

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

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

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

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

**Wyciskanie kształowników ze stopów aluminium i magnezu o złożonej geometrii przekroju poprzecznego**

Extrusion diverse complex profiles of aluminium and magnesium alloys

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

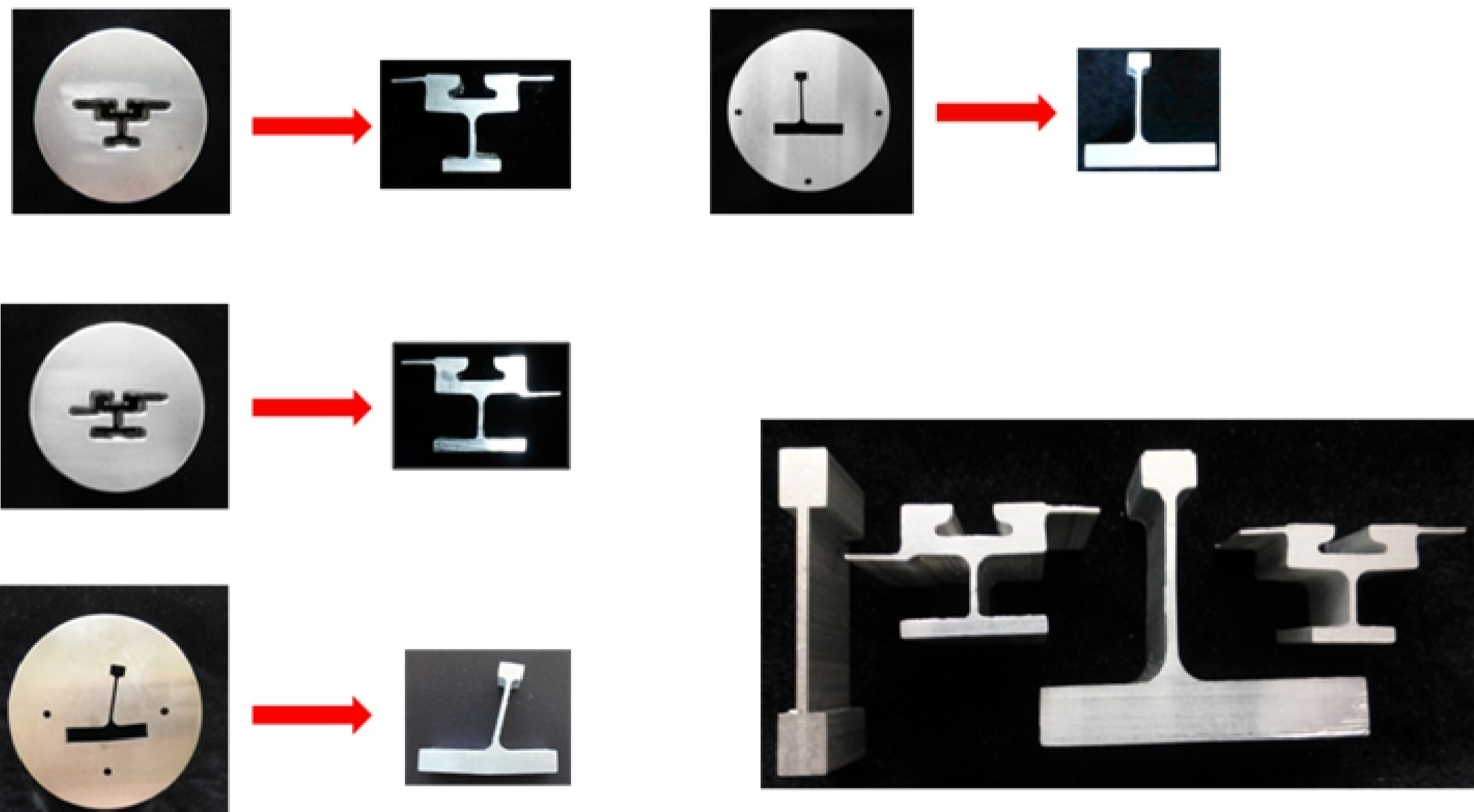
Stopy Al i Mg posiadają specyficzne własności wyróżniające je spośród innych materiałów. Mała masa właściwa, stosunkowo wysokie własności mechaniczne, odporność na ścieranie, jasna barwa, dobre przewodnictwo cieplne i elektryczne, niewielki skurcz, duża udamność w ujemnych temperaturach sprawiały, że zastosowanie ww. stopów stale wzrasta. Celowe są badania dla podniesienia własności wyrobów poprzez tworzenie nowych gatunków oraz doskonalenie technologii wytwarzania.

Obecnie większość elementów ze stopów aluminium i magnezu wytwarza się w procesach obróbki ubytkowej, a tylko nieliczna grupa wyrobów jest kształtowana plastycznie. Wadą obróbki ubytkowej jest duże zużycie materiałów, energii oraz koszty eksploatacji urządzeń (potrzeba wdrażania procesów plastycznego kształtowania wyrobów ze stopów aluminium i magnezu). Zastosowanie w produkcji procesów przeróbki plastycznej zmniejsza koszty wytwarzania wyrobów, poprawia ich właściwości wytrzymałościowe i zmęczenia dzięki korzystnej makro i mikrostrukturze.



Tabela. Parametry procesu wyciskania stopów Mg i Al

Parametry procesu		Wymiary wlewka	
Temperatura nagrzewania wstępniaka, [°C]	350, 450	d <sub>0</sub> , [mm]	95
Czas nagrzewania, [min]	~40	h <sub>0</sub> , [mm]	125
Temperatura wyciskania, [°C]	400, 465	Stan	wyciskany
Prędkości wyciskania, [mm/s]	0,25-4		
Współczynnik wydłużenia λ	20, 60		
Temperatura matrycy, [°C]	450		



**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution

**Wyciskanie przeciwbieżne - matryce i profile**  
Backward extrusion - dies and profiles

Stopy magnezu do zastosowań w lotnictwie  
Wyselekcjonowane materiały do badań

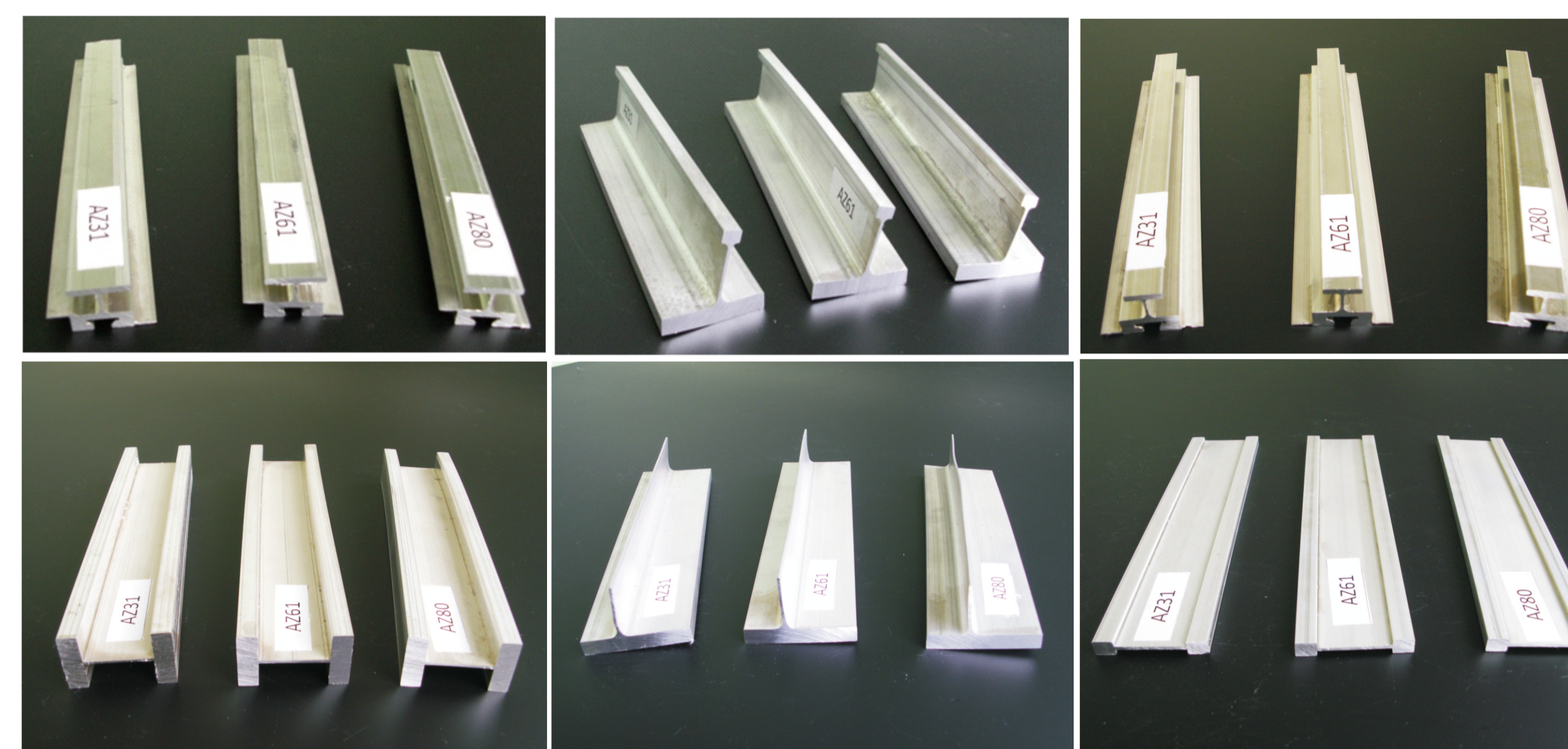
**Magnez**

AZ31C, AZ31B, AZ61A, AZ80A, WE43A, WE54

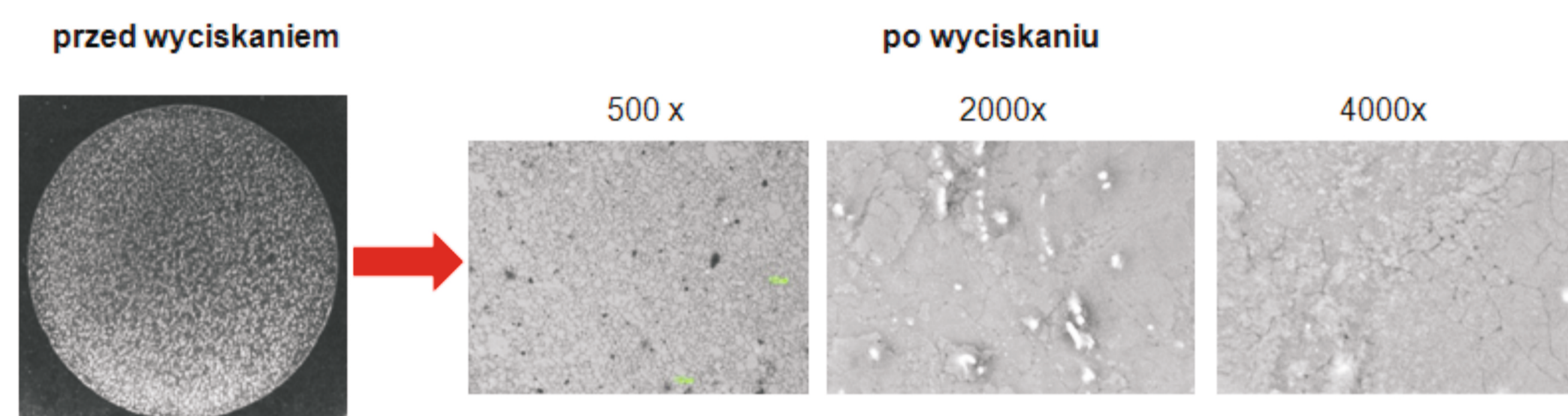
Stop	Właściwości mechaniczne				
	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>0,01</sub> [MPa]	A [%]	α [°C]
AZ31	160	100	240	10	-
AZ61	190	100	270	9	-
AZ80	225	100	300	8	-
WE43	160	100	290	10	-

Skład chemiczny, [% masowy]

Stop	Al	Zn	Mg	Cu	Ca	Y	Na	Zr
AZ31	2,5-3,5	0,7-1,3	0,2-1,0	0,05	0,04	-	-	-
AZ61	5,7-8,2	0,4-1,5	0,15-0,5	0,05	-	-	-	-
AZ80	8	0,5	0,2	-	-	-	-	-
WE43	-	-	-	-	-	4,0	2,0	0,45

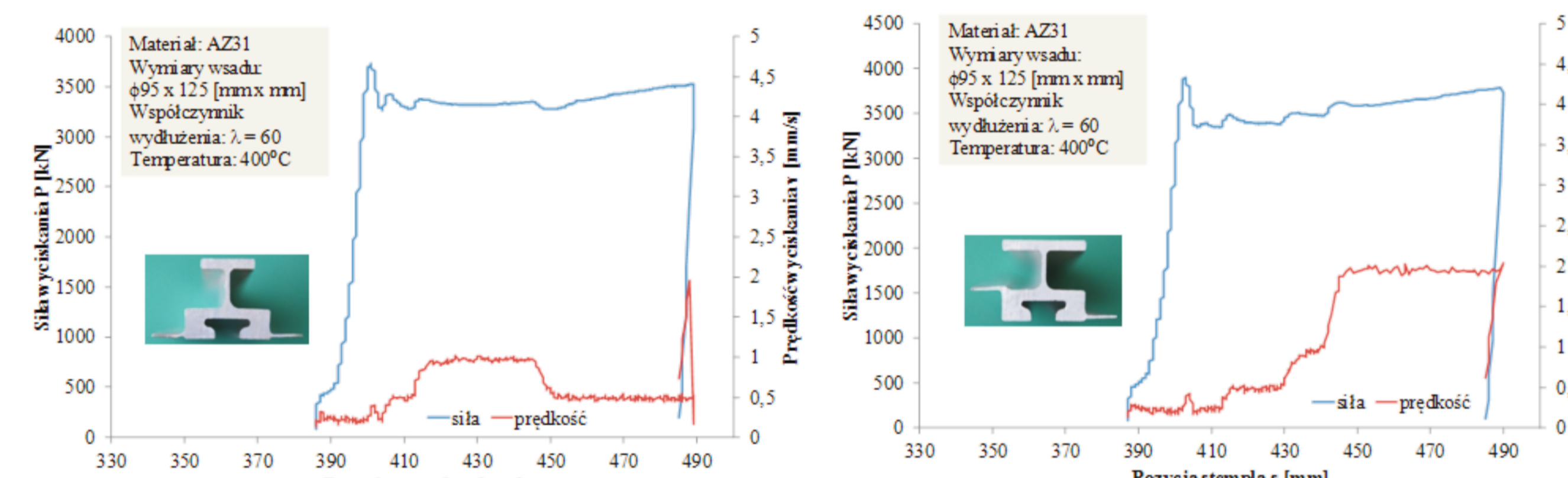


**Makro i mikrostruktura stopu AZ31**

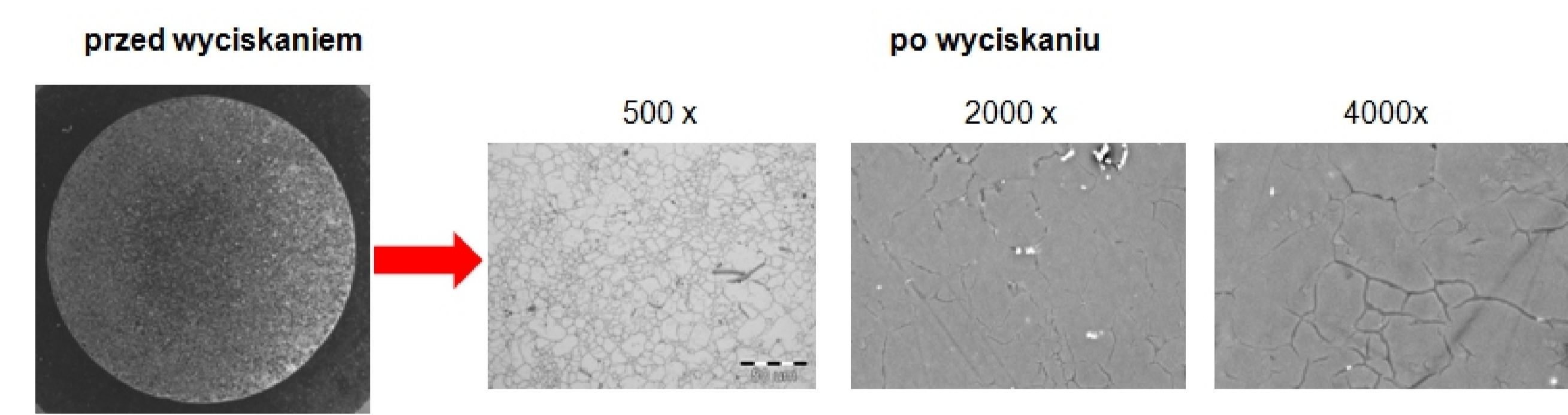


**Przed wyciskaniem**  
Makrostruktura: jednorodna, drobnziarnista.  
Mikrostruktura: osnowa ziarna roztworu stałego Mg oraz stosunkowo duże cząsteczki fazy międzymetalicznej MnAl, rolę umacniającą spełniają słabo widoczne, bardzo drobne, zdefragmentowane w wyniku przeróbki plastycznej wydzielenia fazy Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>.

**Po wyciskaniu**  
Makrostruktura i mikrostruktura jest jednorodna pod względem rozmiarów ziarn w całym badanym przekroju. Zastosowane zabiegi przeróbki plastycznej spowodowały znaczne rozdrobnienie ziarna.



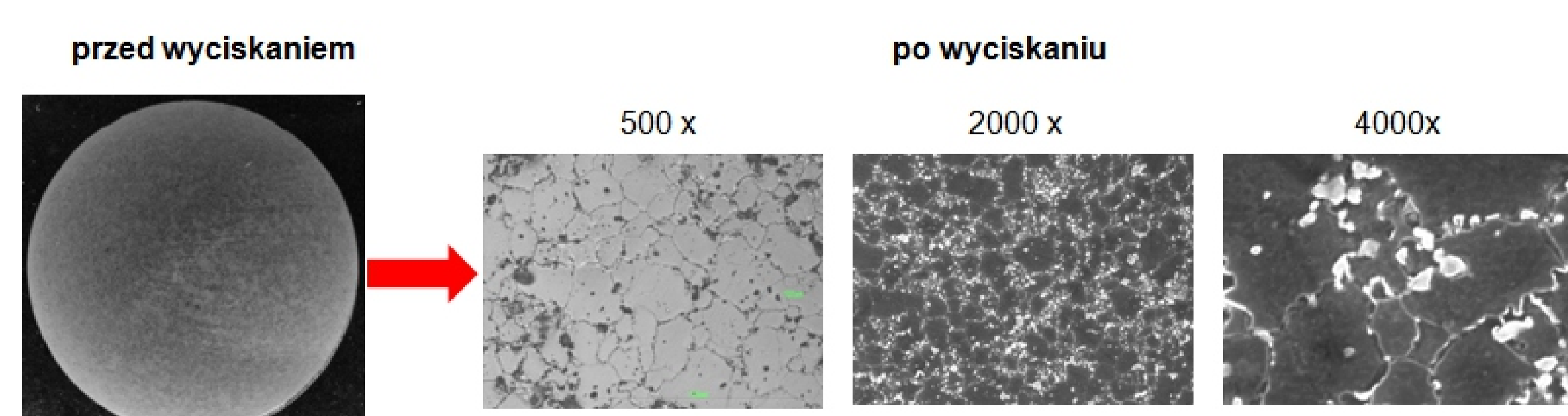
**Makro i mikrostruktura stopu AZ61**



**Przed wyciskaniem**  
Makrostruktura: jednorodna, drobnziarnista.  
Mikrostruktura: osnowa równoosiowa ziarna roztworu stałego Mg i cząsteczek fazy Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> rozłożone równomiernie, zdefragmentowane w wyniku przeróbki plastycznej wydzielenia fazy AlMn (np. Al<sub>8</sub>Mn<sub>5</sub> lub Al<sub>4</sub>Mn), globularne cząsteczki fazy MgAlZn oraz duże zwarte kryształy idiomorficznej fazy zawierającej Zn.

**Po wyciskaniu**  
Makrostruktura i mikrostruktura jest jednorodna pod względem rozmiarów ziarn w całym badanym przekroju. Zastosowane zabiegi przeróbki plastycznej spowodowały znaczne rozdrobnienie ziarna.

**Makro i mikrostruktura stopu AZ80**



**Przed wyciskaniem**  
Makrostruktura: jednorodna, drobnziarnista.  
Mikrostruktura: osnowa ziarna roztworu stałego Mg i cząsteczki fazy Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> rozłożone równomiernie, duże, zwarte, częściowo zdefragmentowane w wyniku przeróbki plastycznej wydzielenia fazy AlMn, drobne cząsteczki fazy MgAlZn oraz duże bardzo małe o równoosiowym kształcie cząsteczki fazy czteroskładnikowej zawierającej ciez (MgAlZnCe).

**Po wyciskaniu**  
Makrostruktura i mikrostruktura jest jednorodna pod względem rozmiarów ziarn w całym badanym przekroju. Zastosowane zabiegi przeróbki plastycznej spowodowały znaczne rozdrobnienie ziarna.

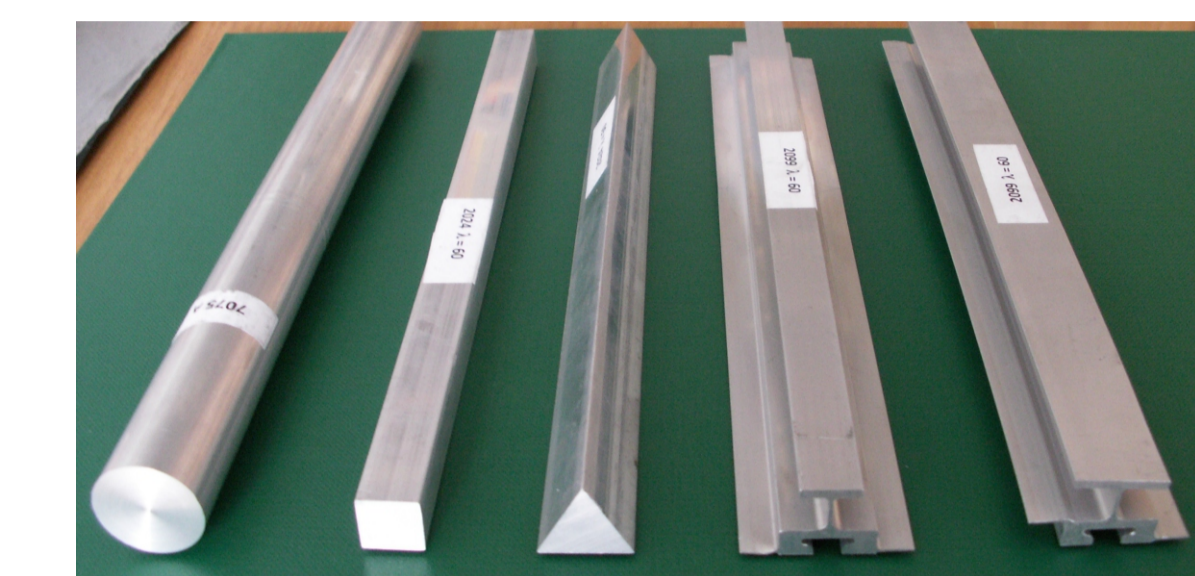
**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution

**Wyciskanie przeciwbieżne - matryce i profile**  
Backward extrusion - dies and profiles

Stopy aluminium do zastosowań w lotnictwie  
Wyselekcjonowane materiały do badań

**Aluminium**

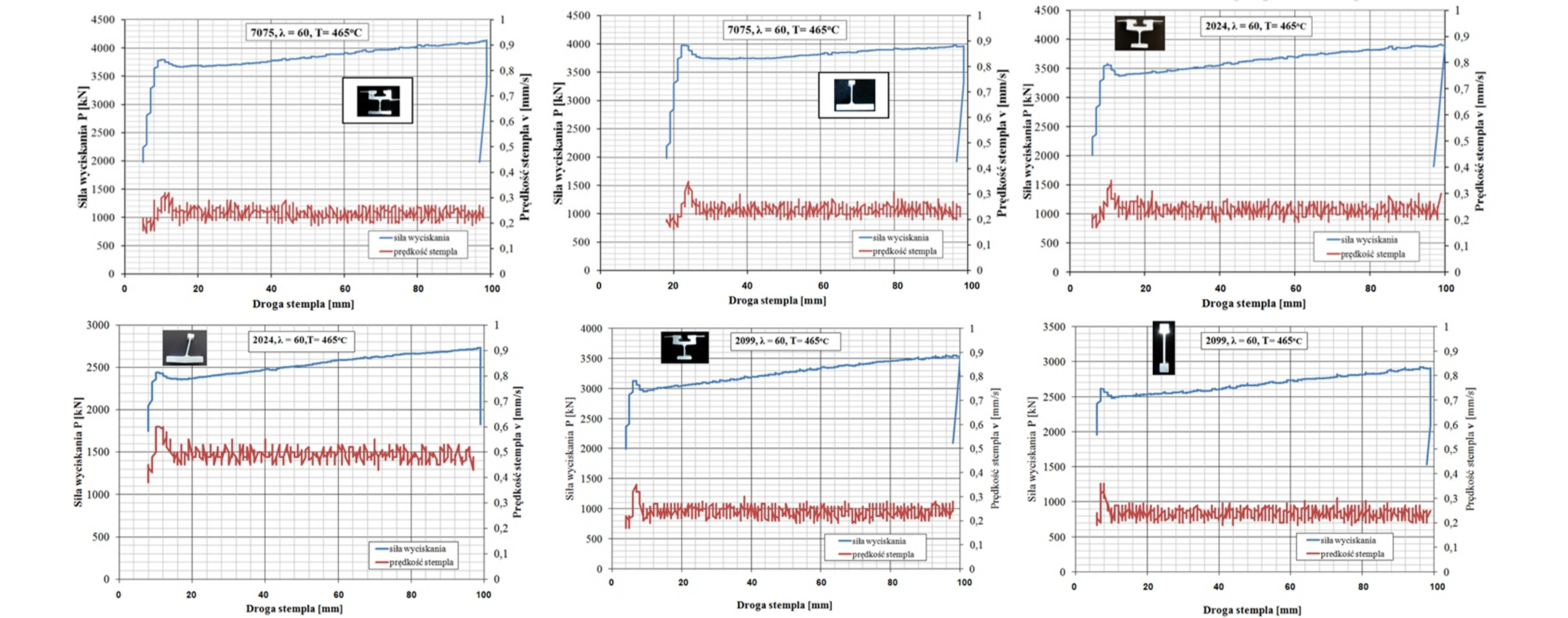
2618A, 2014A, 2024, 6101, 8090, 7075, 2099



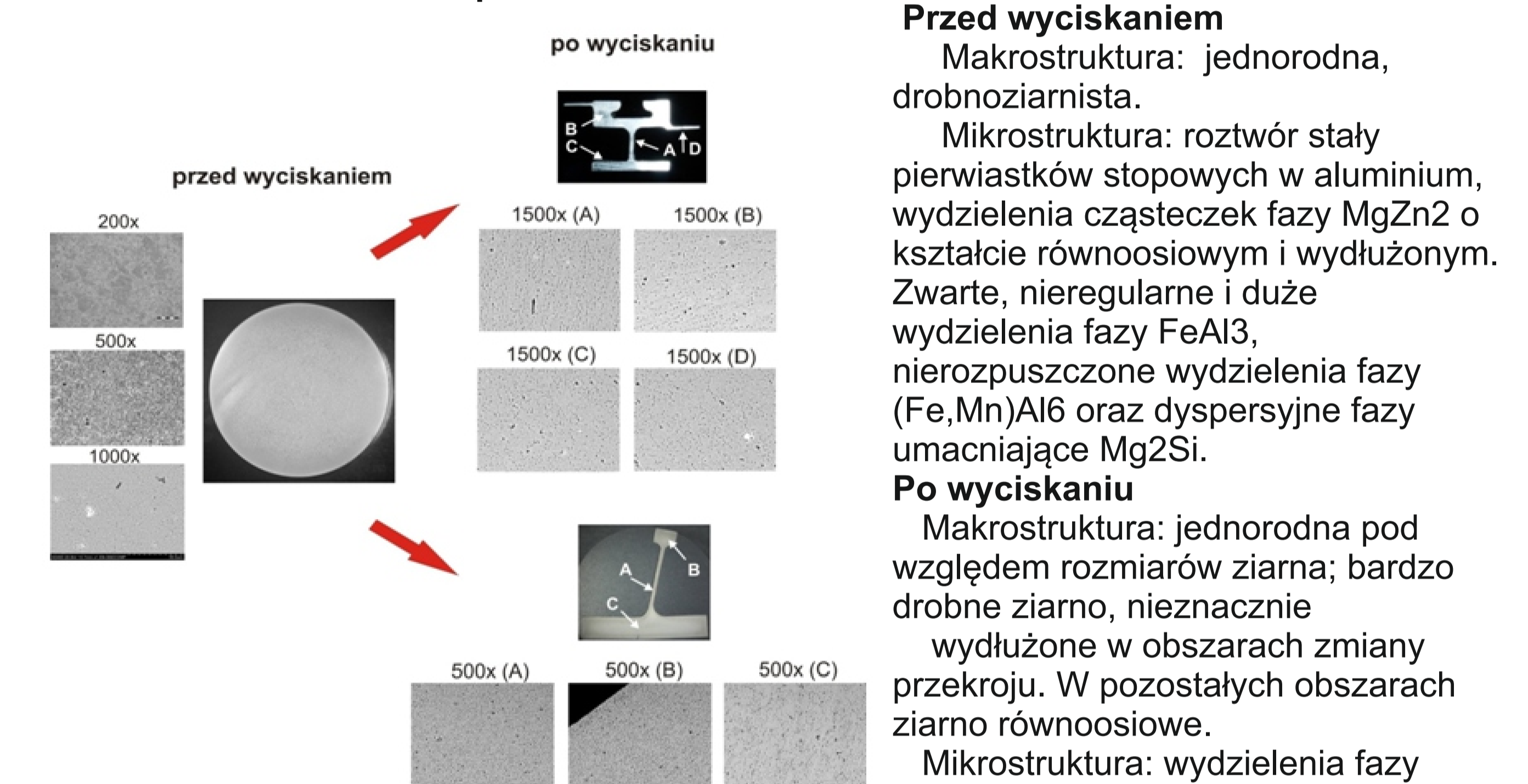
Stop	Właściwości mechaniczne			
	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	A [%]	α [°C]
7075	430	510	7	-
2024	452	583	12	-
2099	600	618	6	-

Skład chemiczny, [% masowy]

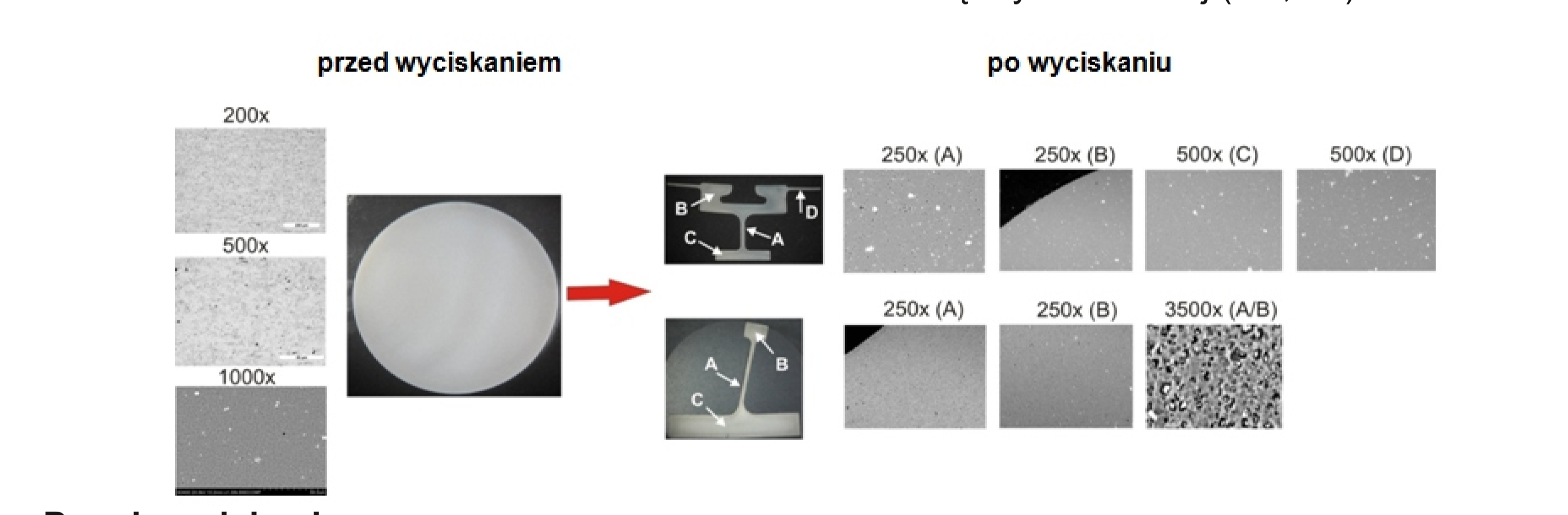
Stop	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Li	Inne
7075	0,40	0,50	1,2-2,0	0,30	2,1-2,9	0,2-0,3	5,1-6,1	0,20	0,25	-	0,05
2024	0,50	0,50	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	0,10	0,25	0,15	0,10	-	0,05
2099	0,05	0,07	2,4-3,0	0,1-0,5	1,1-0,5	-	0,4-1,0	0,1	0,05-0,12	1,6-2,0	0,05



**Mikro i mikrostruktura stopu 7075**



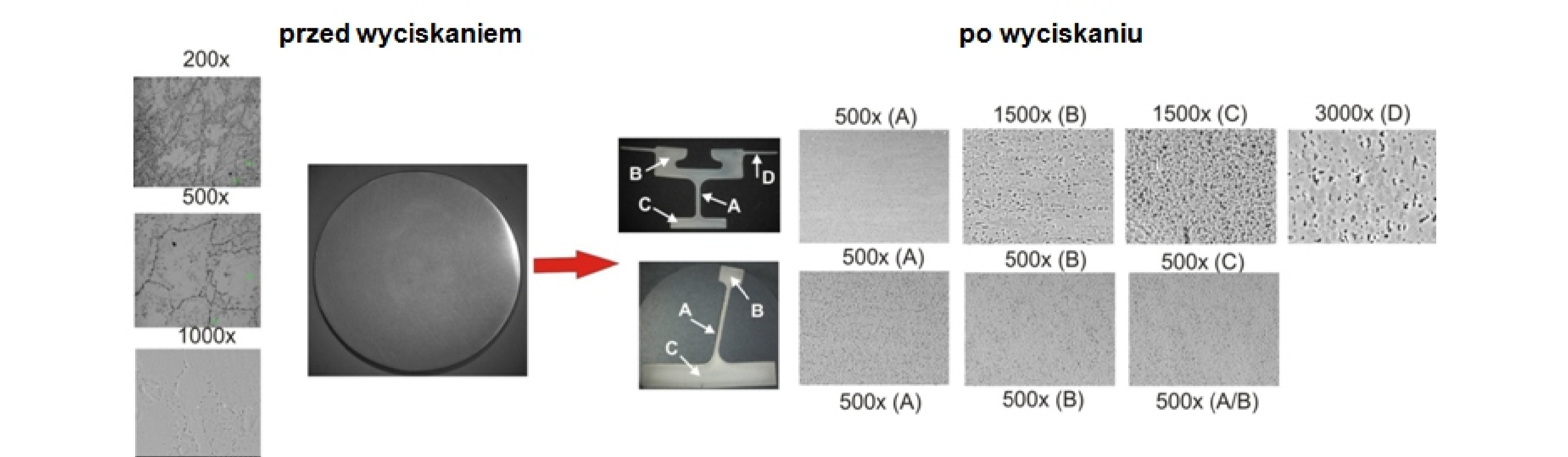
**Makro i mikrostruktura stopu 2024**



**Przed wyciskaniem**  
Makrostruktura: jednorodna, drobnziarnista.  
Mikrostruktura: osnowa - ziarna roztworu stałego Al oraz duże, nierozpuszczone cząsteczki fazy międzymetalicznej (Cu,Fe,Mn)Al<sub>6</sub> i cząsteczki fazy CuMgAl<sub>2</sub> w postaci bardzo drobnych wydzielen o sferoidalnym kształcie.

**Po wyciskaniu**  
Makrostruktura: jednorodna pod względem rozmiarów ziarna. Charakteryzuje się bardzo drobnym ziarnem, nieznacznie wydłużonym.  
Mikrostruktura: wydzielenia fazy międzymetalicznych uległy defragmentacji i rozdrobnieniu. Zaobserwować można nieliczne zwarte wydzielenia fazy międzymetalicznej (Cu,Fe,Mn)Al<sub>6</sub>.

**Makro i mikrostruktura stopu 2099**



**Przed wyciskaniem**  
Makrostruktura: jednorodna, drobnziarnista.  
Mikrostruktura: ziarna osnowy roztwór stały Al, w którym umieszczone są wydzielenia drobnych cząsteczek faz Mg<sub>2</sub>(Zn,Cu,Al)<sub>2</sub> i MgZn<sub>2</sub>. Duże wydzielenia faz międzymetalicznych MnFeCuAl o nieregularnym kształcie oraz wydzielenia fazy (Fe,Mn)Al<sub>6</sub> na granicach ziarn. Rola umacniająca pełnią cząstki dyspersyjnej fazy Al<sub>2</sub>Cu.

**Po wyciskaniu**  
Makrostruktura i mikrostruktura jest jednorodna pod względem rozmiarów ziarn oraz morfologii składników fazowych. Rozdrobnieniu uległy wydzielenia faz międzymetalicznych. Faza umacniająca w postaci cząsteczek dyspersyjnych pozostała niezmienną pod względem rozłożenia i rozmiarów.

The determination of the extrusion process conditions on the basis of the upsetting test results allowed for the proper parameters choice for a given extruded Aluminum and Magnesium alloys achieving products of complex cross-sections and required properties but also high quality required in aerospace industry. This has been demonstrated on the example of complex cross-sectional profiles using elements of varied wall thickness. The test results proved very good formability of the investigated alloys using backward extrusion. In a specified range of temperatures and extrusion rates, sections characterized by high quality finish surface, accurate shape of the cross-section and homogeneity of the structure as well as mechanical properties presented by the hardness tests, were obtained.

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

