

## Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

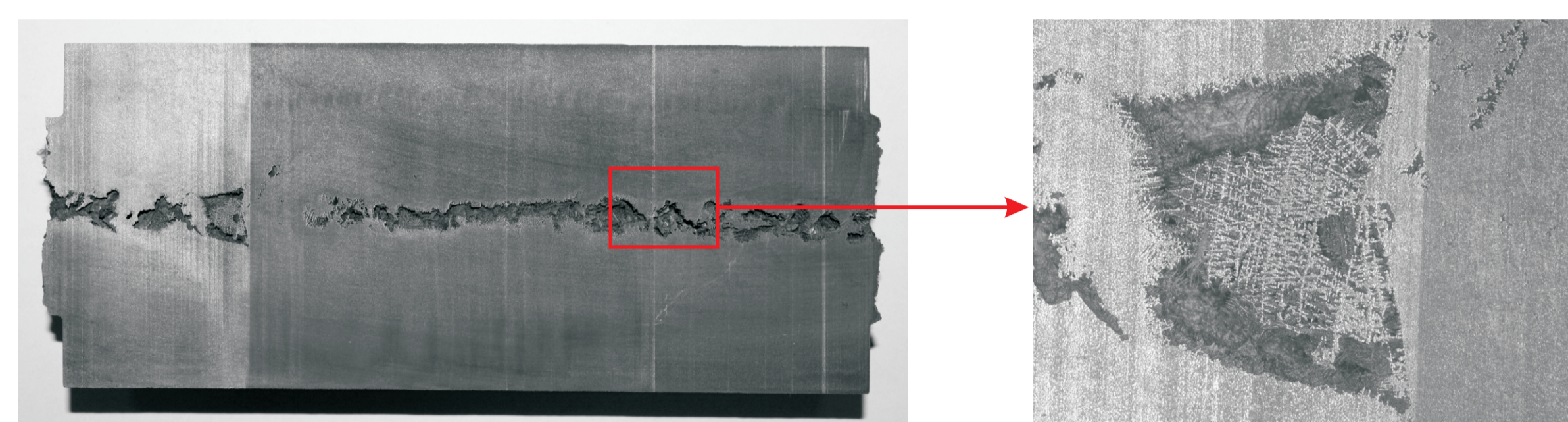
### Wyniki badań

Opracowanie bazy danych materiałowych do symulacji numerycznej procesu zalewania, krzepnięcia i krystalizacji odlewów precyzyjnych krytycznych części silników lotniczych z nadstopów niklu

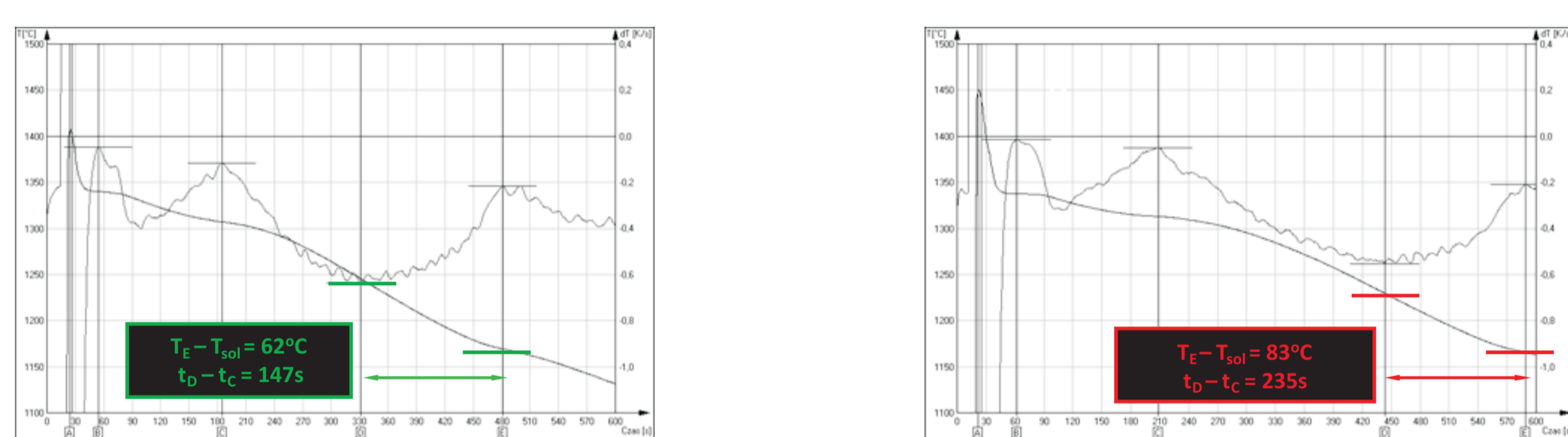
Analiza zjawisk zachodzących na granicy metal - forma odlewów precyzyjnych krytycznych części silników lotniczych z nadstopów niklu

Opracowanie procedury ilościowej oceny porowatości w odlewach precyzyjnych krytycznych części silników lotniczych z nadstopów niklu

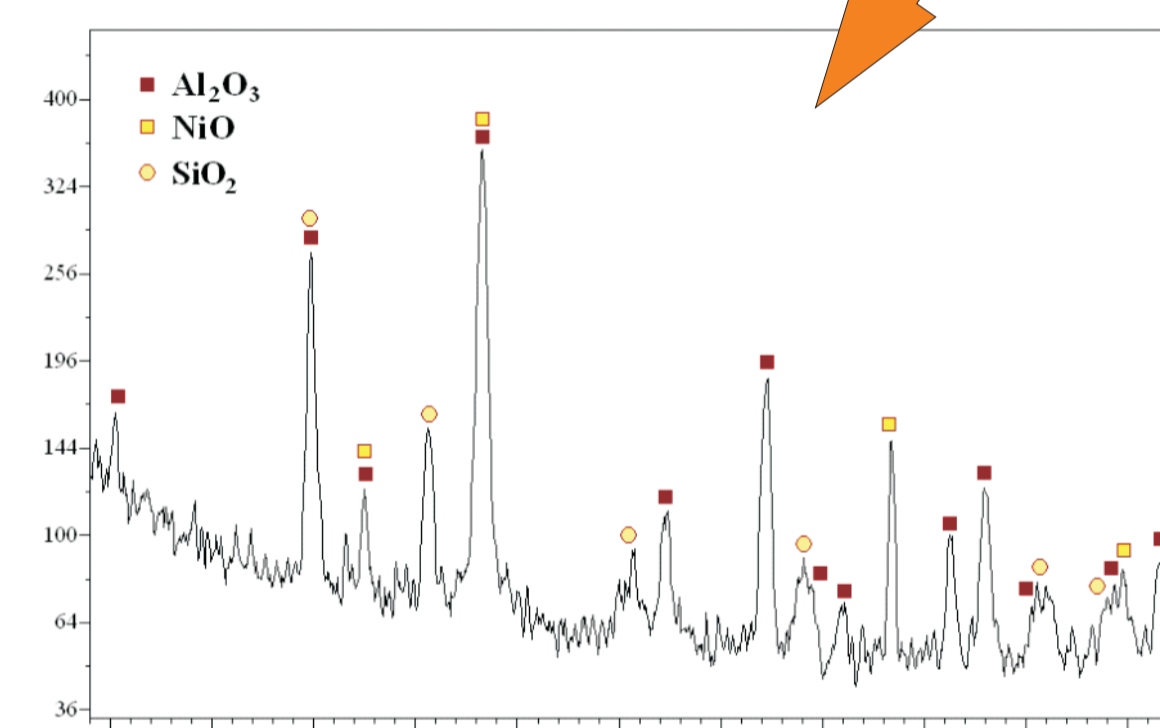
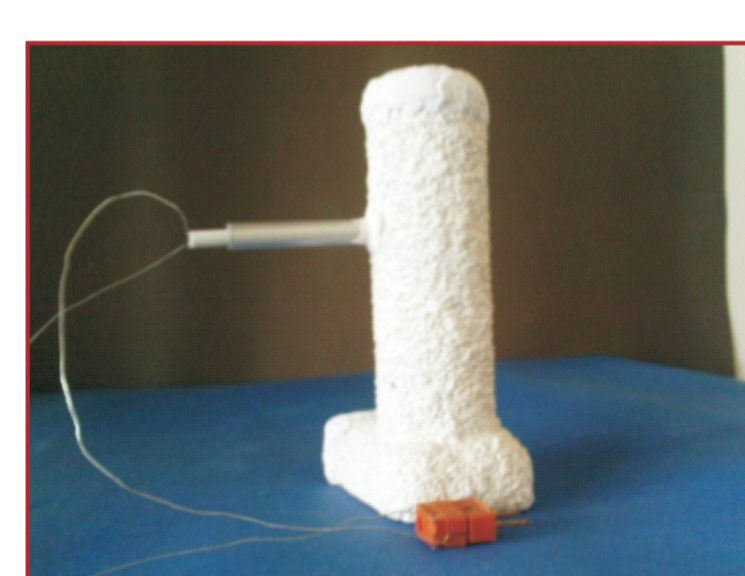
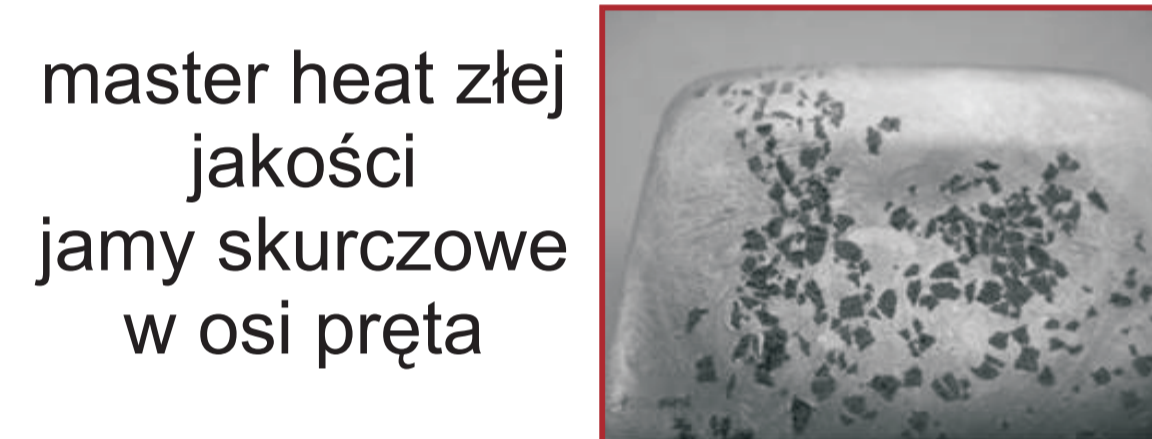
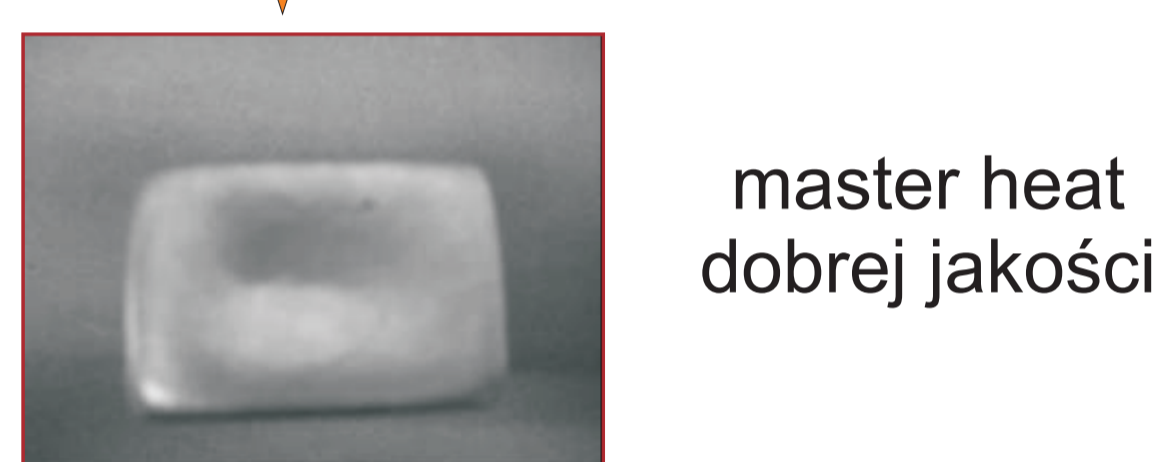
Jakość master heatów - analizy ATD i DSC



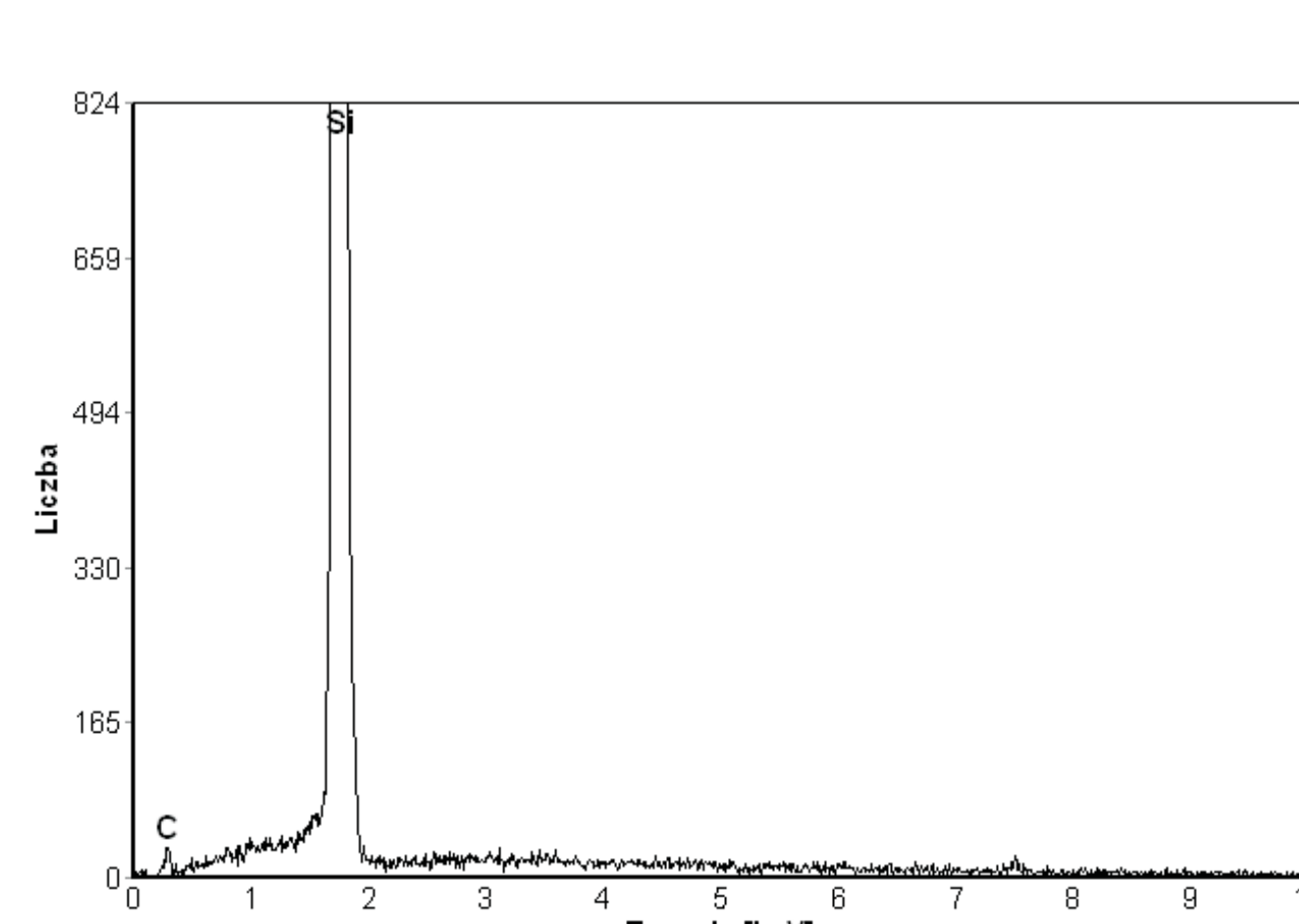
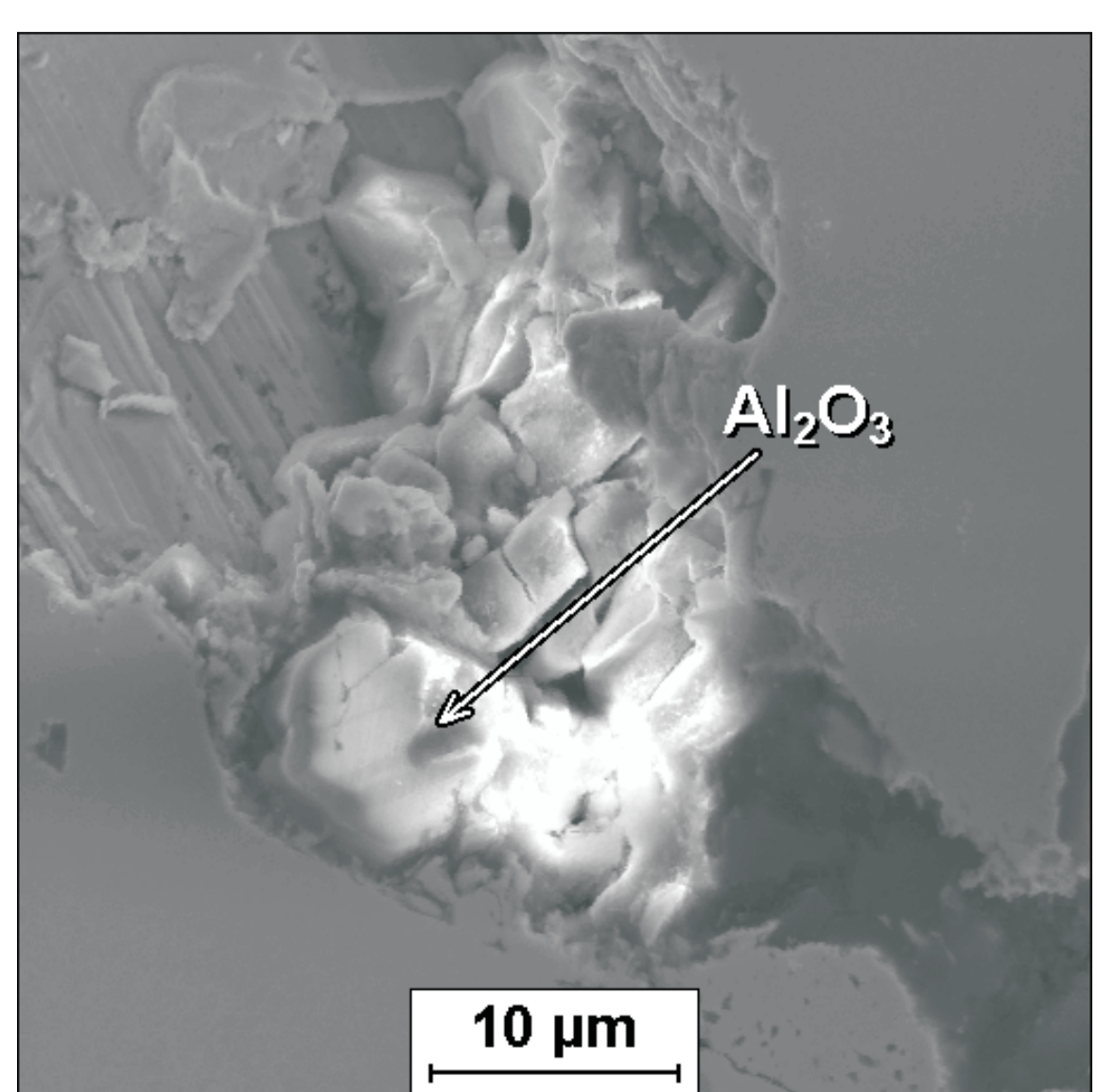
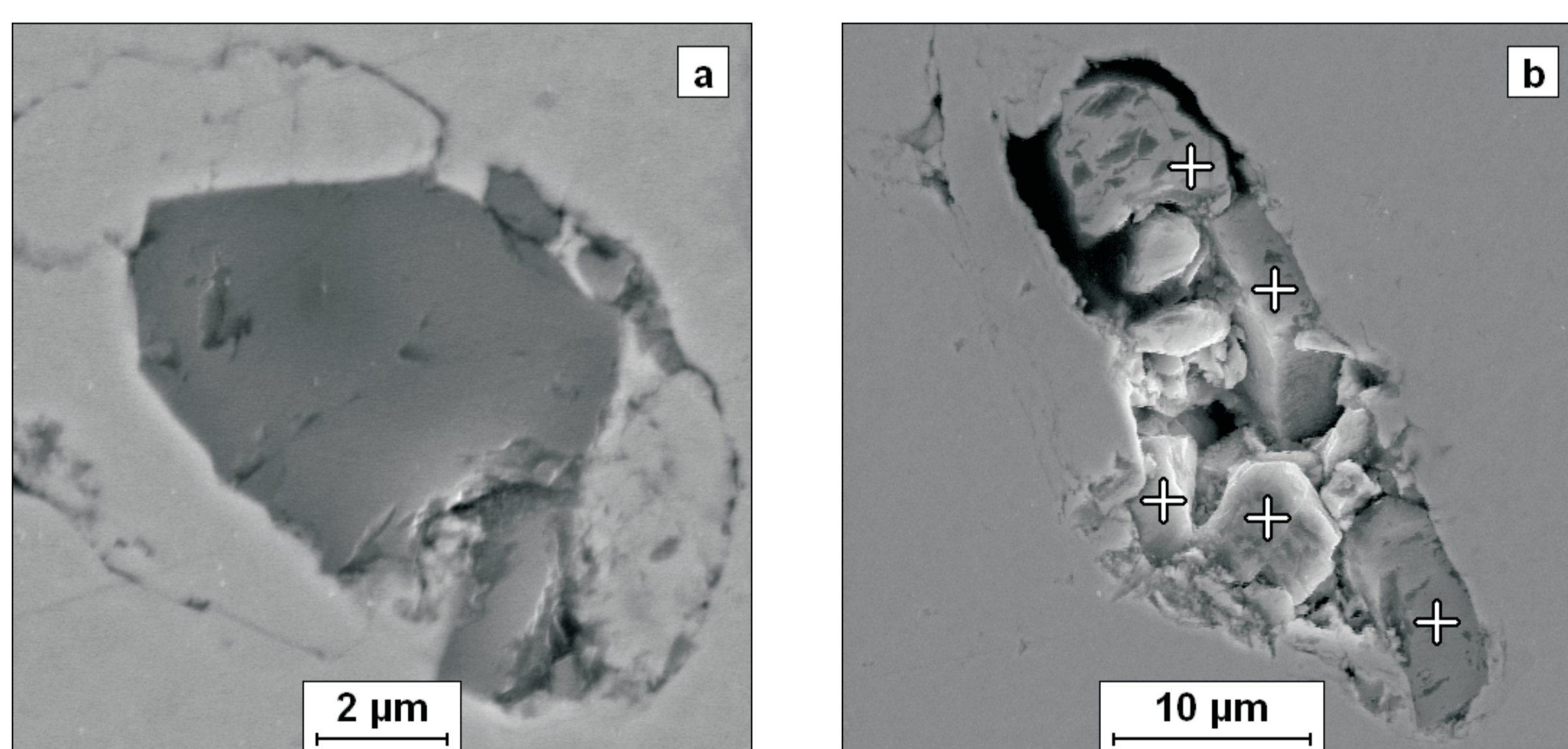
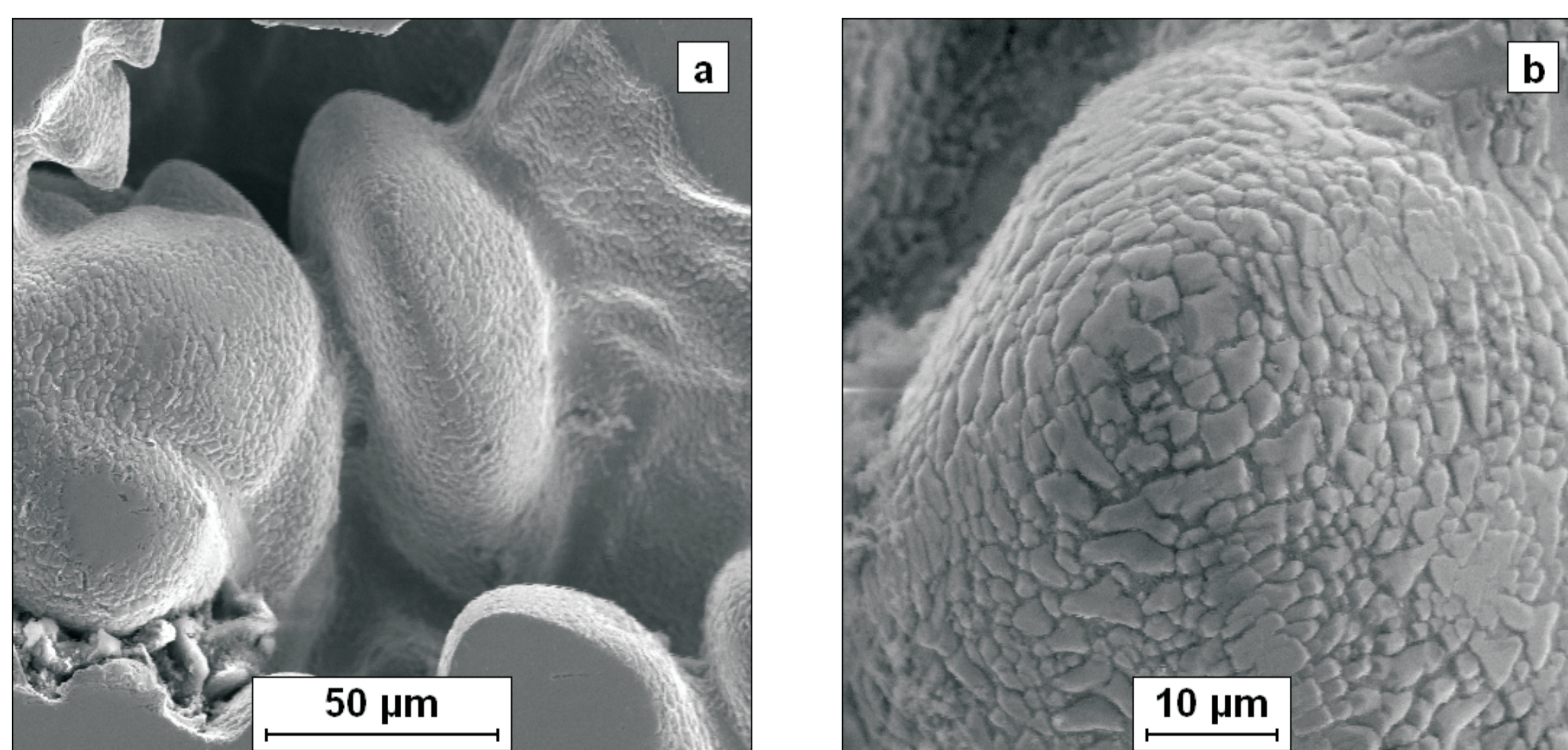
Master heat z IN 713C - przekrój poprzeczny



Wykresy analizy ATD master heatów z IN 713C



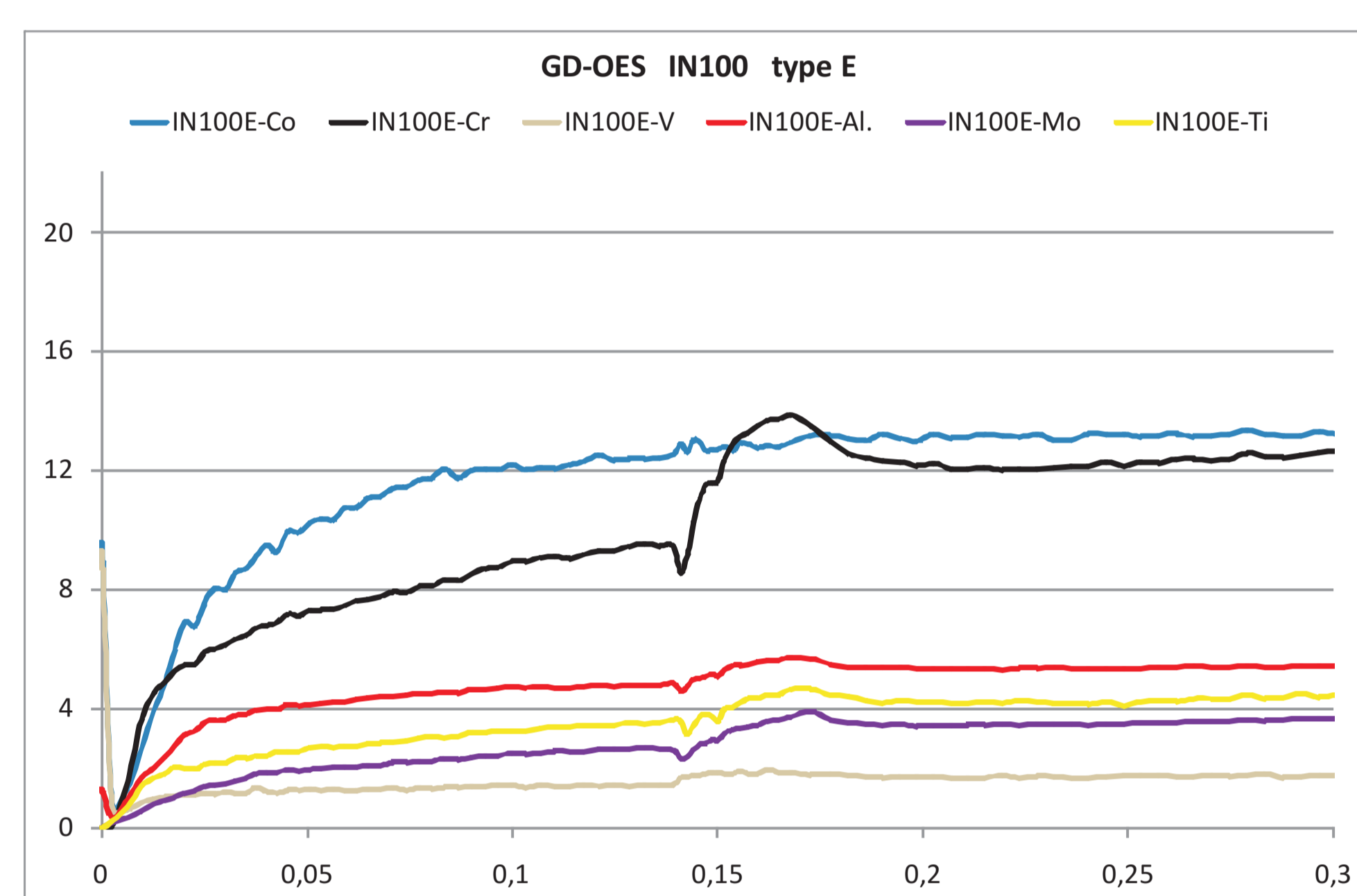
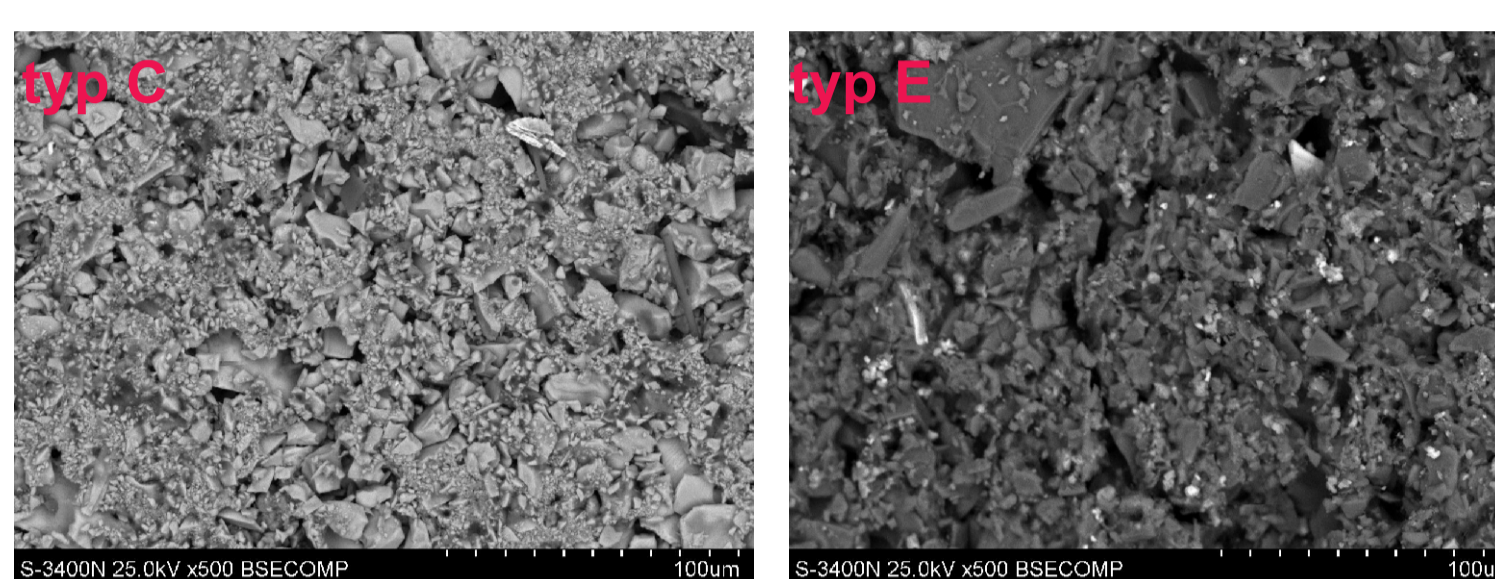
Analiza czystości stopu IN 713C



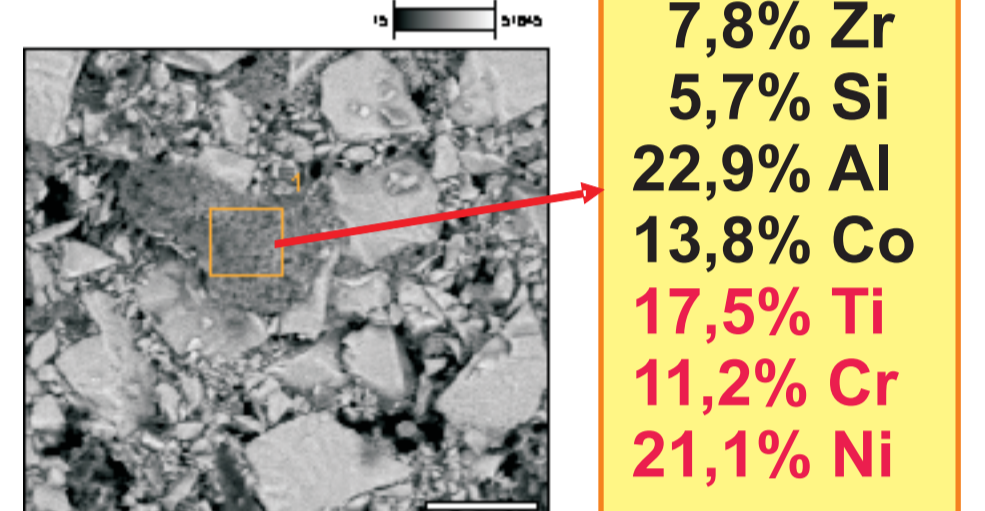
Przykładowe widmo promieniowania rentgenowskiego z cząstek zaznaczonych krzyżykami

Skład chemiczny (EDX) form ceramicznych i ich mikrostruktura

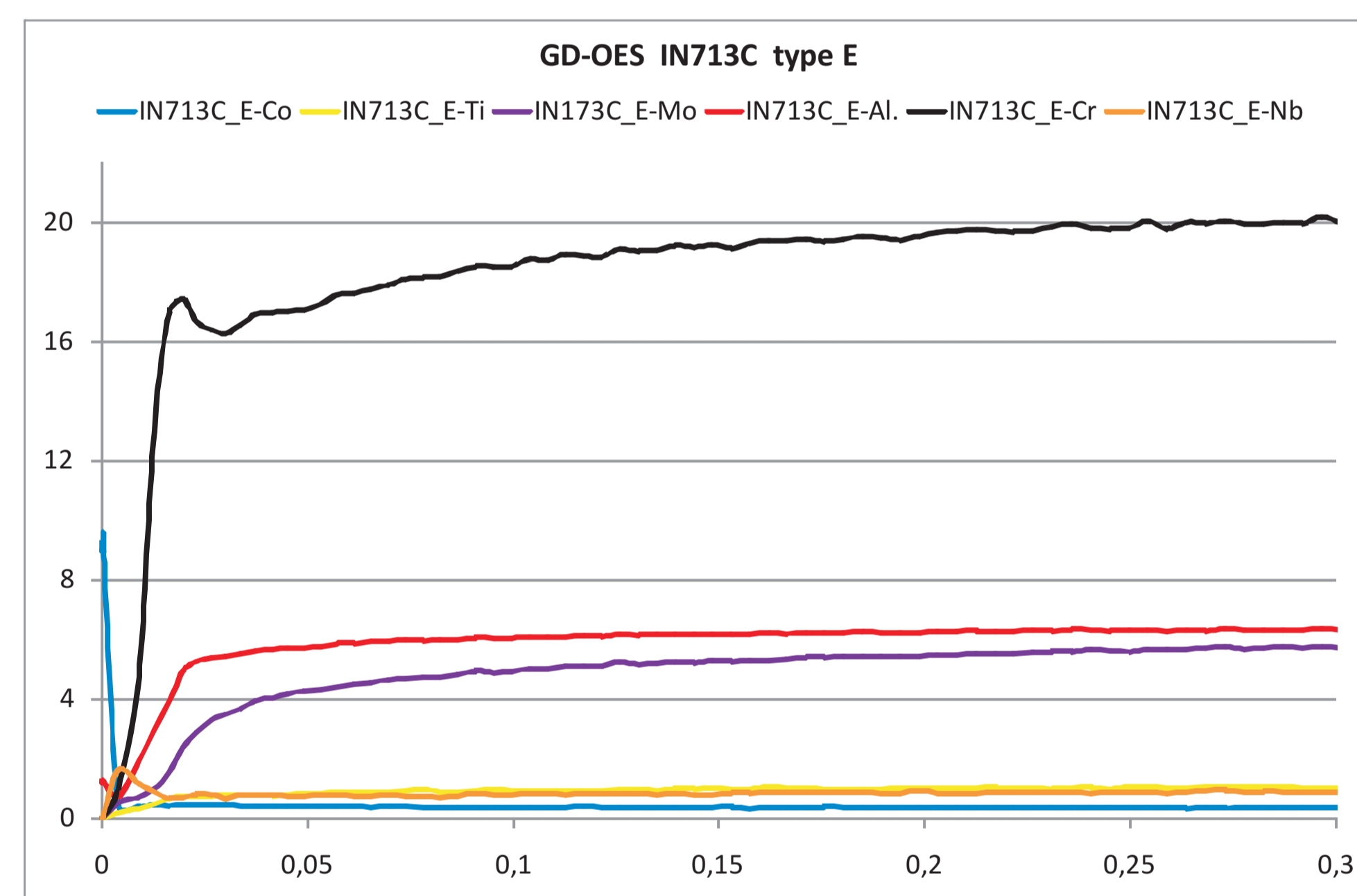
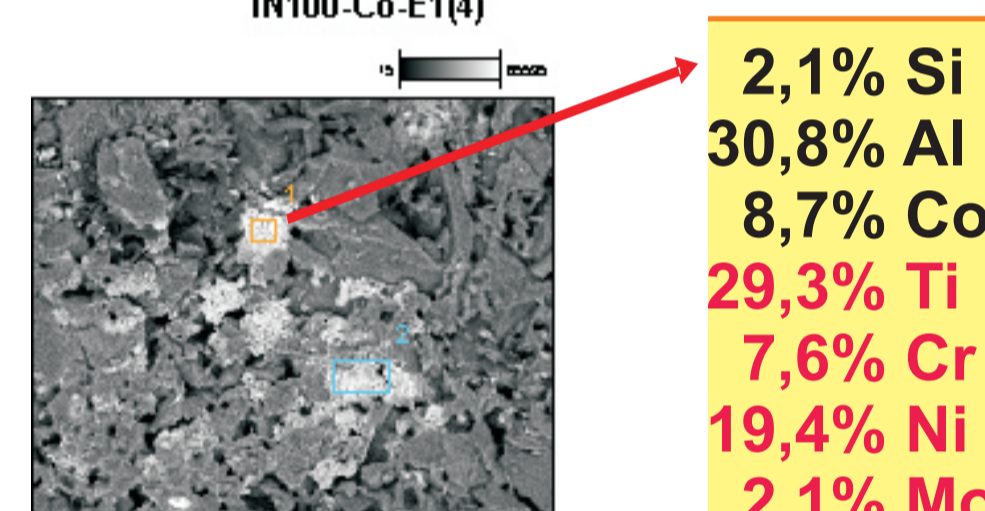
Typ	Si	Al	Zr	Co
C (5% CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> vs. ZrSiO <sub>4</sub> )	30,1	2,5	62,9	4,5
E (5% CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> vs. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *SiO <sub>2</sub> )	38,8	54,9	-	6,3



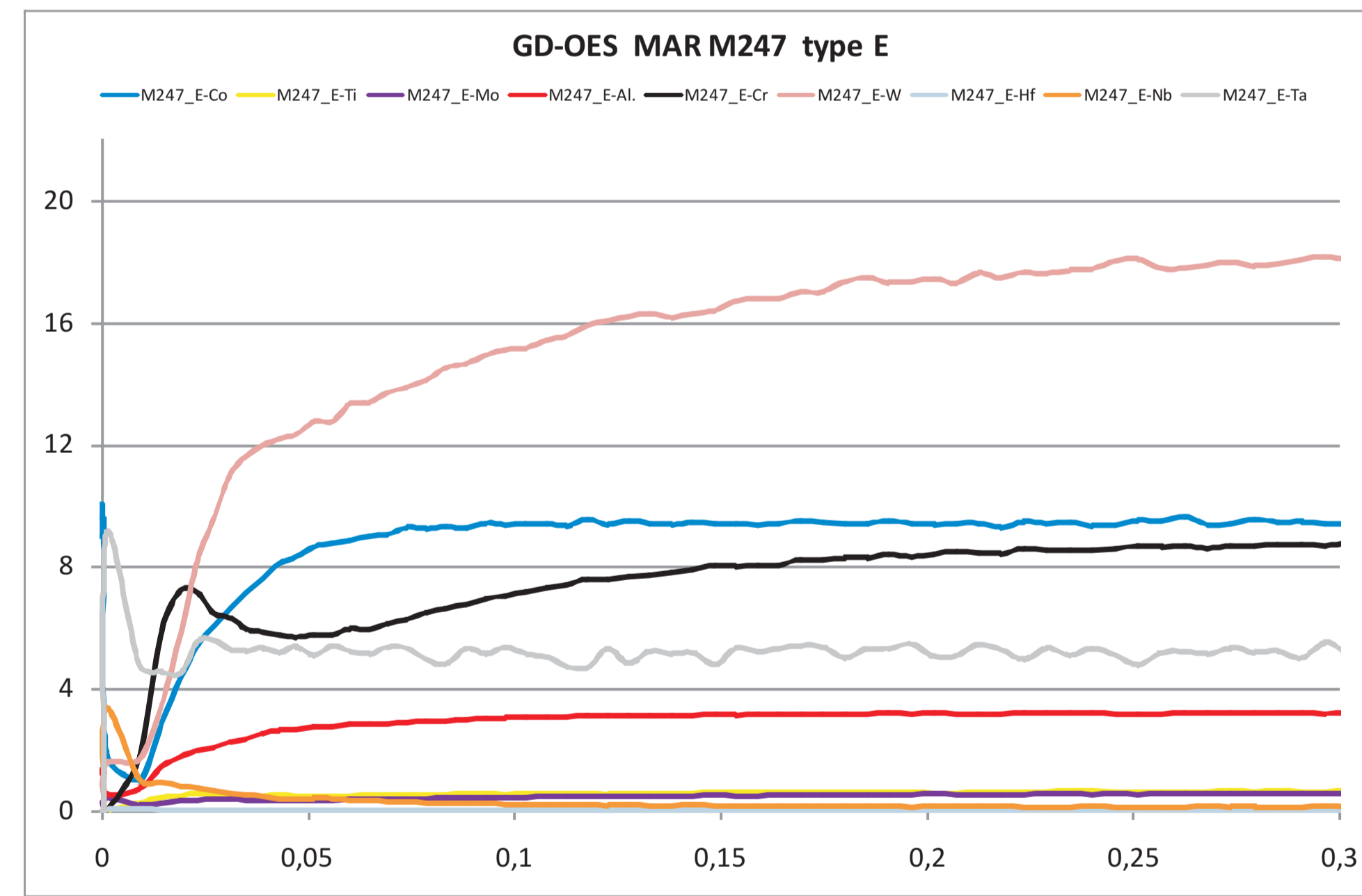
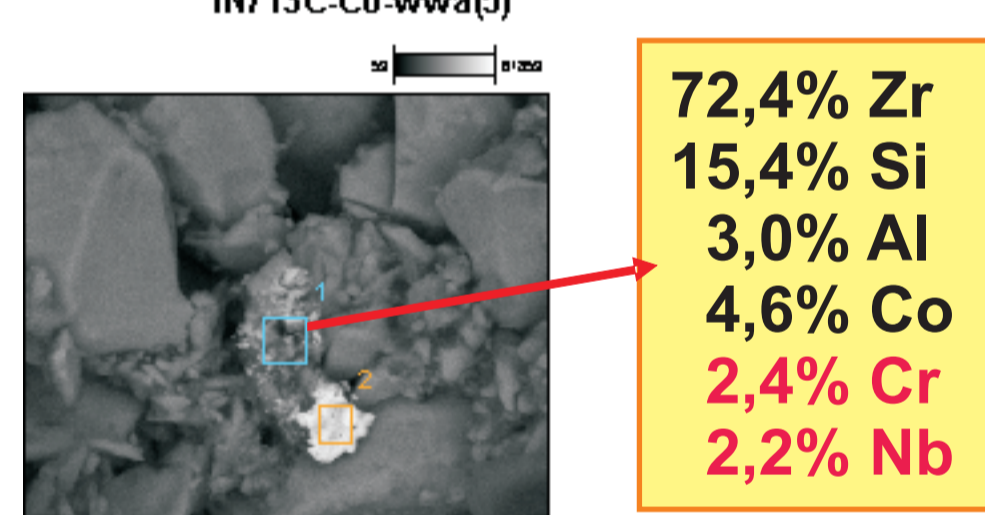
IN 100 typ C



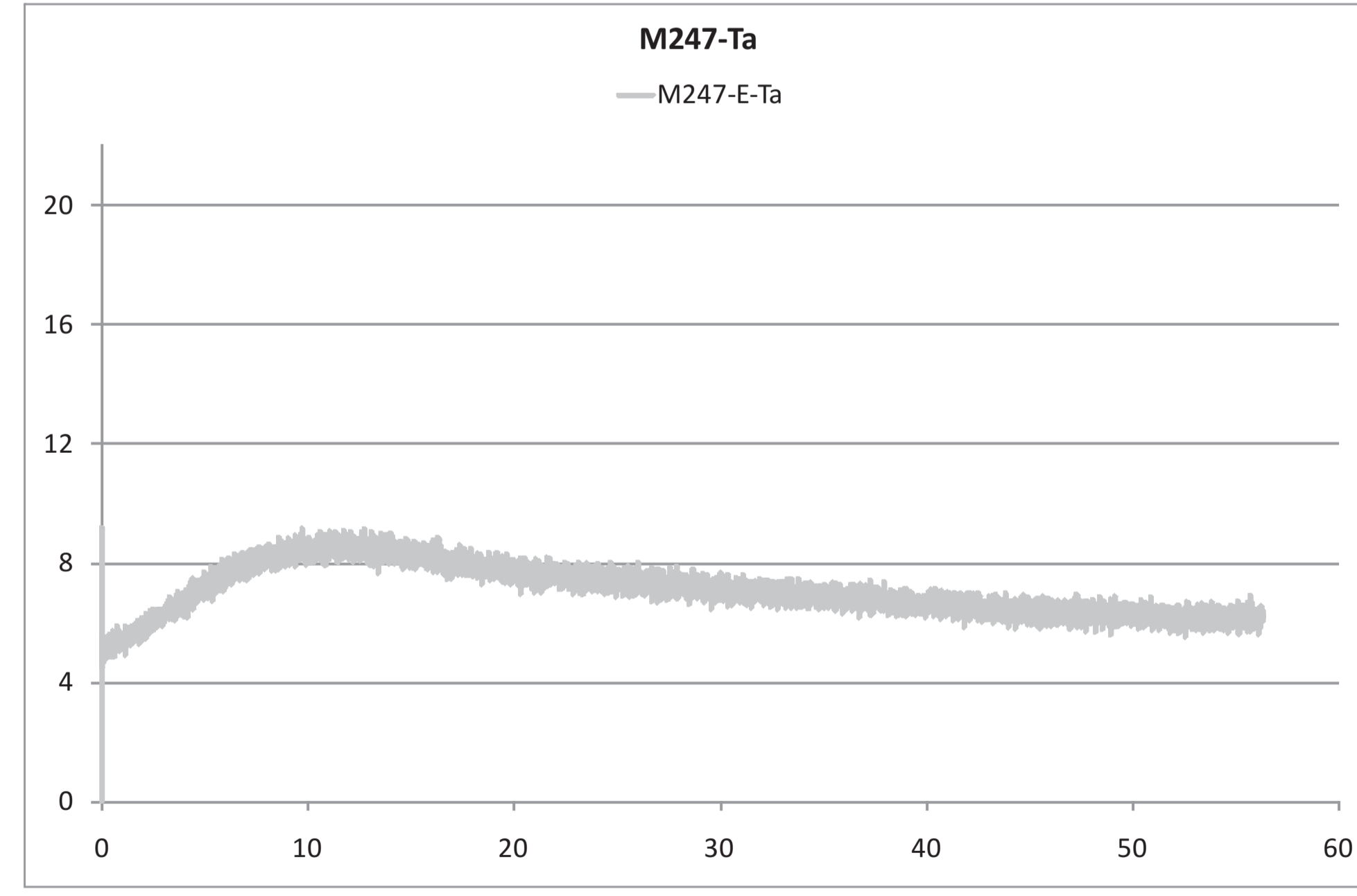
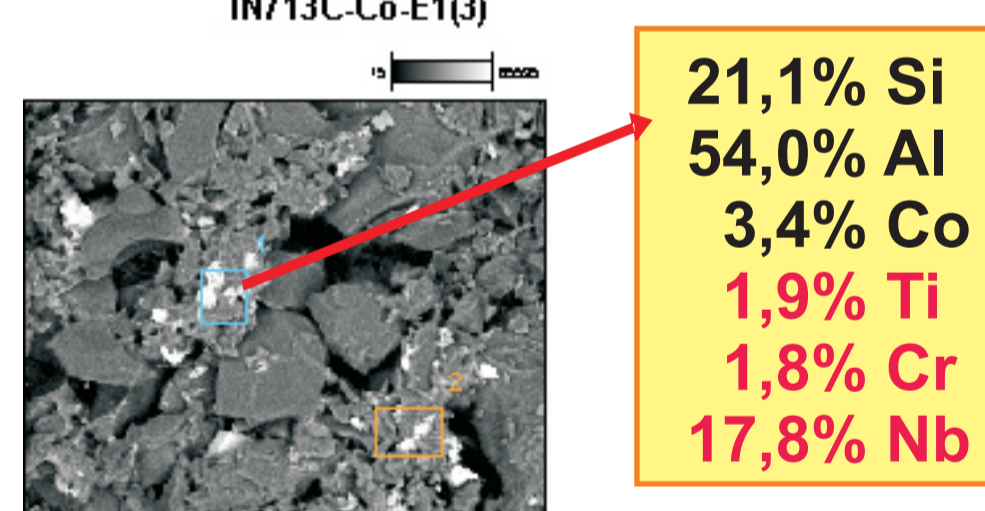
IN 100 typ E



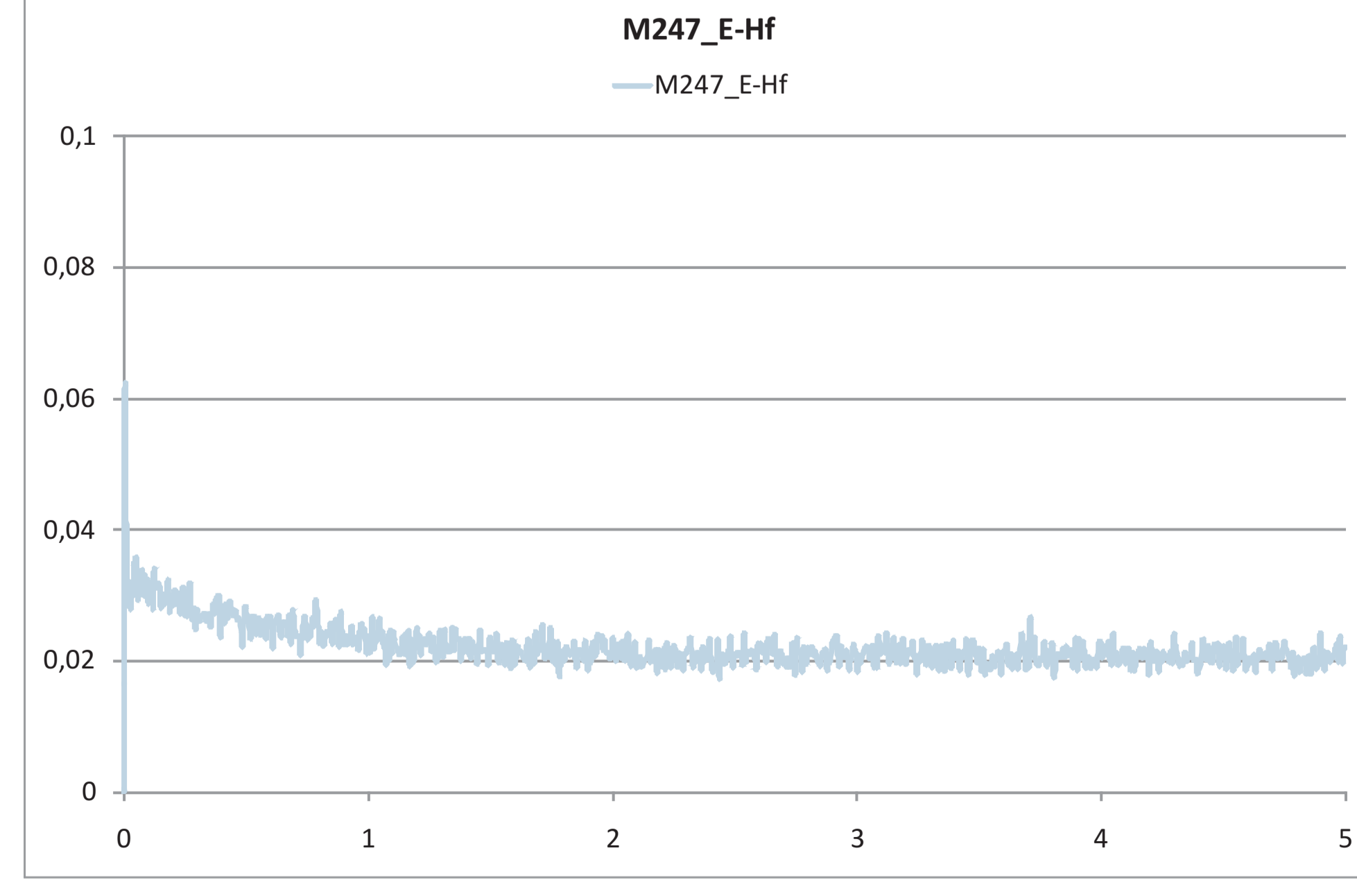
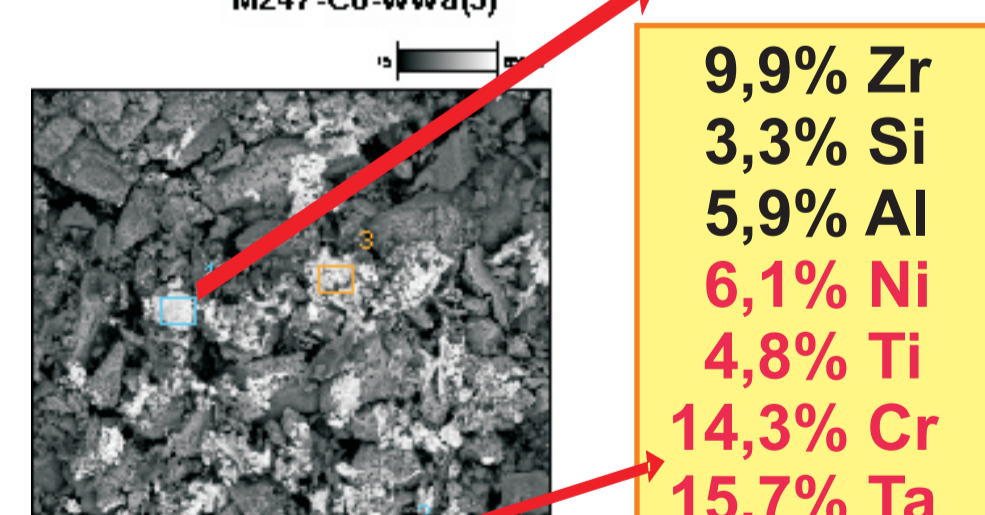
IN 713C typ C



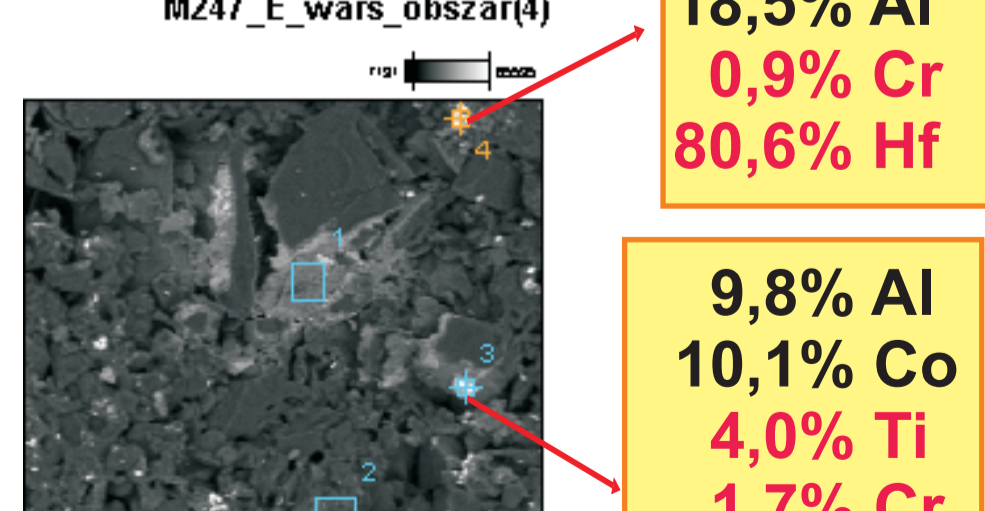
IN 713C typ E



MAR M247 typ C



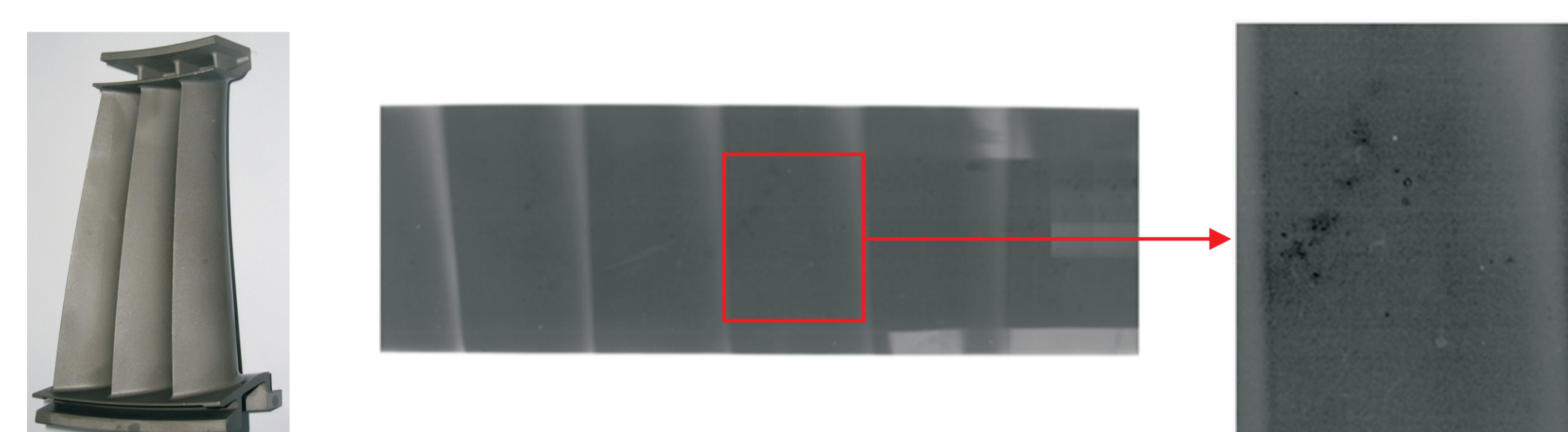
MAR M247 typ E



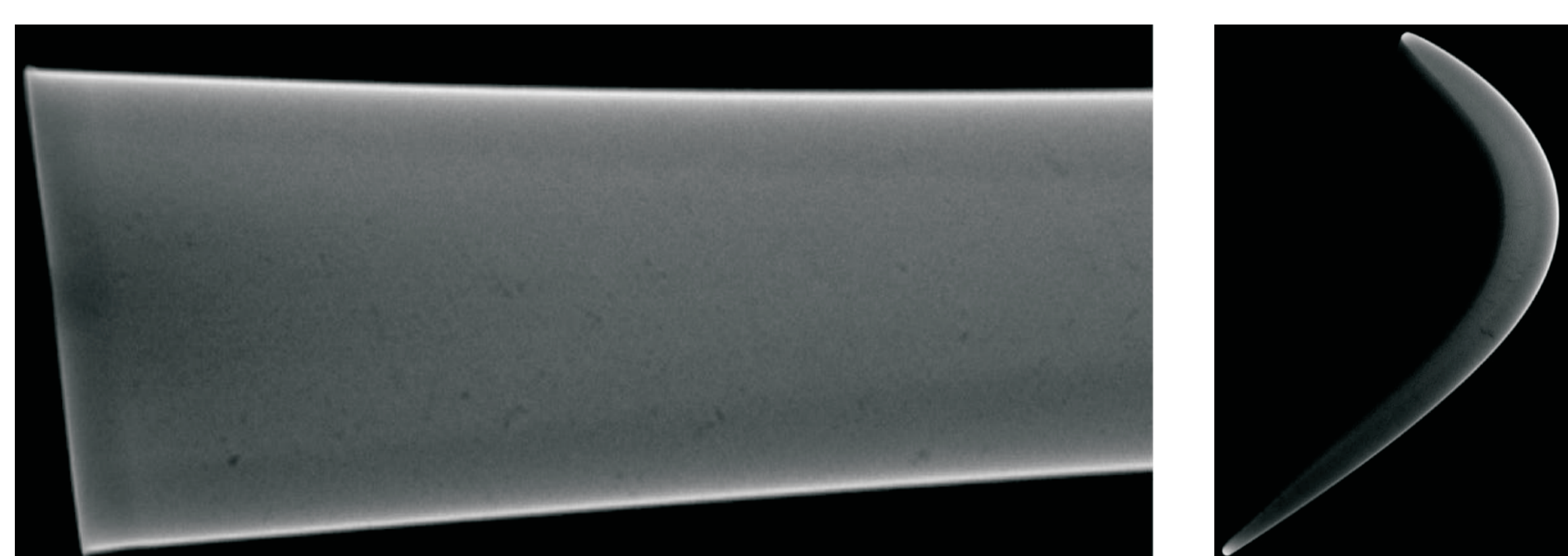
Zmiana zawartości (intensywności zliczeń) pierwiastków składowych w stopach IN 100, IN 713C i MAR M247 w funkcji głębokości profilu

Mikrostruktura i skład chemiczny wydzielen w zewnętrznej warstwie formy z po odlaniu stopu (od góry): IN 100, IN 713C i MAR M247

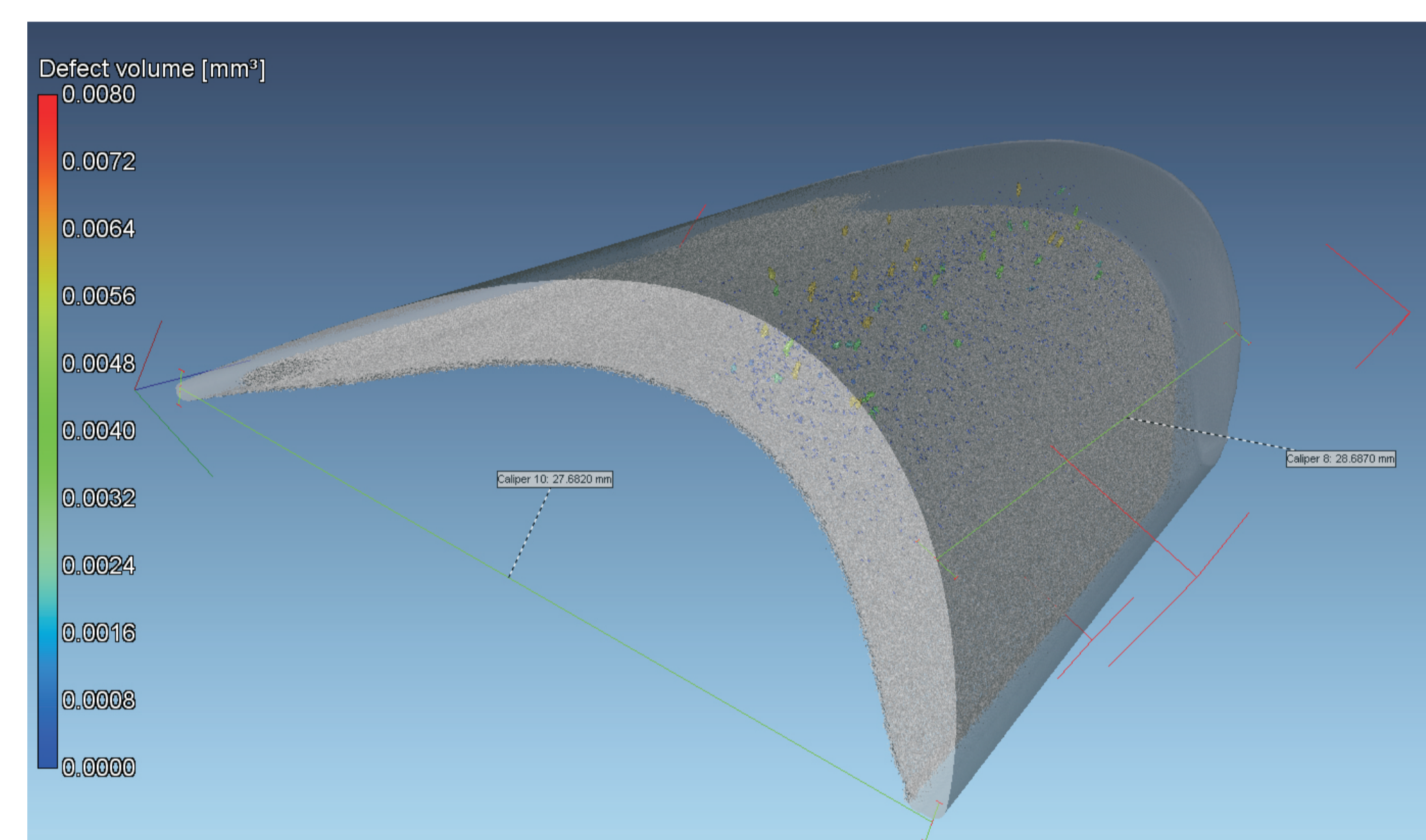
Porównanie wyników badań porowatości uzyskanych metodami nieniszczącymi i metodami metalografii ilościowej na segmencie łopatkowym Van Cluster z MAR M247



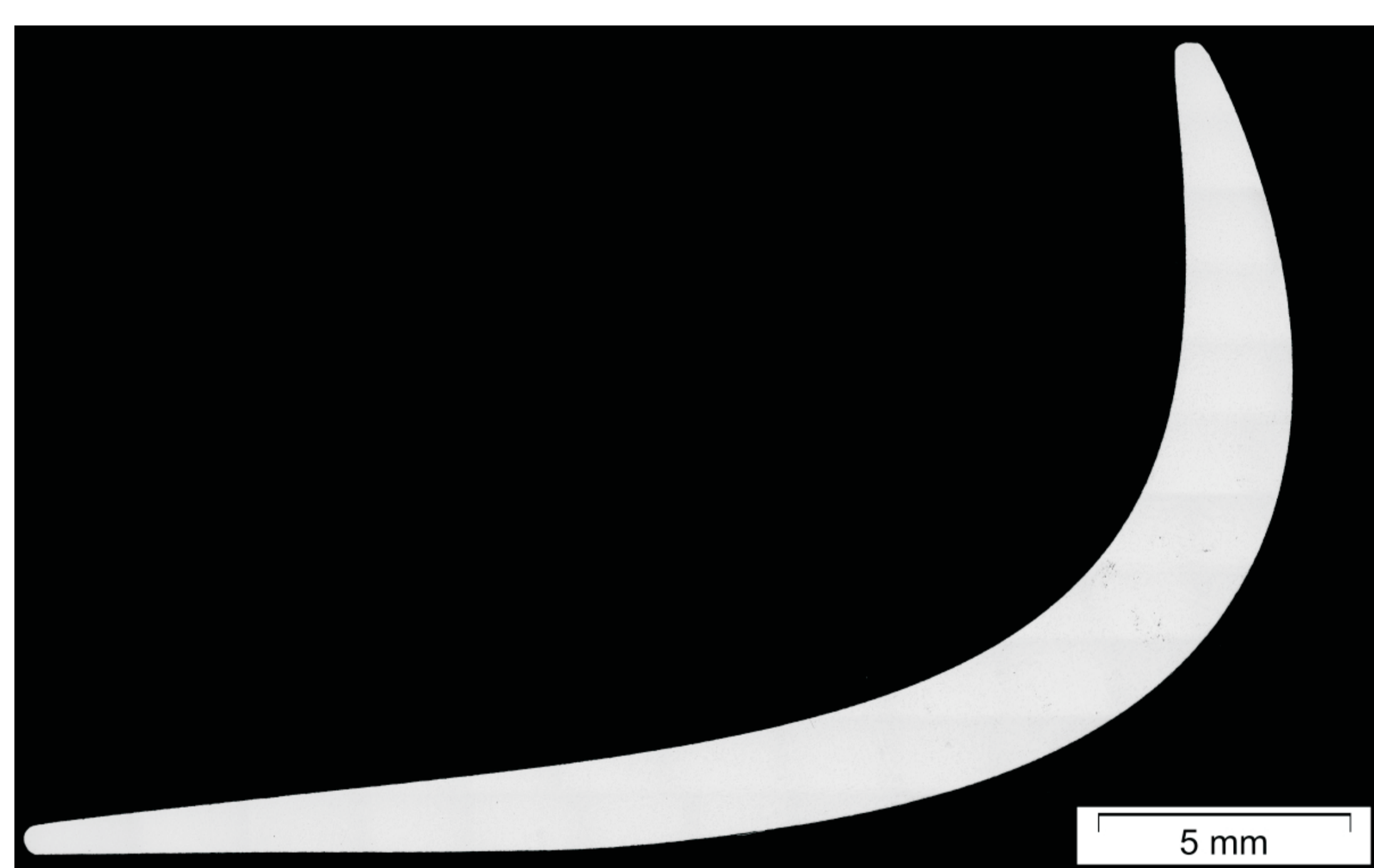
Zdjęcie rentgenowskie badanego segmentu: widok całości elementu (z lewej), pióro z największą liczbą wad, ciemne obszary - miejsca występowania wad (z prawej)



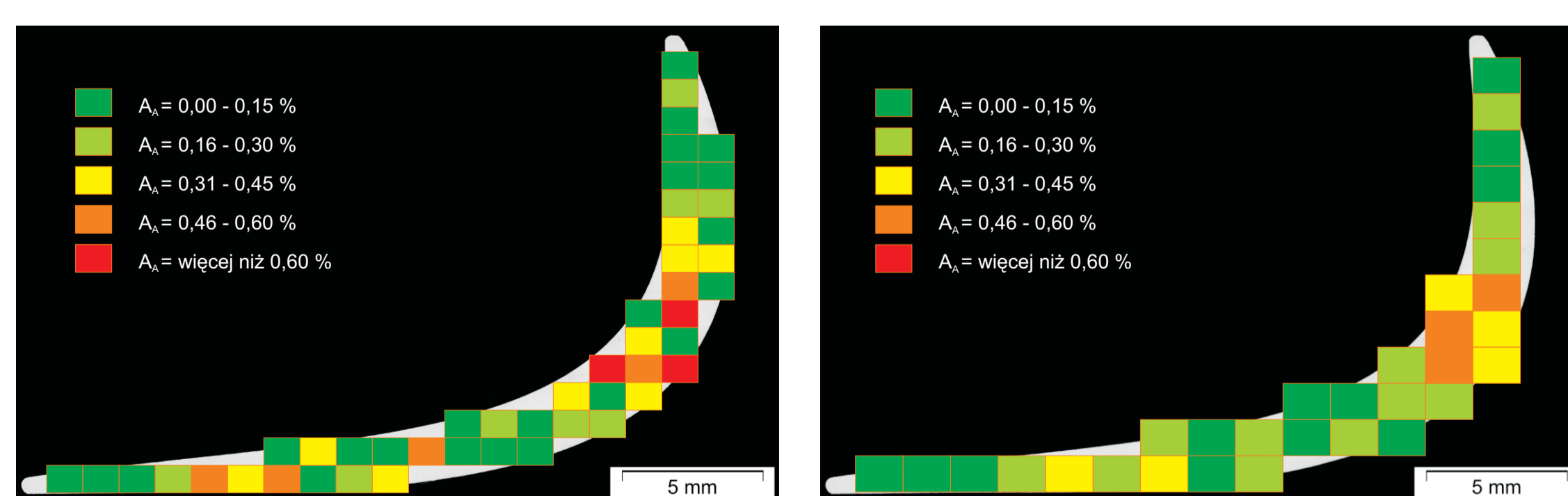
Ujawniona porowatość za pomocą tomografu rentgenowskiego



Pomiar metodą tomografii rentgenowskiej objętości względnej porów V<sub>v</sub>=0,020% przy zdolności rozdzielczej 20 μm



Obraz złożony całego przekroju pióra segmentu łopatkowego, mikroskop świetlny powiększenie 100x.



Mapa strukturalna rozkładu ułamka powierzchni zajmowanej przez pory wielkość ramki pomiarowej 1,28 x 0,98 mm = 1,25 mm<sup>2</sup> (z lewej) 1,68 x 1,28 mm = 2,15 mm<sup>2</sup> (z prawej)

Wyniki ilościowej oceny porowatości segmentu łopatkowego z podziałem na pory gazowe i skurczowe metodami metalografii ilościowej

Segment łopatkowy Van Cluster MAR M247	oznaczenie	jedn. miary	Cała porowatość	Porowatość gazowa	Porowatość skurczowa
<b>Ilość porów</b>					
Ułamek powierzchni - średnia dla zglądu	A <sub>v</sub>	%	0,103	0,067	0,036
Ułamek powierzchni - najgęstsze pory	A <sub>v(max)</sub>	%	0,792*	0,181*	0,710*
Liczba porów na mm <sup>2</sup> - średnia dla zglądu	N <sub>v</sub>	mm <sup>-2</sup>	22	20	2
Liczba porów na mm <sup>2</sup> - najgęstsze pory	N <sub>v(max)</sub>	mm <sup>-2</sup>	56*	56*	8*
<b>Wielkość porów</b>					
Pole powierzchni płaskiego przekroju	A <sub>p</sub>	μm <sup>2</sup>	39	28	348
Ciepota płaskiego przekroju	P	μm	15	12	53
<b>Kształt porów</b>					
Bezwymiarowy wskaźnik wydłużenia	?	-	0,88	0,99	0,56
Bezwymiarowy wskaźnik wydłużenia	?	-	1,73	1,71	2,32
<b>Niejednorodność rozmieszczenia i wielkości porów</b>					
Wskaźnik zmienności ułamka powierzchni	?(A <sub>v</sub> )	%	115	84	210
Wskaźnik zmienności pola powierzchni	?(A <sub>p</sub> )	%	223	101	93