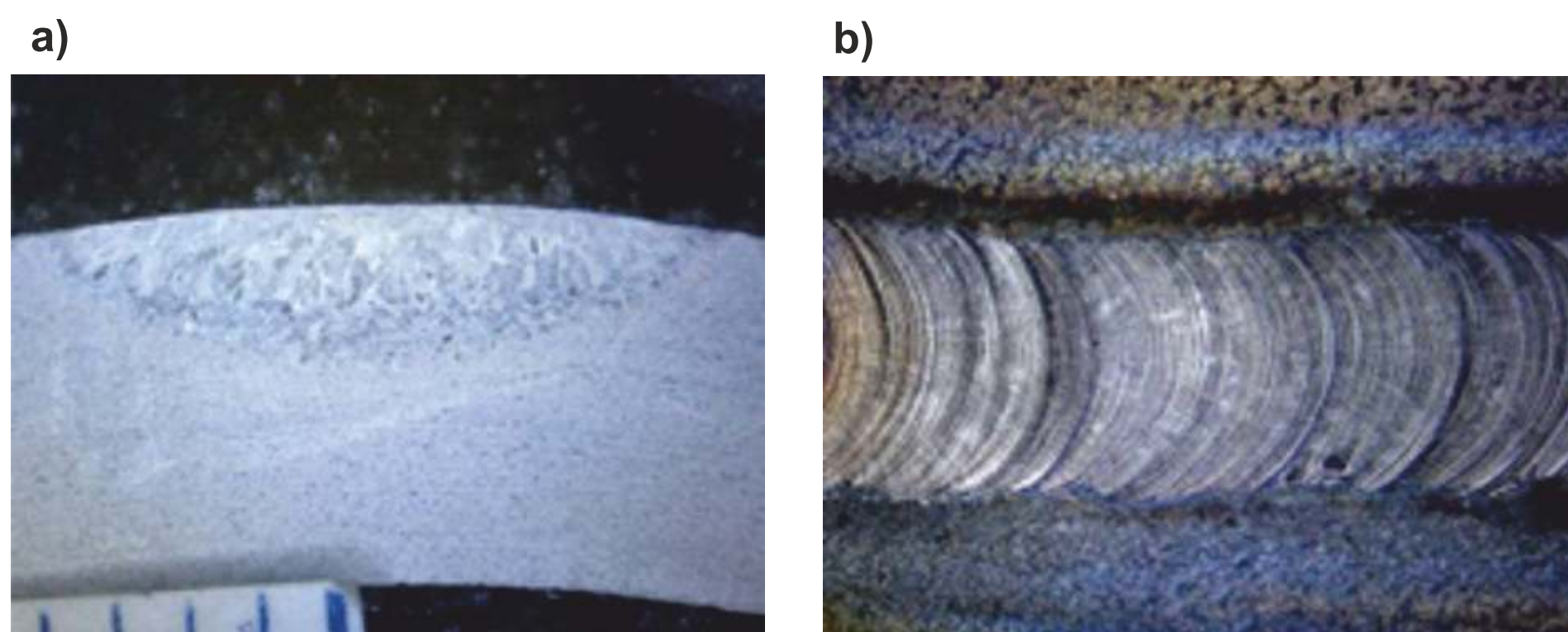


Do badań wykorzystano dwa stopy niklu utwardzane roztworowo o oznaczeniach 600 i 617 poddane oddziaływaniu łuku elektrycznego. Próbki do badań wycięto z blach o grubości 5 mm. Obserwacje mikrostruktury przeprowadzono stosując mikroskopię świetlną na zglądach metalograficznych trawionych elektrolitycznie w 10% wodnym roztworze  $\text{CrO}_3$ . Skład chemiczny stopów ustalono w oparciu o spektroskopię iskrową (tabela).

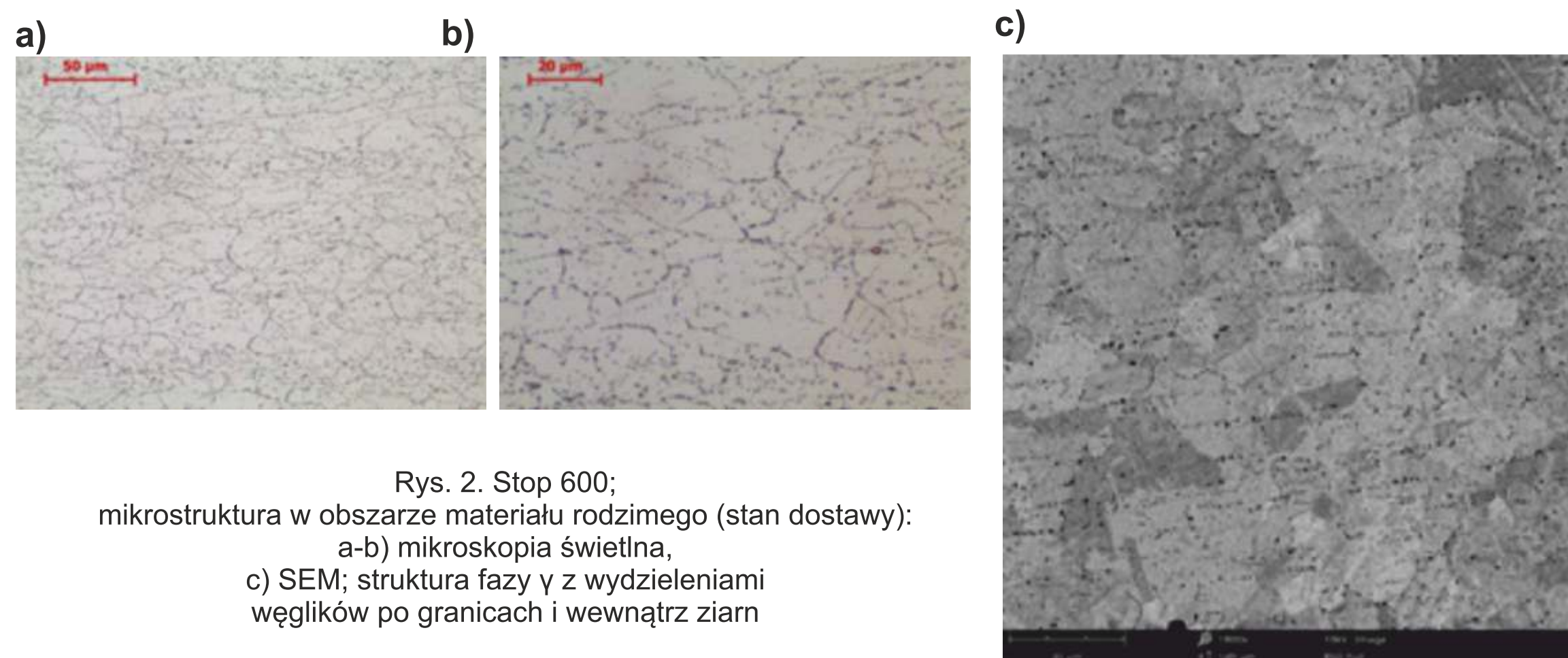
## Skład chemiczny

Stop	Cr	Fe	Mo	Co	C	Mn	S	Si	Cu	Al	Nb	Ti	B	W
600	16,1	8,1	0,023	0,006	0,048	0,14	0,0023	0,17	0,001	0,08	0,041	0,12	0,0022	<0,005
617	22,95	0,8	8,95	11,36	0,065	0,03	0,0001	0,05	0,015	0,78	0,046	0,24	0,0017	0,97

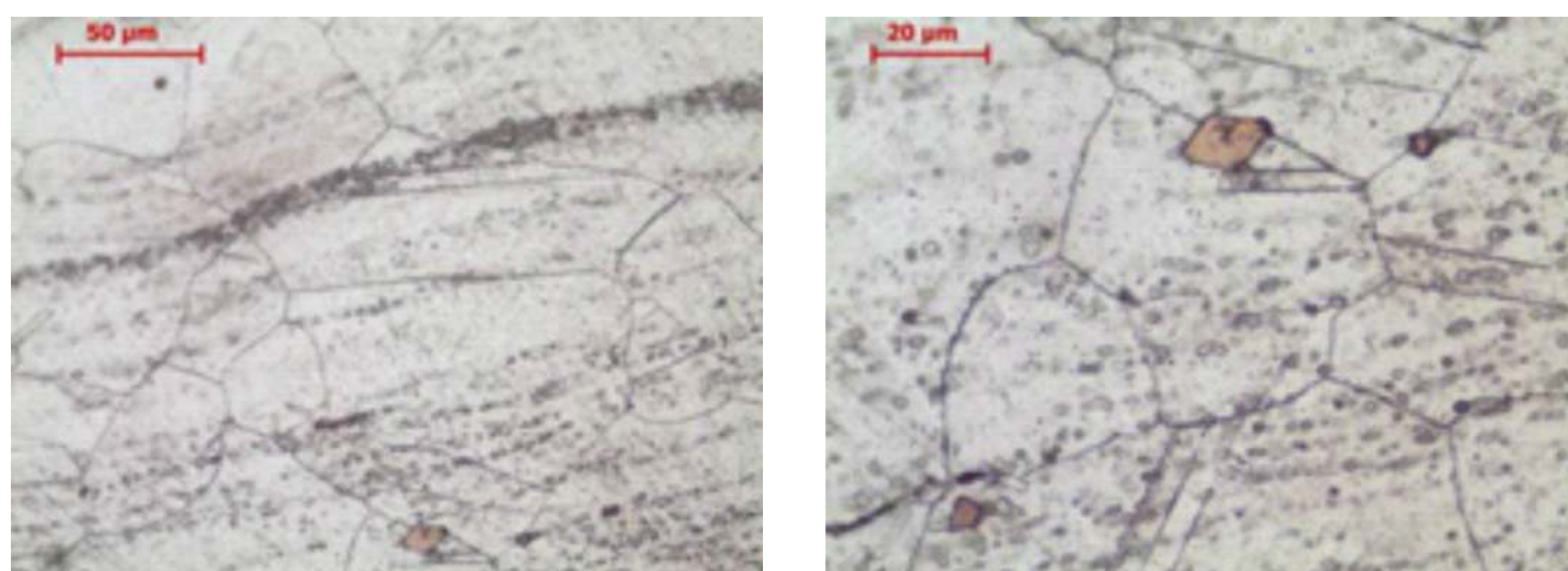
## Badania mikrostruktury – stop 600



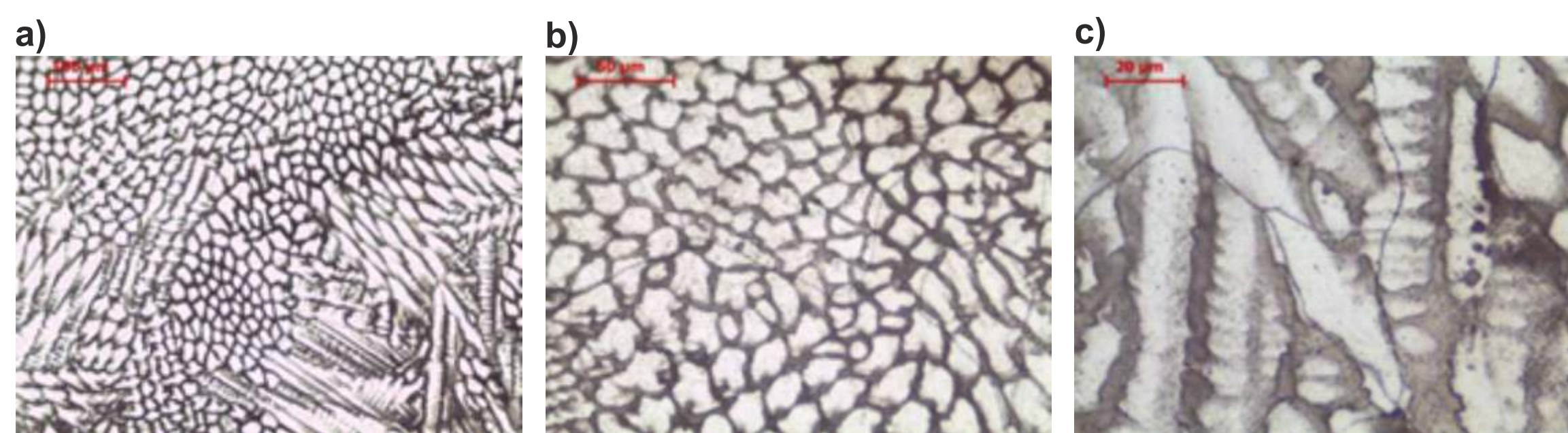
Rys. 1. Wtopienie w stopie niklu 600; natężenie prądu 160 A: a) makrostruktura wtopienia, b) widok lica



Rys. 2. Stop 600; mikrostruktura w obszarze materiału rodzimego (stan dostawy): a-b) mikroskopia świetlna, c) SEM; struktura fazy  $\gamma$  z wydzieleniami węglików po granicach i wewnątrz ziarn



Rys. 3. Stop 600; mikrostruktura w obszarze strefy wpływu ciepła, widoczny rozrost ziarna - faza  $\gamma$  oraz wydzielenia węglików po granicach i wewnątrz ziarn



Rys. 4. Stop 600; mikrostruktura spoiny, budowa komórkowo-dendrytyczna; rdzenie dendrytów o strukturze fazy  $\gamma$

## Analiza wyników

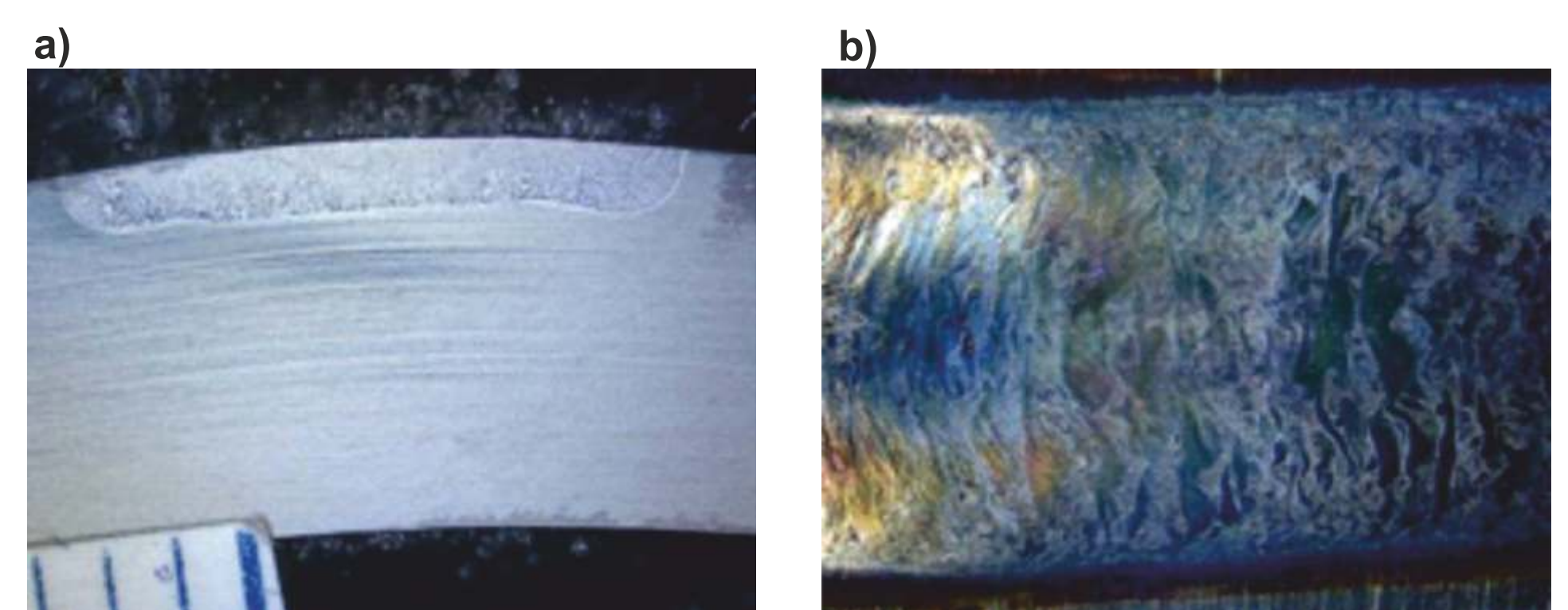
Próbki poddane spawalniczemu cyklowi cieplnemu metodą 141. Widoczna jest duża szerokość lica (ok. 8 mm), nieznaczna głębokość wtopienia (do 1,5 mm dla stopu 600 - rys. 1; poniżej 1 mm dla stopu 617 - rys. 5). Wynika to z niskiej przewodności cieplnej stopu i dużej gęstości cieplego metalu. Duża gęstość utrudnia nagrzewanie metalu przy dnie jeziorka spawalniczego przez ograniczoną cyrkulację ciekłego metalu.

Mikrostruktury charakterystycznych obszarów wtopień przedstawiono na rys. 2-4 dla stopu 600 i rys. 6-8 dla stopu 617. Oba materiały charakteryzują się równoosiowym ziarnem fazy  $\gamma$  (krystalizują w sieci A1). W materiale rodzimym obserwuje się bliźniaki wyżarzania oraz drobnodispersyjne wydzielenia po granicach i wewnątrz ziarn (rys. 2 i 6) - są to węgliki typu  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{M}_6\text{C}$  i MC. Te ostatnie występują jako duże pierwotne wydzielenia węglikoazotki tytanu. Aluminium i tytan w stopie 617 tworzą wydzielenia fazy  $\gamma'$   $\text{Ni}_3(\text{Ti},\text{Al})$  koherentne z fazą  $\gamma$  powodując umocnienie stopu oraz poprawę wytrzymałości na rozciąganie. Ich obecność z kolei wpływa na obniżenie plastyczności spoiny.

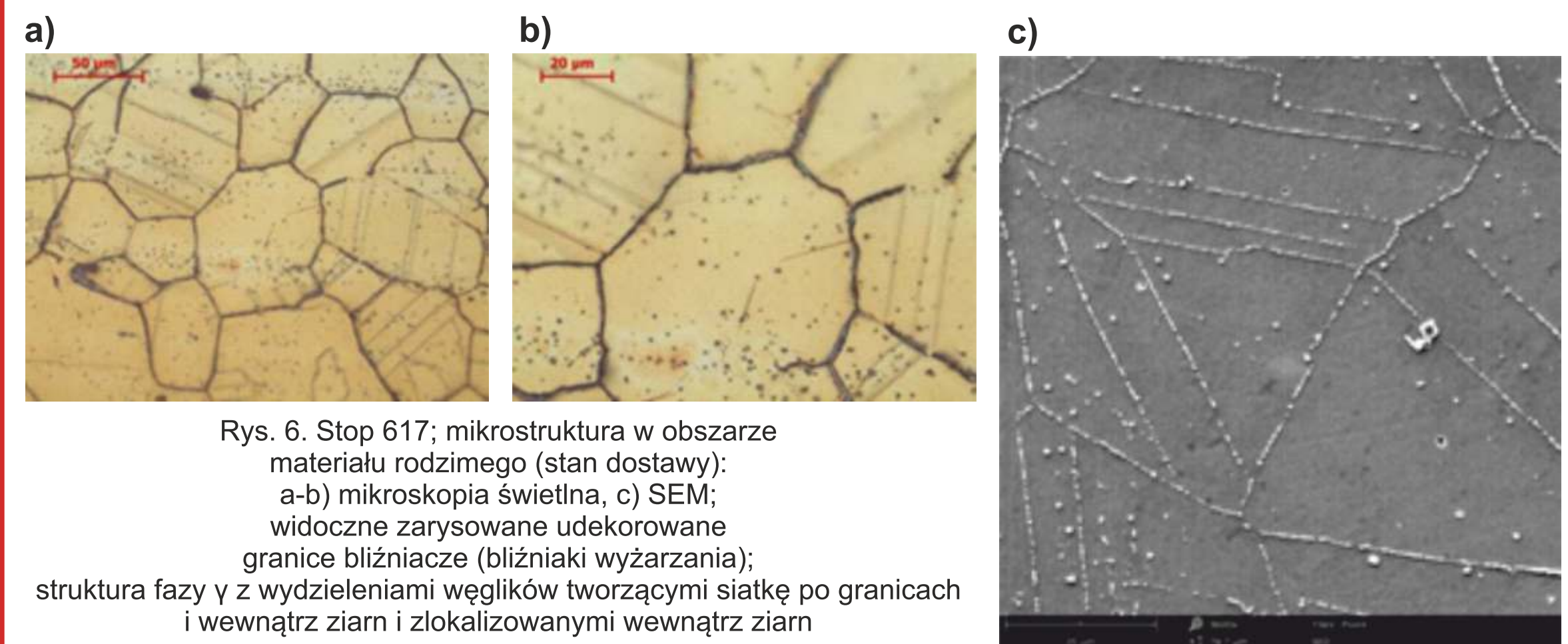
W strefie wpływu ciepła obserwowany jest rozrost ziarn (rys. 3 i 7). W SWC stopu 617 w odległości do ok. 100  $\mu\text{m}$  obserwowane jest równowagowe nadtopianie granic ziarn. Nadtopianie jest intensywniejsze wraz ze wzrostem temperatury SWC, tzn. bliżej linii wtopienia obserwowany jest wzrost szerokości stref nadtopionych (rys. 8a).

Spoina w obu stopach charakteryzuje się dendrytyczną i dendrytyczno-komórkową budową (rys. 4, 8). W tym obszarze obserwowany jest zróżnicowany skład chemiczny rdzeni dendrytów i przestrzeni międzydendrytycznych. Wynika to z dużej różnicy składów chemicznych między likwidus i solidus w danej temperaturze.

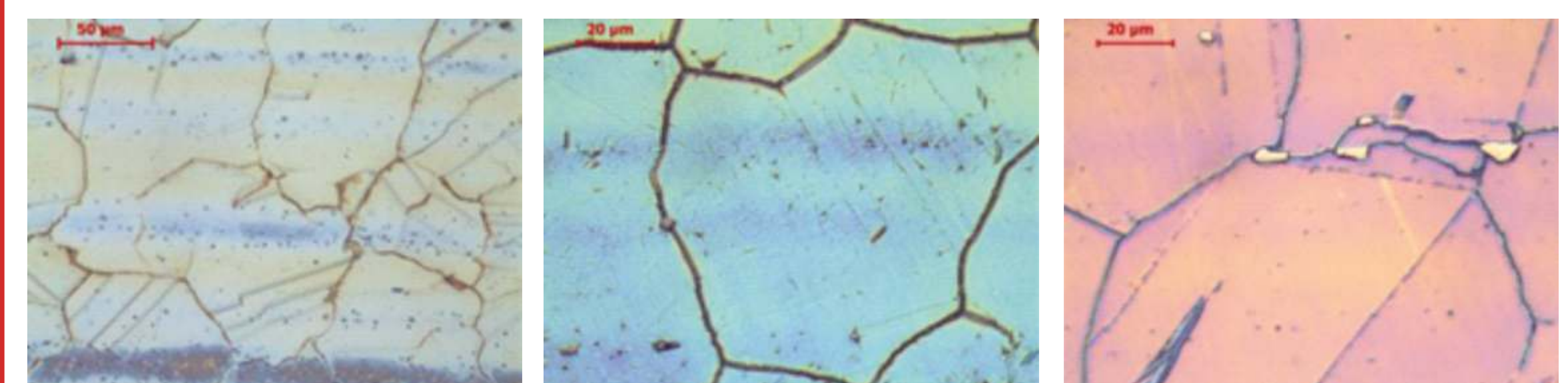
## Badania mikrostruktury – stop 617



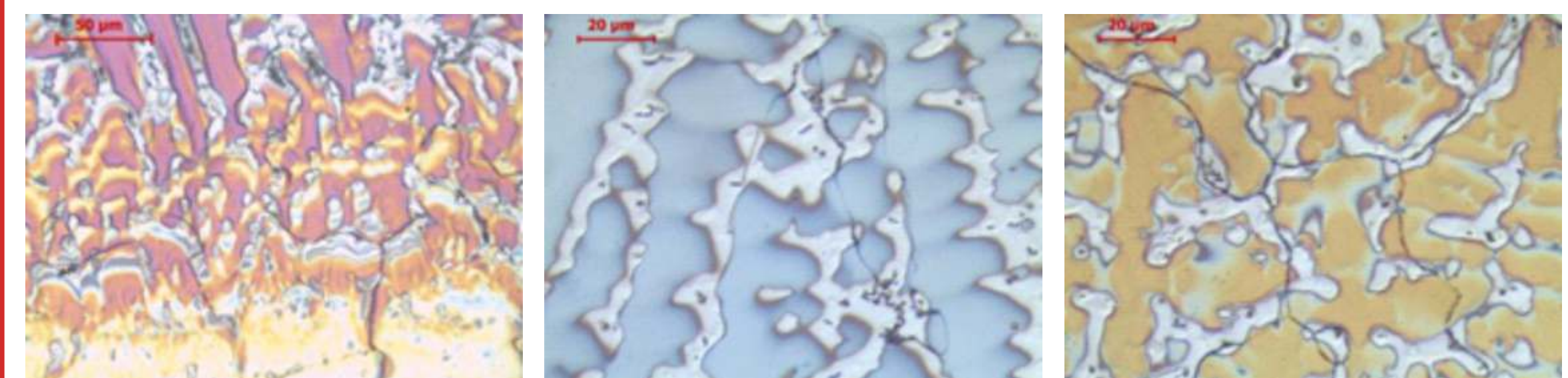
Rys. 5. Wtopienie w stopie niklu 617; natężenie prądu 160 A: a) makrostruktura wtopienia, b) widok lica



Rys. 6. Stop 617; mikrostruktura w obszarze materiału rodzimego (stan dostawy): a-b) mikroskopia świetlna, c) SEM; widoczne zarysowane udekorowane granice bliźniacze (bliźniaki wyżarzania); struktura fazy  $\gamma$  z wydzieleniami węglików tworzącymi siatkę po granicach i wewnątrz ziarn i zlokalizowanymi wewnątrz ziarn



Rys. 7. Stop 617; mikrostruktura w obszarze strefy wpływu ciepła, widoczny rozrost ziarna; zarysowana pasmowość i granice bliźniacze; widoczna siatka wydzieleni po granicach ziarn



Rys. 8. Stop 617; mikrostruktura spoiny, widoczny rozrost ziarna; widoczna siatka wydzieleni w przestrzeniach międzydendrytycznych; rdzenie dendrytów o strukturze fazy  $\gamma$

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analiza wykazały, że stopy niklu typu 600 i 617 w stanie dostawy mają strukturę austenitu niklowego (faza  $\gamma$ ), przy czym znacznie różnią się wielkością ziarna. Znaczna ilość pierwiastków węglilotwórczych powoduje występowanie siatki ich wydzieleni wewnątrz i po granicach ziarn. Podwyższona temperatura w SWC powoduje ich częściowe rozpuszczanie w roztworze, co z kolei umożliwia rozrost ziarna.

Spoiny badanych stopów mają budowę dendrytyczną lub dendrytyczno-komórkową. W spoinie obserwowana jest bardzo silna segregacja pierwiastków stopowych pomiędzy rdzeniami dendrytów i przestrzeniami międzydendrytycznymi.

## Podziękowania

Badania w 2016 r. finansowane w ramach pracy: 15.11.110.425.

## Kontakt:

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
(12) 617-26-21  
www.agh.edu.pl, ltuz@agh.edu.pl