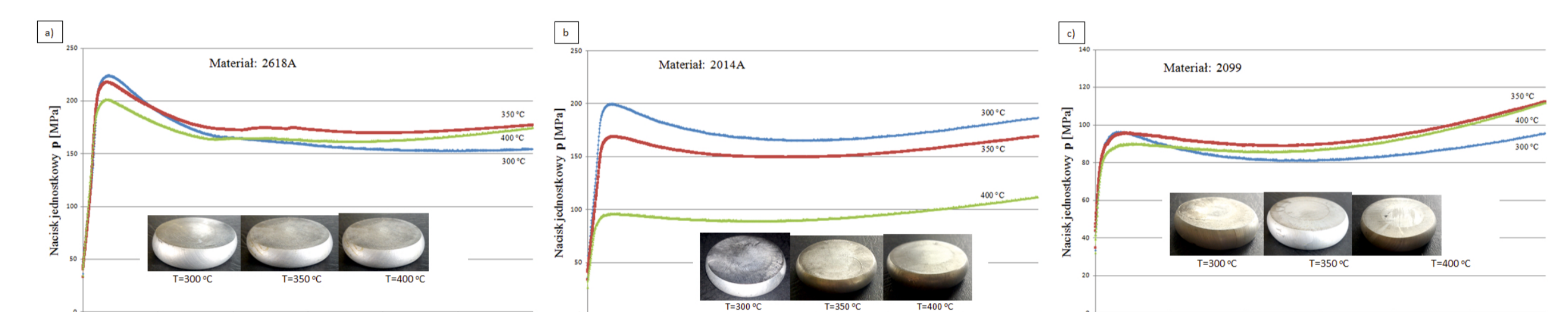


Makrostruktura stopu 2099 średnica pręta Ø95 mm. Mikroskop świetlny (LM) pow. 2,5 x. Macrostructure of 2099 alloy - diameter of the rod Ø95 mm. Light microscope (LM) - zoom 2,5 x

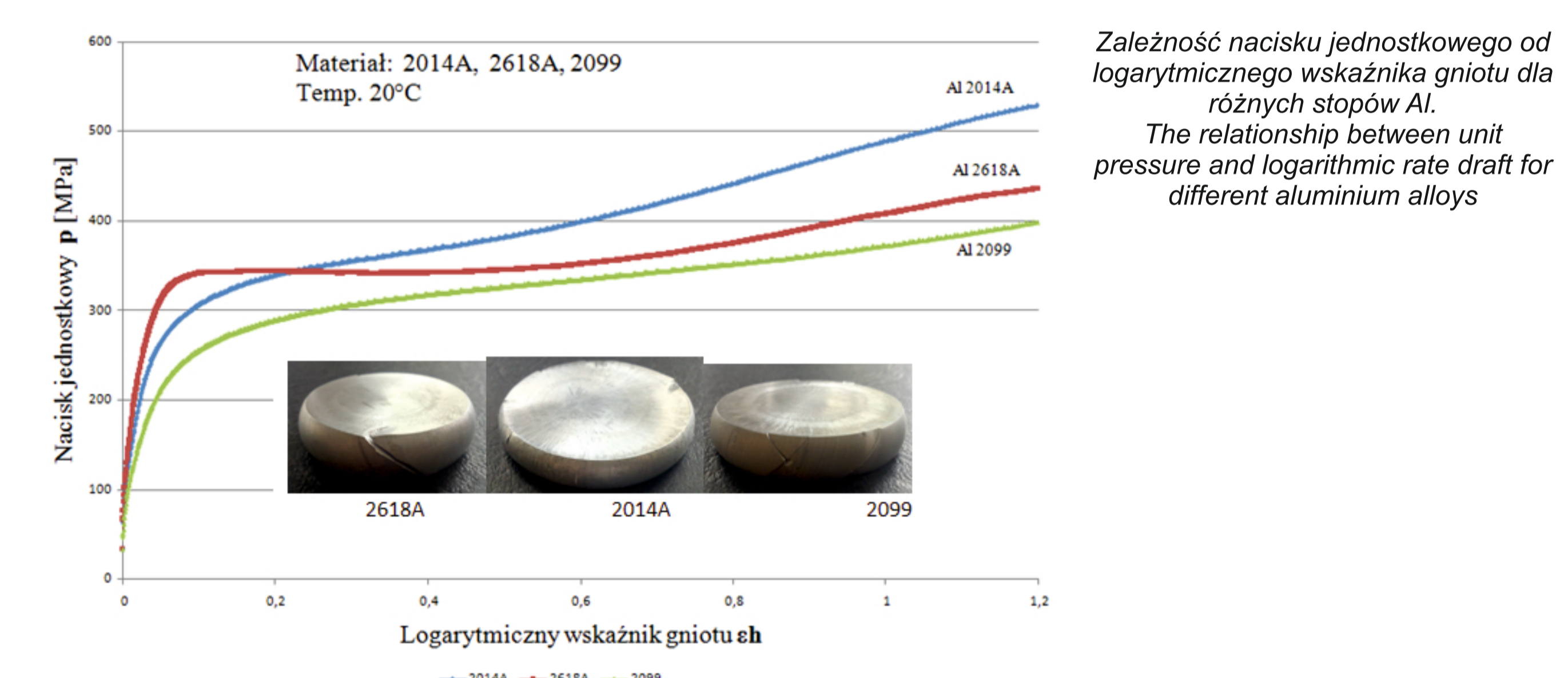


Mikrostruktura stopu 2099 a) mikroskop świetlny (LM) pow. 200 x, b) mikroskop świetlny (LM) pow. 500 x, c) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 1000 x, d) elektronowy mikroskop skaningowy (SEM/BSE) pow. 2500 x. Microstructure of 2099 alloy - a) light microscope (LM) - zoom 200 x, b) light microscope (LM) - zoom 500 x, c) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 1000 x, d) scanning electron microscope (SEM/BSE) zoom 2500 x.

#### Odształcenie na zimno i gorąco stopów 2014A, 2618A, 2099 w próbie spęczania Cold and hot upsetting tests of 2014A, 2618A, 2099 alloys



Zależność nacisku jednostkowego od logarytmicznego wskaźnika gniotu dla stopów: (a) 2618A, (b) 2014A, (c) 2099, w różnych temperaturach  
The relationship between unit pressure and logarithmic rate draft for aluminum alloys: (a) 2618A, (b) 2014A, (c) 2099, in different temperatures



Zależność nacisku jednostkowego od logarytmicznego wskaźnika gniotu dla różnych stopów Al.  
The relationship between unit pressure and logarithmic rate draft for different aluminum alloys

#### Wnioski Conclusions

#### Stopy aluminium dla lotnictwa

Największe zastosowania w lotnictwie mają stopy aluminium z miedzią i magnezem znane pod nazwą duraluminium (2-5% Cu i do 2% Mg; stopy: 2014, 2017, 2024). Jeszcze lepsze właściwości wytrzymałościowe mają stopy aluminium z krzemem, magnezem (seria 6000) i z cynkiem, magnezem (stop 7075) stosowane na najsilniej obciążone elementy konstrukcji lotniczych. Stopy aluminium z litem, którego gęstość wynosi tylko 0,53 Mg/m<sup>3</sup> są szczególnie zalecane dla przemysłu lotniczego (np. stop 2099). Zawartość 1% litu zmniejsza gęstość stopu o 3%, a moduł Younga zwiększa aż o 6%.

#### Aluminium alloys for aviation

The great use in aviation industry have aluminum alloys with copper and magnesium known as duralumin (2-5% Cu i do 2% Mg; alloys: 2014, 2017, 2024). The unusual mechanical properties have aluminum alloys with silicon and magnesium (series 6000) and with zinc (alloy 7075) applied for heavy-duty aviation constructions. Aluminum alloys with lithium, which density is only 0,53 Mg/m<sup>3</sup> are especially recommended for aviation industry (e.g. alloy 2099). Lithium content about 1% decreases alloy density about 3%, and Young modulus increases about 6%.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Prace hab., dr, mgr:

- Justyna Bąk: Wyciskanie stopu aluminium 2014A – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Paweł Bułat: Ocena odkształcalności stopów aluminium w próbie spęczania – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Magdalena Kornaga: Analiza czynników wpływających na proces wyciskania stopu aluminium 2618A – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Iwona Górka: Projektowanie matryc do wyciskania stopów aluminium – promotor – dr inż. Beata Pawłowska

#### Prace magisterskie:

- Justyna Bąk: Wyciskanie stopu aluminium 2014A – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Paweł Bułat: Ocena odkształcalności stopów aluminium w próbie spęczania – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Magdalena Kornaga: Analiza czynników wpływających na proces wyciskania stopu aluminium 2618A – promotor – dr inż. Beata Pawłowska
- Iwona Górka: Projektowanie matryc do wyciskania stopów aluminium – promotor – dr inż. Beata Pawłowska