

Wydział Mechaniczny Technologiczny

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

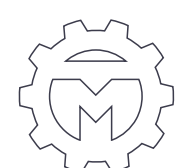
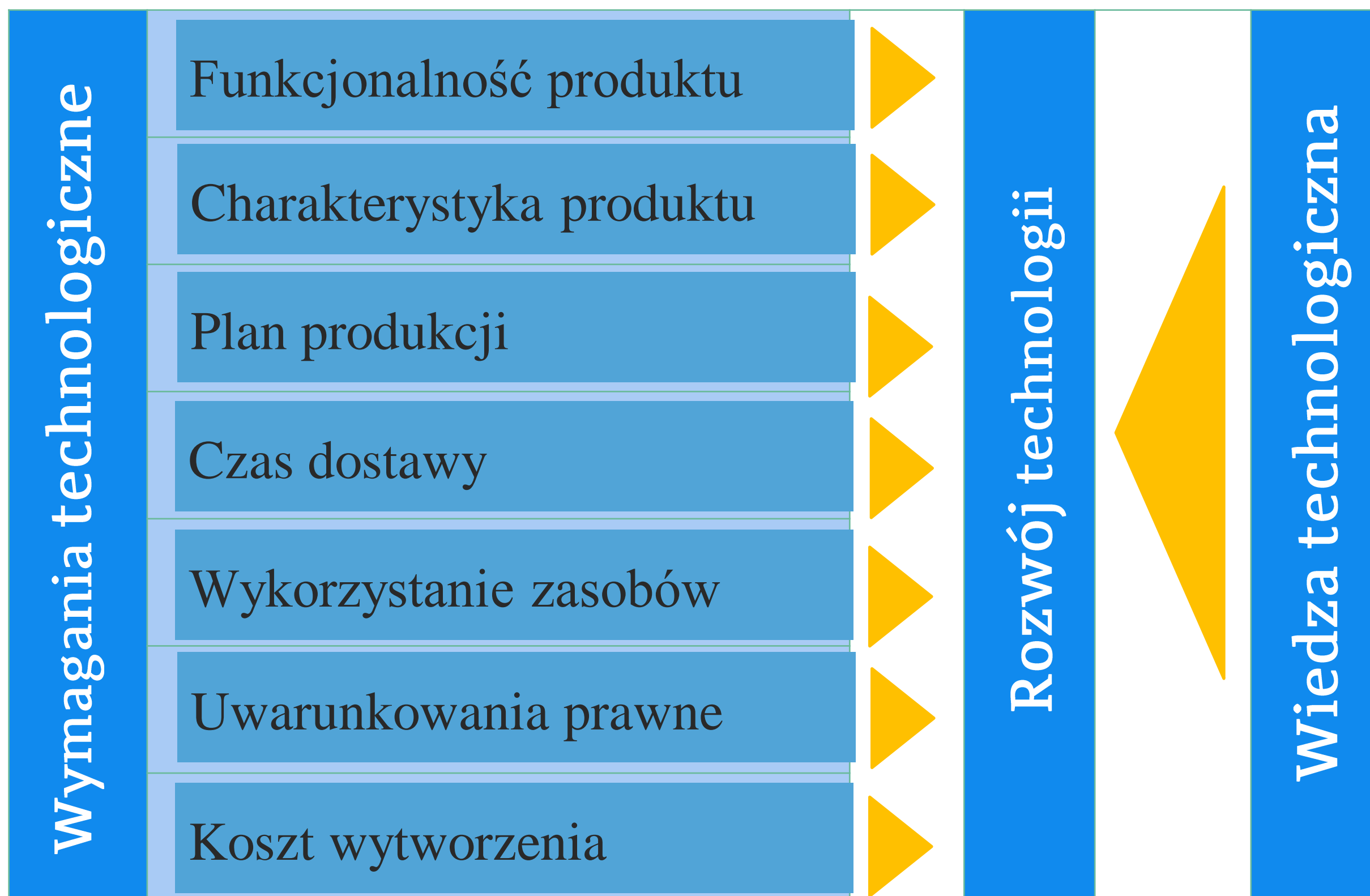
Technologie obróbki elektroerozyjnej materiałów trudnoobrabialnych

Rafał Świercz



Dobór technologii obróbkowych

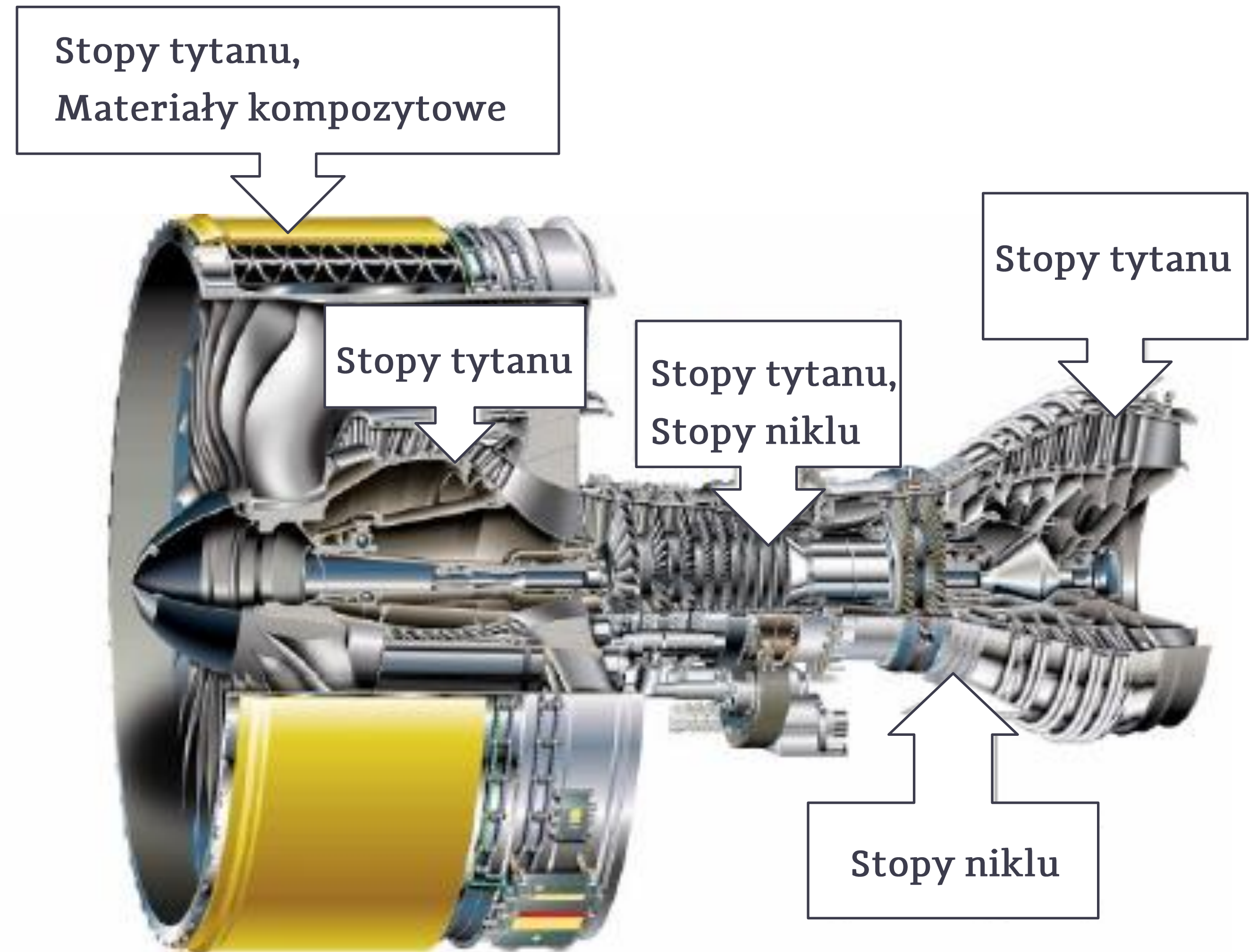
2



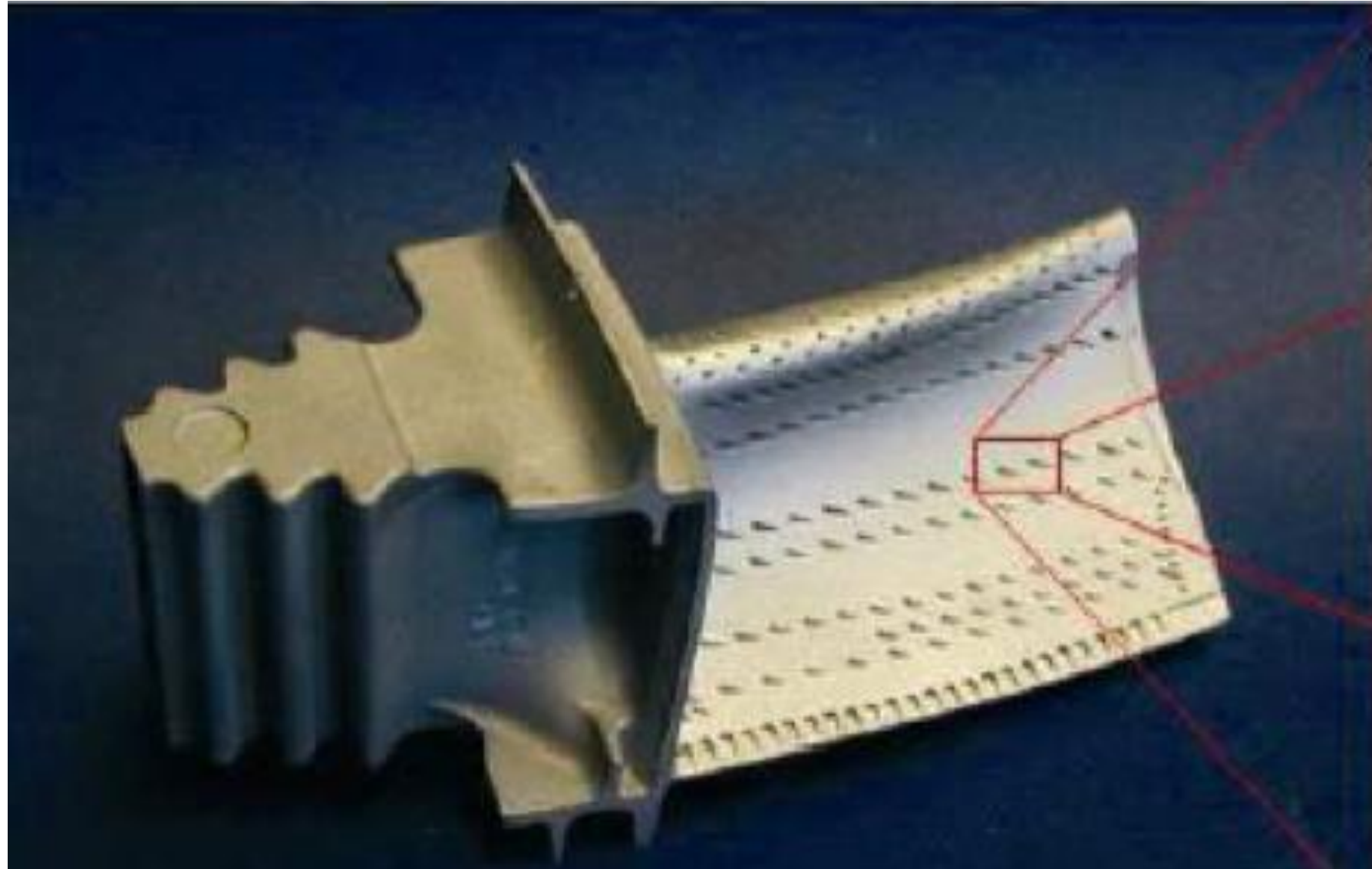
Rozwoju technologii wytwarzania

Wymagania stawiane materiałom w budowie lotniczych silników turbinowych:

- wysoka wytrzymałości właściwej,
- żaroodporność i żarowytrzymałość,
- odporność na korozję,
- stabilność i powtarzalność właściwości mechanicznych,
- niska gęstość.



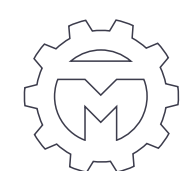
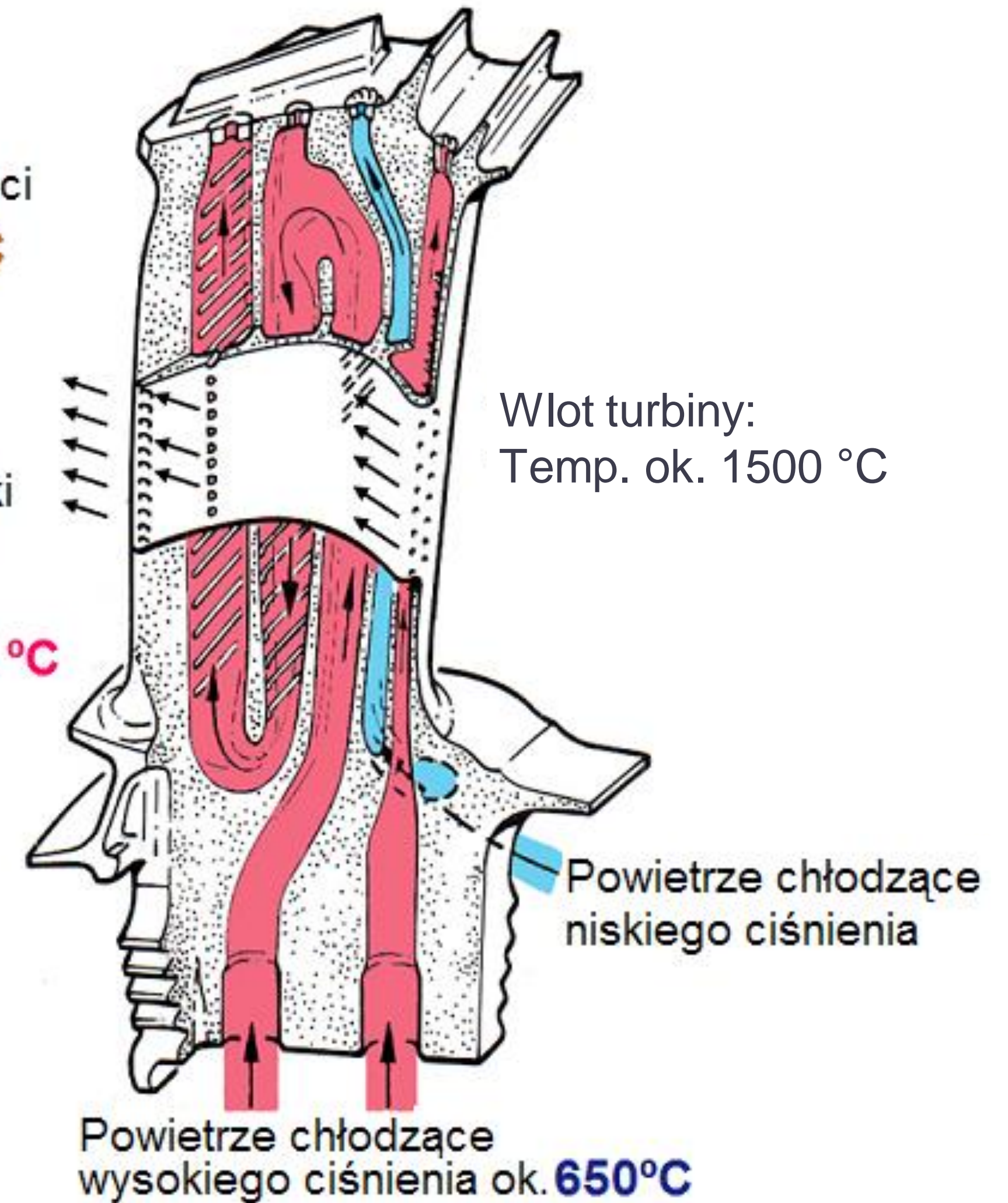
Rozwój technologii wytwarzania



Jedną z głównych operacji wiąże się z wykonawstwem otworów chłodzących w łopatkach turbiny,

Temp. topliwości stopu **1268°C**

Materiał łopatki nagrzewa się do temp.:
900 - 950 °C



Wydział Mechaniczny
Technologiczny

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Typowe warunki termiczne dla łopatki turbiny wysokiego ciśnienia

Technologia obróbki elektroerozyjnej

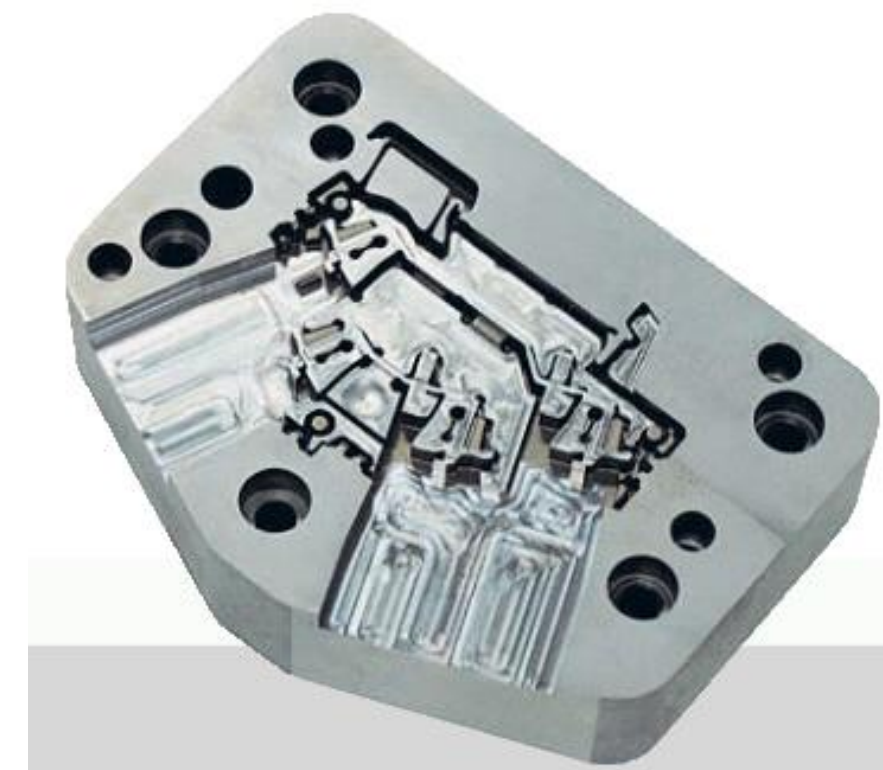
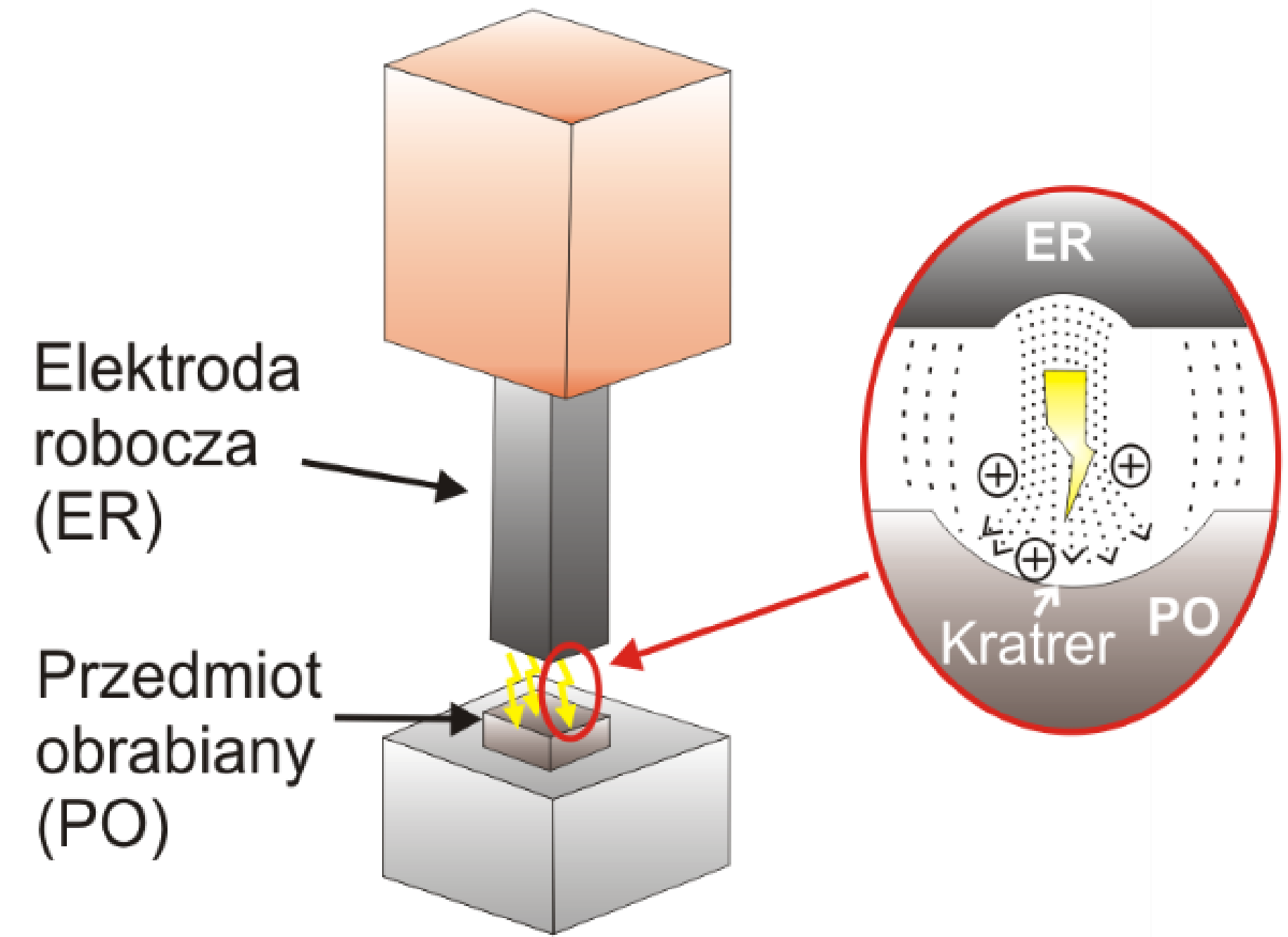
Błyskawica (naturalne wyładowanie elektryczne)

Wymiary rzędu kilometrów
Metry

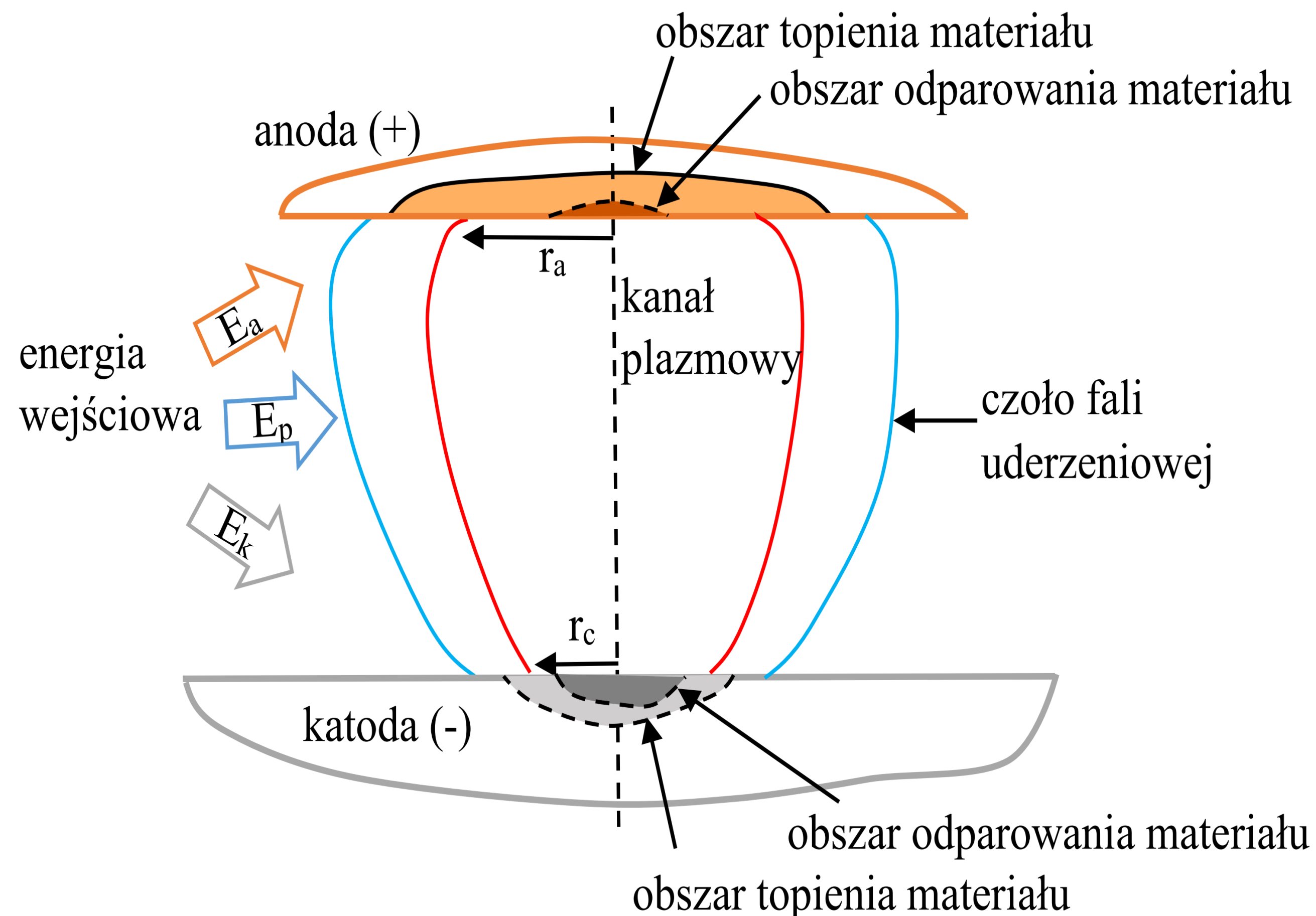


Wyładowania elektryczne w EDM

Mikrometry
Nanometry

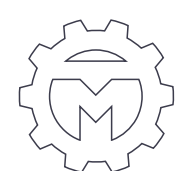


Technologia obróbki elektroerozyjnej



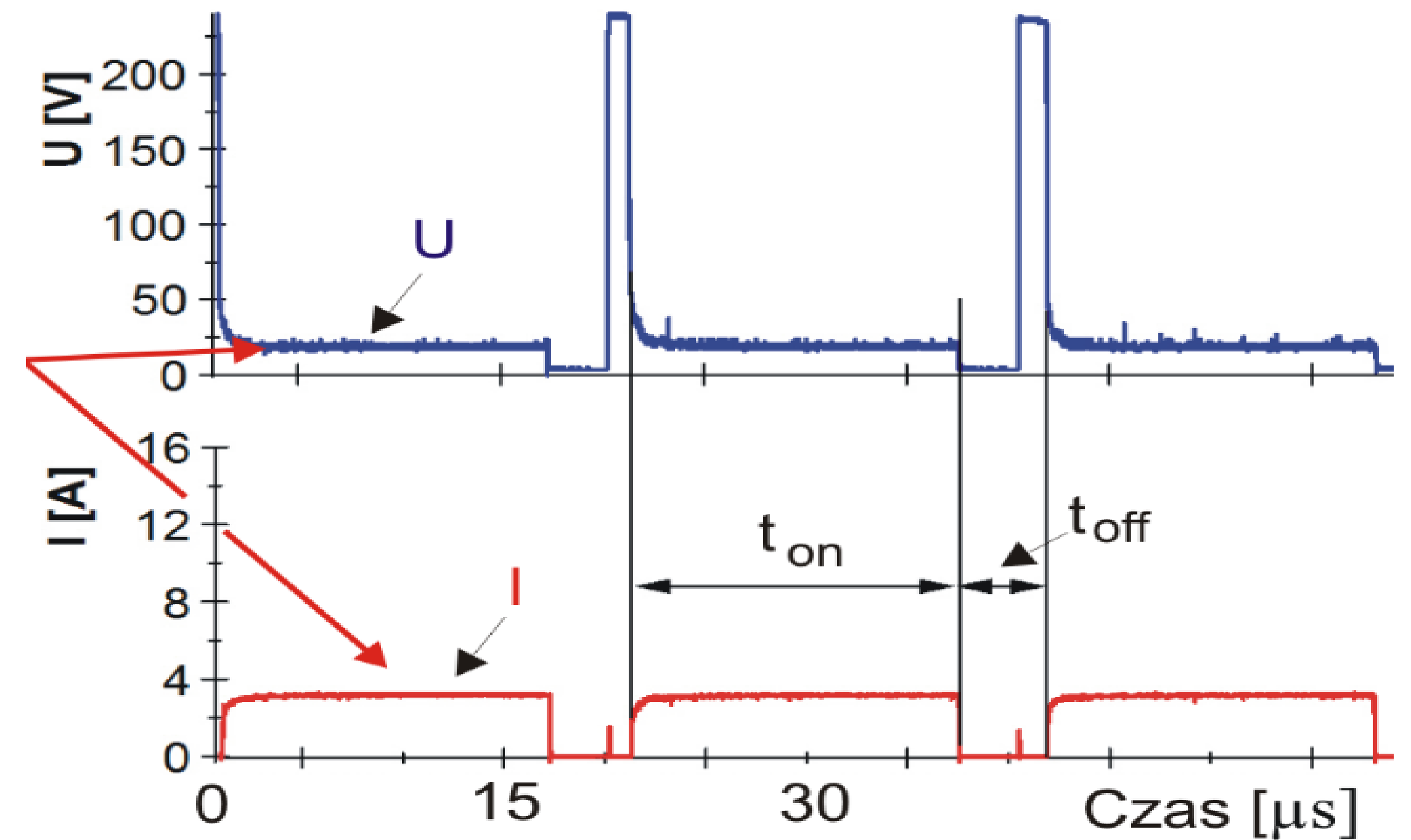
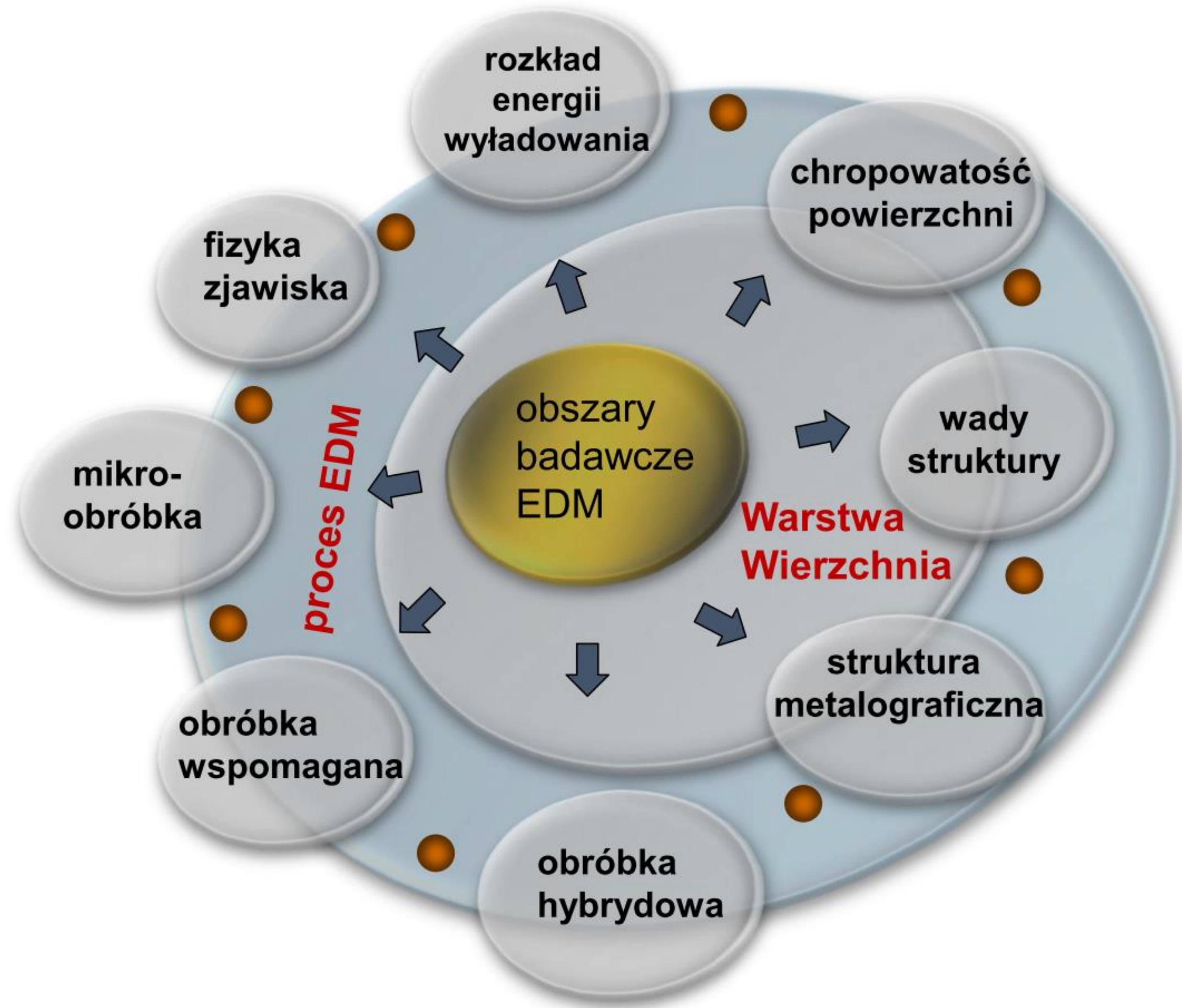
Parametry definiujące charakter obróbki elektroerozyjnej:

- Wartość energii dostarczonej do materiału obrabianego
- Wielkość oraz kształt kanału wyładowania,
- Mechanizmy wpływające na erozję materiału wynikające z:
 - materiału elektrody, przedmiotu obrabianego,
 - typu dielektryka,
 - czasu trwania wyładowania,
 - zastosowanych parametrów prądowych.

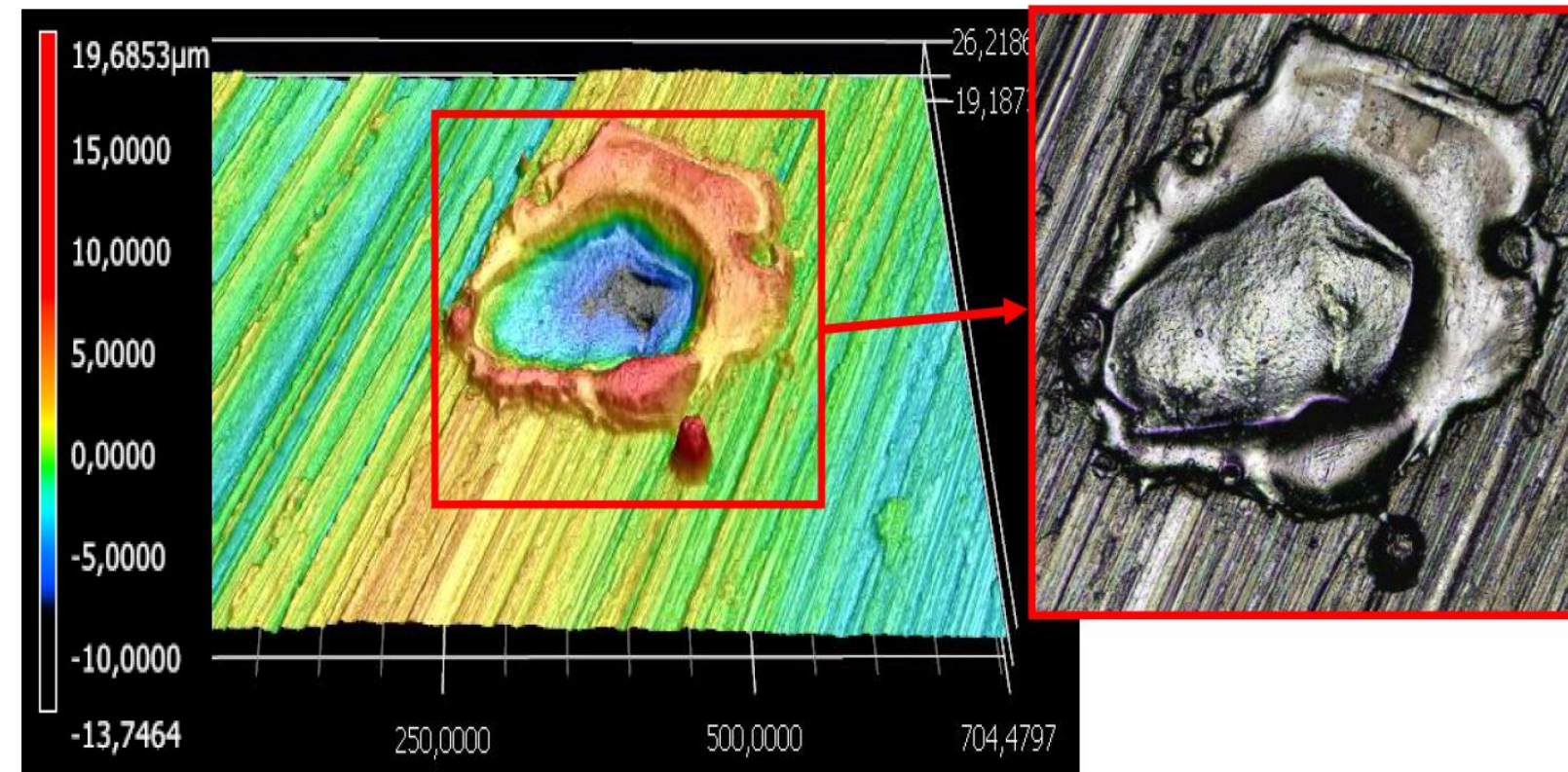


Technologia obróbki elektroerozyjnej

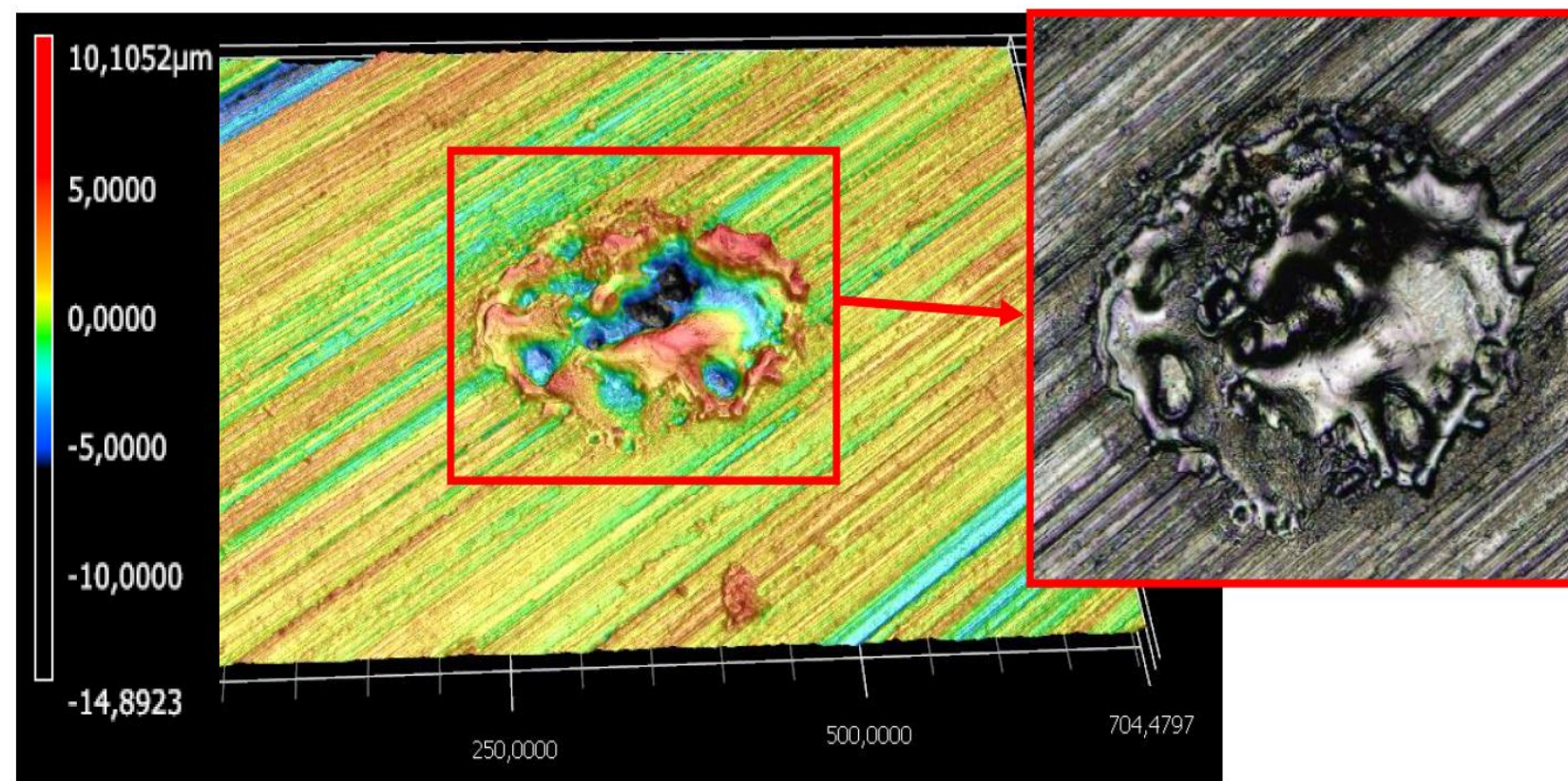
7



Technologia obróbki elektroerozyjnej

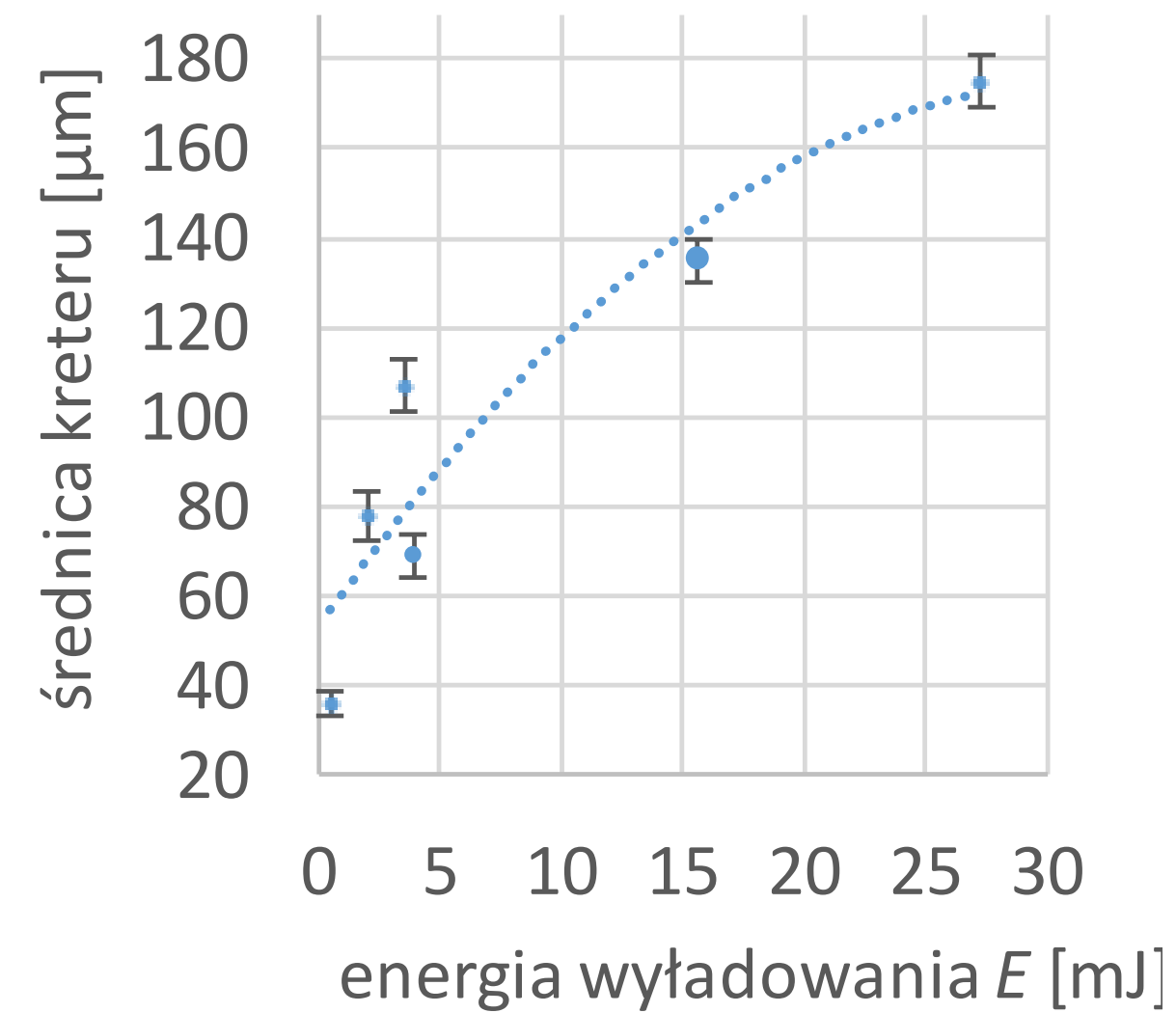


Krater erozyjny powstały na powierzchni próbki Inconelu 718, $E = 27,3$ mJ

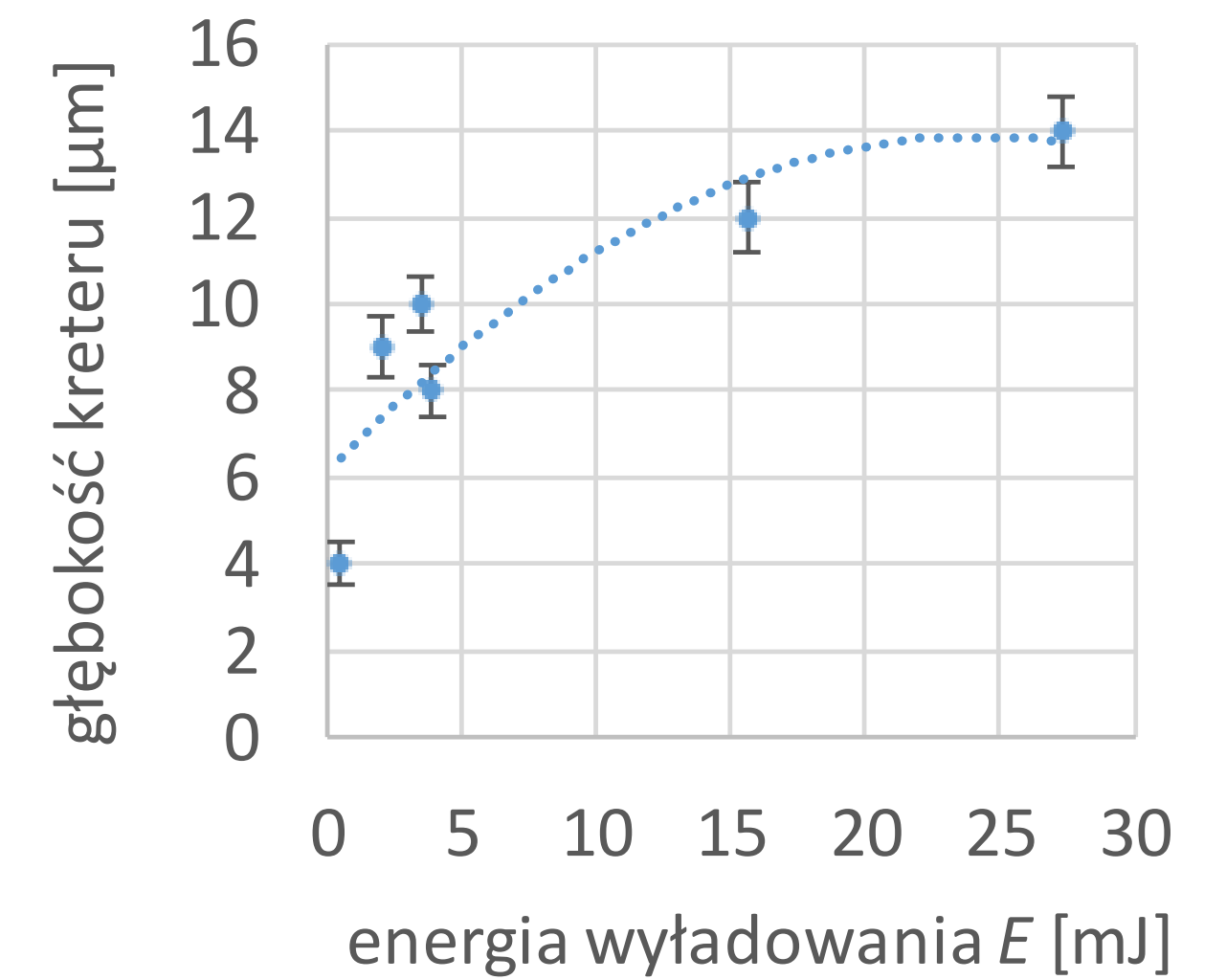


Krater erozyjny powstały na powierzchni próbki Inconelu 718, $E = 3,9$ mJ

a)

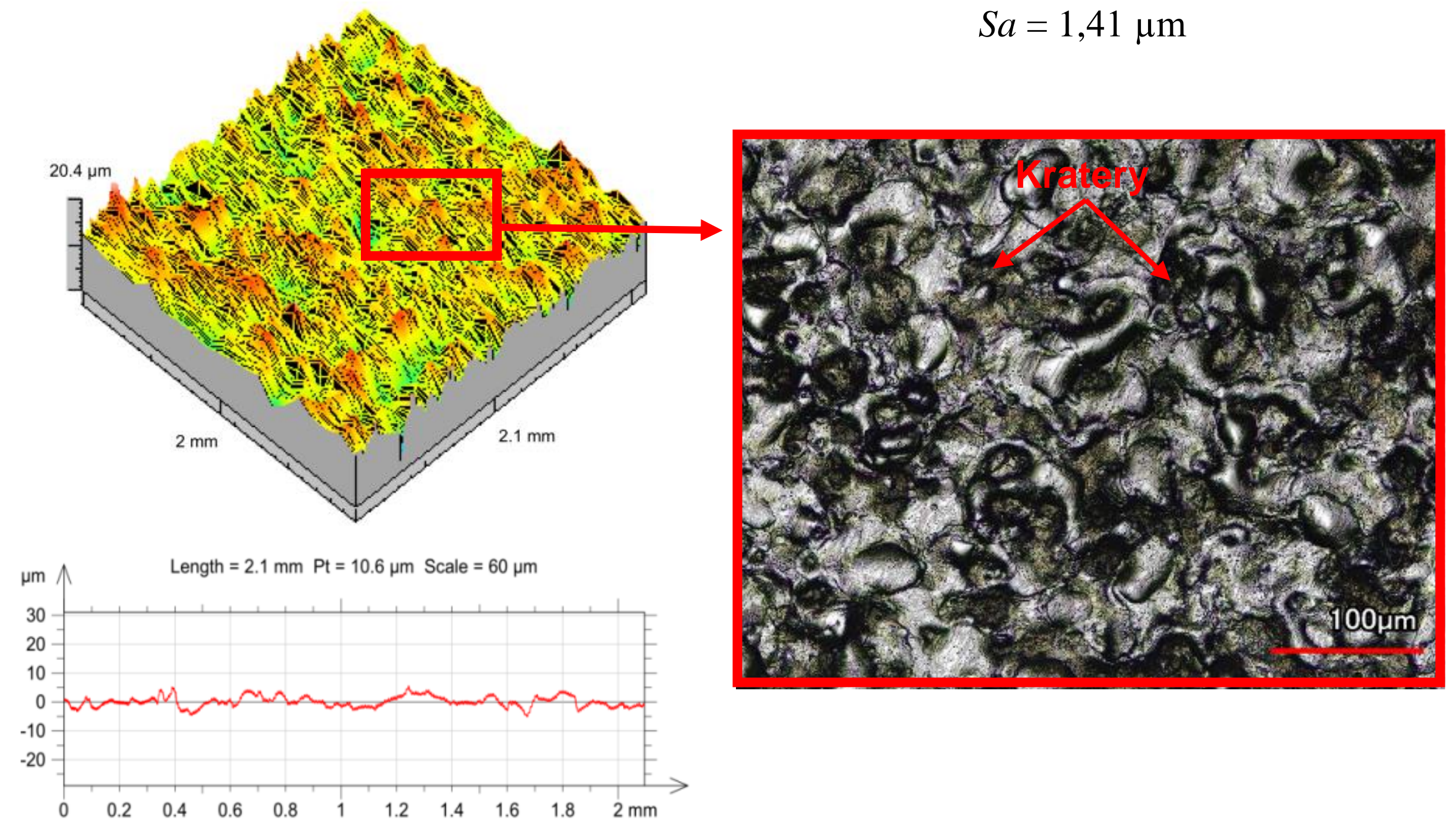
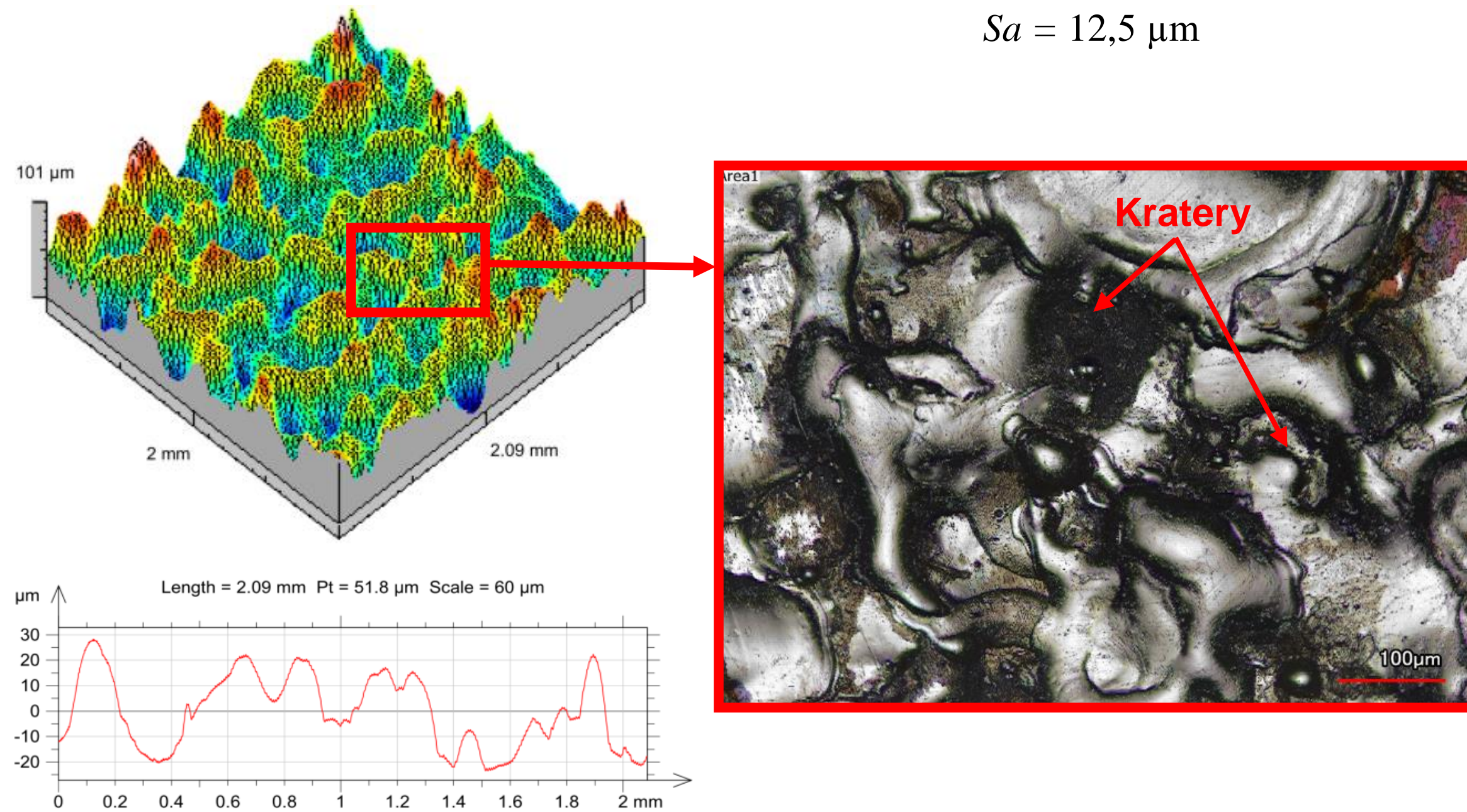


b)

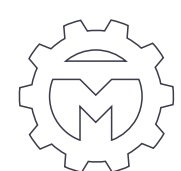
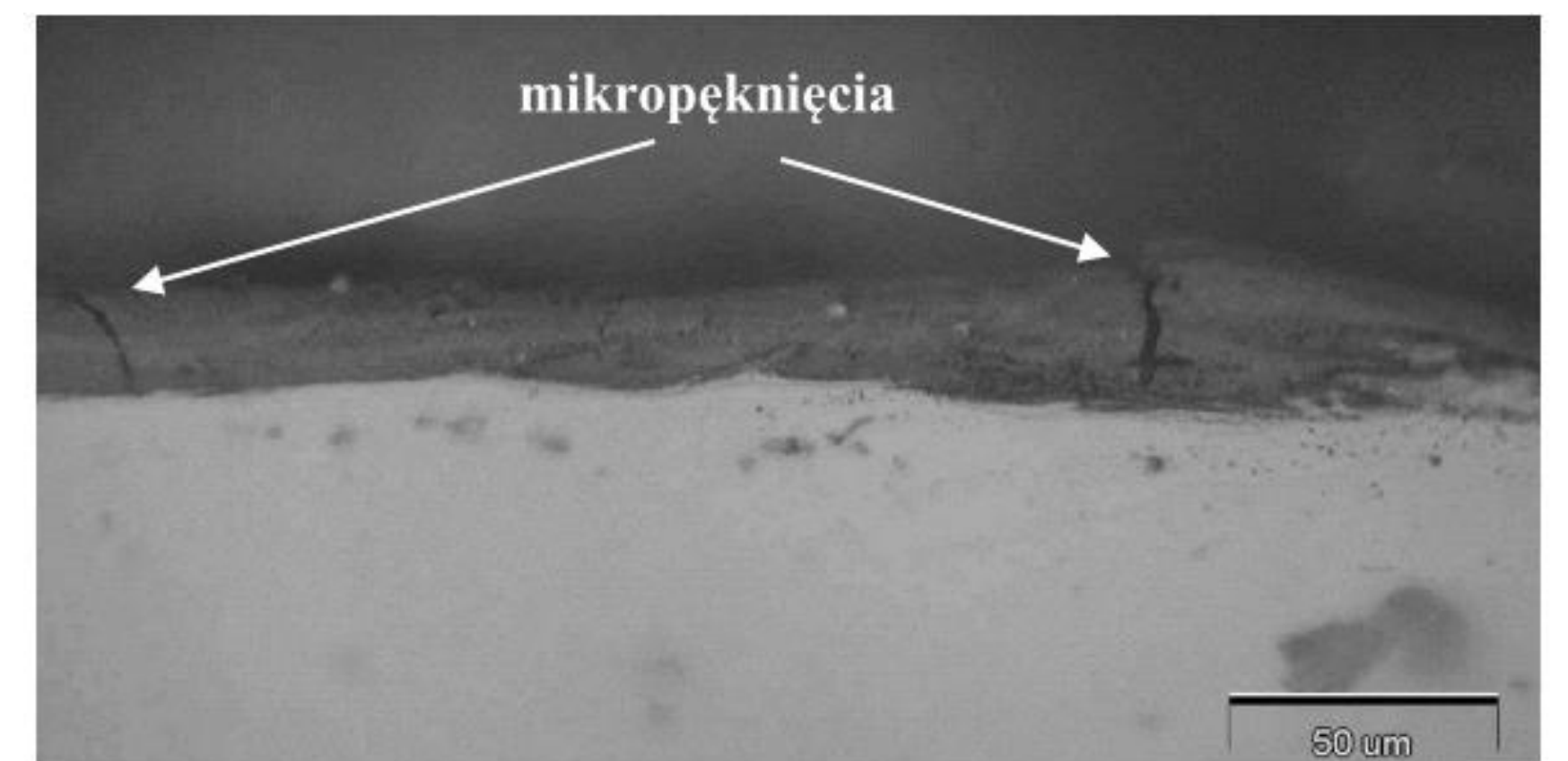


Zależność: a) średnicy krateru, b) głębokości krateru od energii wyładowania

Technologia obróbki elektroerozyjnej- warstwa wierzchnia



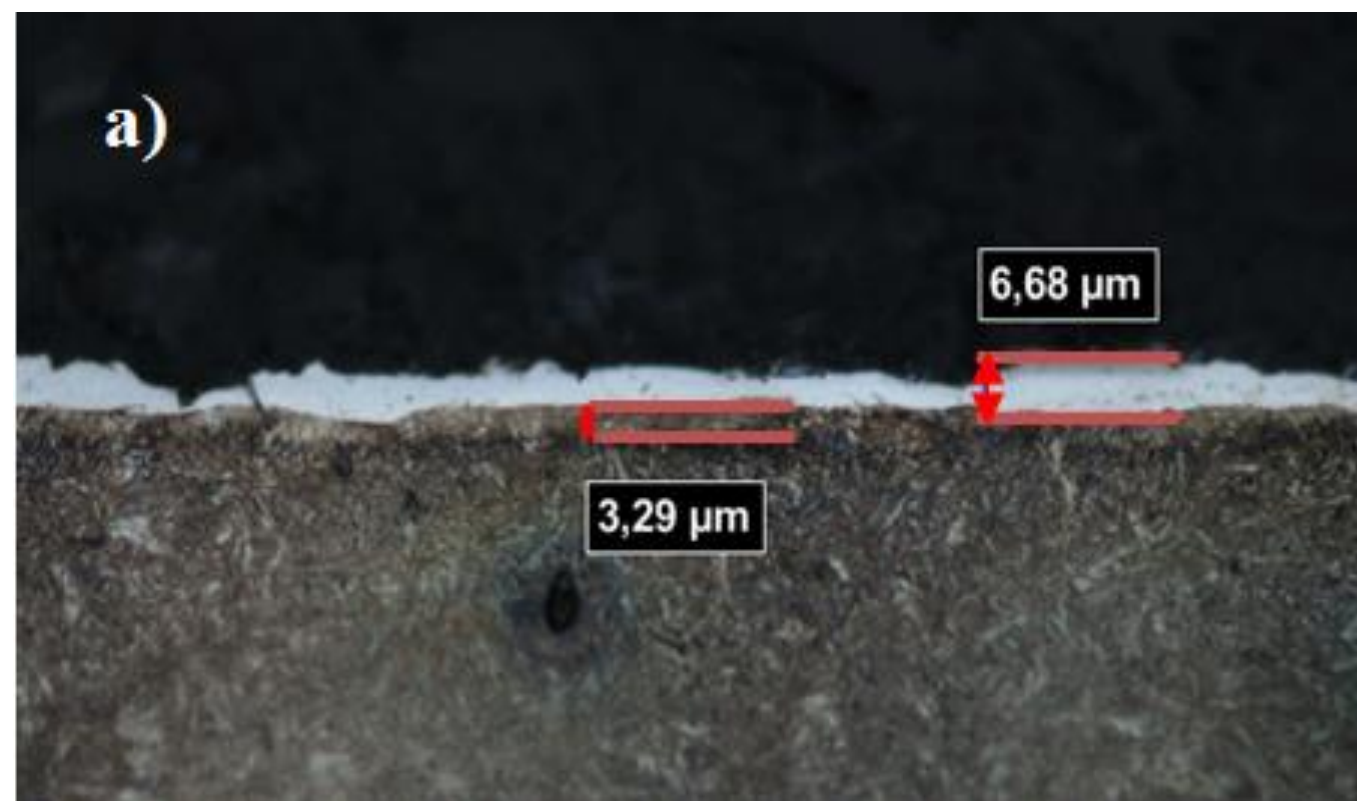
Na podstawie: Świercz R, Oniszcuk-Świercz D, Chmielewski T. Multi-response optimization of electrical discharge machining using the desirability function. Micromachines 2019;10. <https://doi.org/10.3390/mi10010072>.



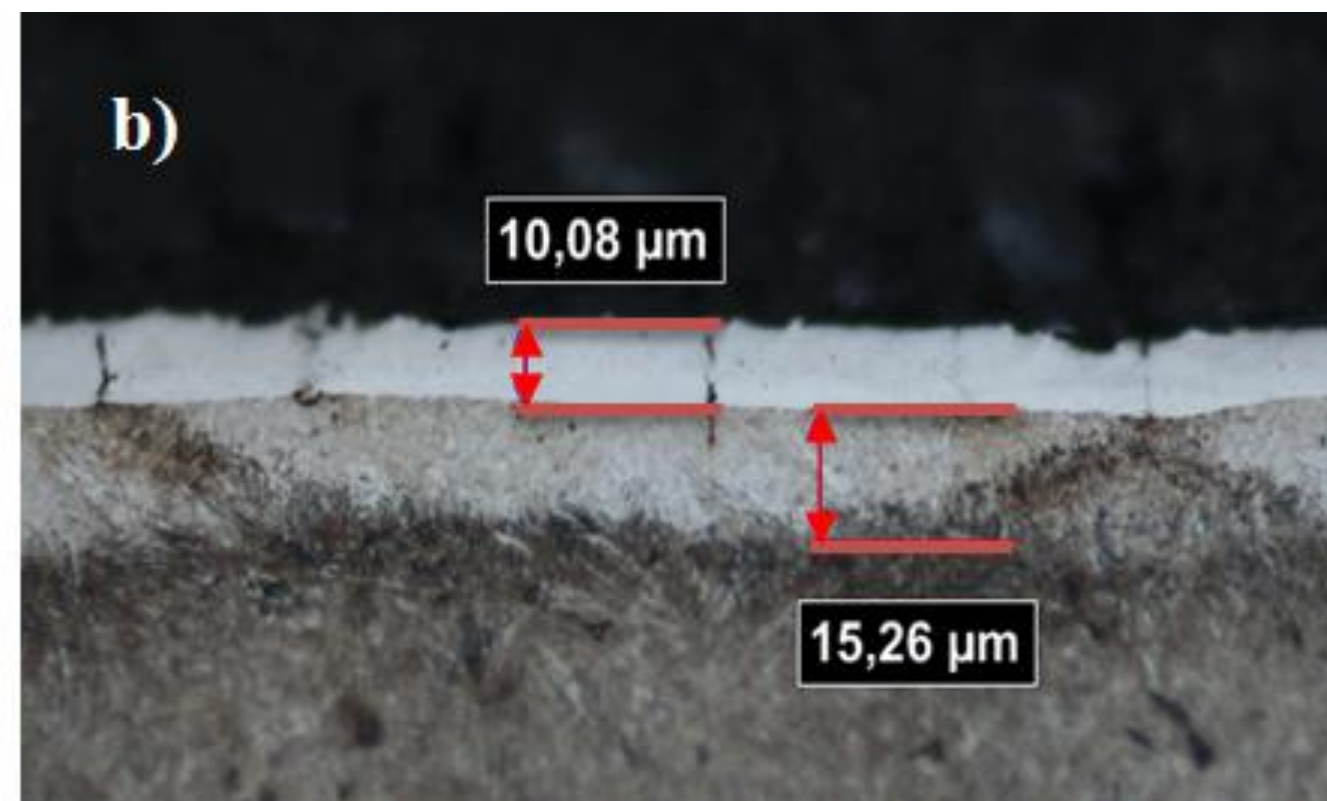
**Wydział Mechaniczny
Technologiczny**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Technologia obróbki elektroerozyjnej- warstwa wierzchnia



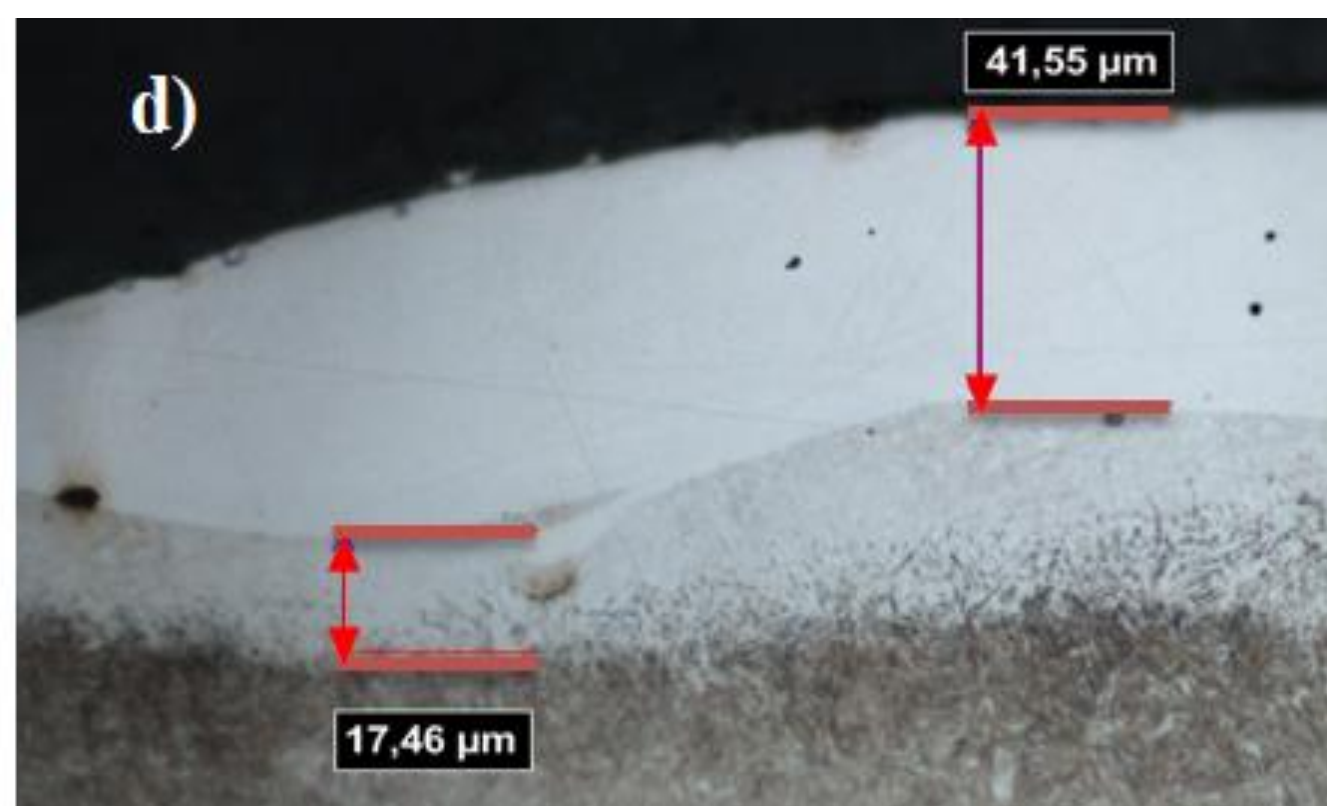
$U = 25 \text{ V}, I = 3,2 \text{ A}, t_{on} = 13 \mu\text{s}, t_{off} = 11 \mu\text{s}$



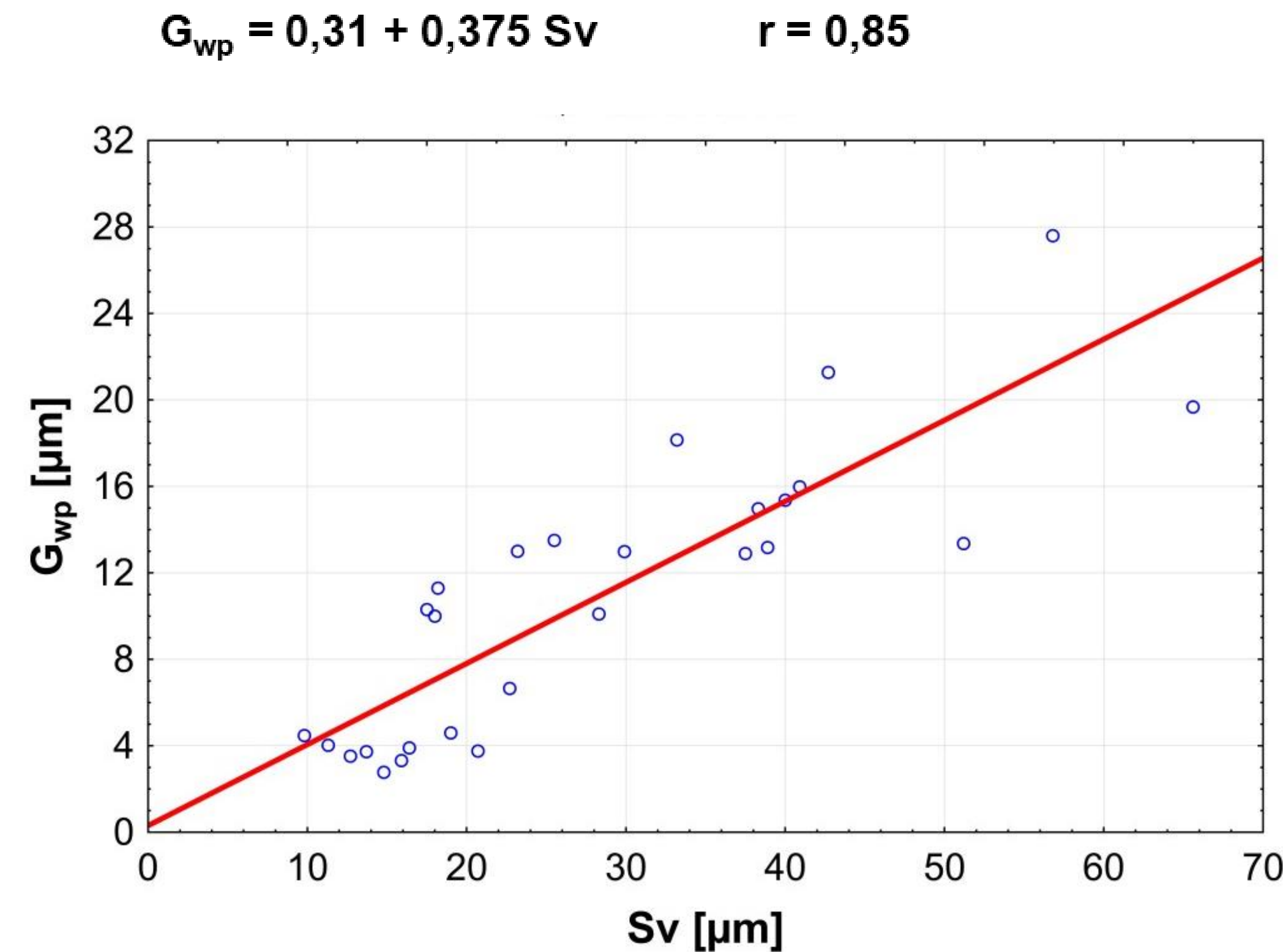
$U = 25 \text{ V}, I = 3,2 \text{ A}, t_{on} = 206 \mu\text{s}, t_{off} = 100 \mu\text{s}$



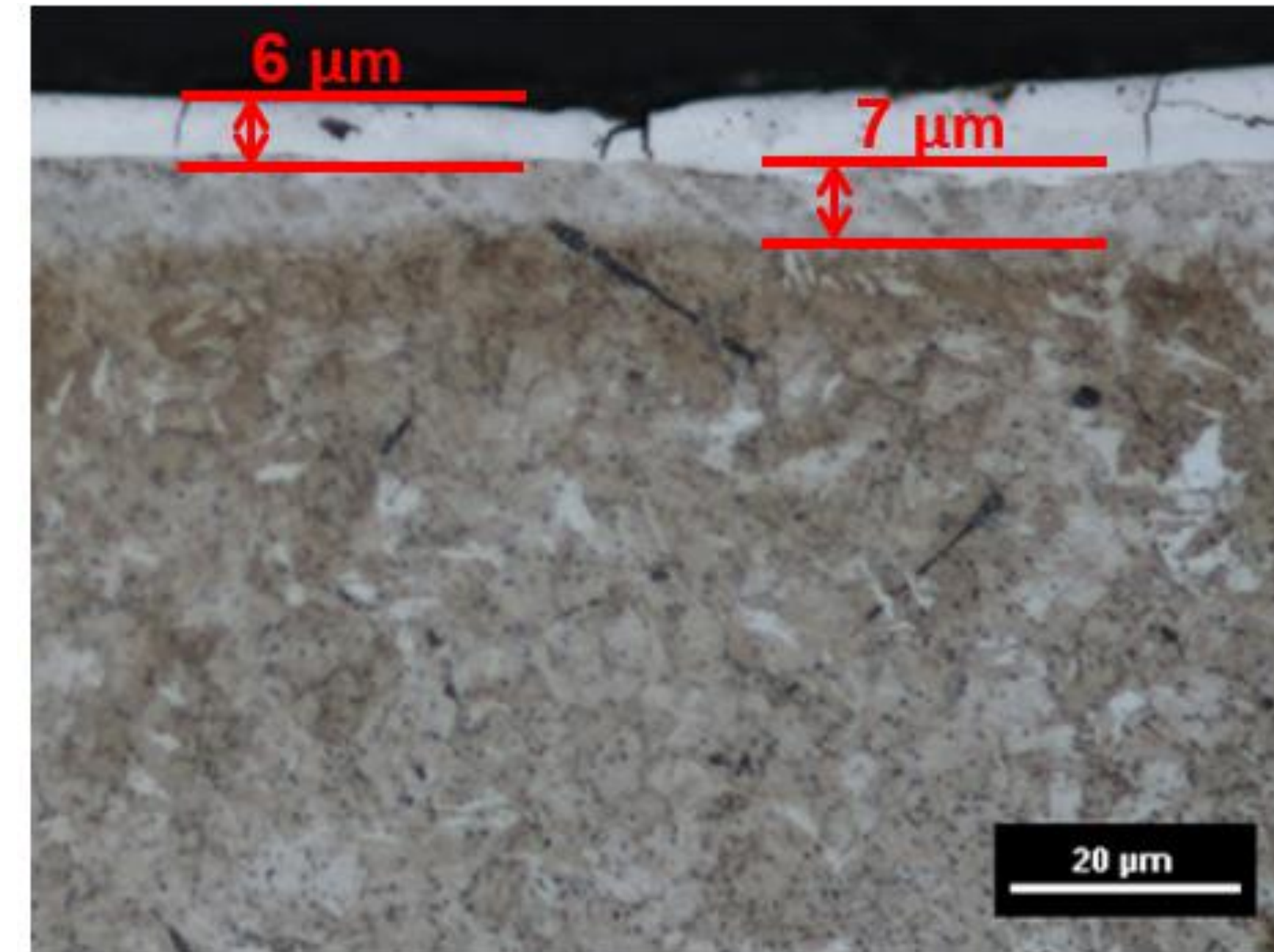
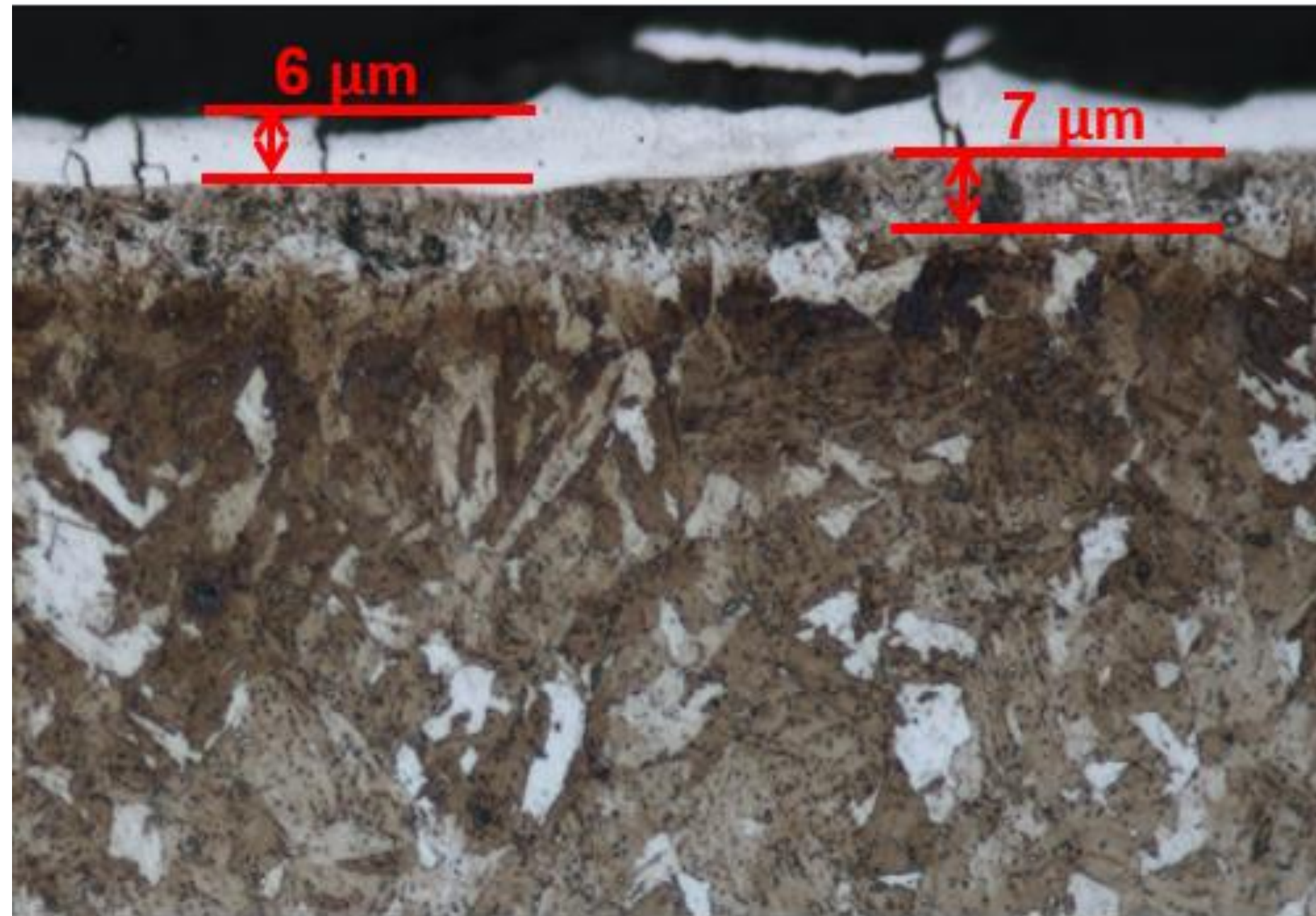
$U = 25 \text{ V}, I = 8,6 \text{ A}, t_{on} = 200 \mu\text{s}, t_{off} = 11 \mu\text{s}$



$U = 25 \text{ V}, I = 14,3 \text{ A}, t_{on} = 400 \mu\text{s}, t_{off} = 150 \mu\text{s}$



Technologia obróbki elektroerozyjnej- warstwa wierzchnia

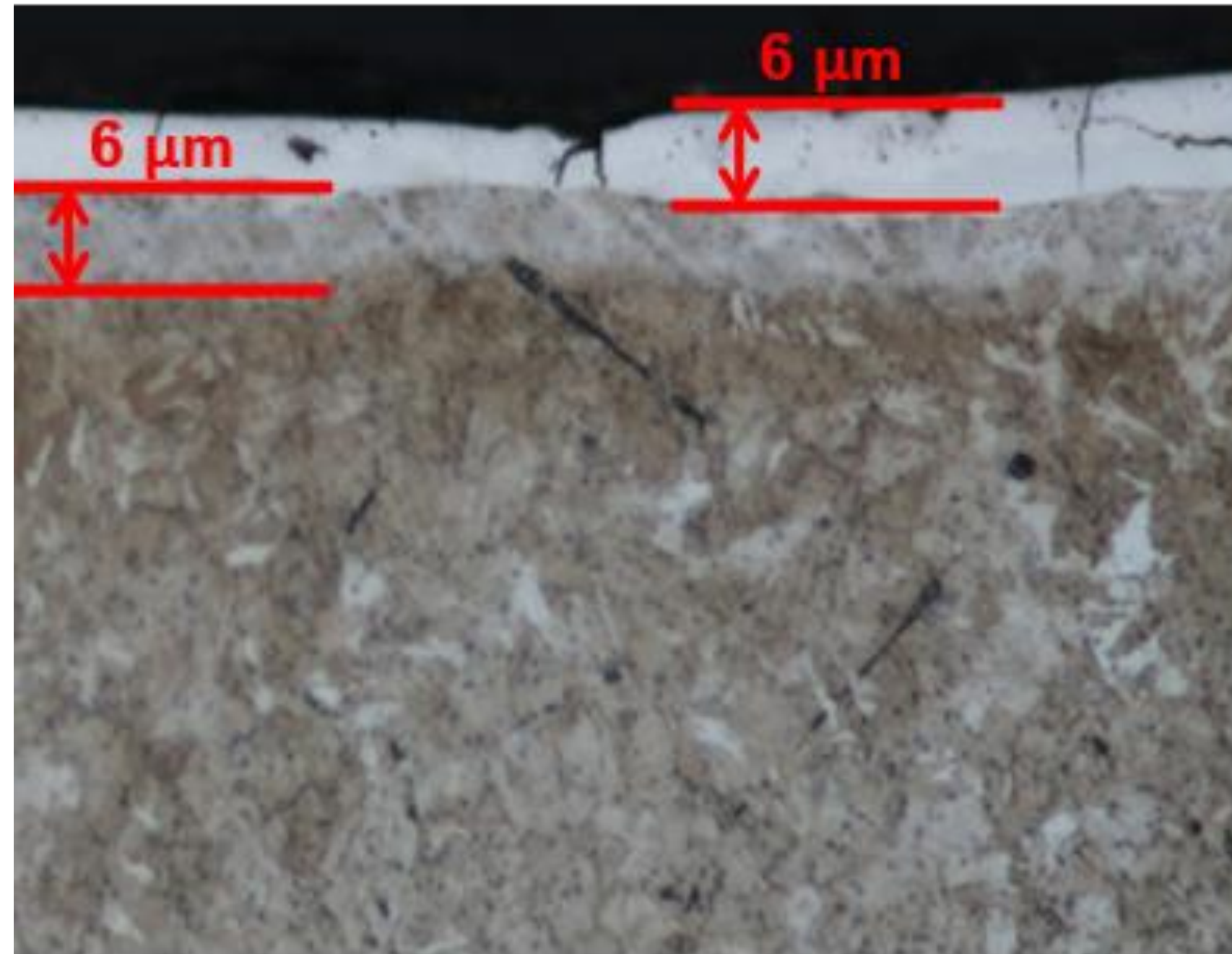


Próbka obrobiona sekwencyjnie

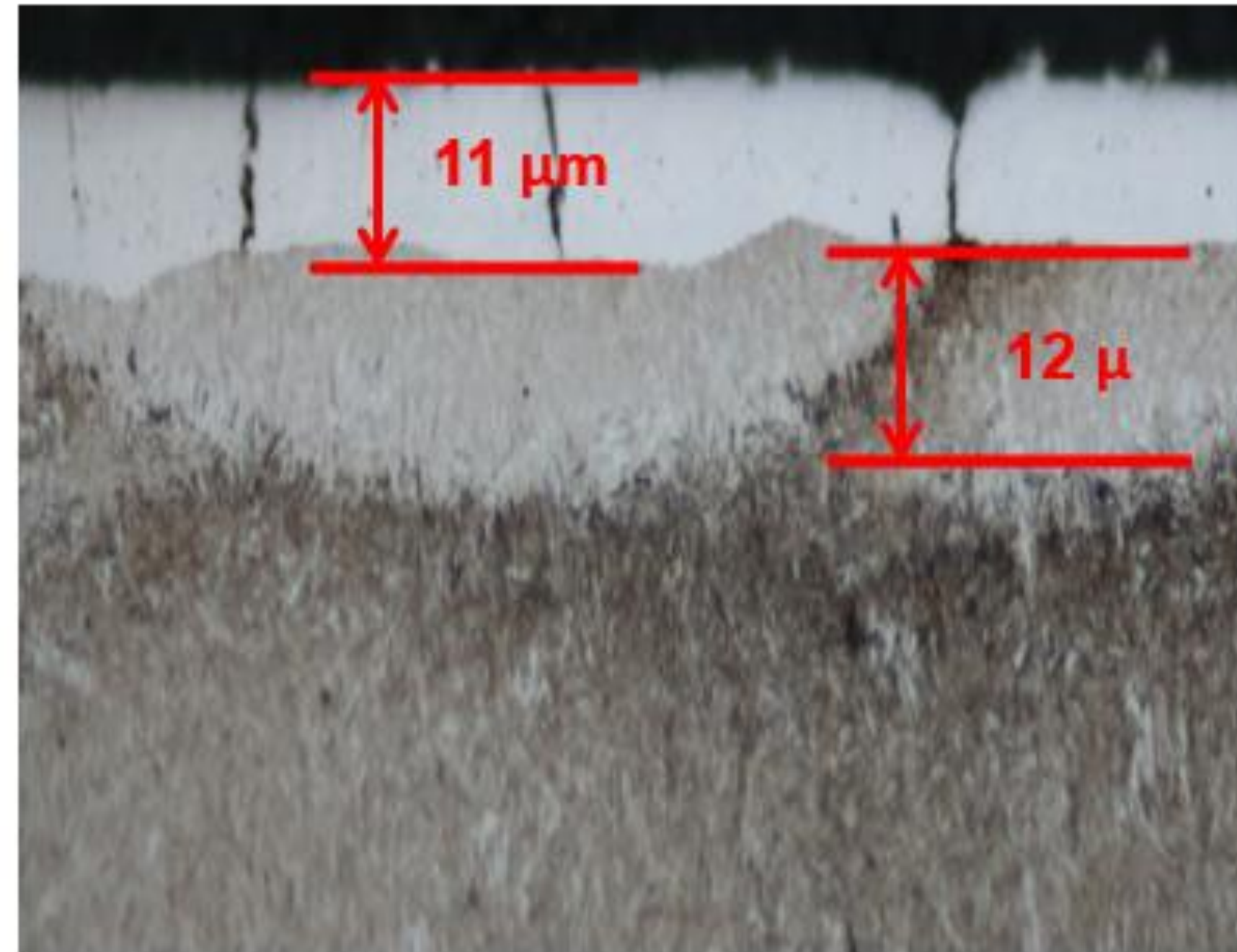
1. $I = 24 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 150 \text{ } \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$, głębokość drążenia 0,1 mm,
2. $I = 14 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 80 \text{ } \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$, głębokość drążenia 0,05 mm,
3. $I = 3 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 150 \text{ } \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$, głębokość drążenia 0,05 mm.

Próbka po pojedynczej obróbce

$I = 3 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 150 \text{ } \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$

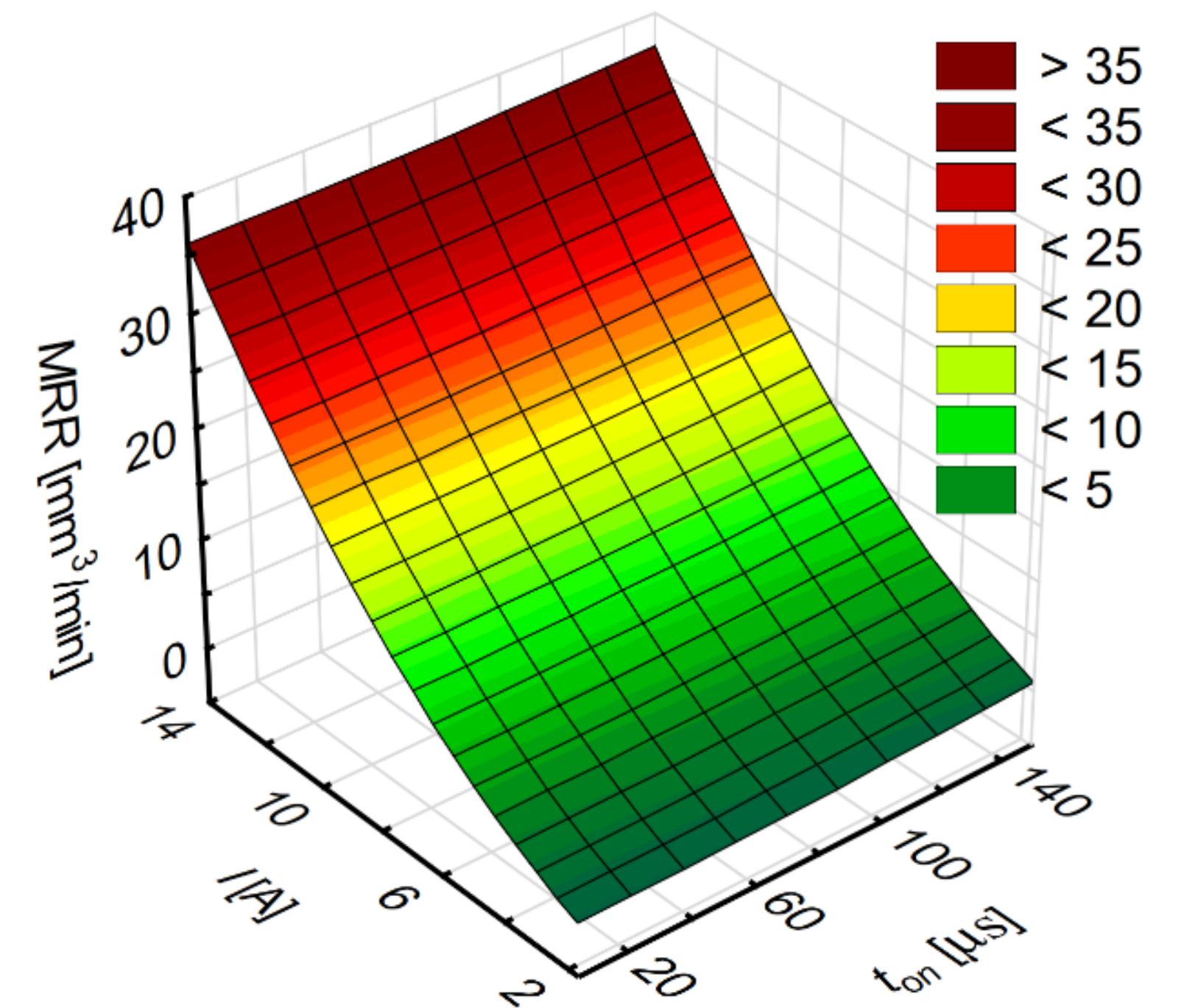
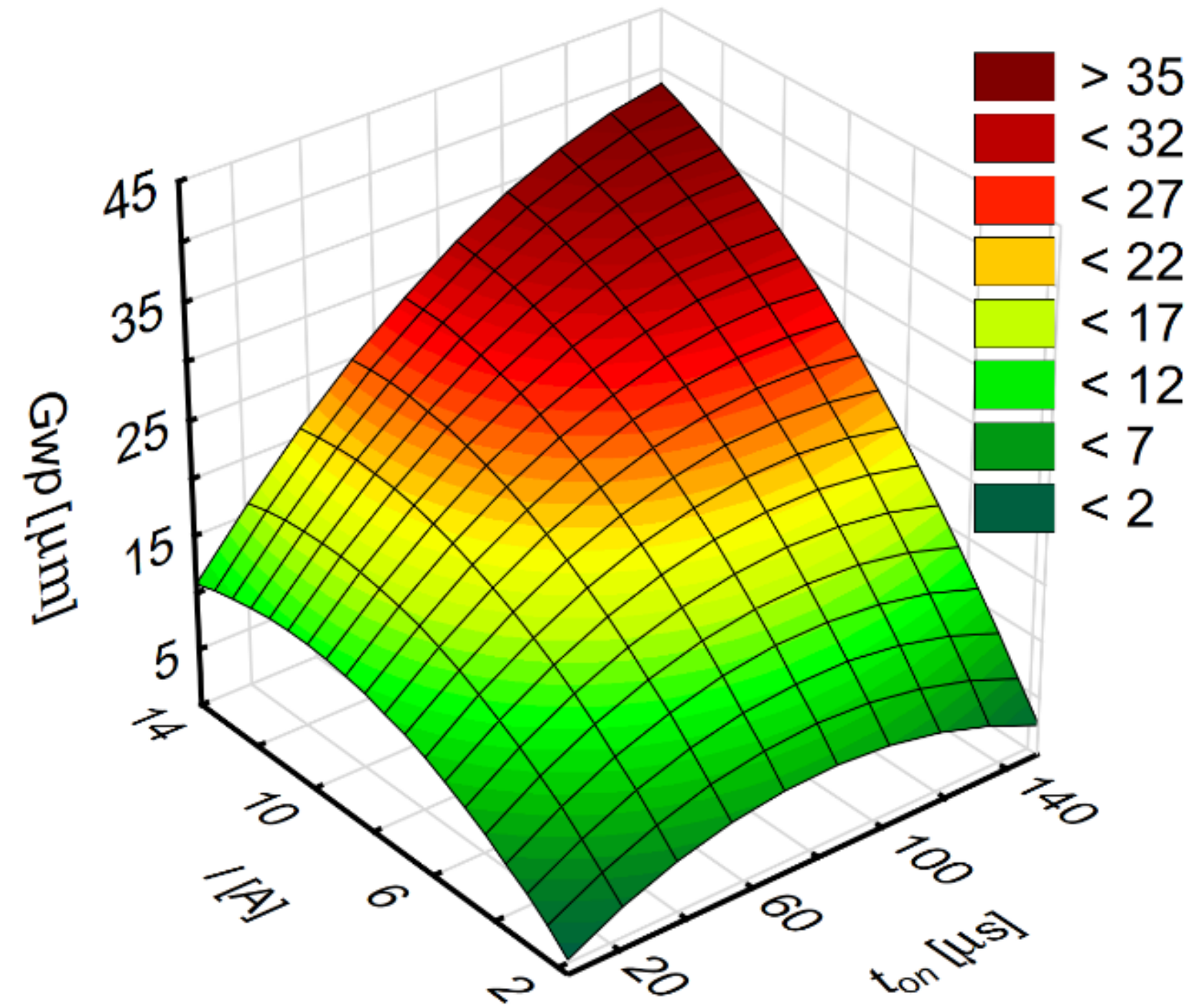
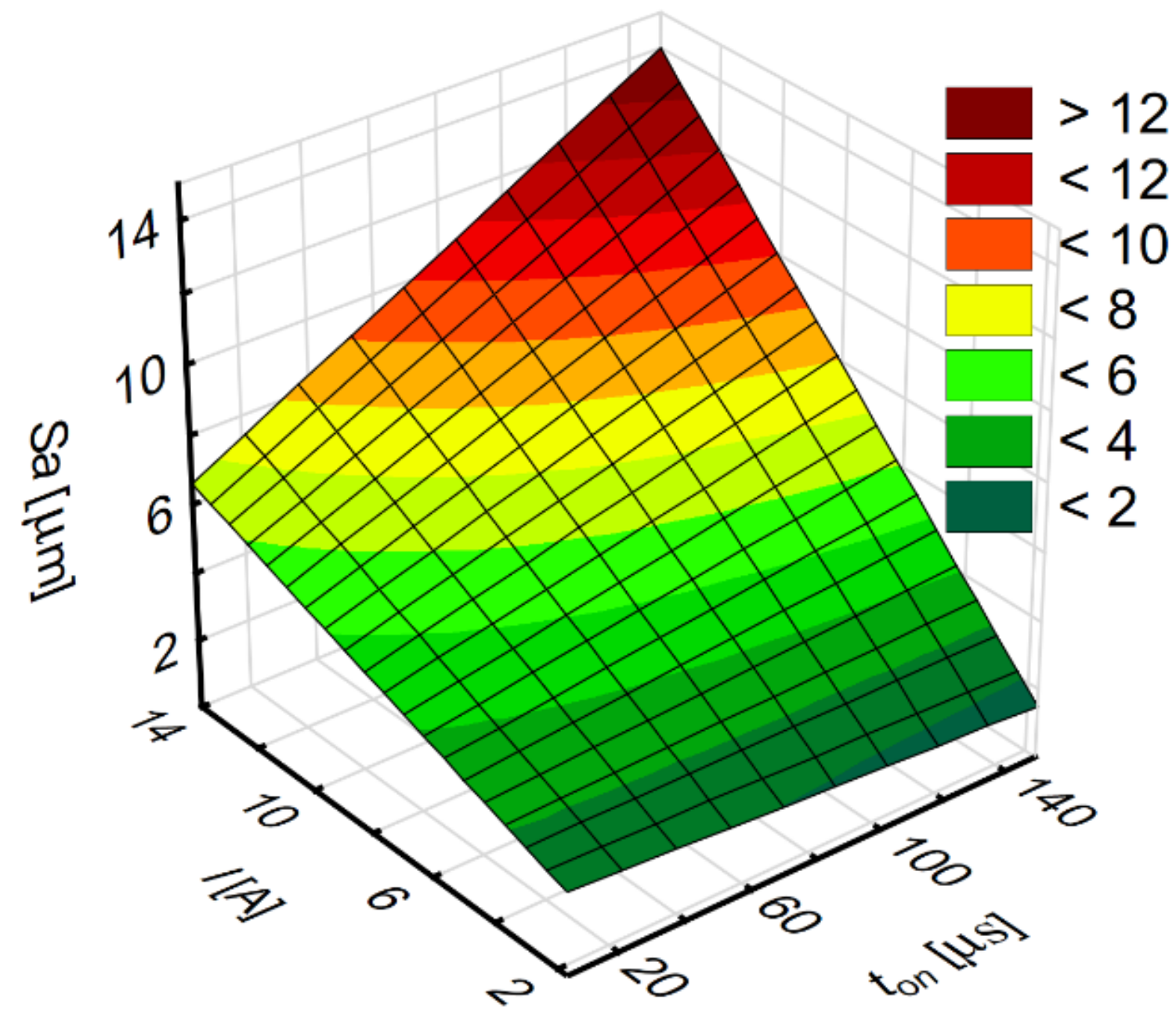


Materiał obrabiany stal HTCS 150
przewodność cieplna **66 W/mK**
 $I = 3 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 150 \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$



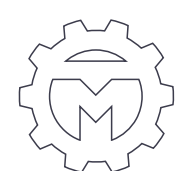
Materiał obrabiany stal WNL (1.2713),
przewodność cieplna **34,5 W/mK**
 $I = 3 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 150 \mu\text{s}$, $U = 25 \text{ V}$

Technologia obróbki elektroerozyjnej- warstwa wierzchnia

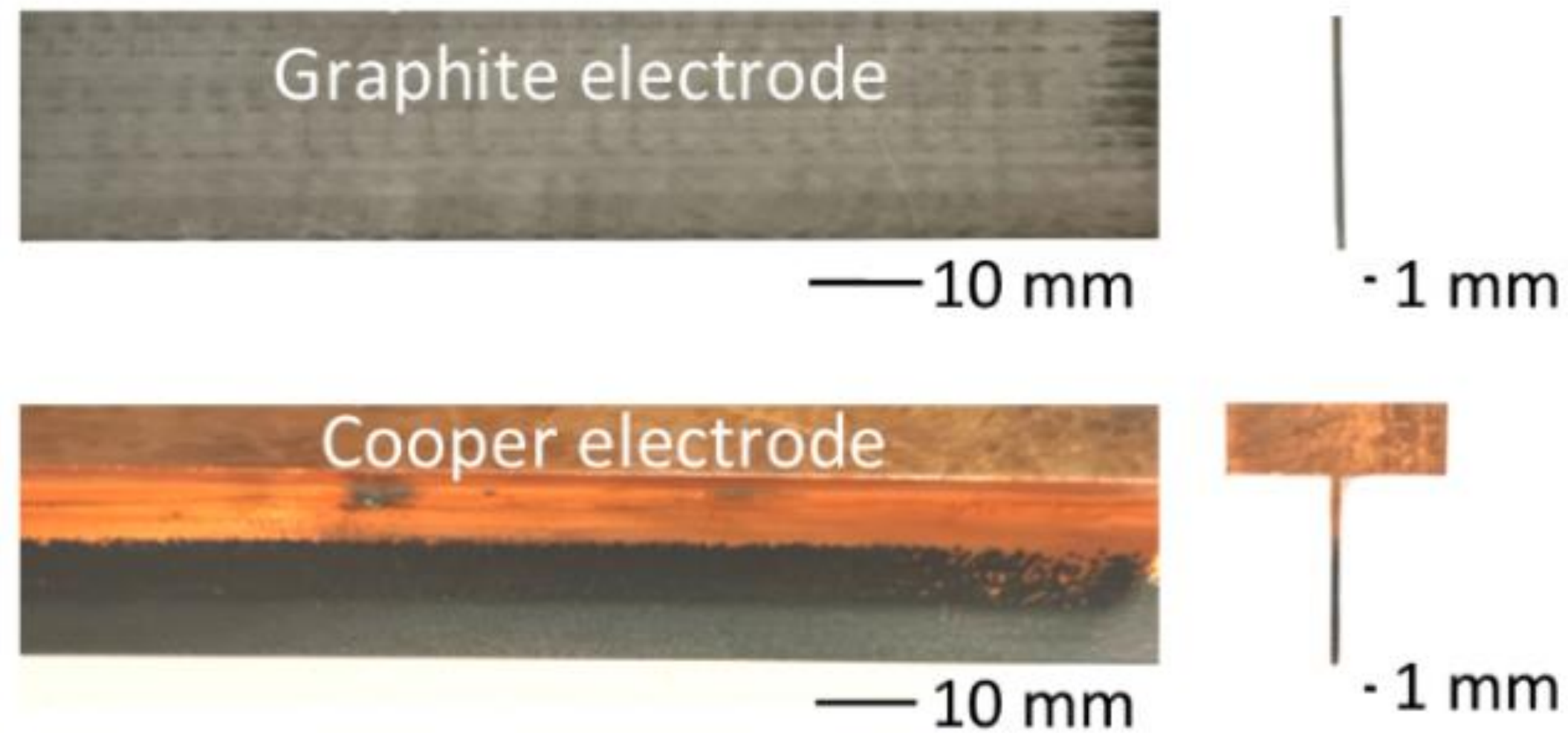


Zależność a) chropowatości powierzchni Sa , b) średniej głębokości warstwy przetopionej G_{wp} , c) wydajności objętościowej usuwania materiału MRR , od natężenia prądu I , czasu impulsu t_{on}

Świercz R., 2019: Modelowanie i optymalizacja obróbki elektroerozyjnej materiałów trudnoobrabialnych, Monografia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-921-7,



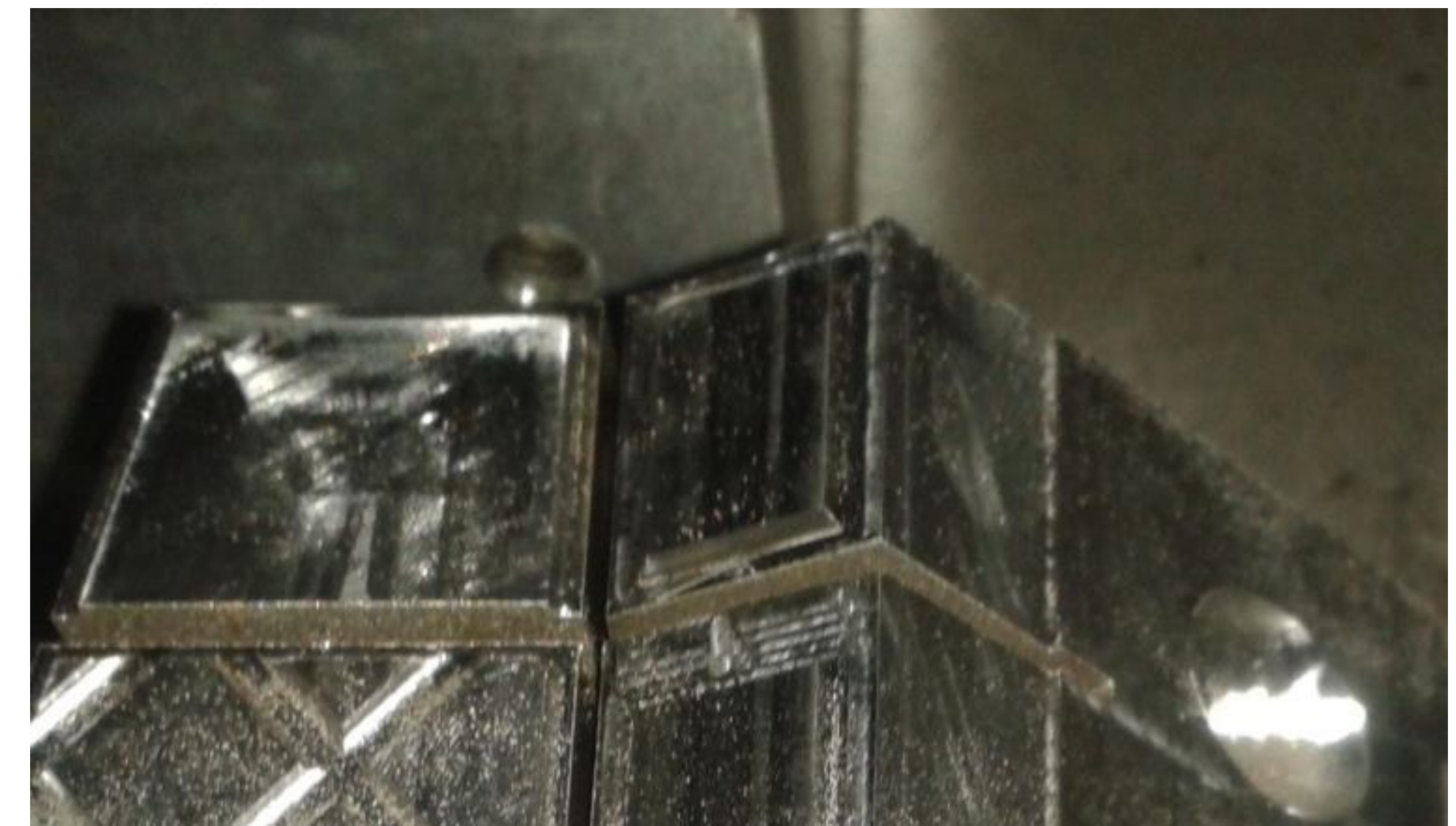
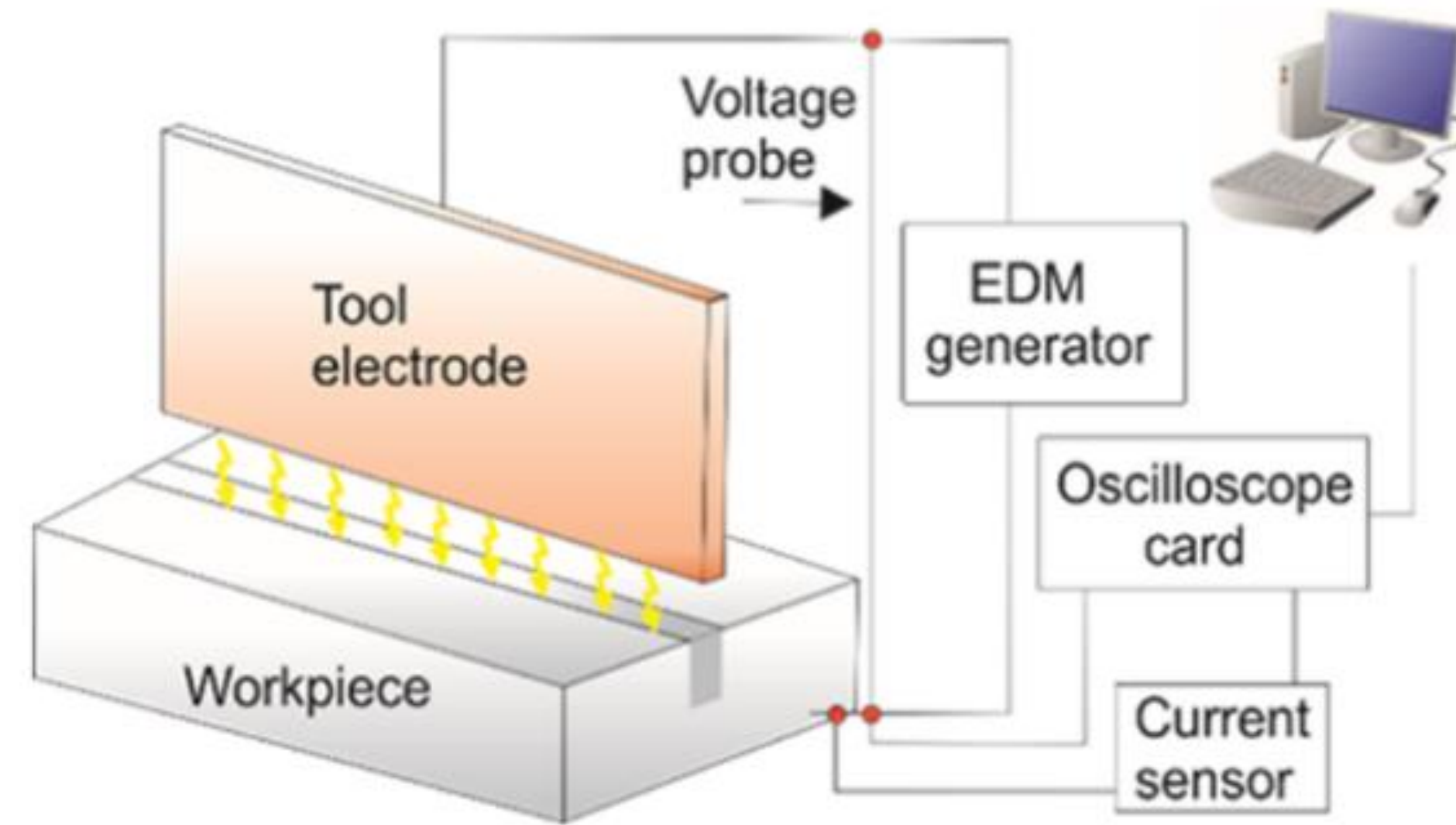
Technologia obróbki elektroerozyjnej- zużycie elektrod



(a)

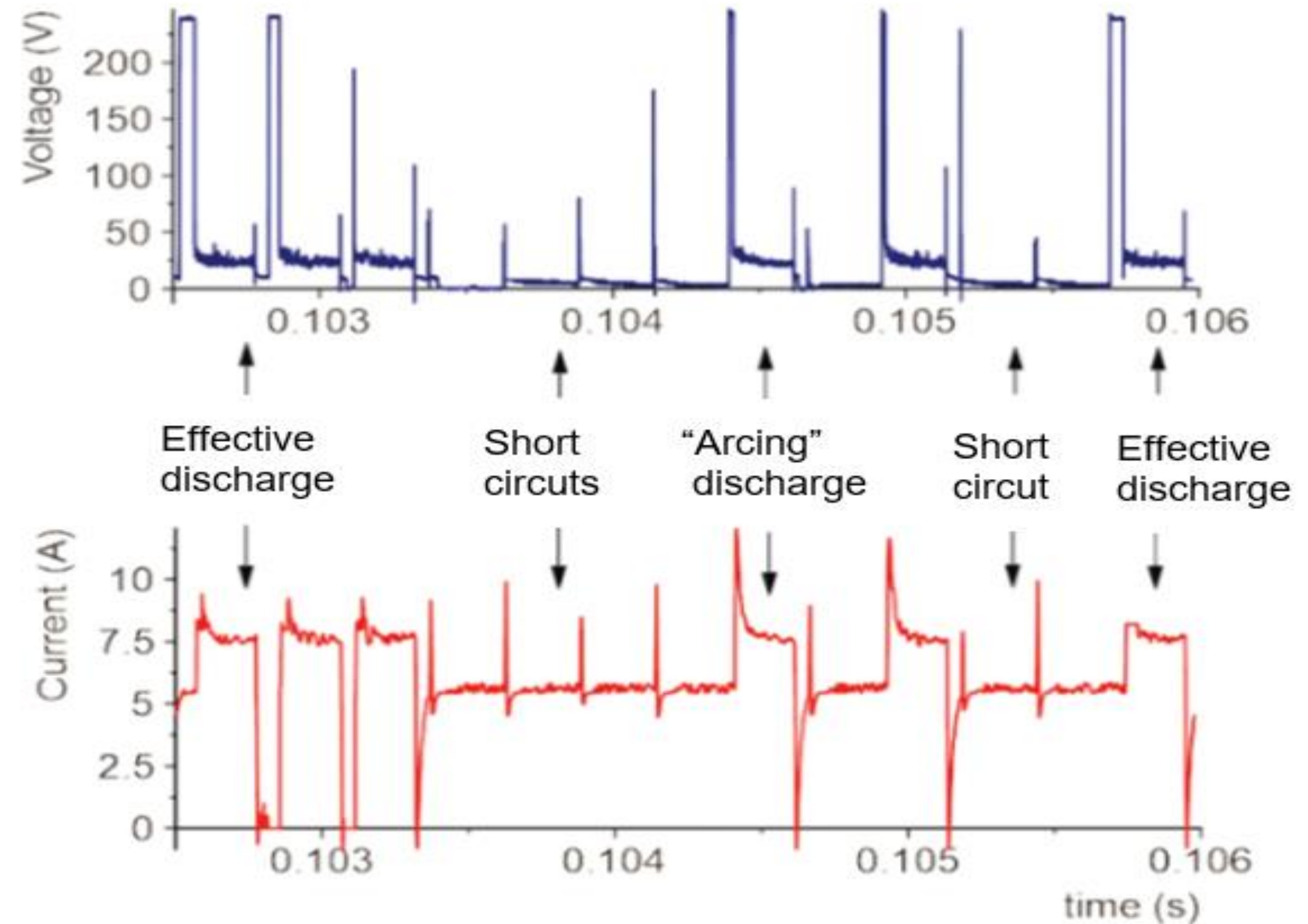
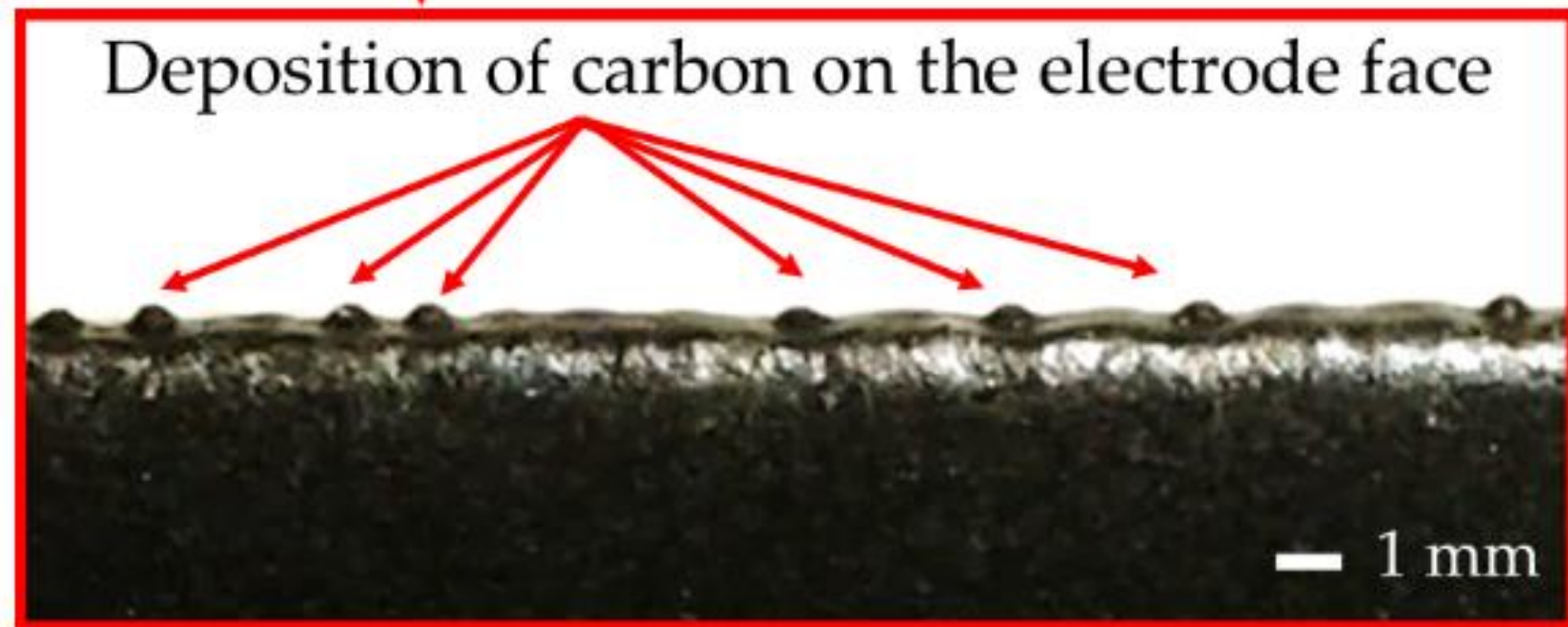


(c)

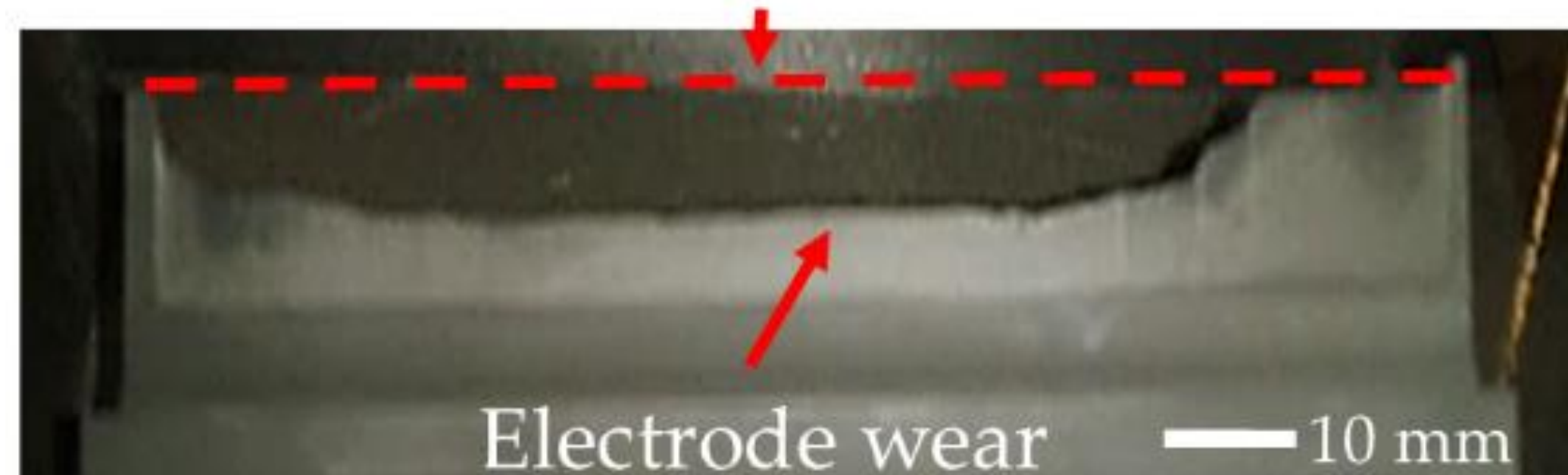


Na podstawie: Oniszczyk-Świercz D, Świercz R, Kopytowski A, Nowicki R. Experimental Investigation and Optimization of Rough EDM of High-Thermal-Conductivity Tool Steel with a Thin-Walled Electrode. Materials 2023;16. <https://doi.org/10.3390/ma16010302>.

Technologia obróbki elektroerozyjnej- zużycie elektrod

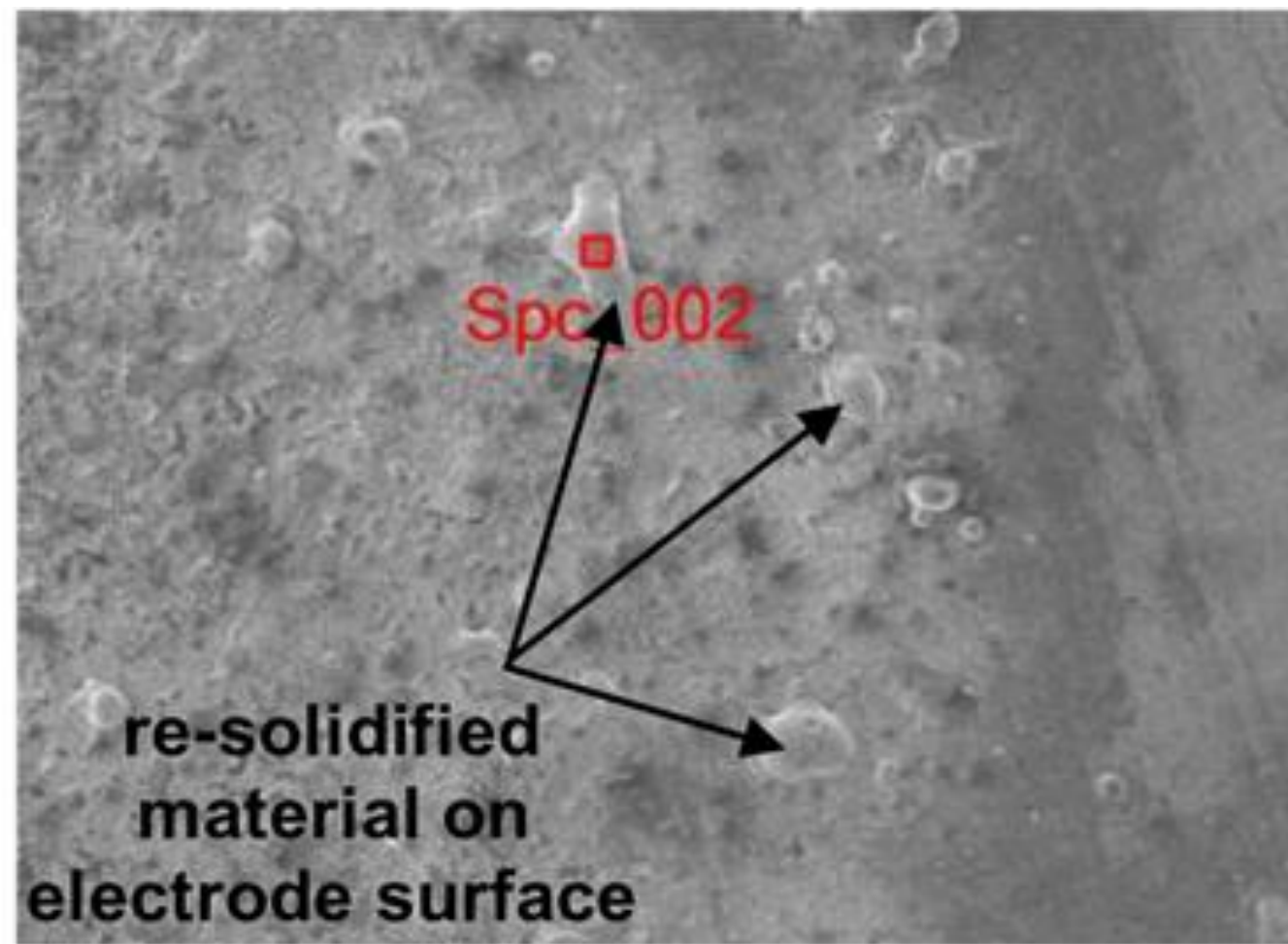
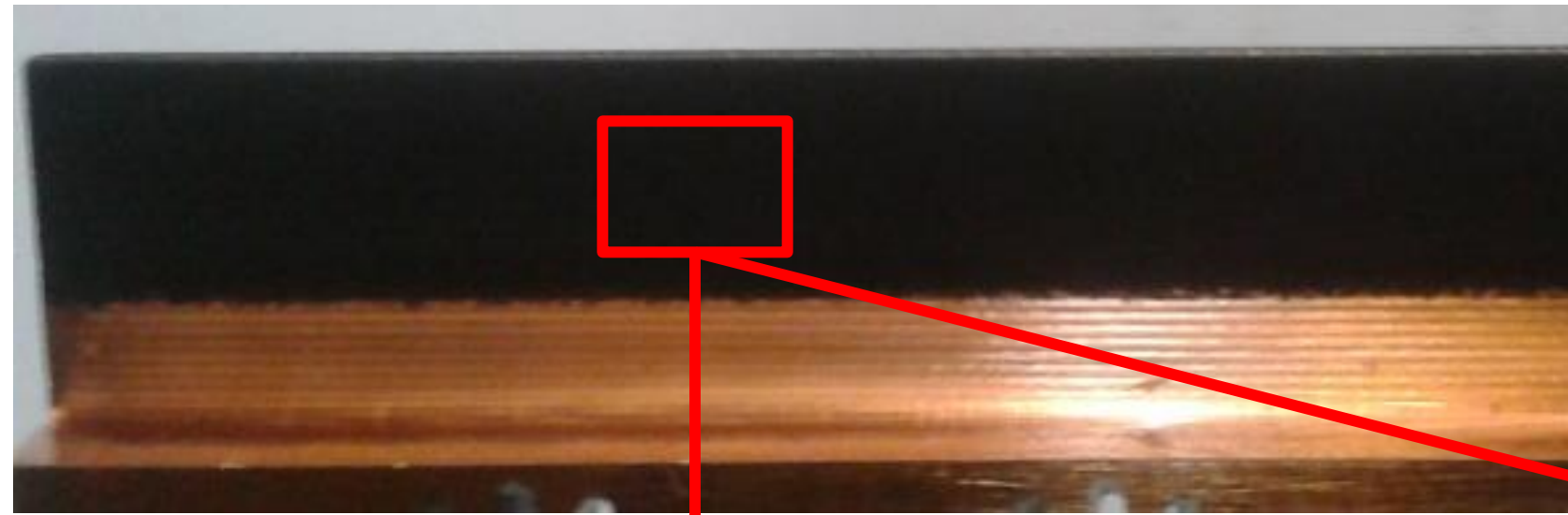


Face of electrode before EDM



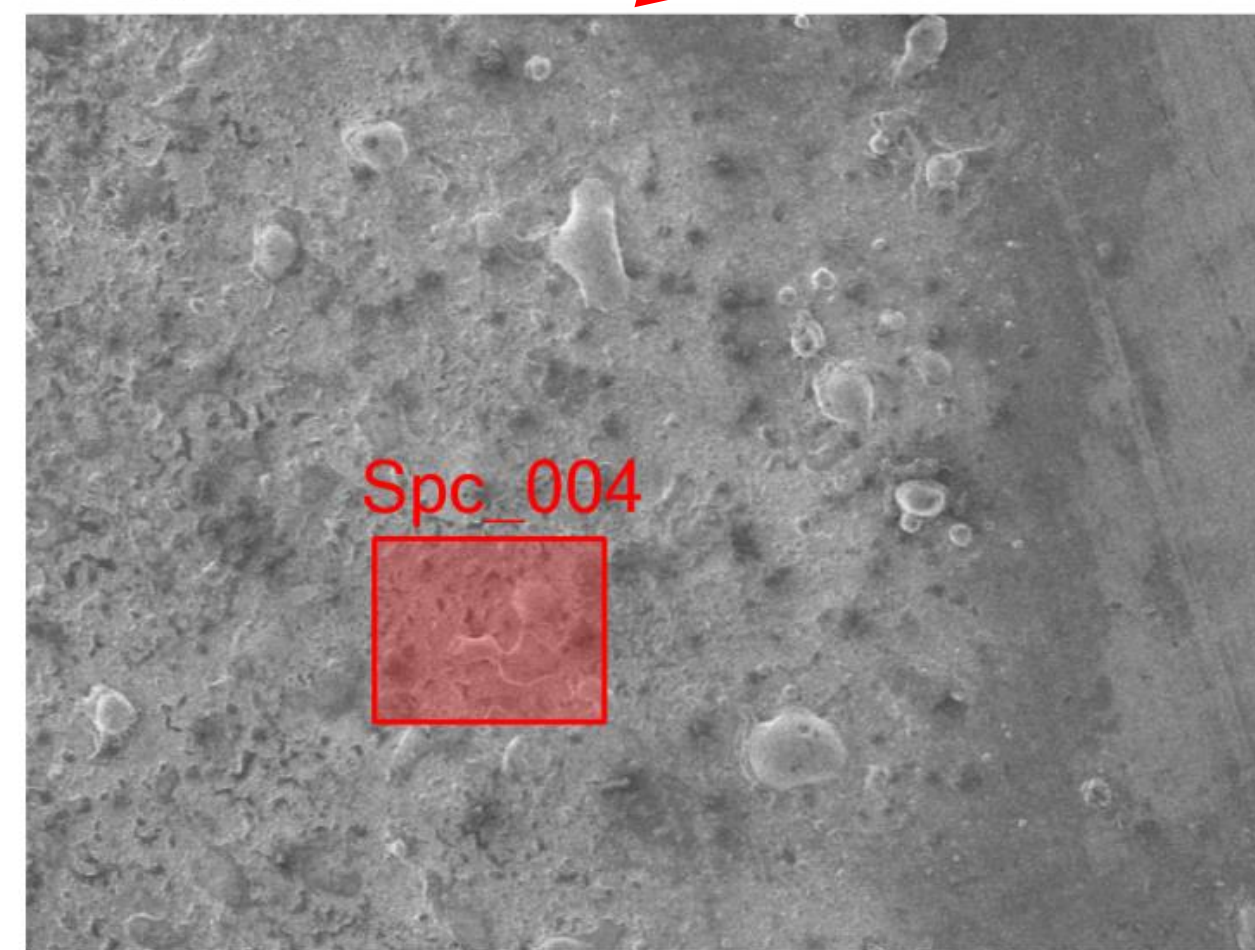
Na podstawie: Oniszczyk-Świercz D, Świercz R, Kopytowski A, Nowicki R. Experimental Investigation and Optimization of Rough EDM of High-Thermal-Conductivity Tool Steel with a Thin-Walled Electrode. Materials 2023;16. <https://doi.org/10.3390/ma16010302>.

Technologia obróbki elektroerozyjnej- zużycie elektrod



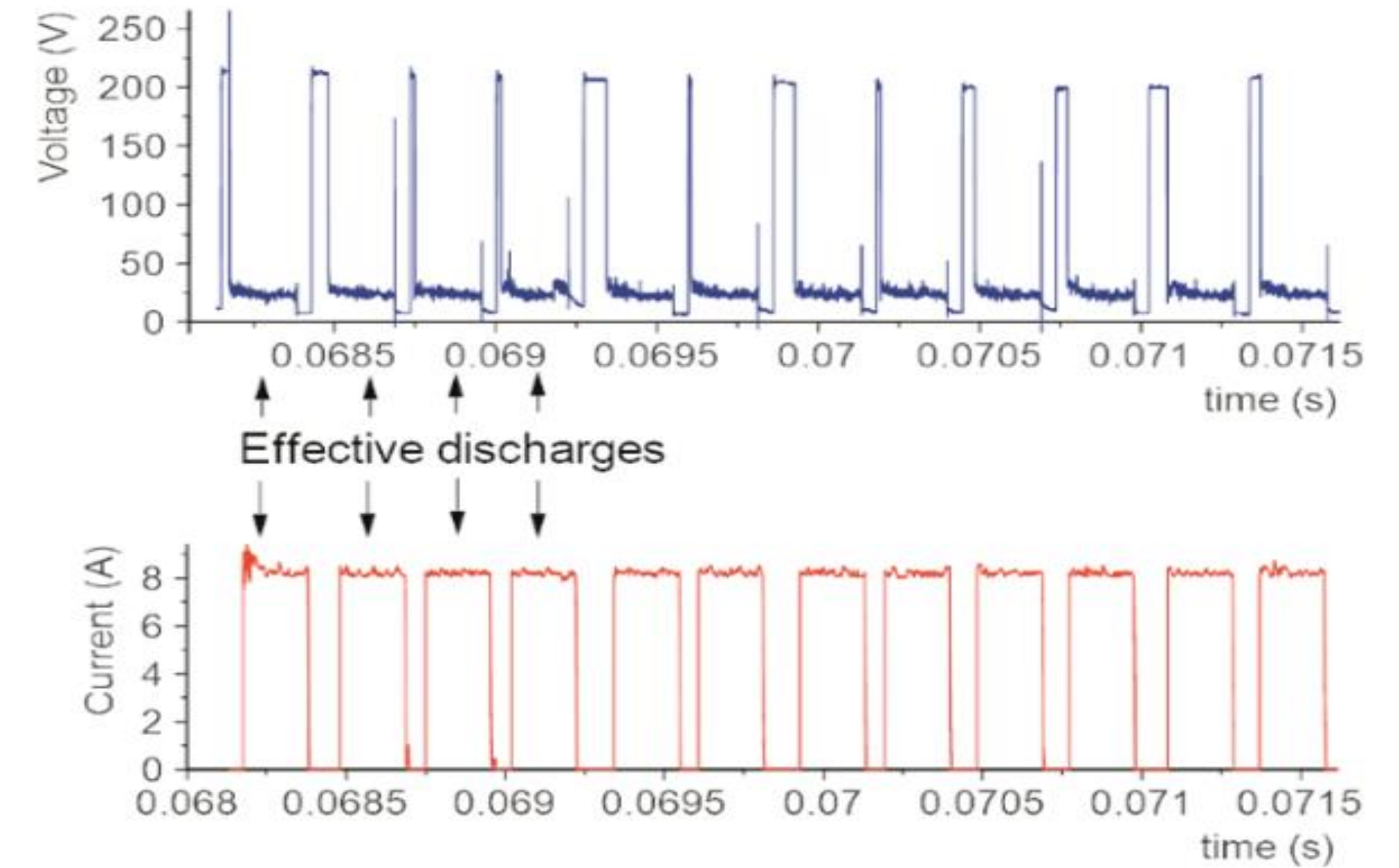
500 μm

Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	26.92±0.34	53.59±0.69
O	K	14.78±0.50	22.10±0.75
Fe	L	45.76±2.13	19.59±0.91
Cu	L	12.54±0.88	4.72±0.33
Total		100.00	100.00
Spc_004			Fitting ratio 0.1370

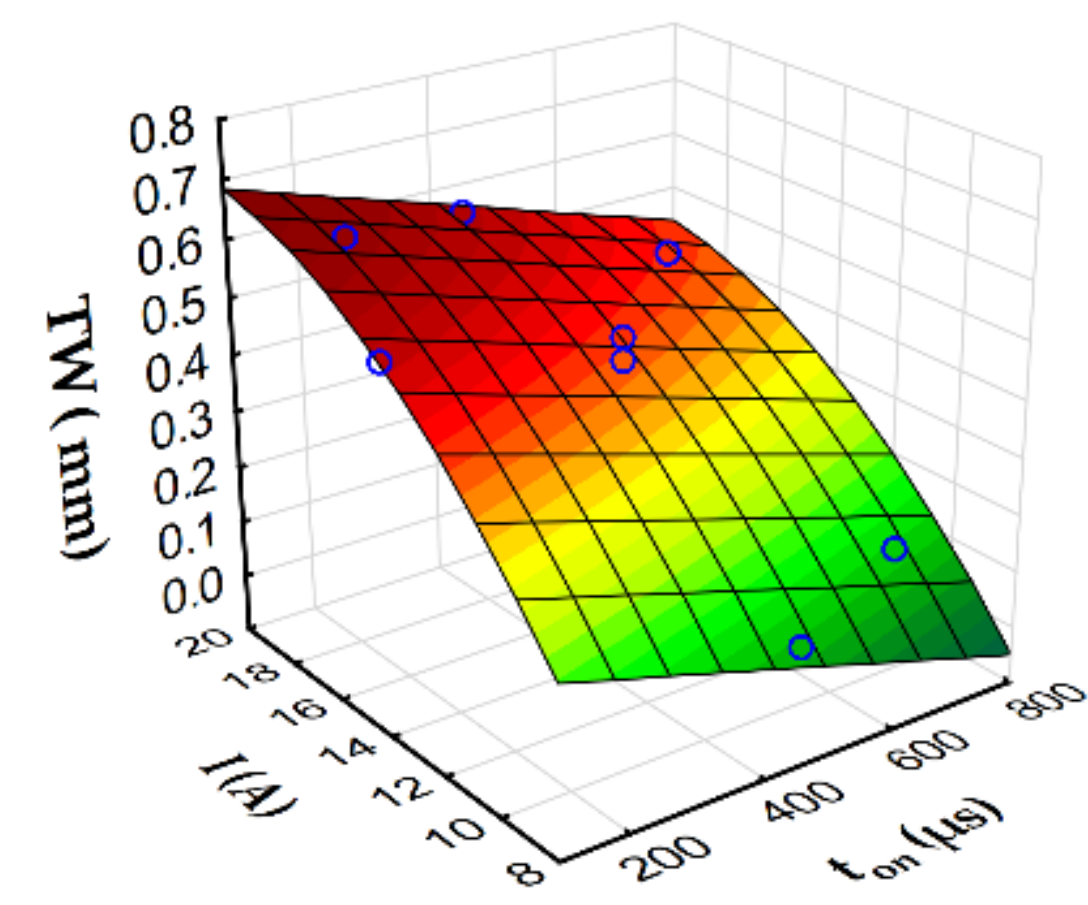
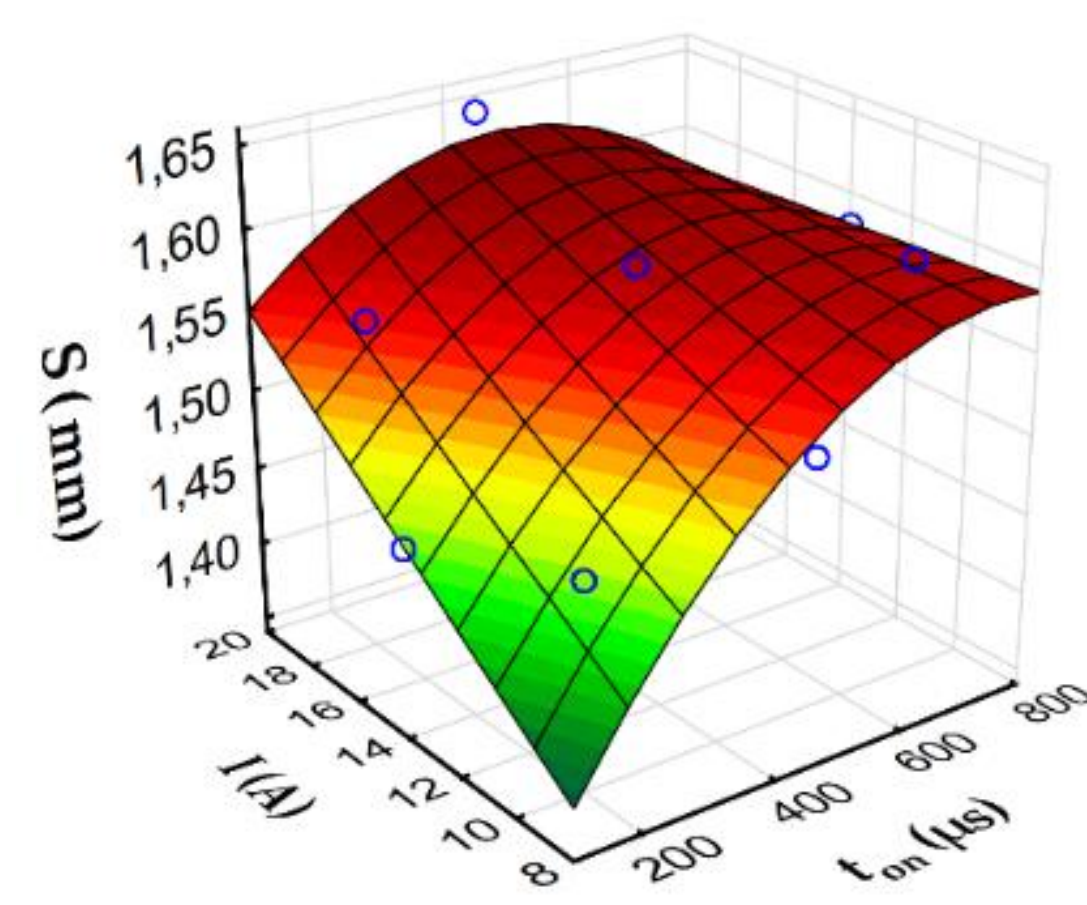
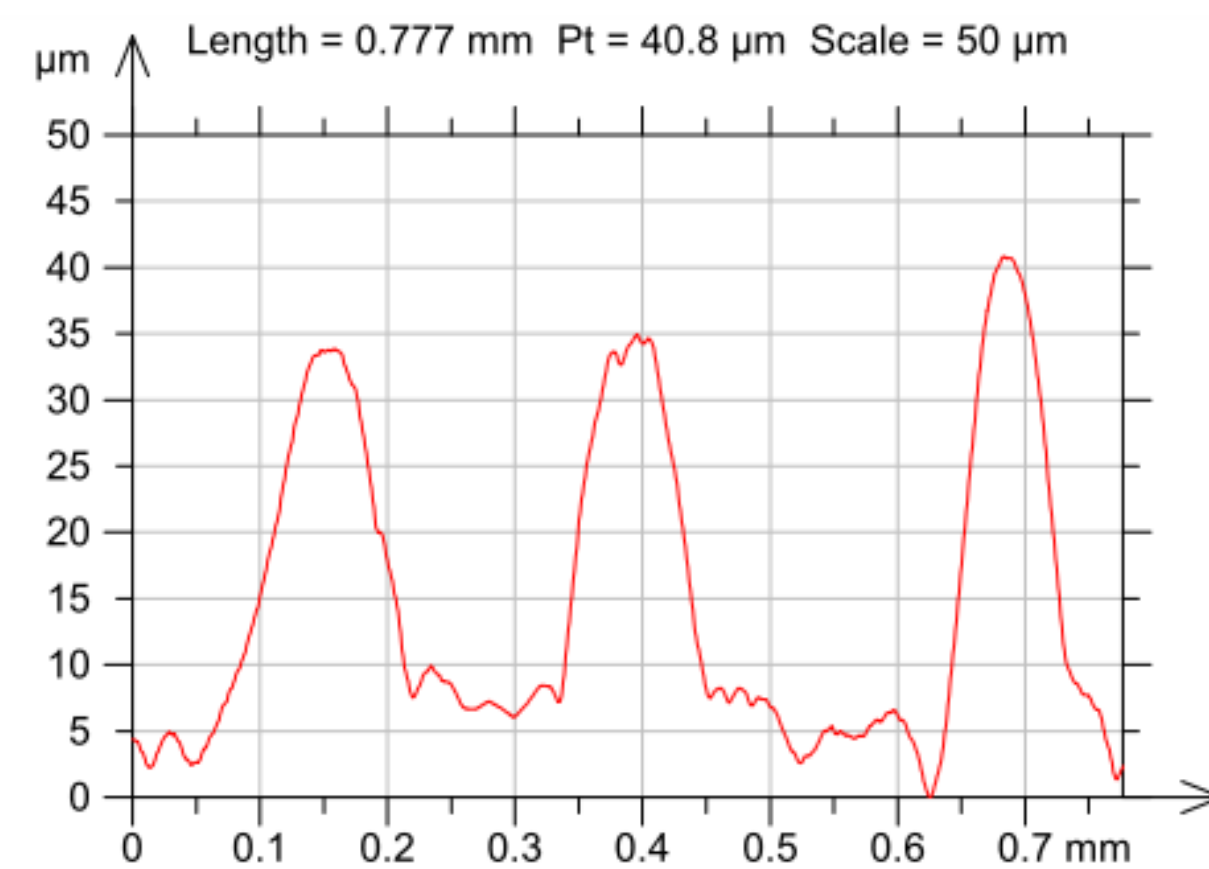
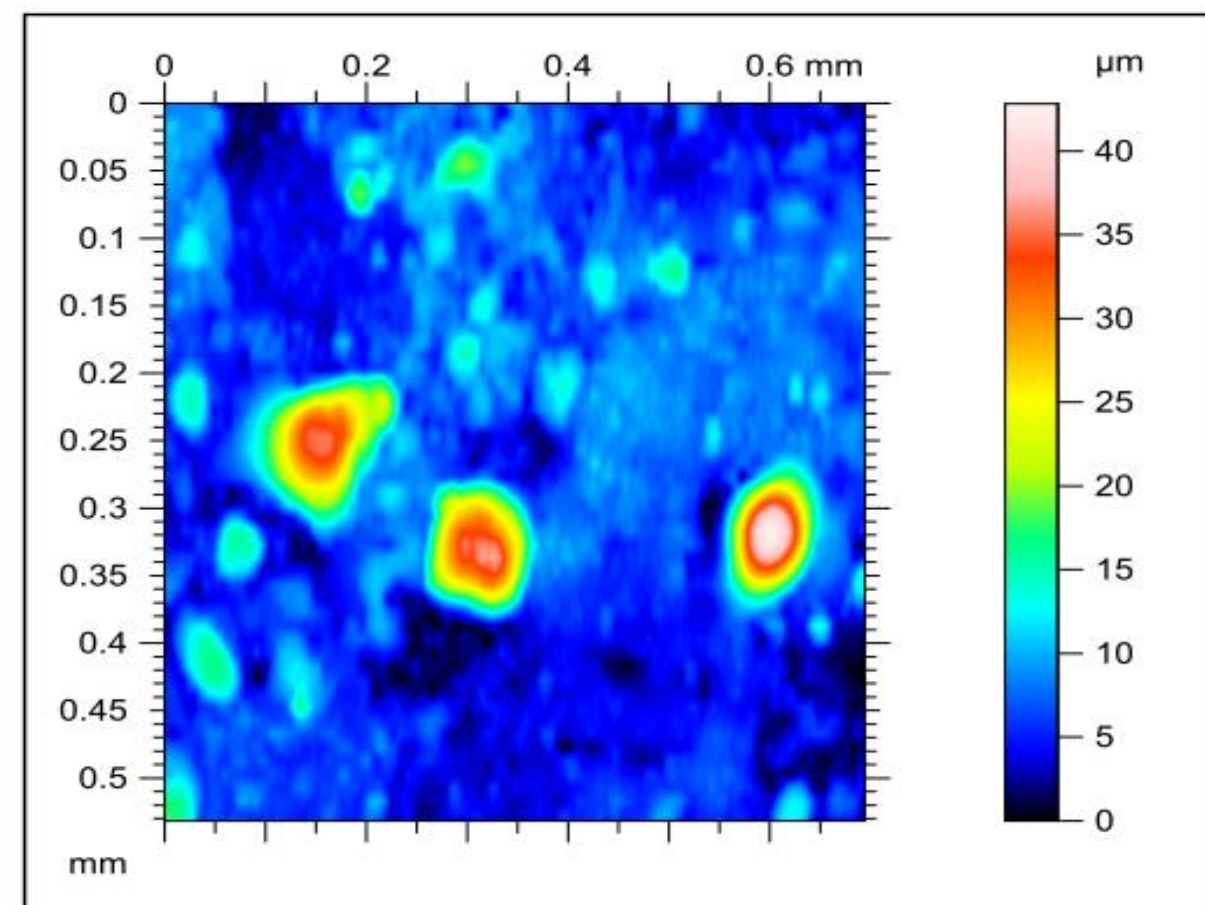
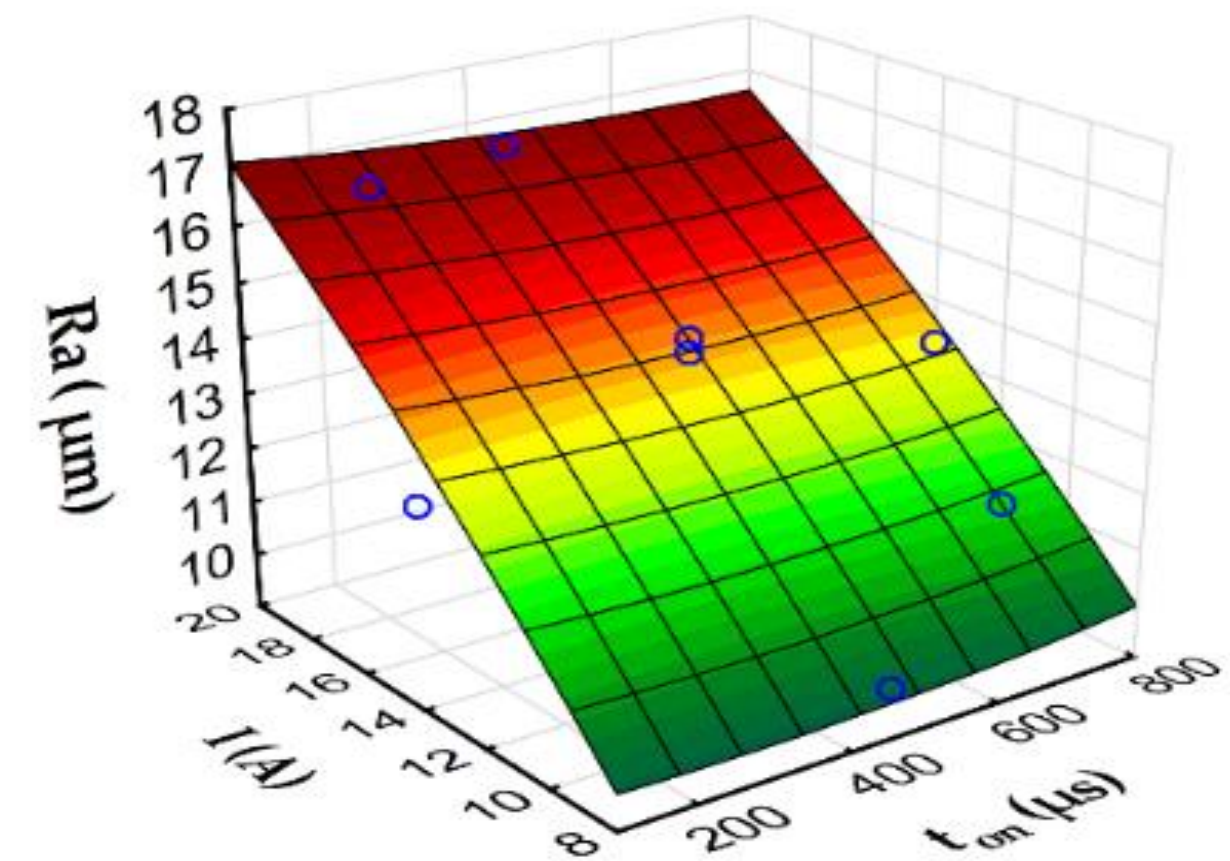
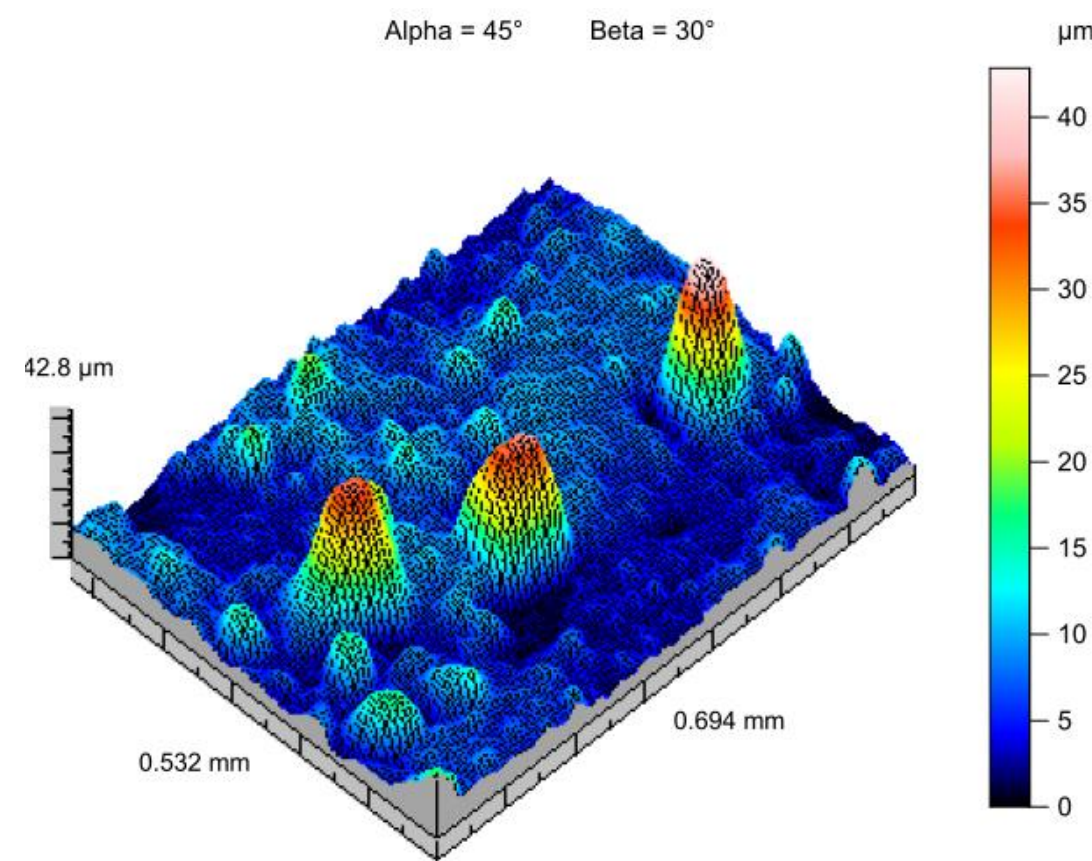
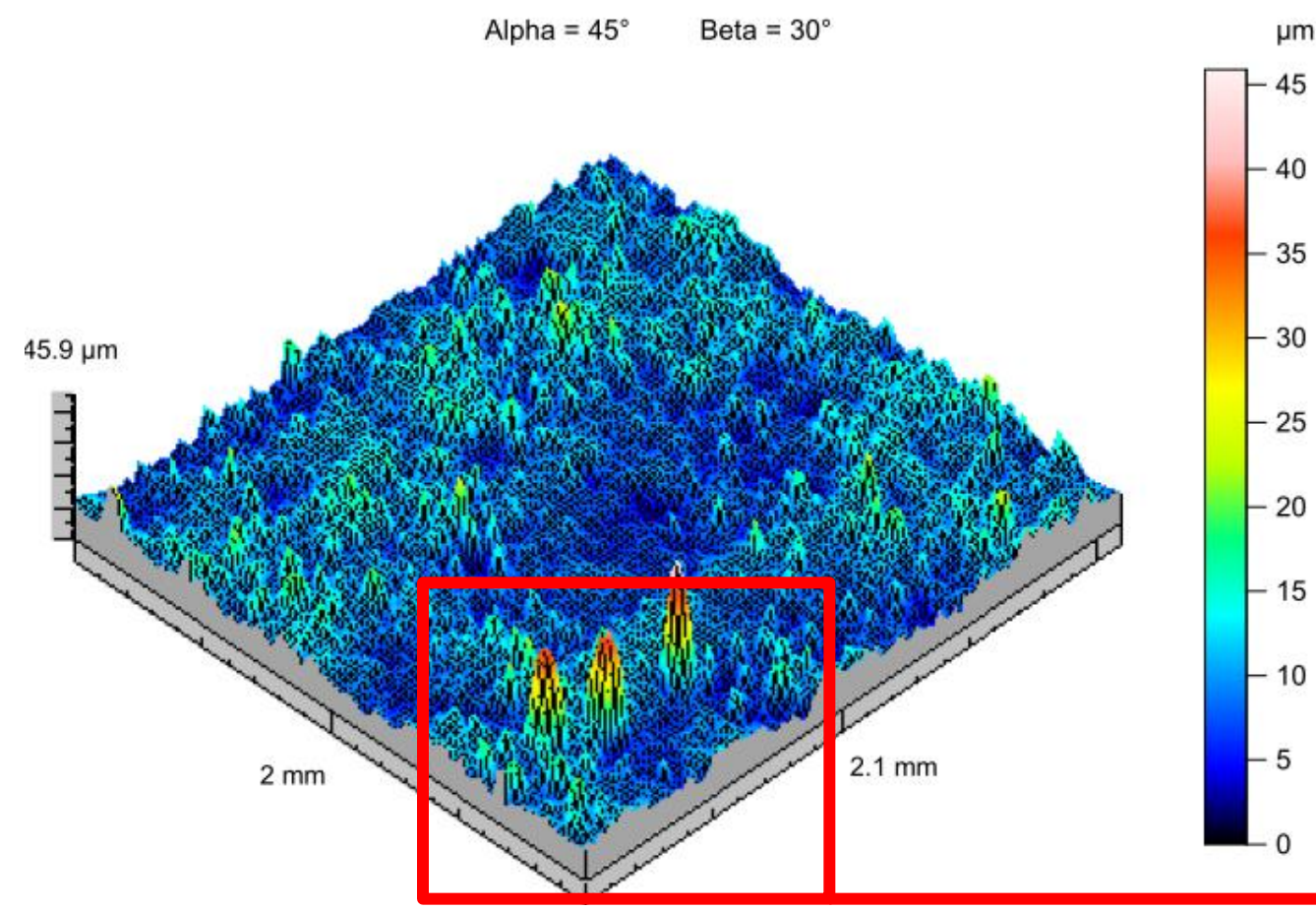


500 μm

Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	10.06±0.21	31.97±0.68
O	K	3.87±0.26	9.24±0.63
Fe	L	86.06±2.67	58.79±1.82
Total		100.00	100.00
Spc_002			Fitting ratio 0.1927

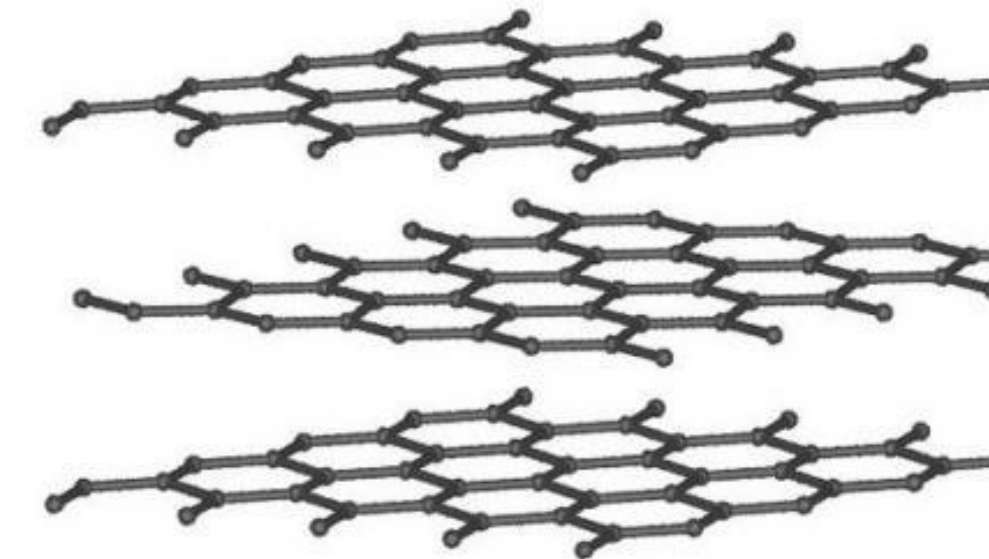
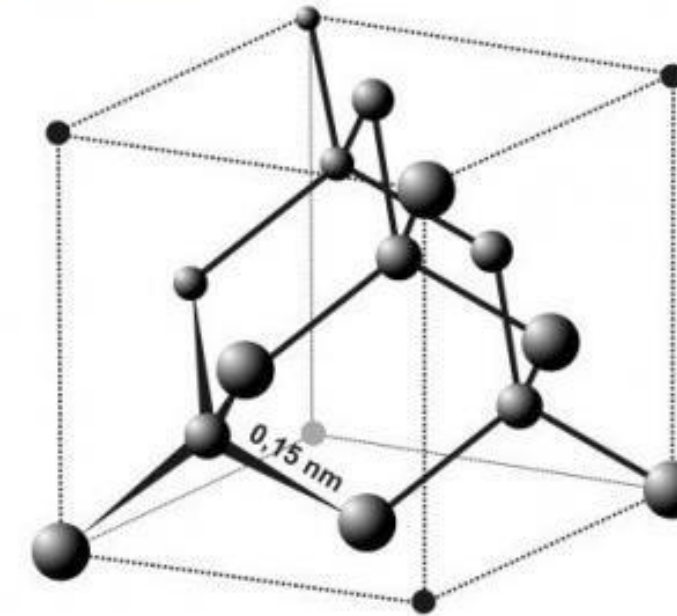
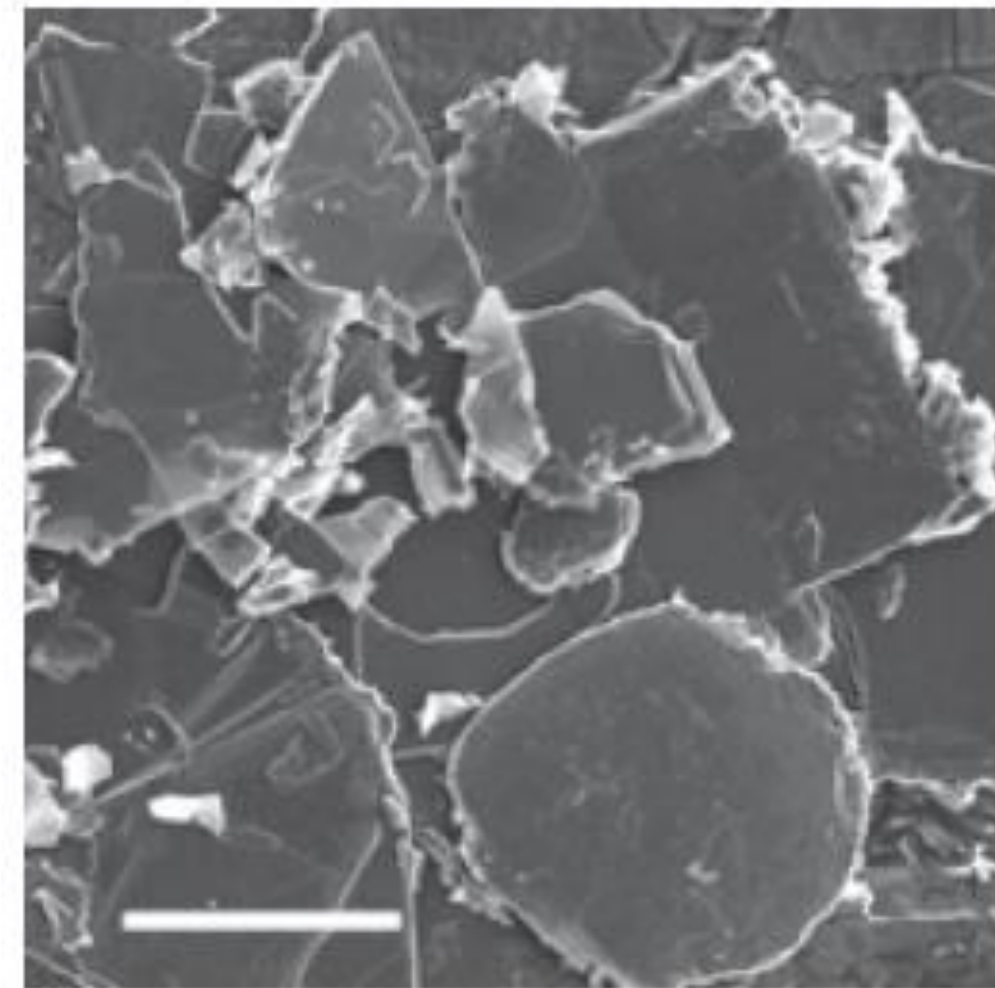
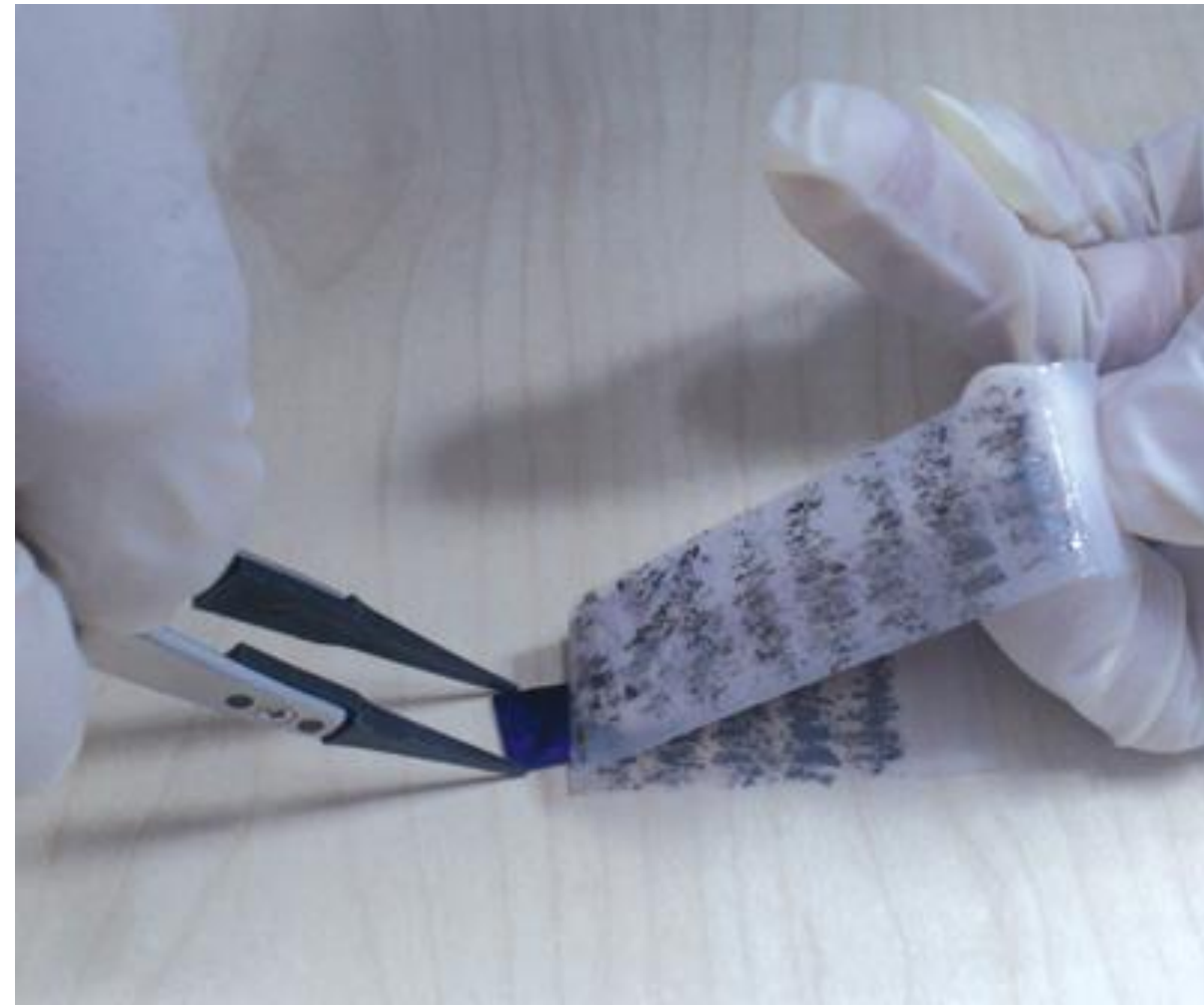


Technologia obróbki elektroerozyjnej- zużycie elektrod



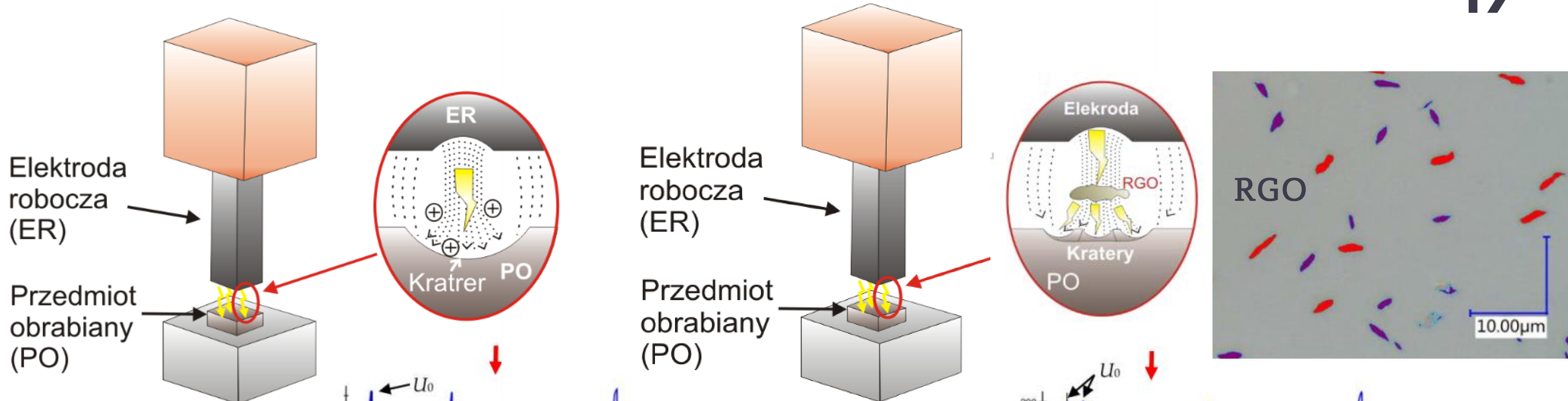
Technologia obróbki elektroerozyjnej - PMEDM

18

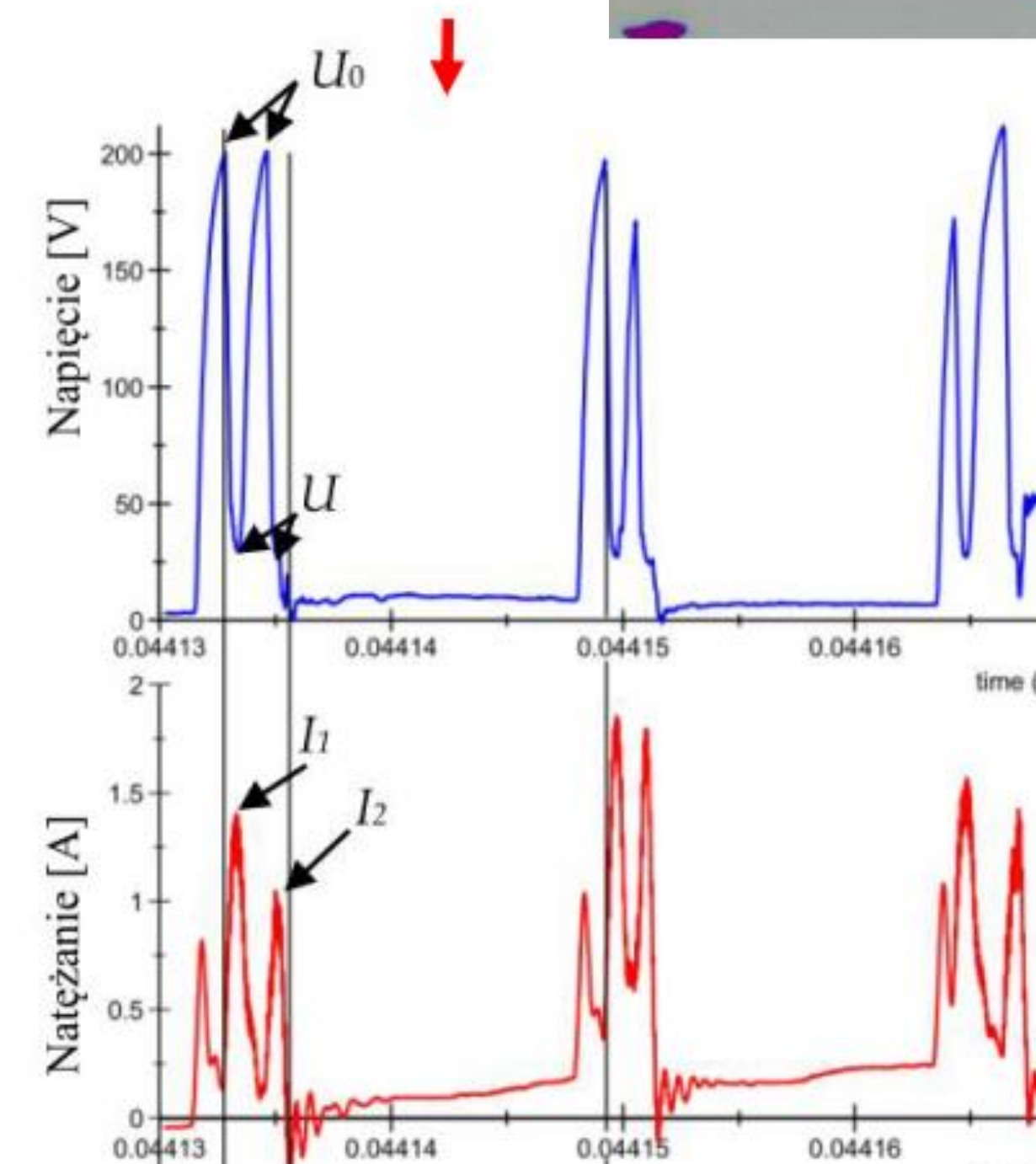
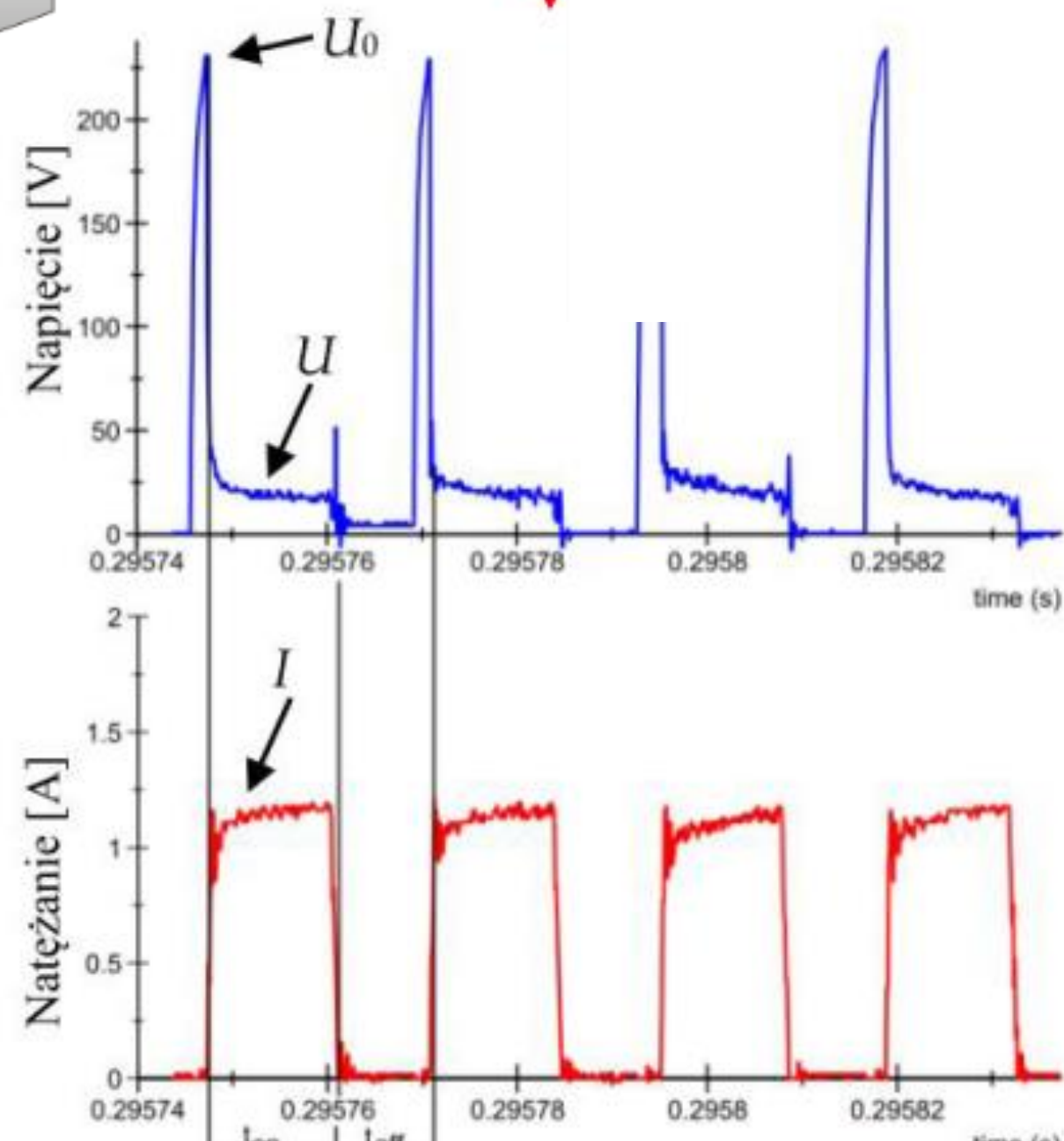


Grafen przewodzi ciepło i prąd lepiej niż miedź i srebro (przewodność cieplna grafenu wynosi od 4840 do 5300 W/mK, przykładowo dla porównania przewodność cieplna srebra wynosi 429 W/mK, a miedzi 390 W/mK), a elektrony transferuje dwieście razy szybciej niż krzem.

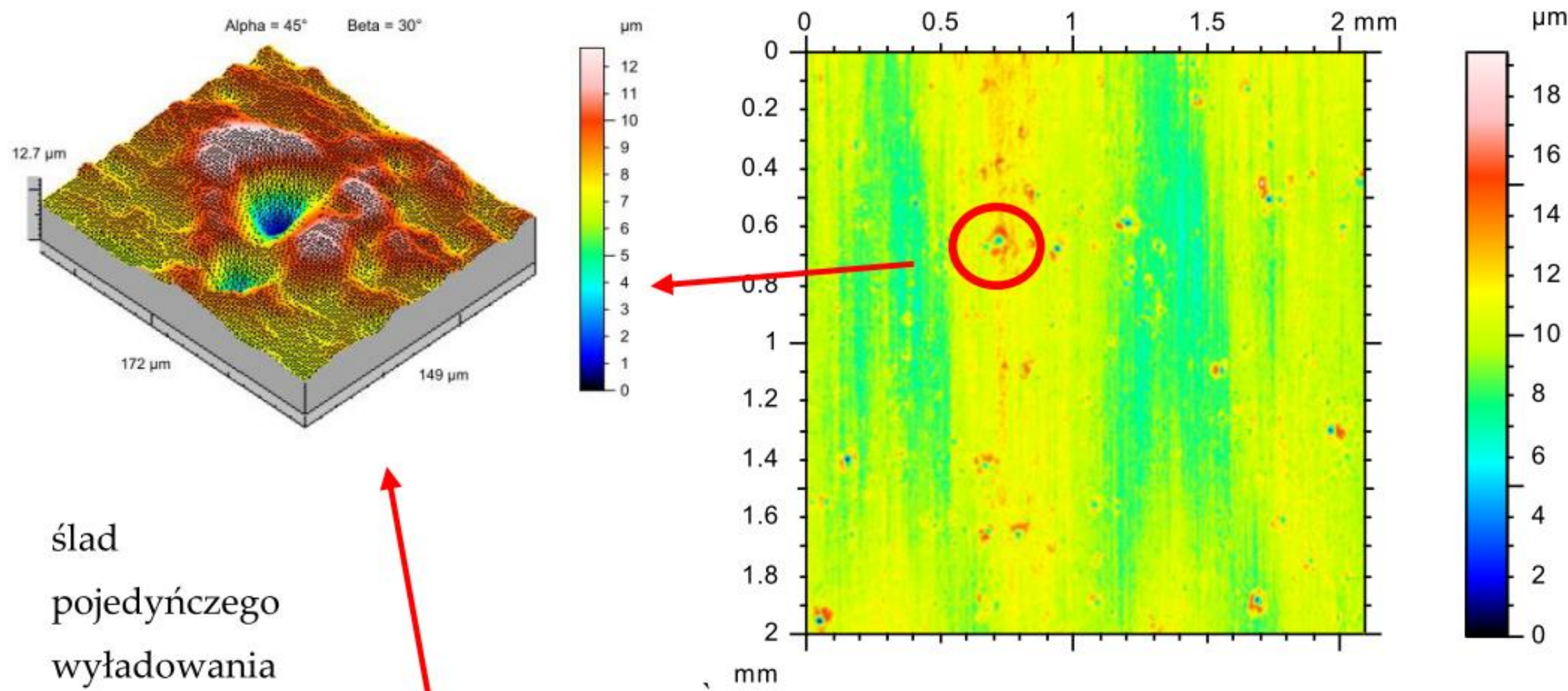
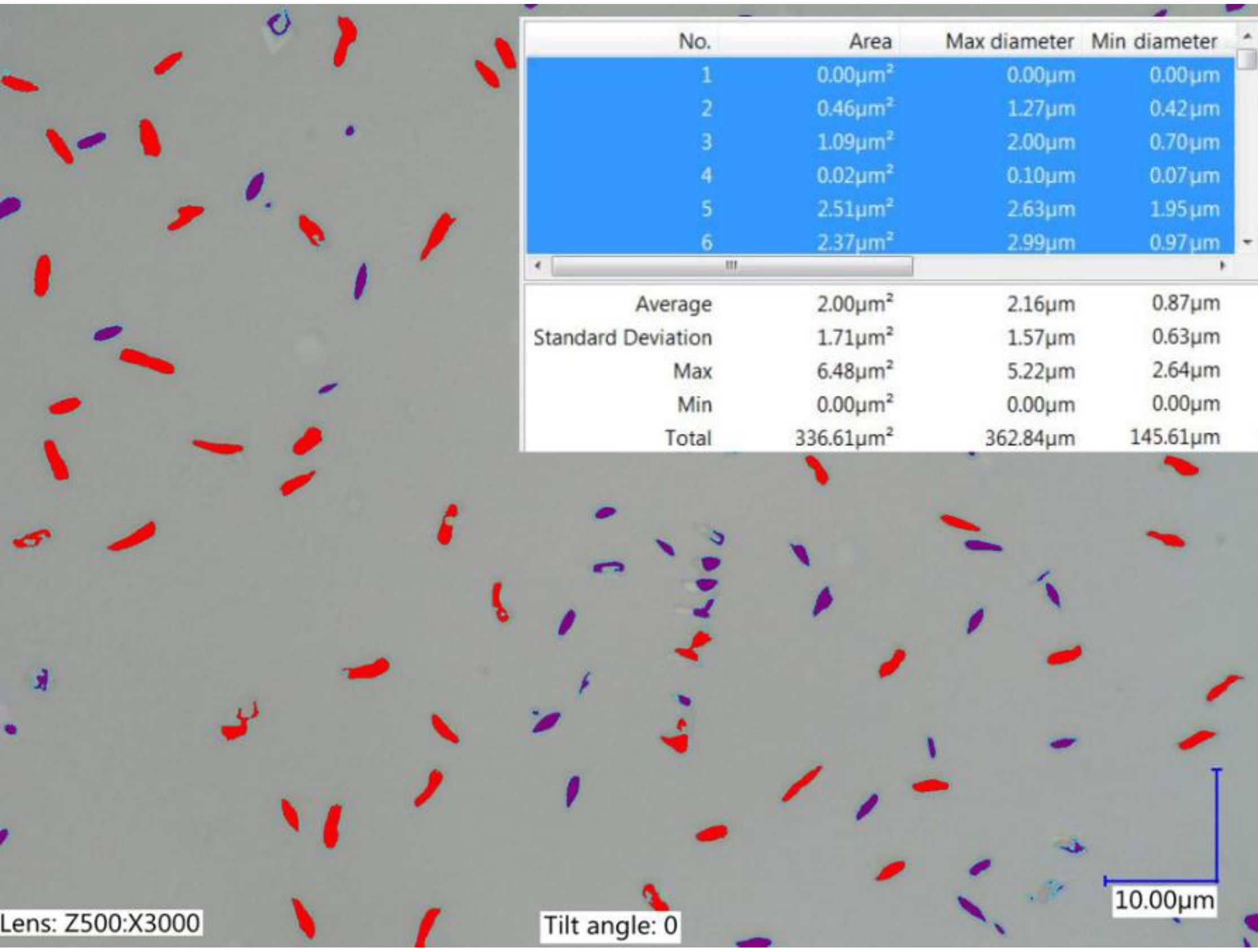
Technologia obróbki elektroerozyjnej – PMEDM



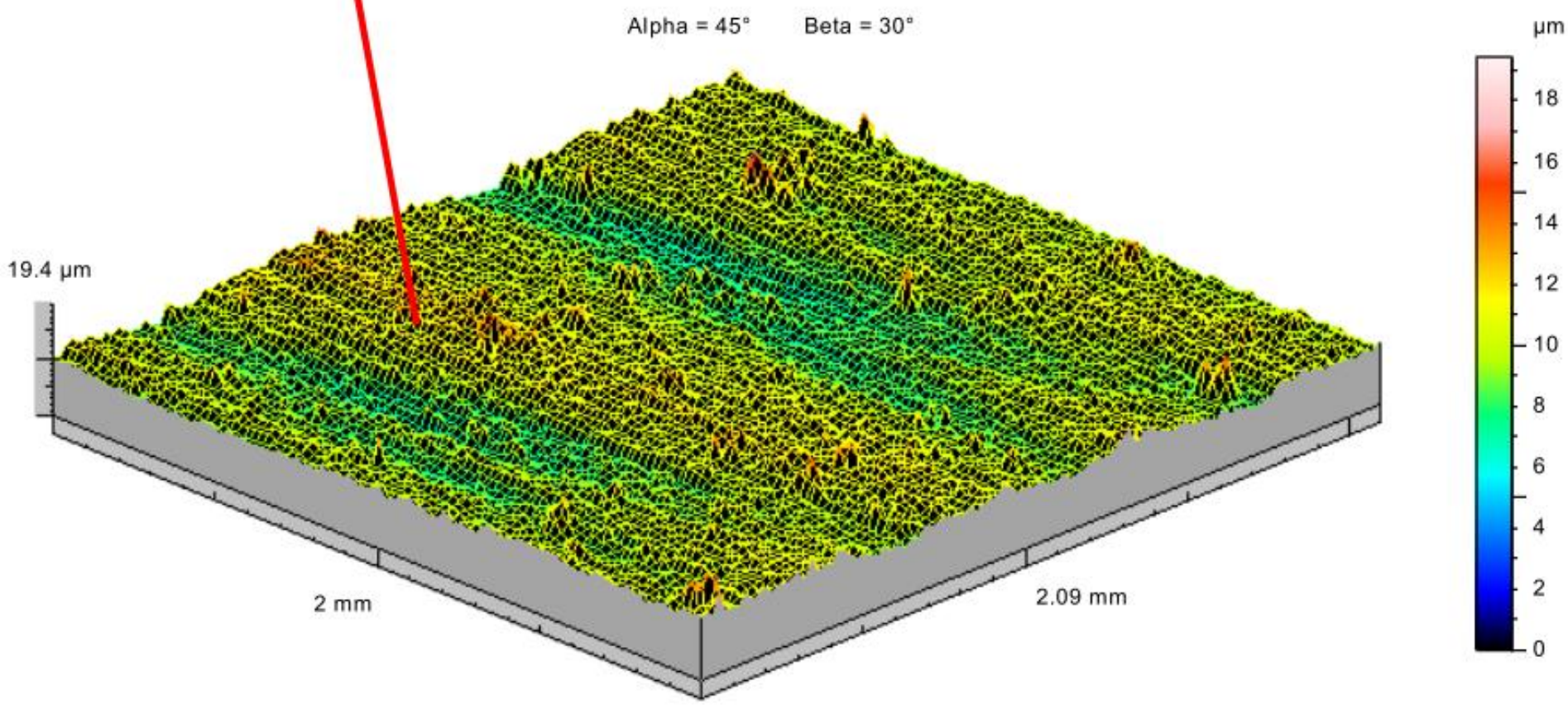
Na podstawie: Świercz R, Oniszczyk-Świercz D. The effects of reduced graphene oxide flakes in the dielectric on electrical discharge machining. Nanomaterials 2019;9. <https://doi.org/10.3390/nano9030335>.



Technologia obróbki elektroerozyjnej - PMEDM



śląd pojedynczego wyładowania elektrycznego

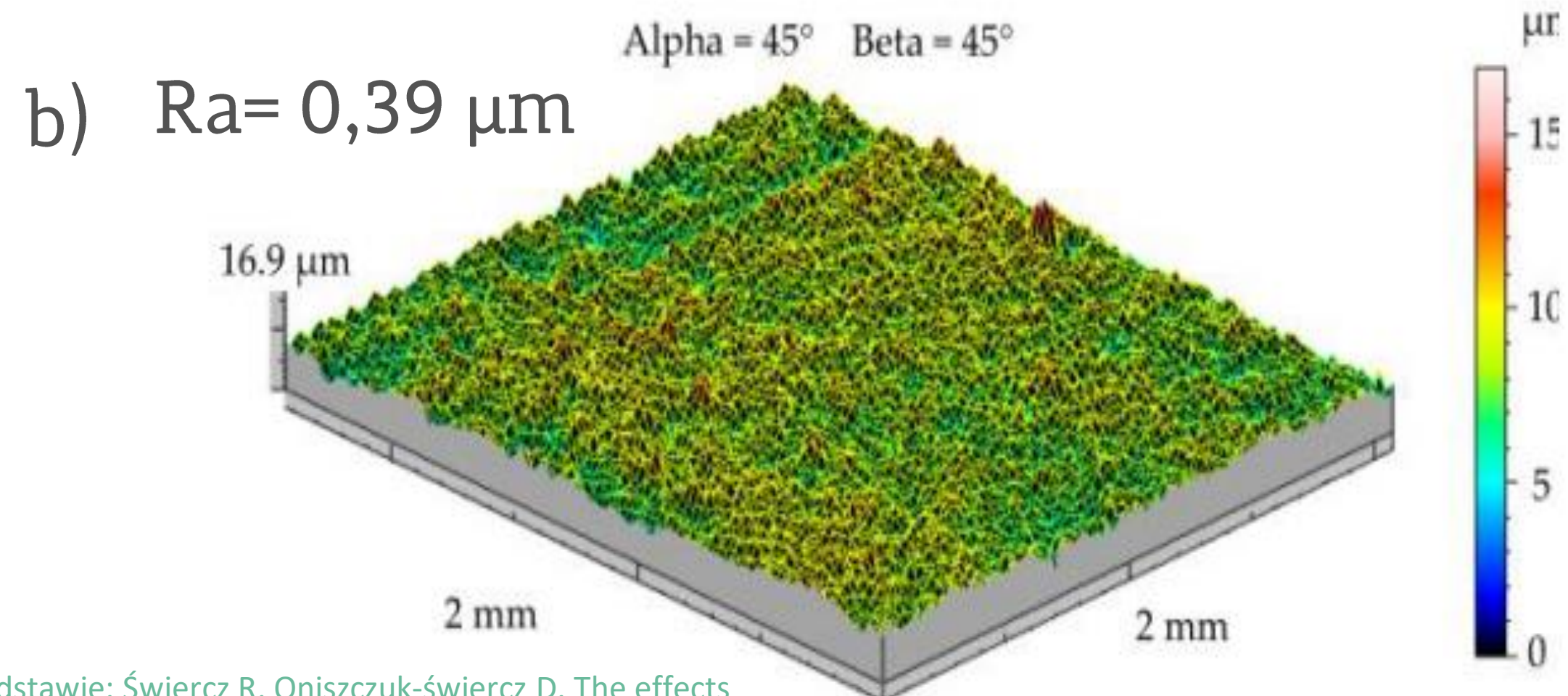
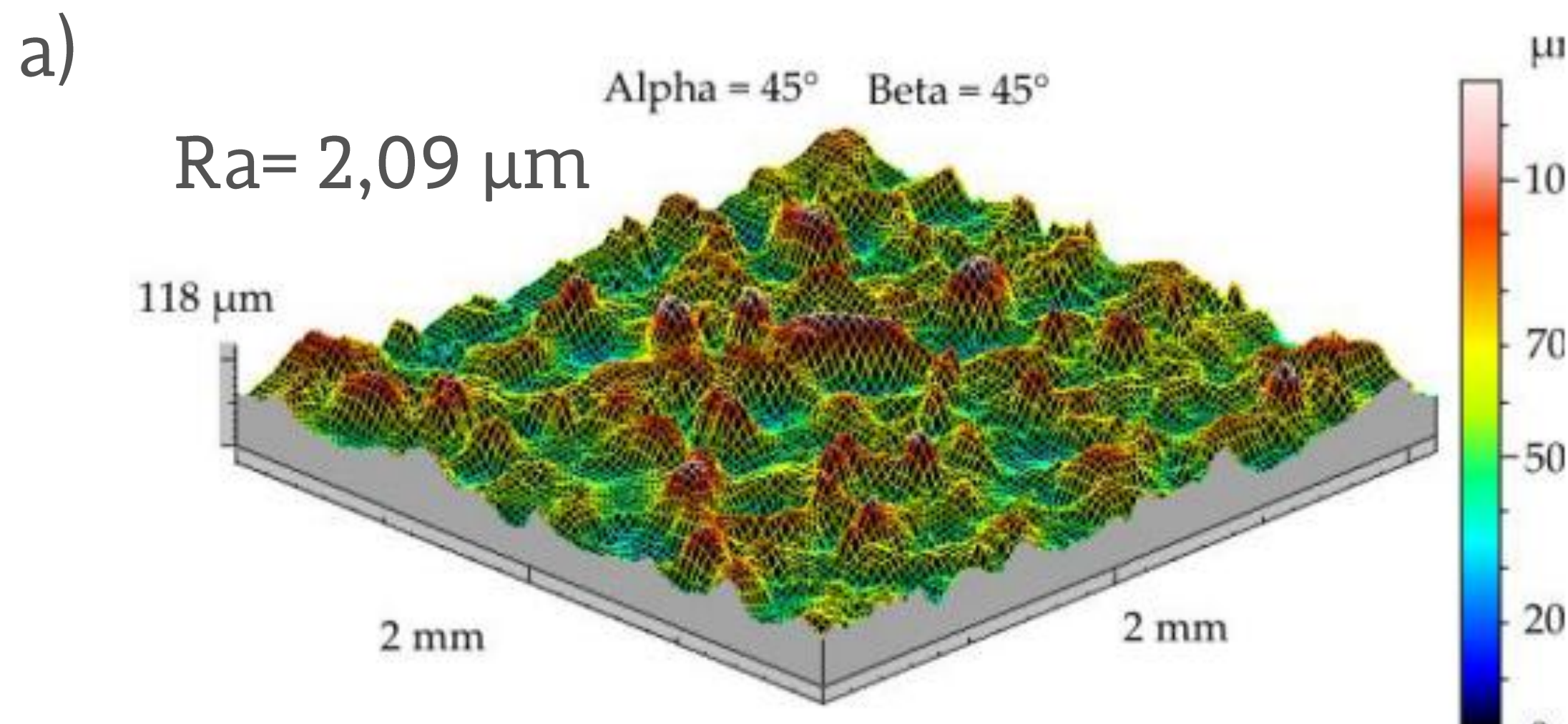


Zredukowany tlenek grafenu

Na podstawie: Świercz R, Oniszczyk-Świercz D. Investigation of the Influence of Reduced Graphene Oxide Flakes in the Dielectric on Surface Characteristics and Material Removal Rate in EDM. Materials 2019;12. <https://doi.org/10.3390/ma12060943>.

Obraz stereometryczny powierzchni stali 1.2713 po obróbce elektroerozyjnej w nafcie z 2 % RGO; $U = 25 \text{ V}$, $I = 3 \text{ A}$, $t_{\text{on}} = 15 \mu\text{s}$, $t_{\text{off}} = 10 \mu\text{s}$, czas obróbki - 60 s

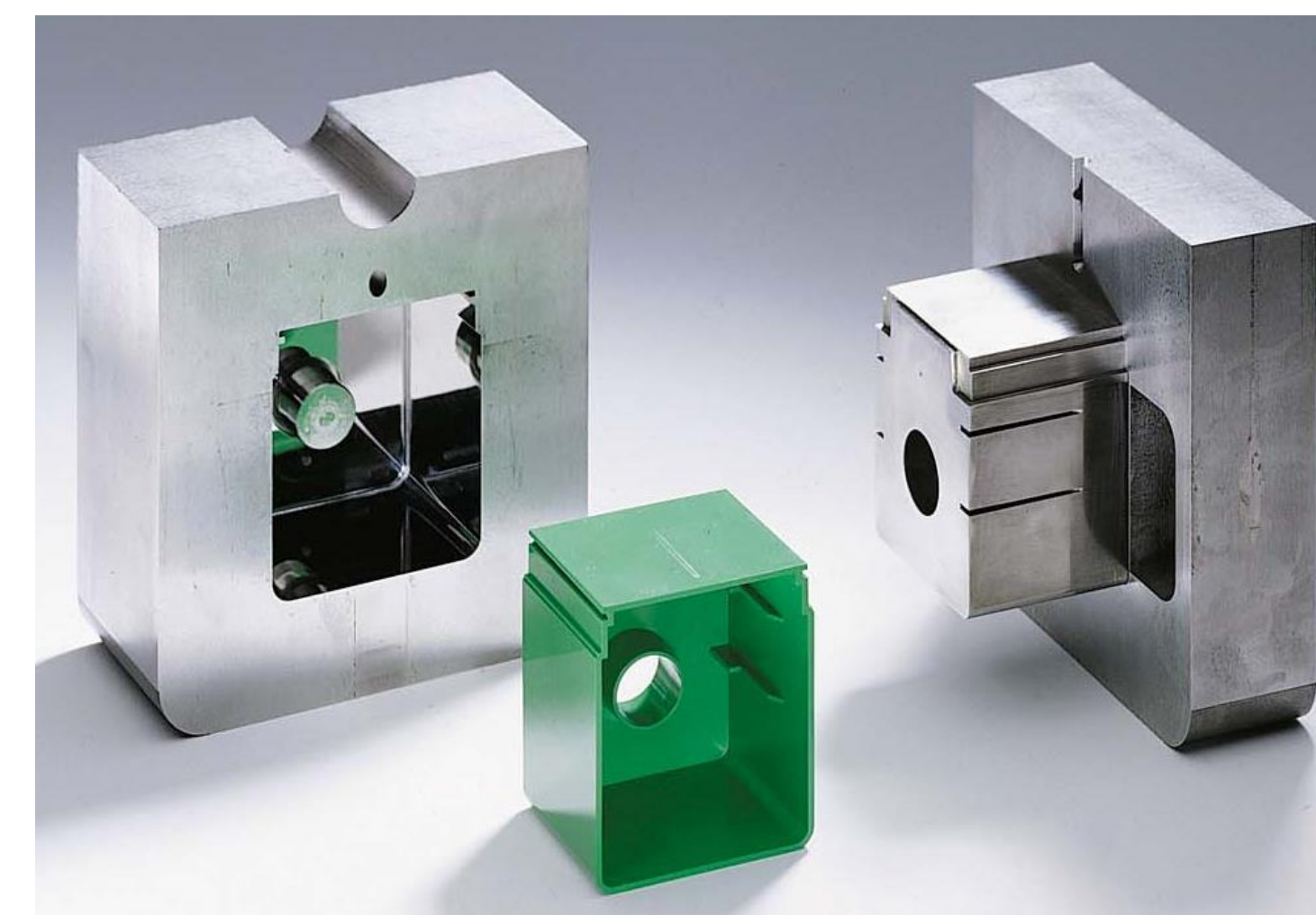
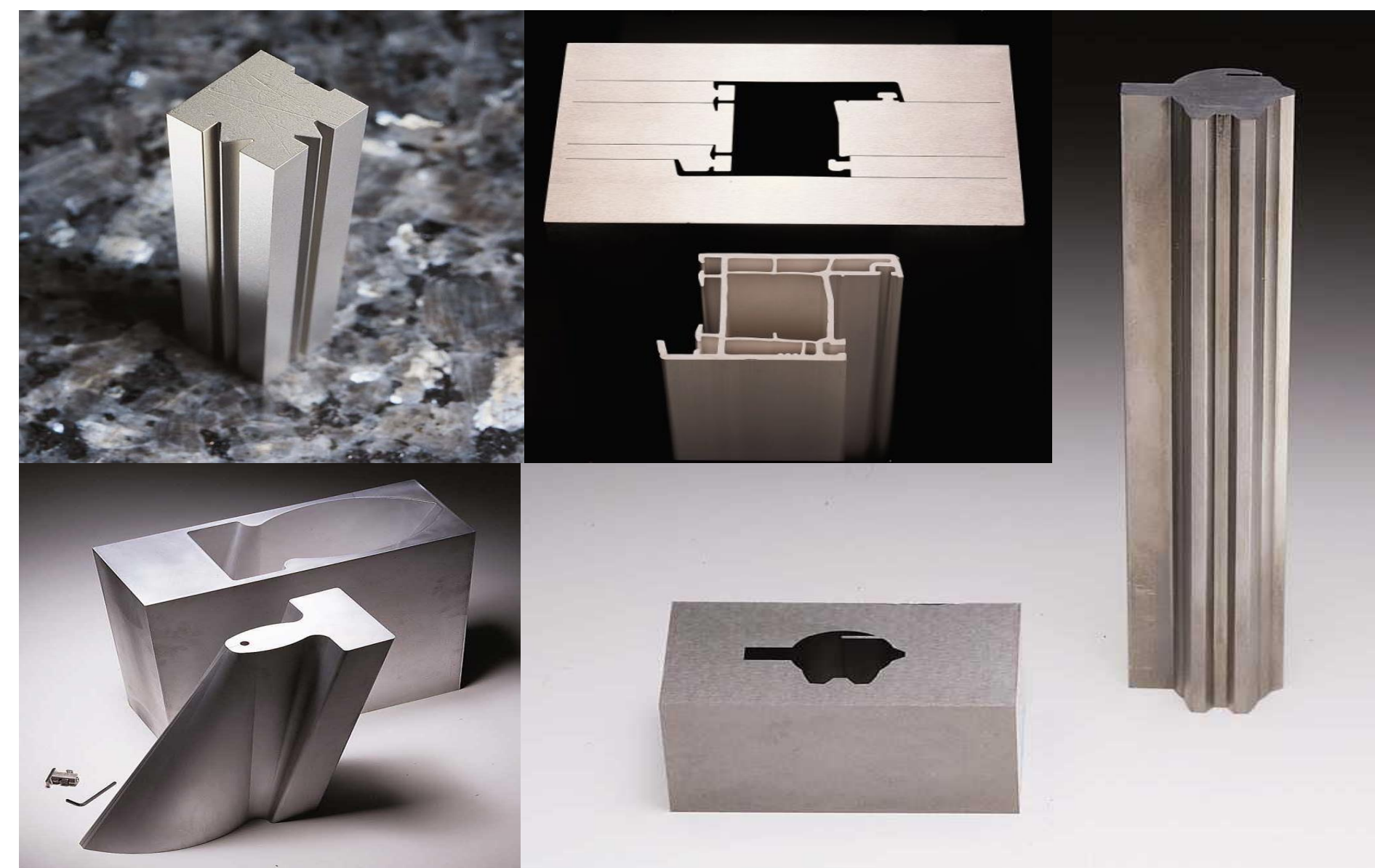
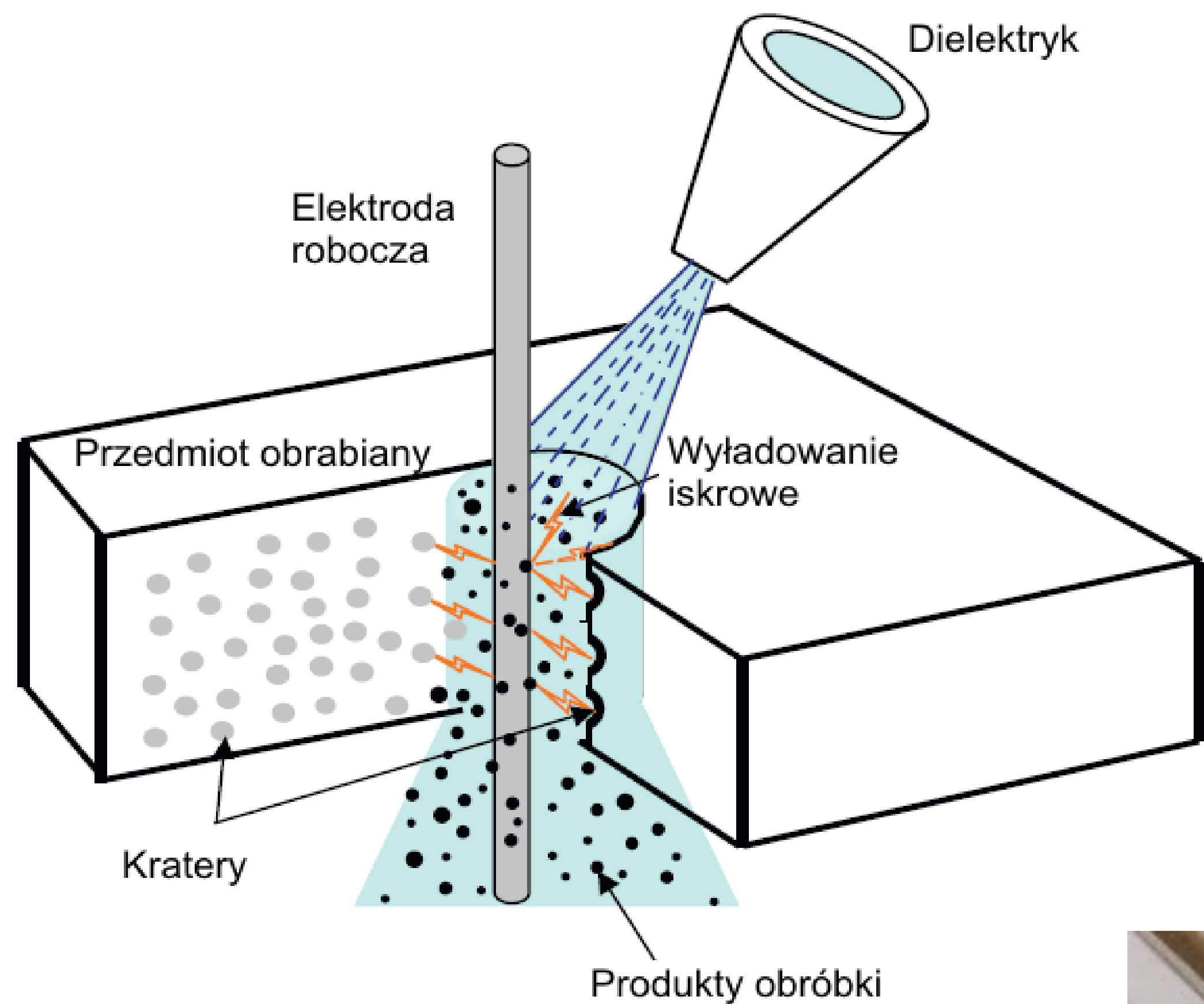
Technologia obróbki elektroerozyjnej - PMEDM

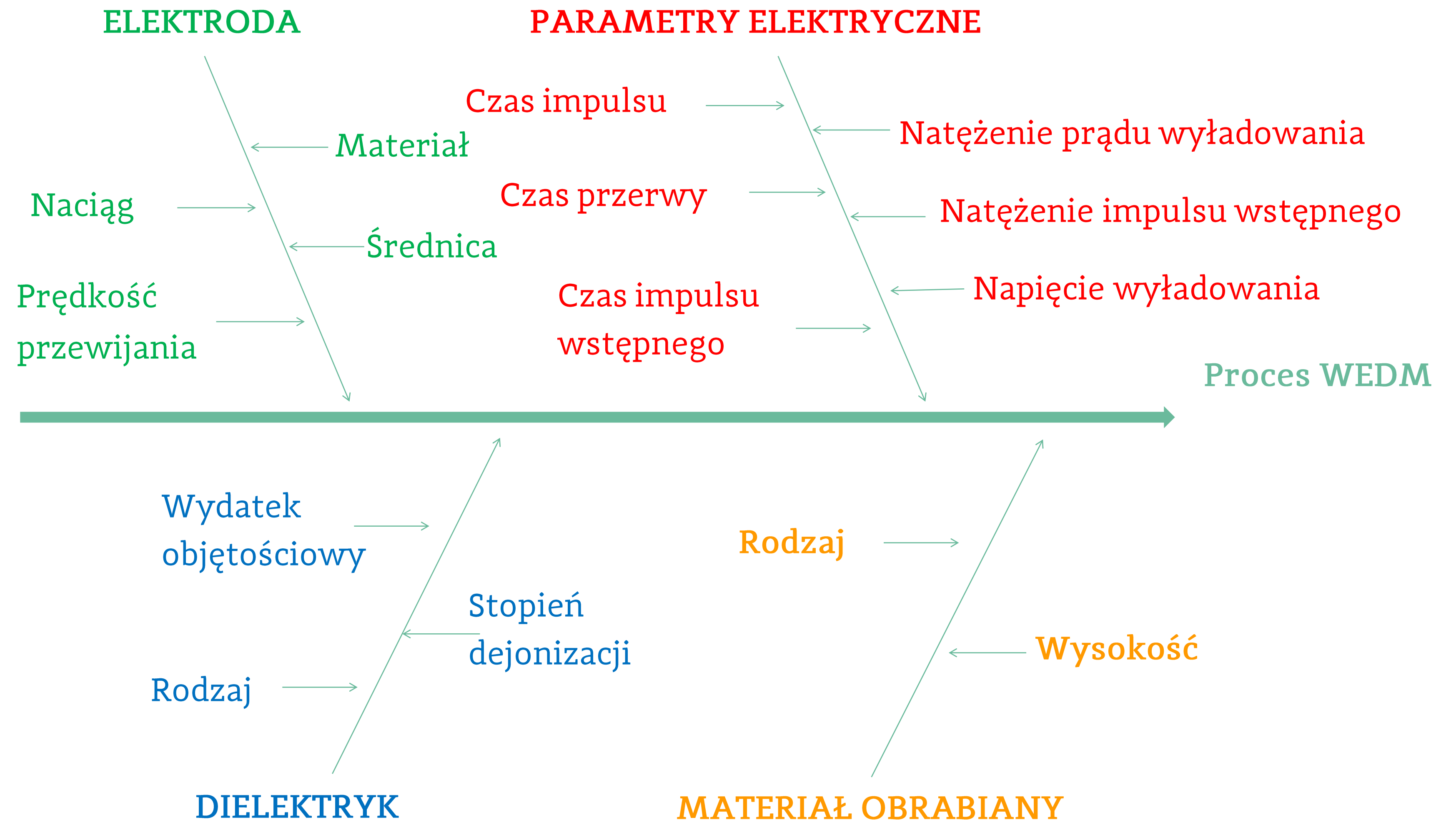


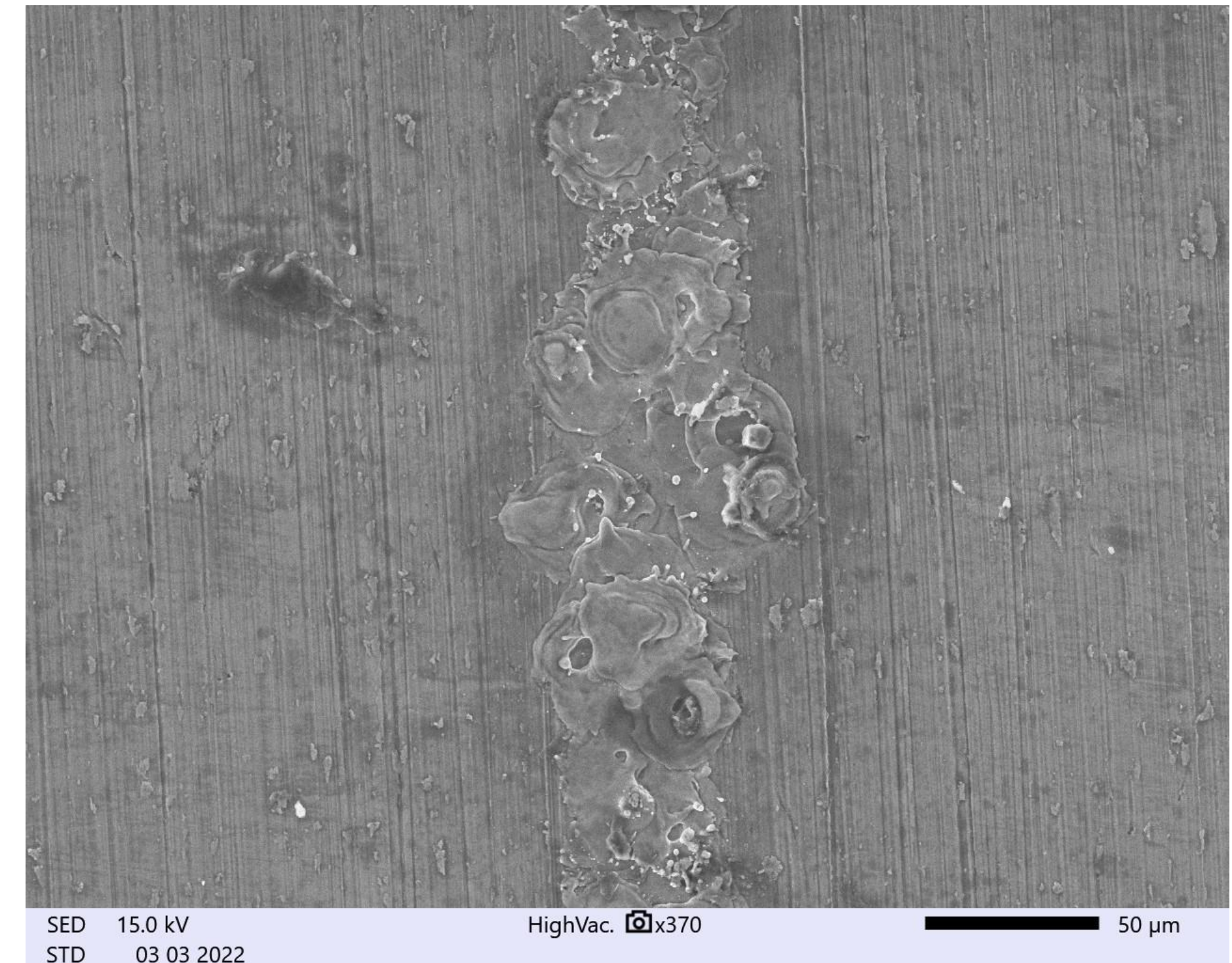
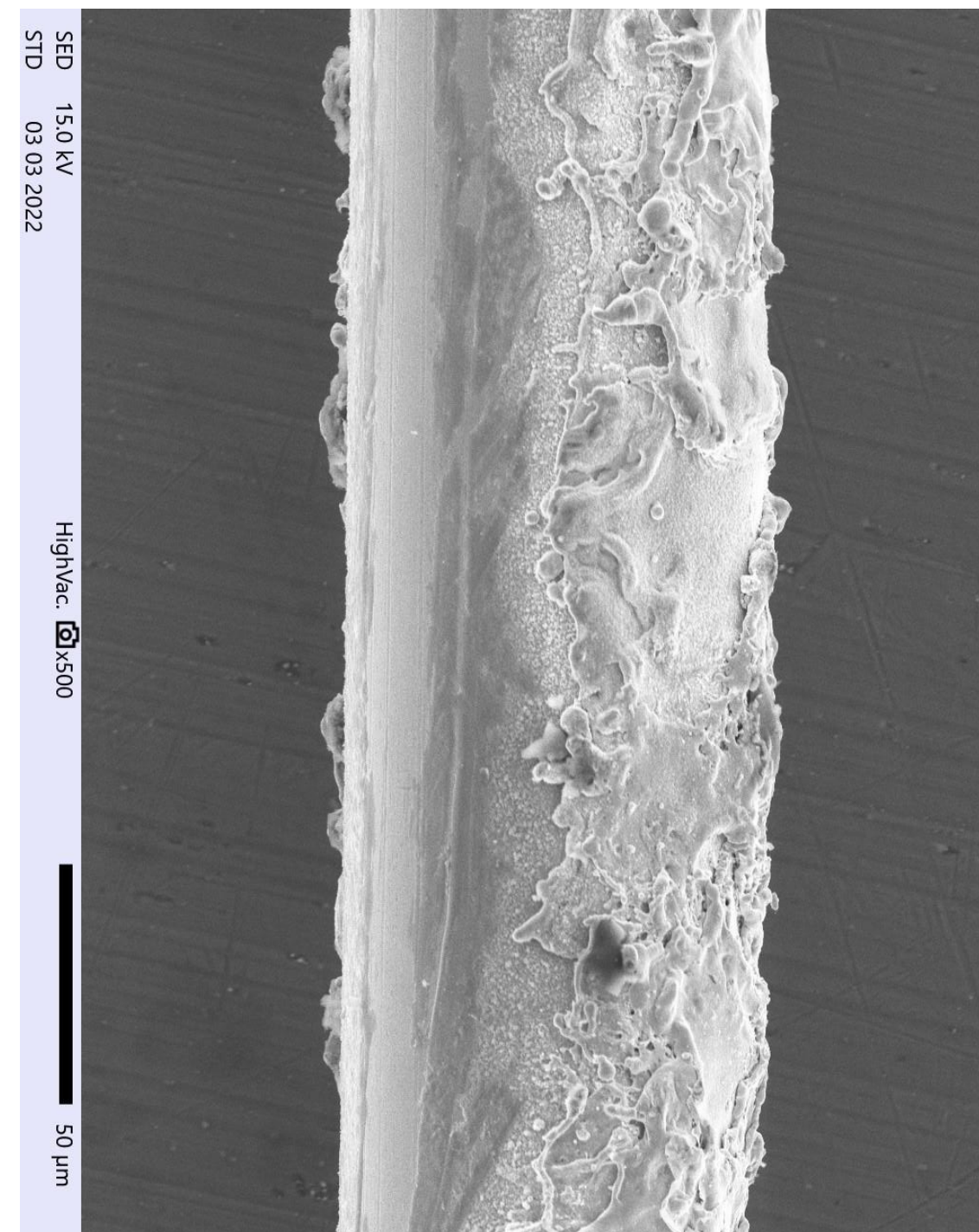
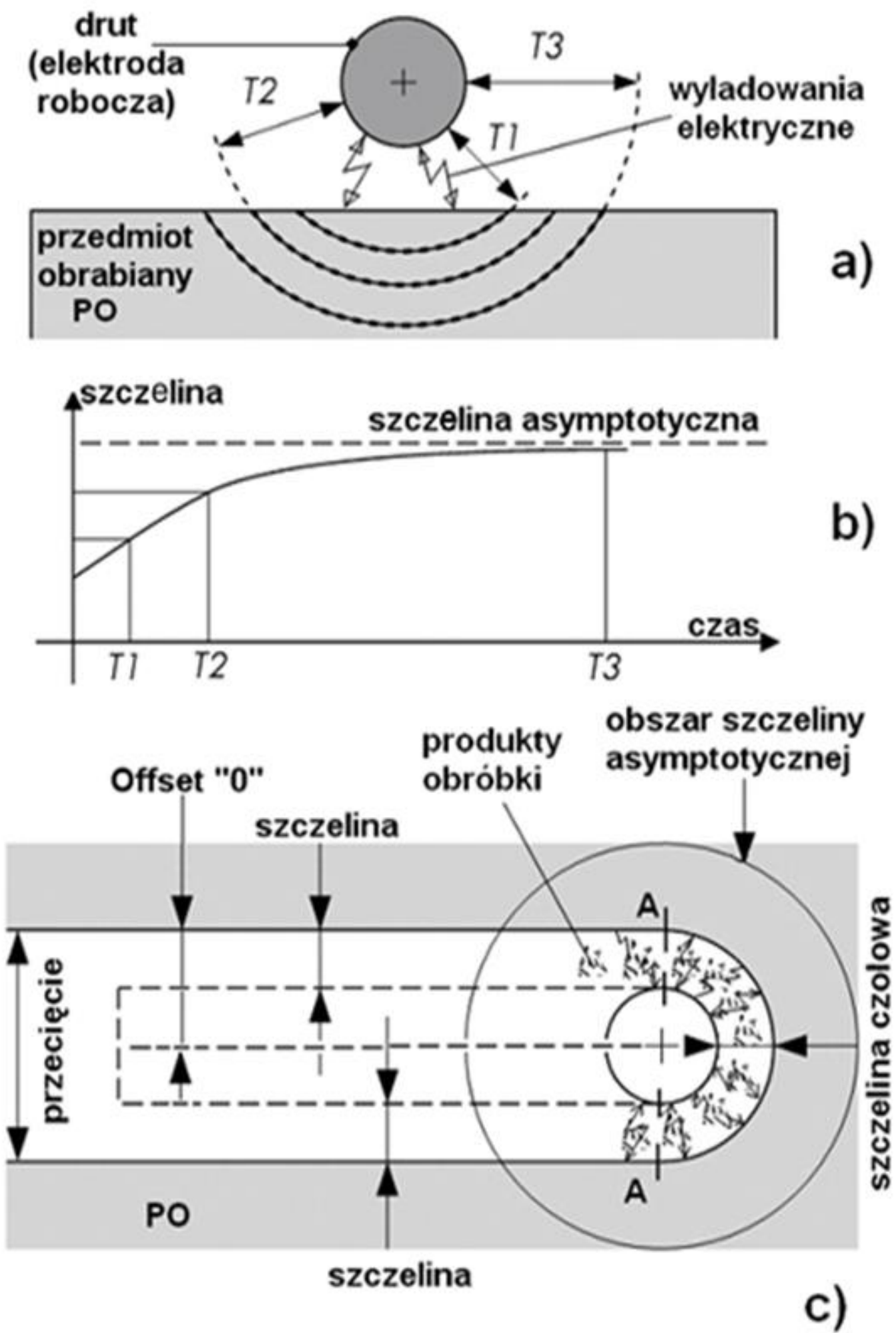
Na podstawie: Świercz R, Oniszcuk-Świercz D. The effects of reduced graphene oxide flakes in the dielectric on electrical discharge machining. *Nanomaterials* 2019;9. <https://doi.org/10.3390/nano9030335>.

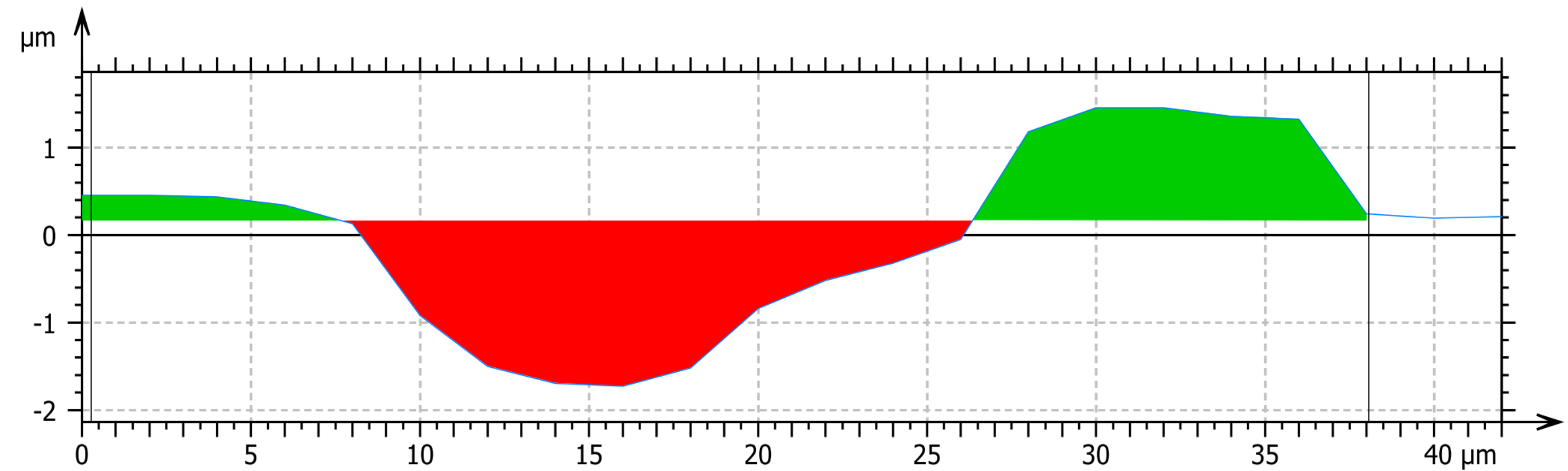
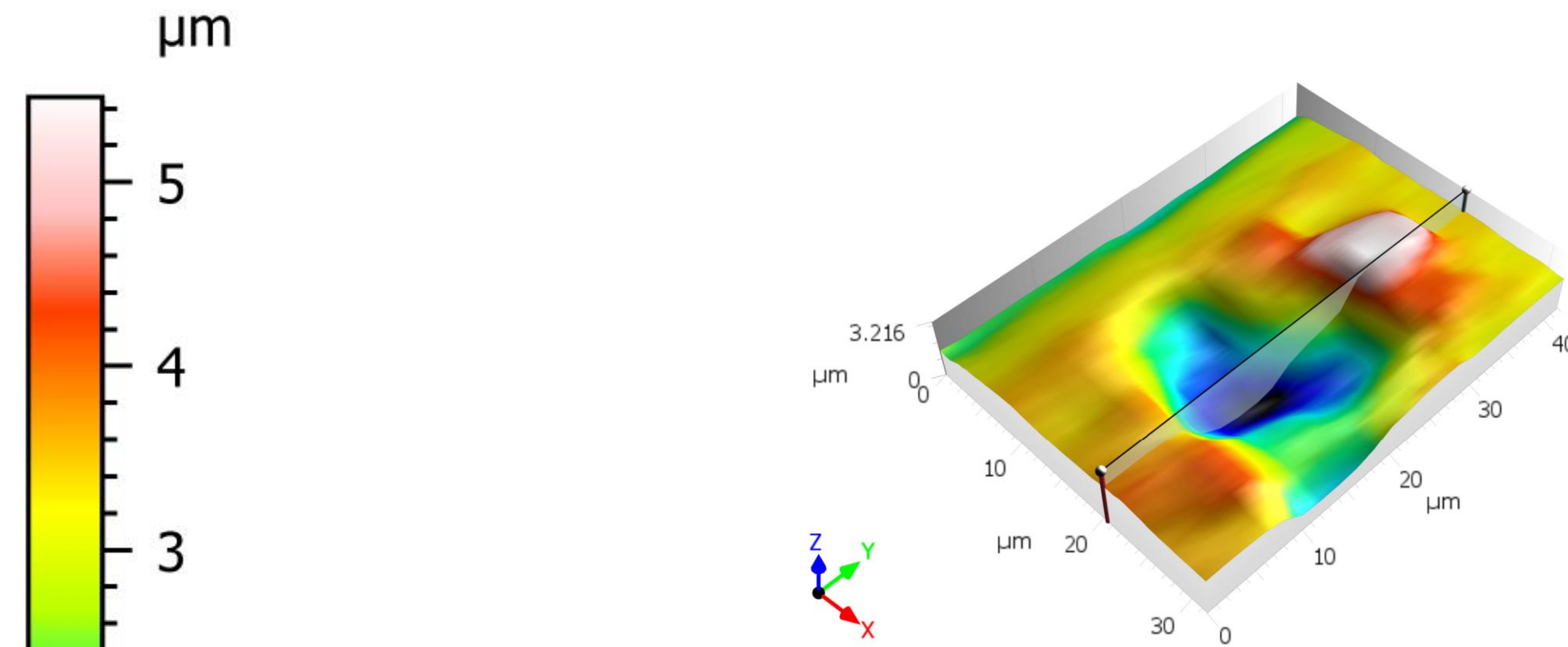
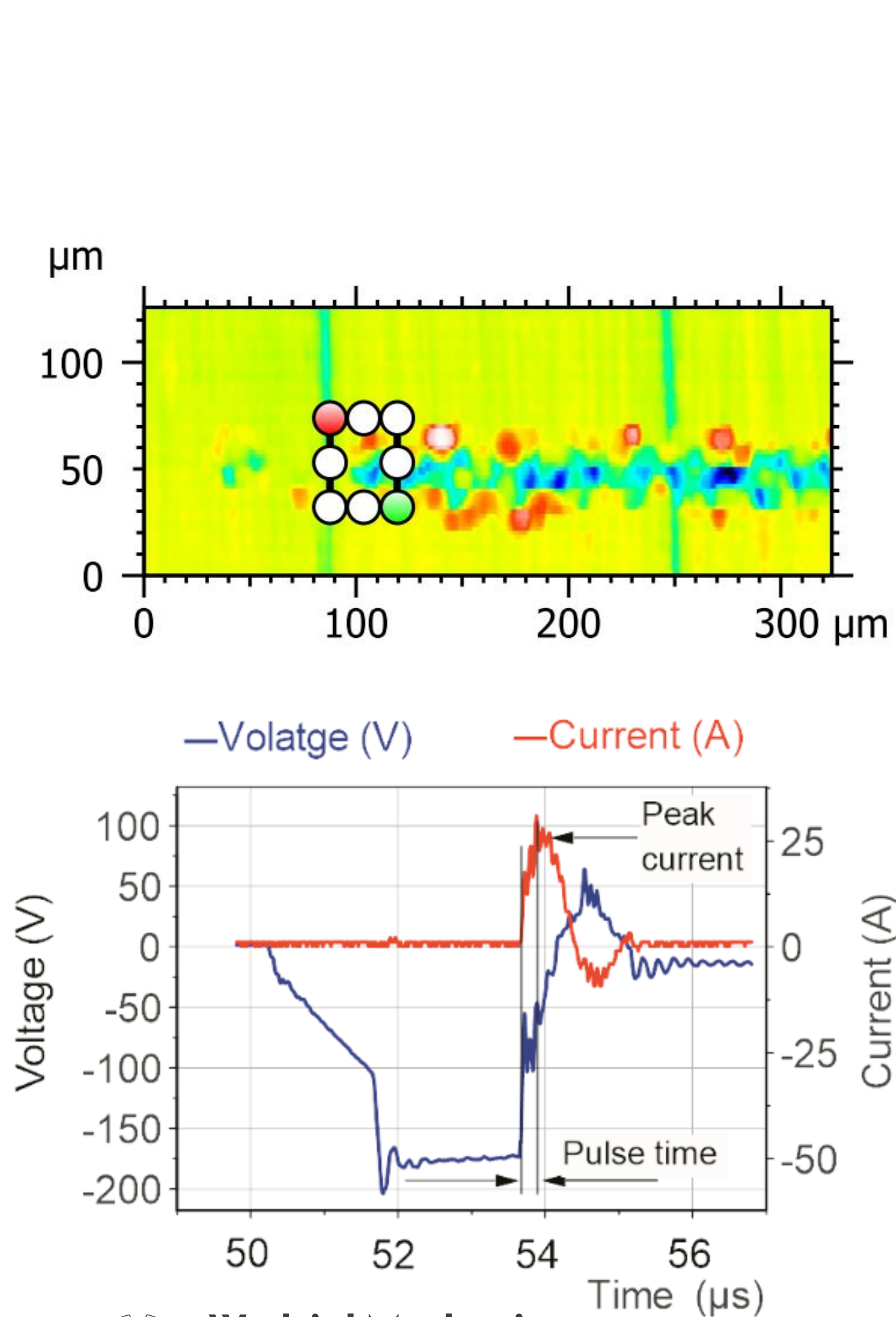
Struktura geometryczna powierzchni i mikrostruktura materiału po EDM stali 1.2713, a) w naftcie, b) w naftcie z 0,1 % RGO, $U = 25 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$, $t_{on} = 10 \mu\text{s}$

Technologia obróbki elektroerozyjnej – wycinanie elektroerozyjne

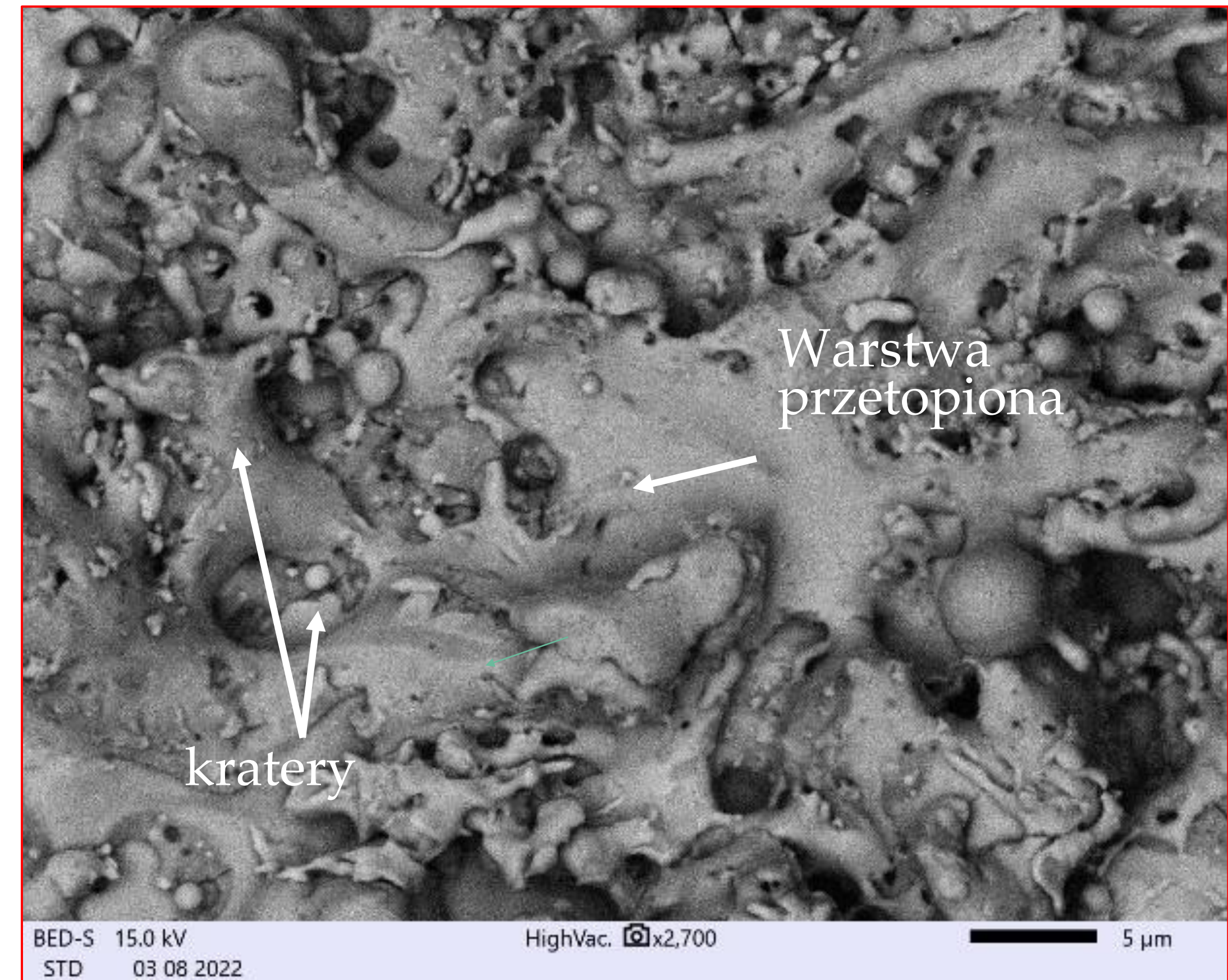
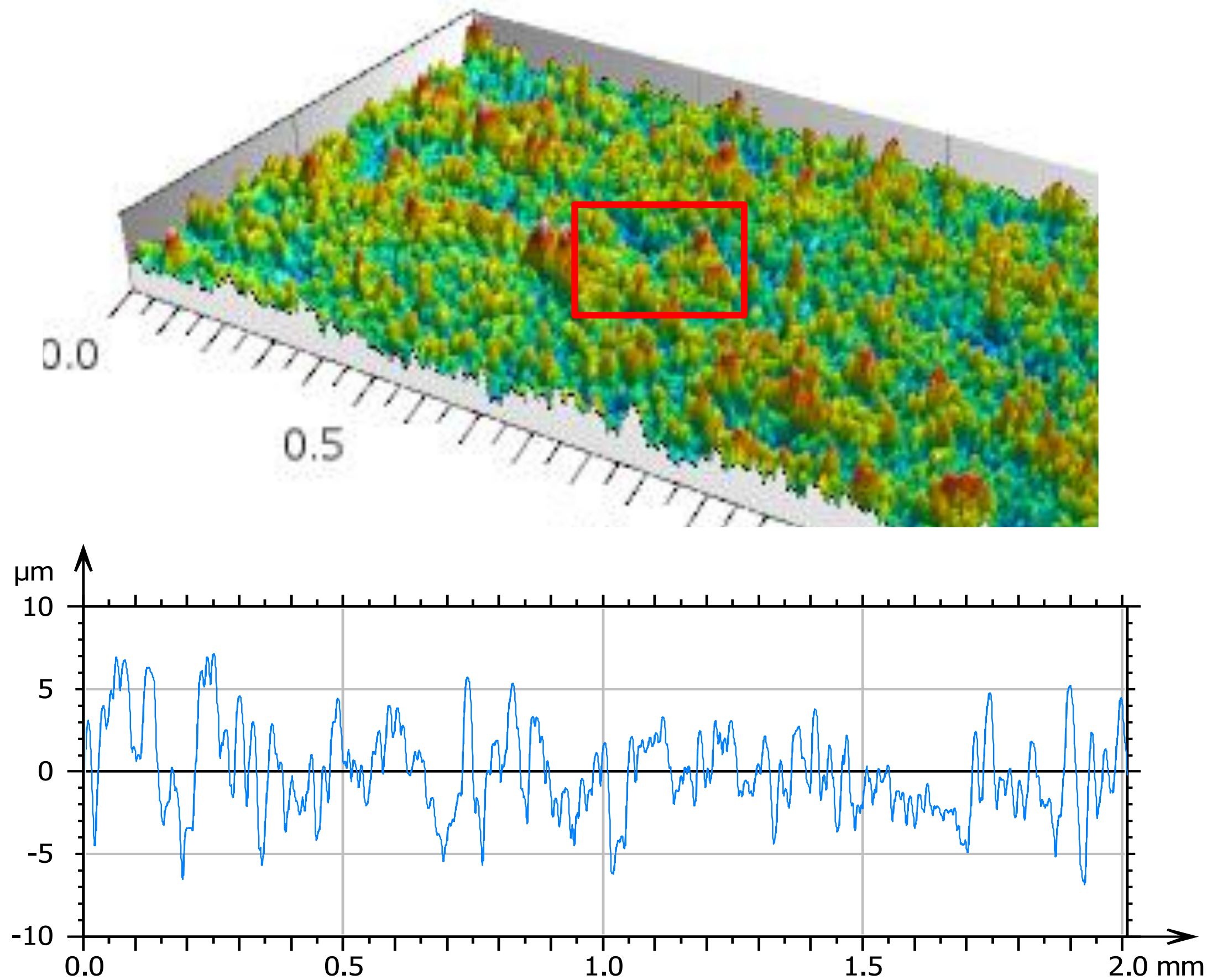






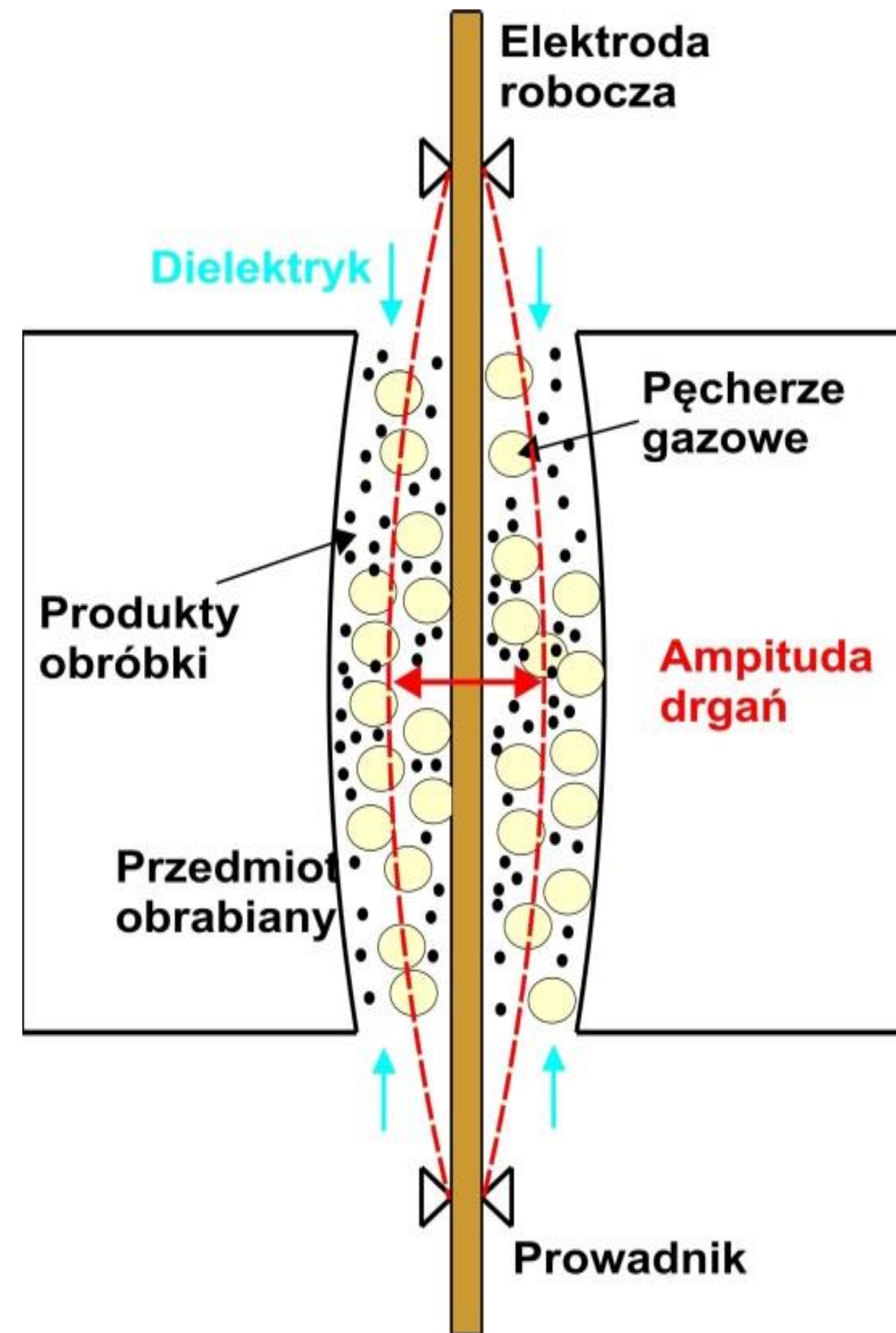


Parametry	Wartość	Jednostka
Maksymalna głębokość	1.923	µm
Pole otworu	21.82	µm ²
Maksymalna wysokość	1.261	µm
Obszar szczytu	13.41	µm ²



Topografia powierzchni Inconelu 718 po obróbce micro WEDM parametry obróbki $E=1.46$ mJ, $WS = 9$ m/min, and $t_{off} = 8$ μs.

Rozkład produktów obróbki w szczelinie

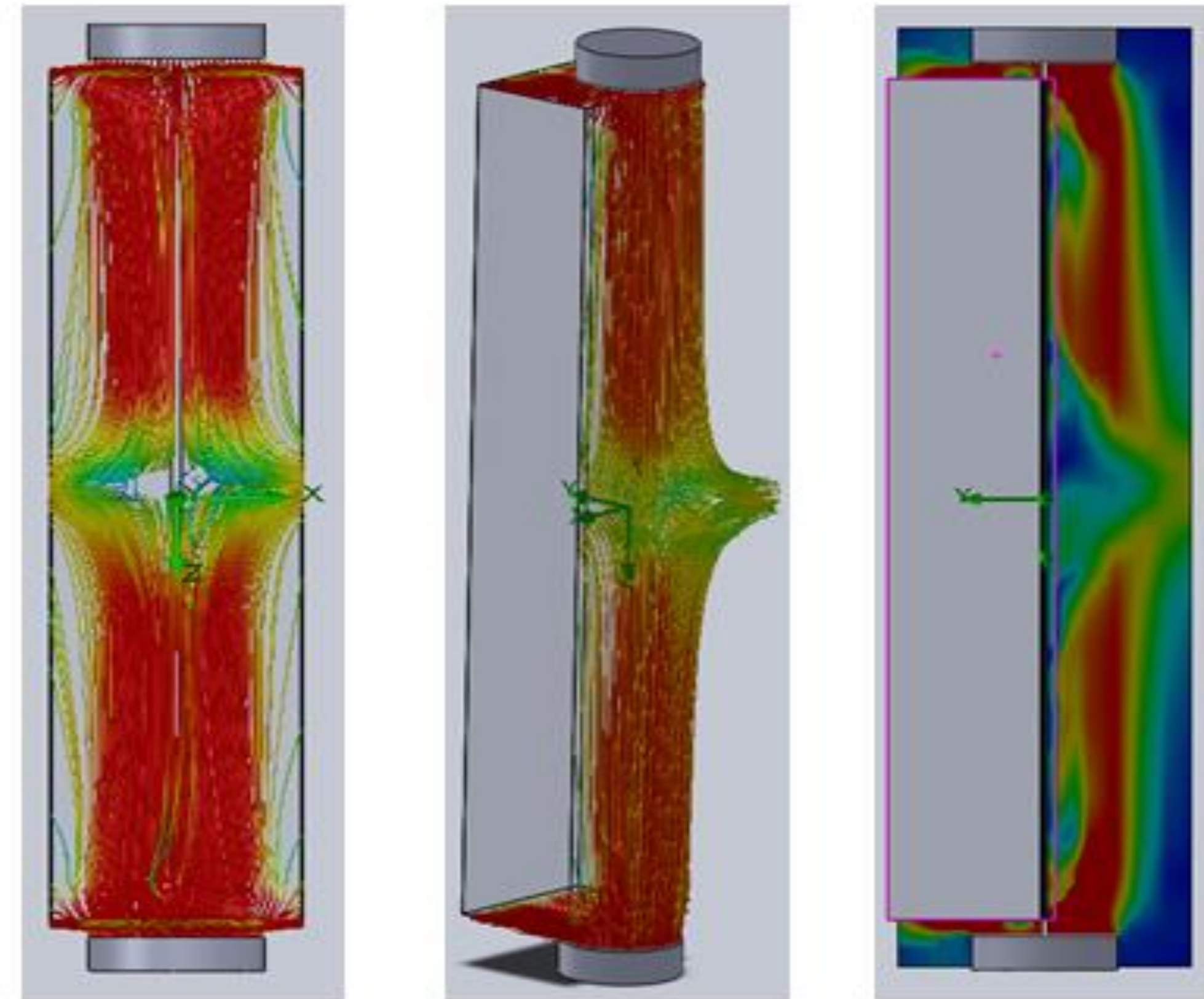
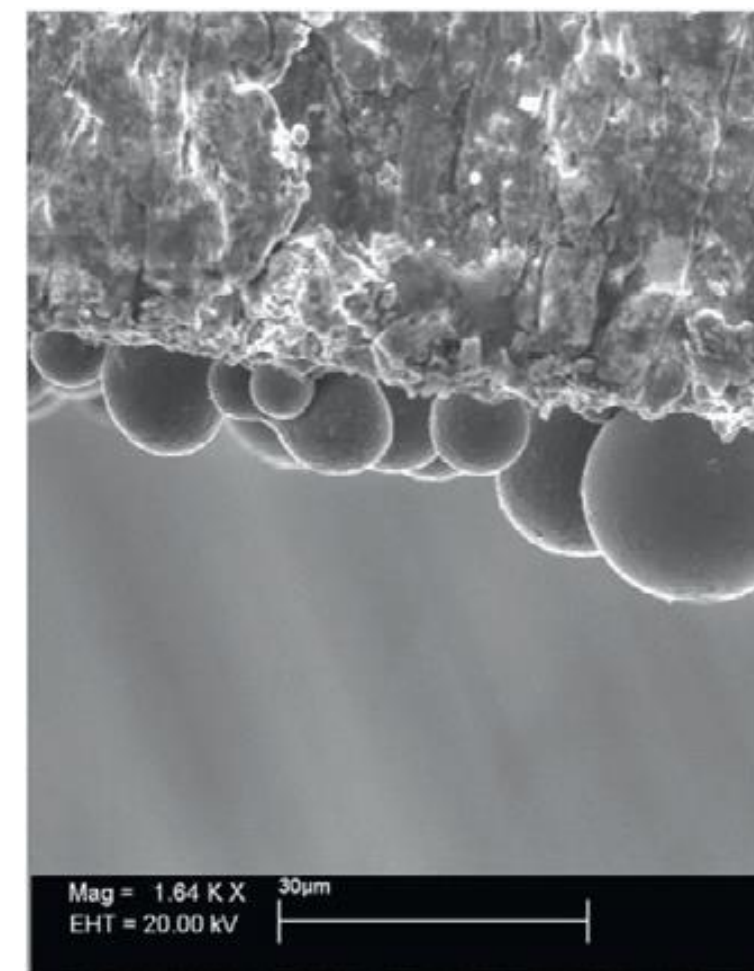
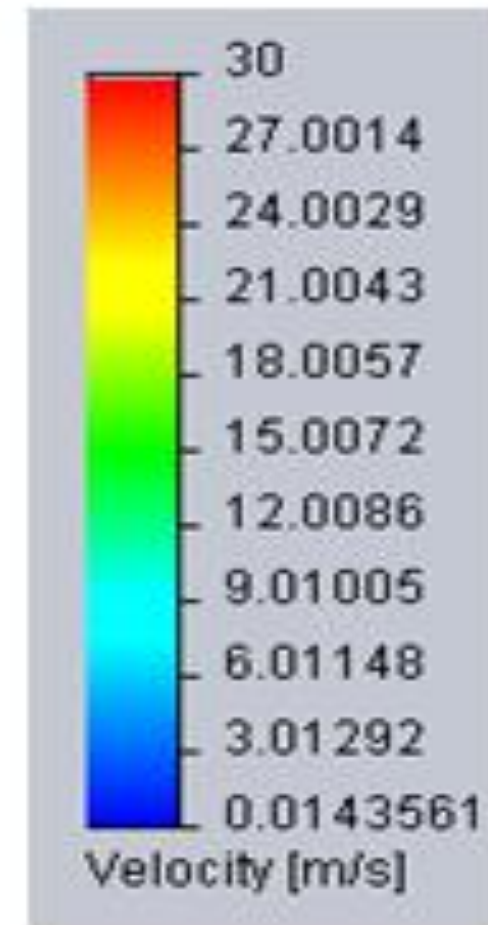
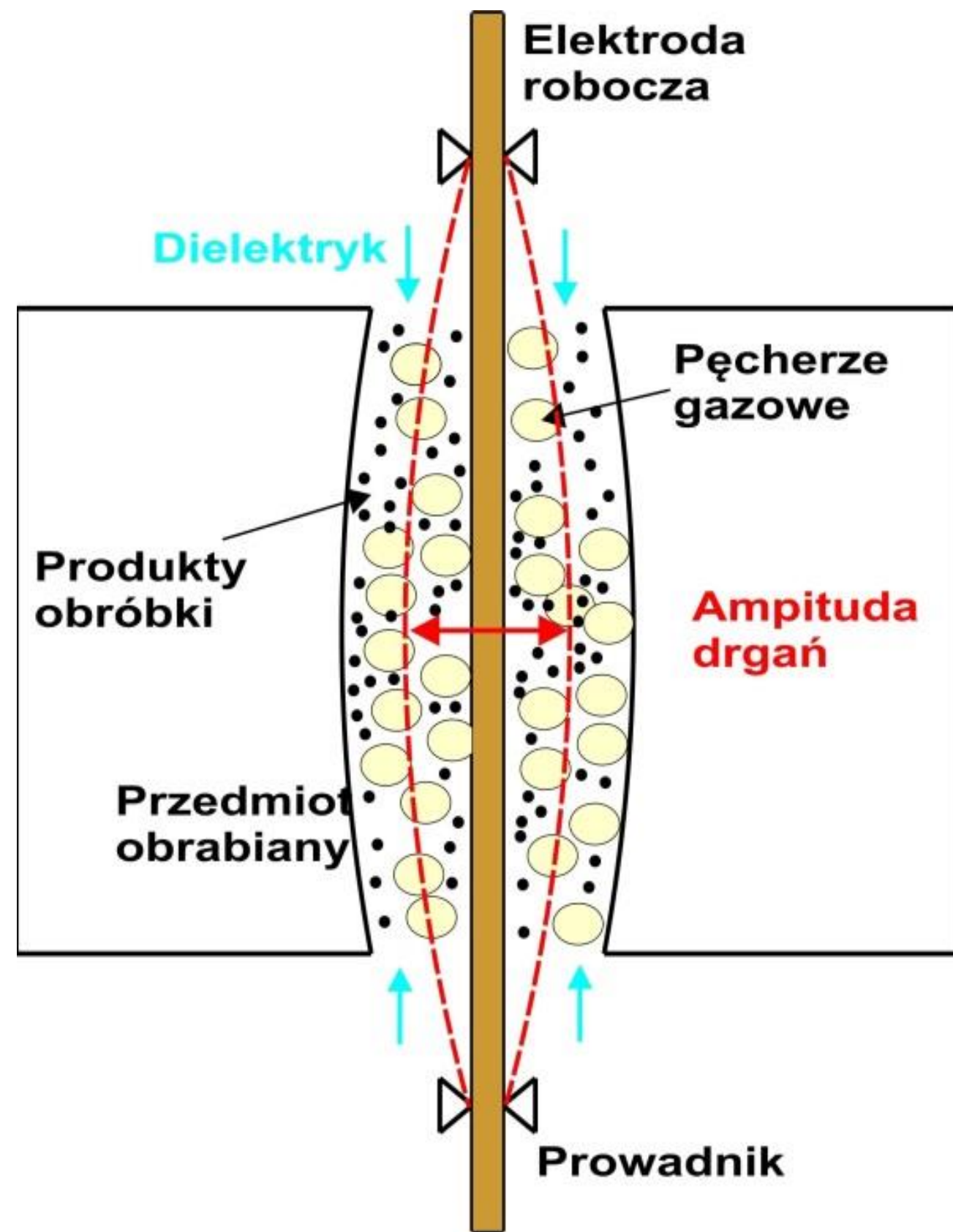


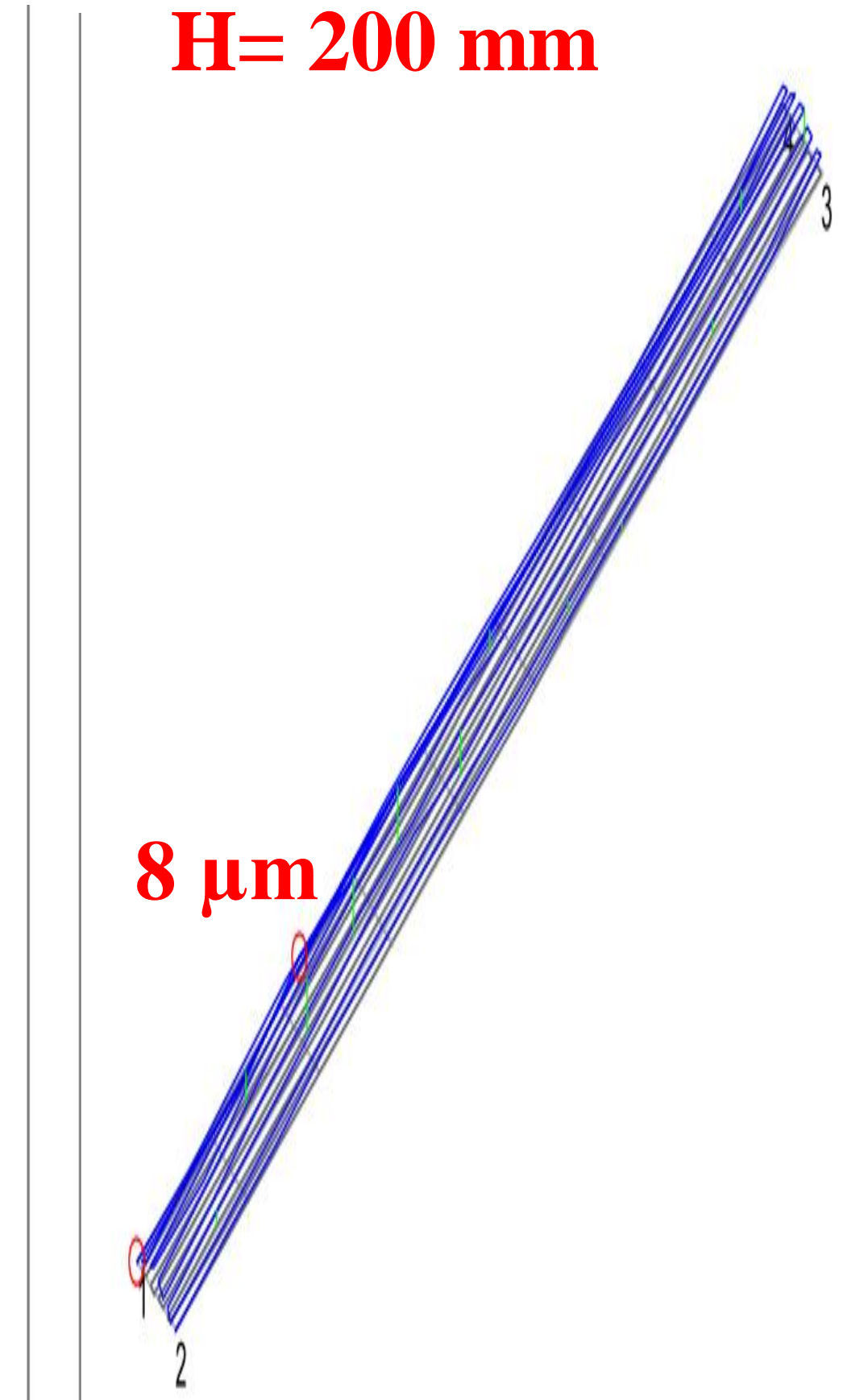
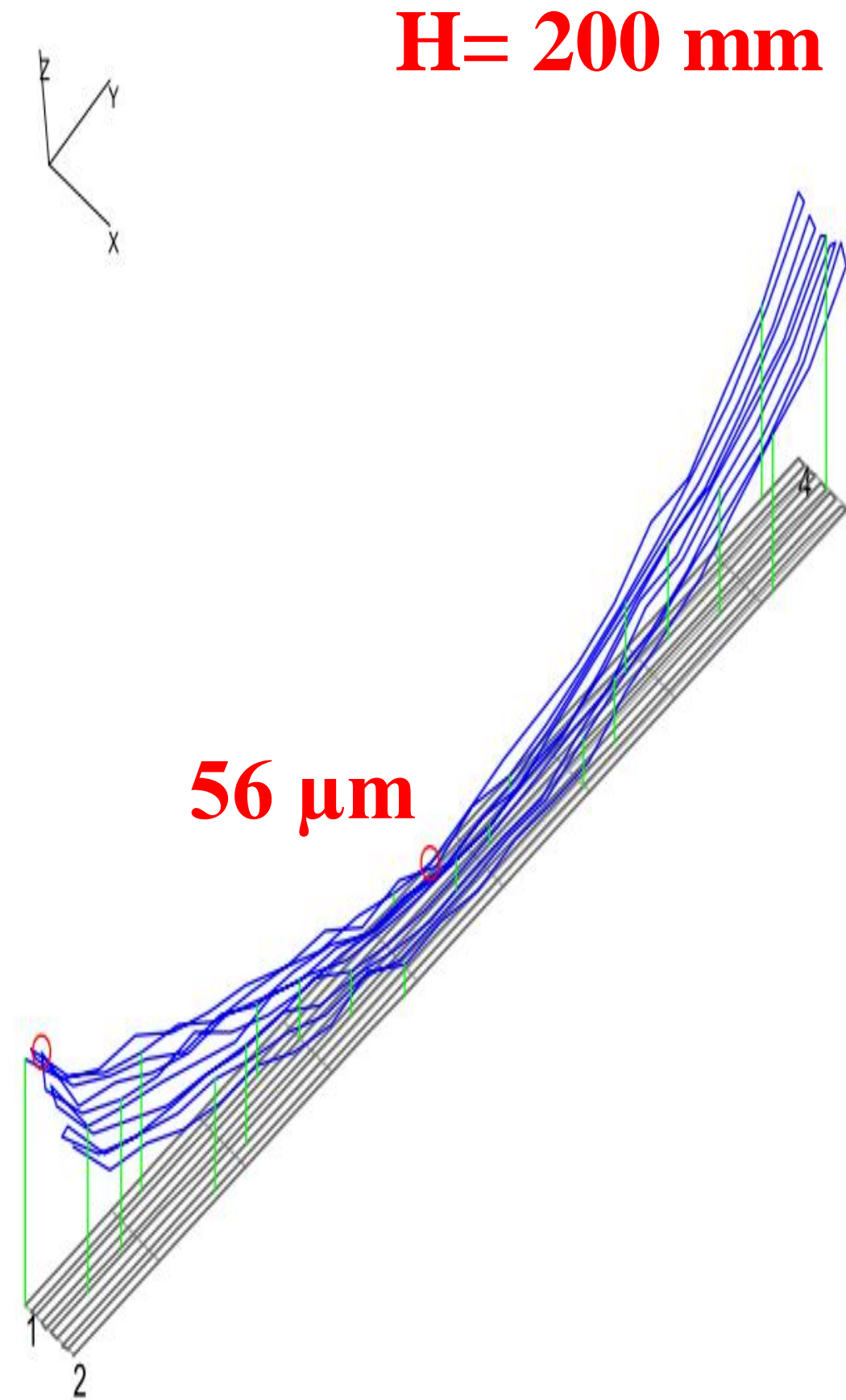
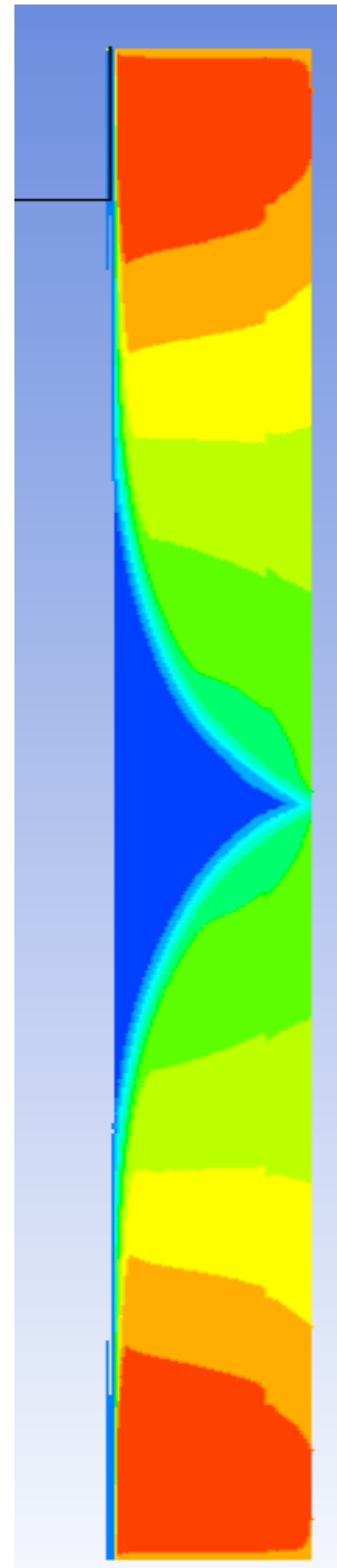
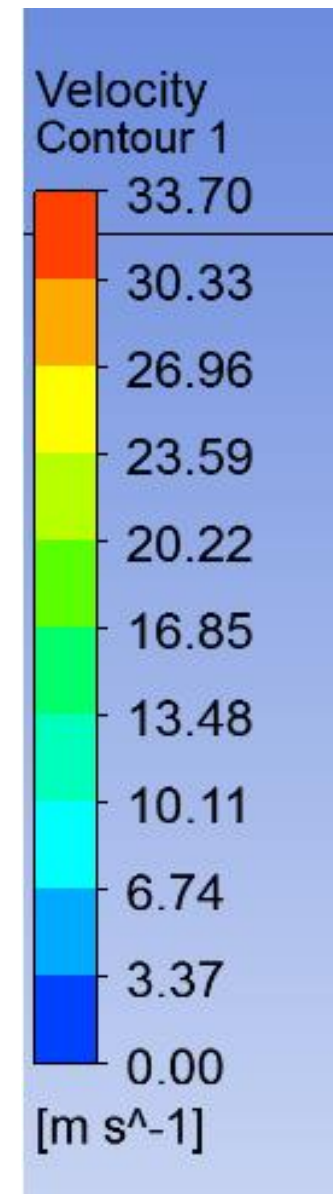
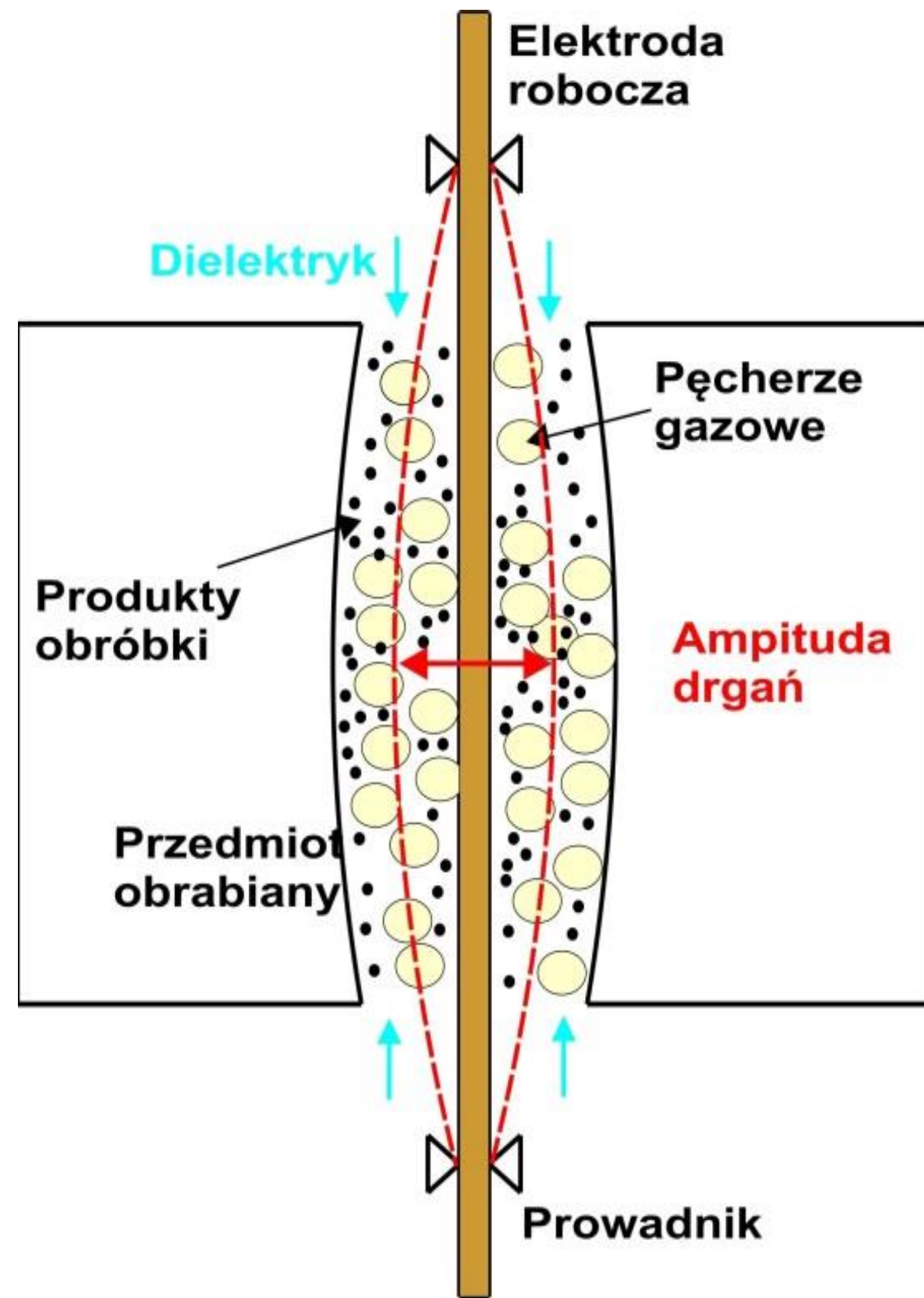
Energia wyładowania

Ciśnienie dielektryka

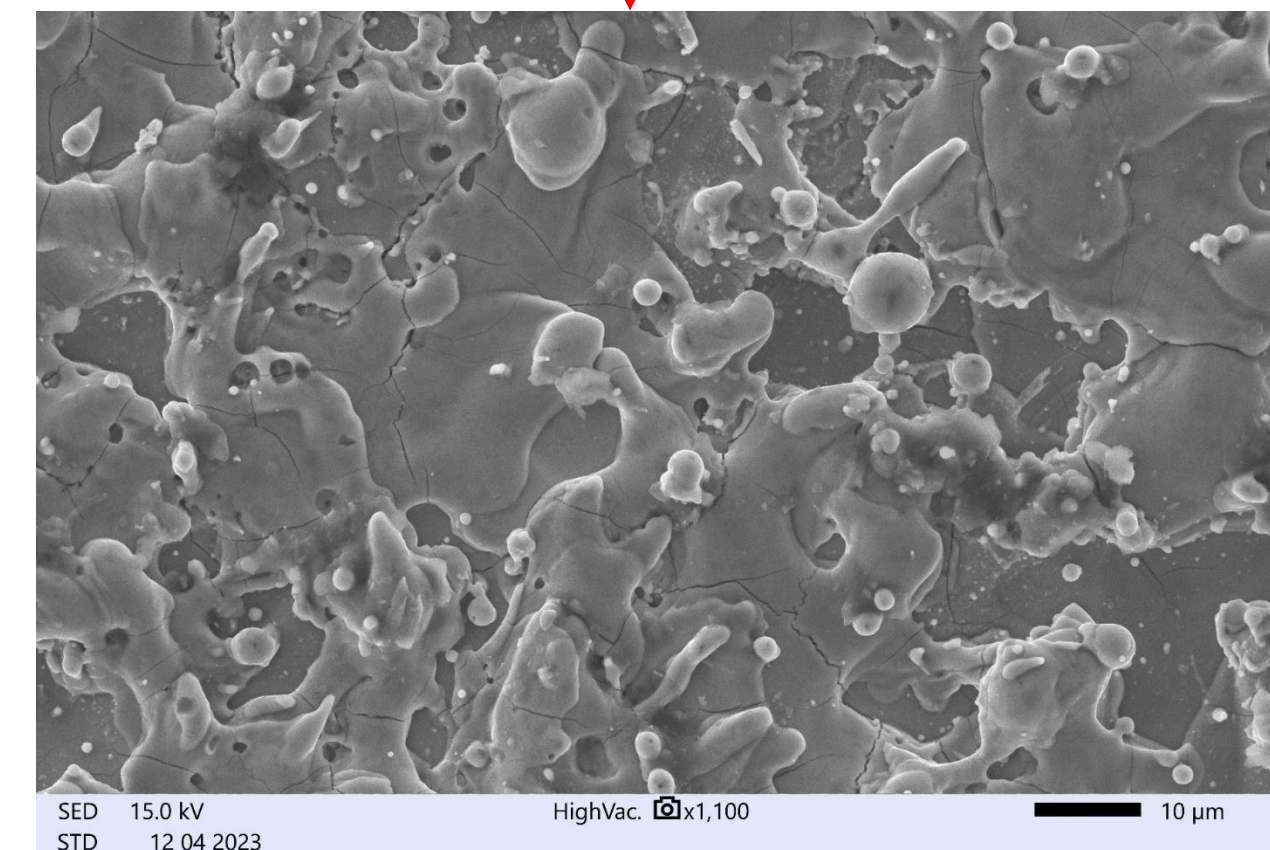
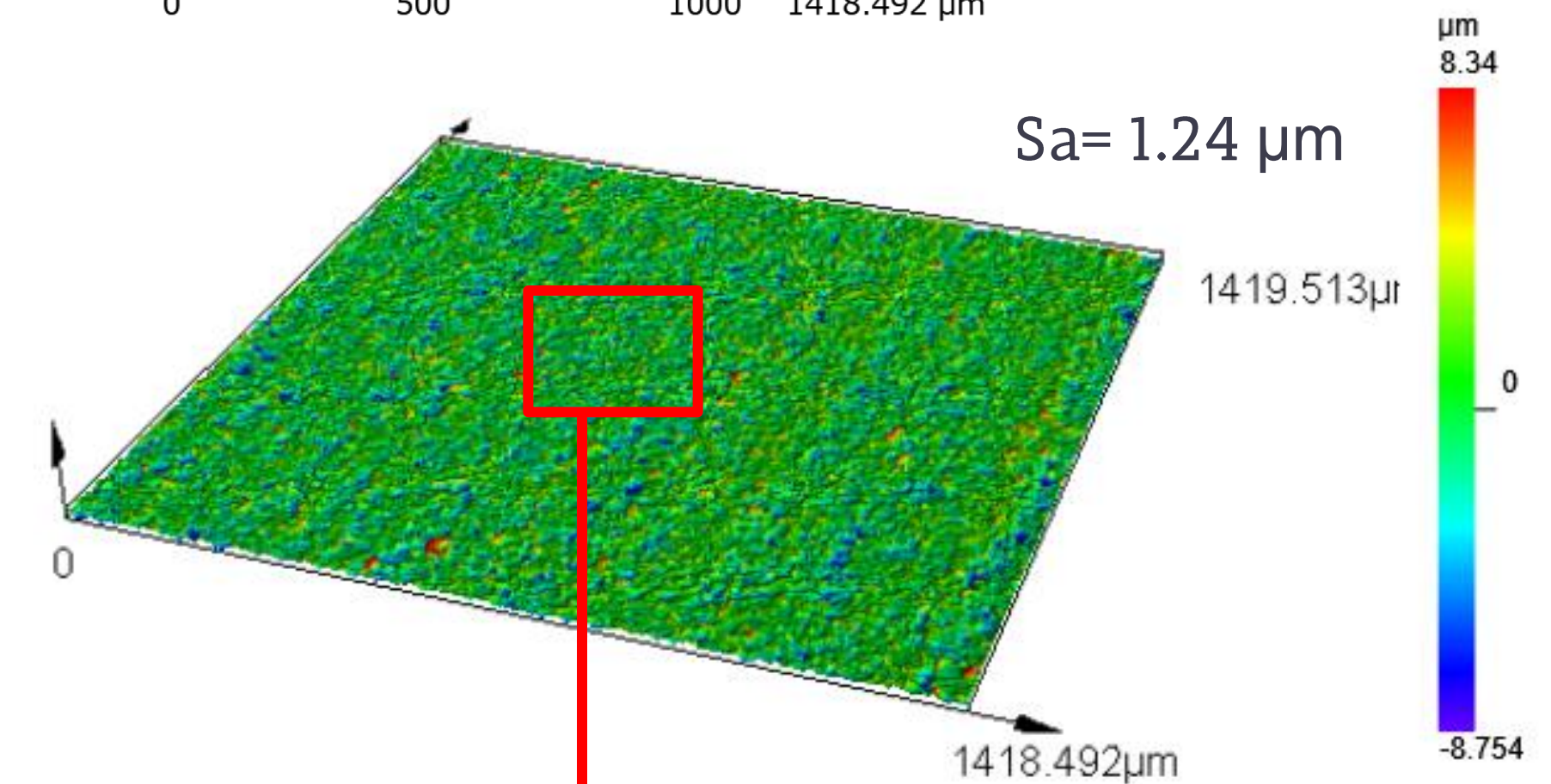
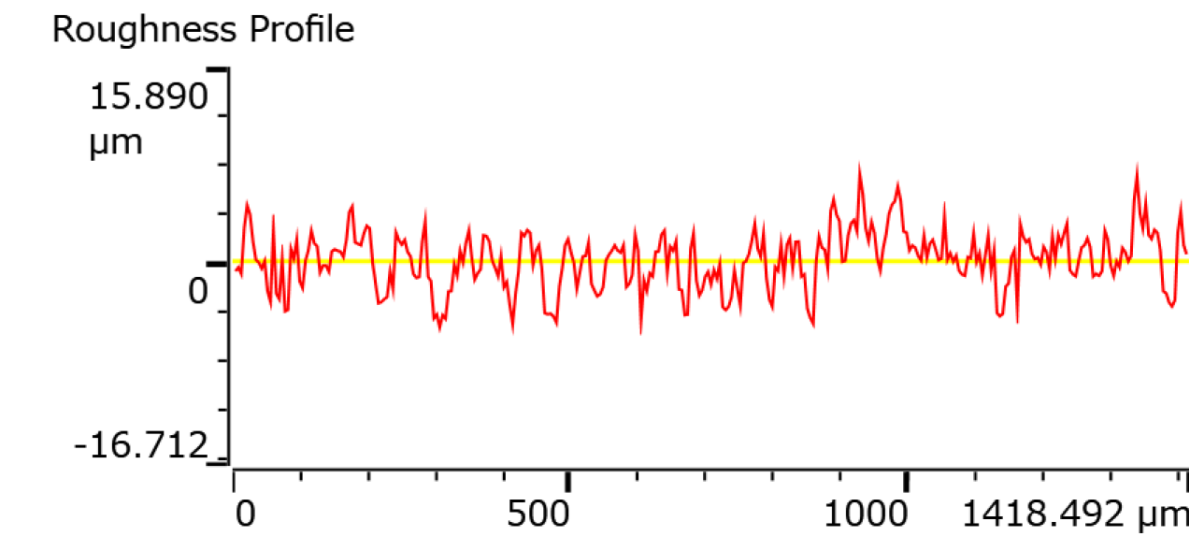
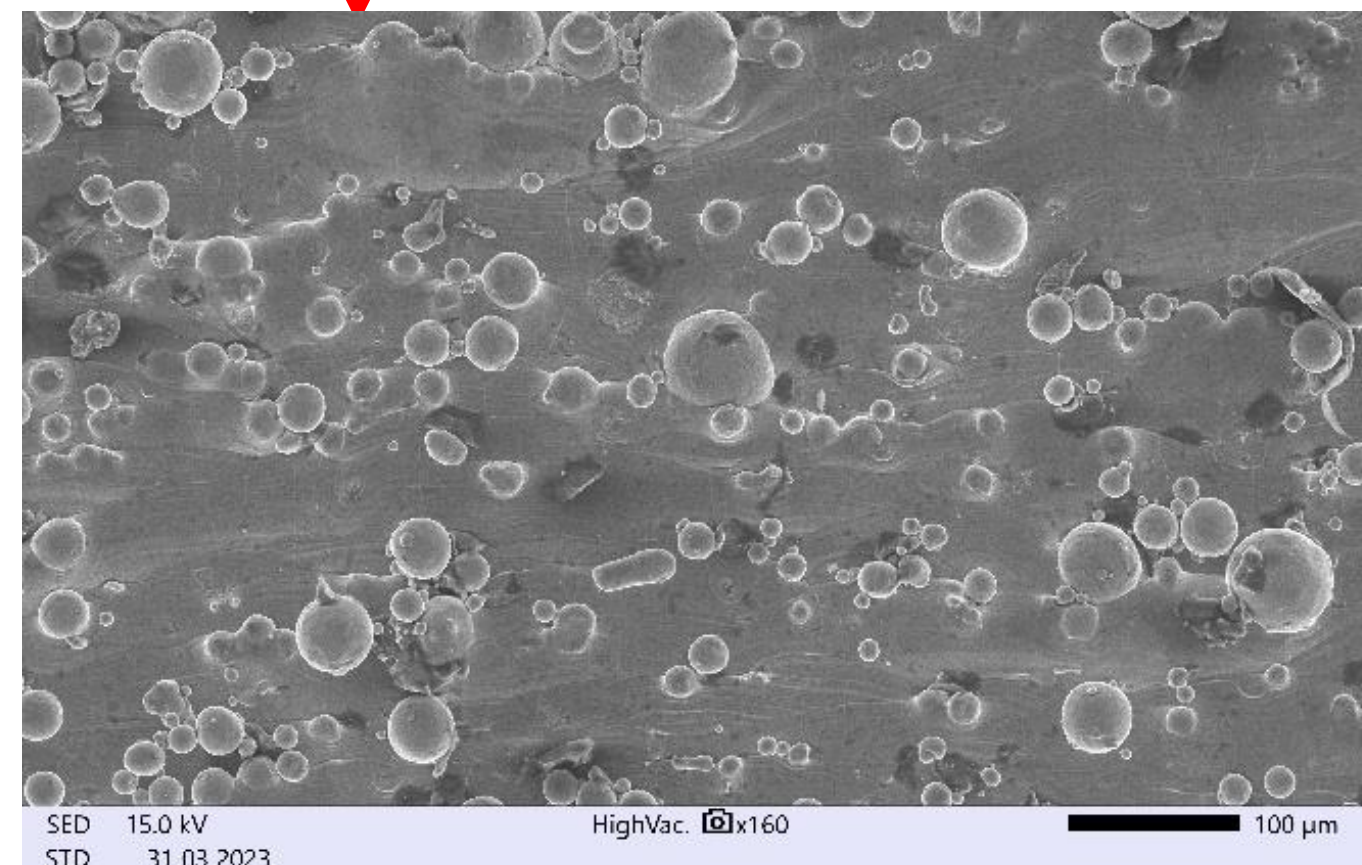
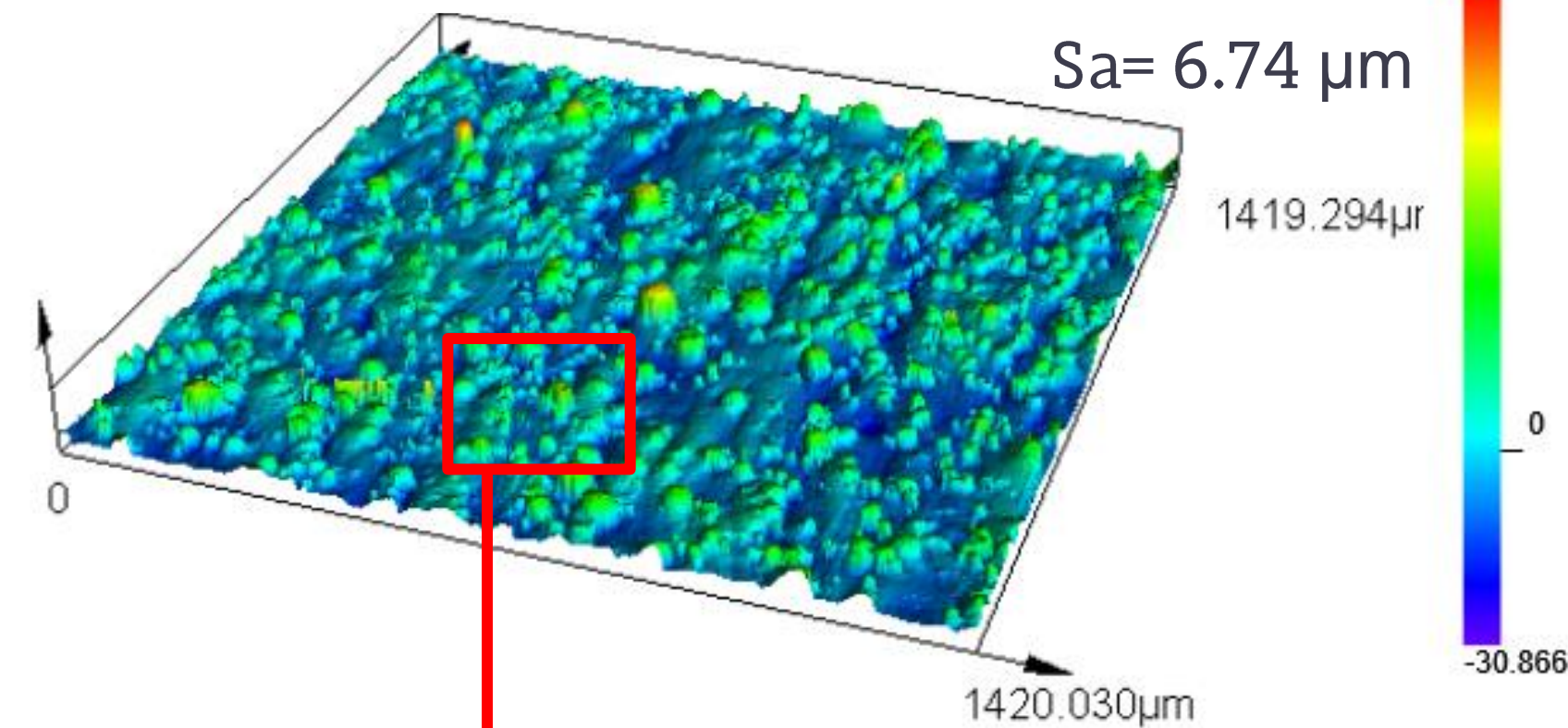
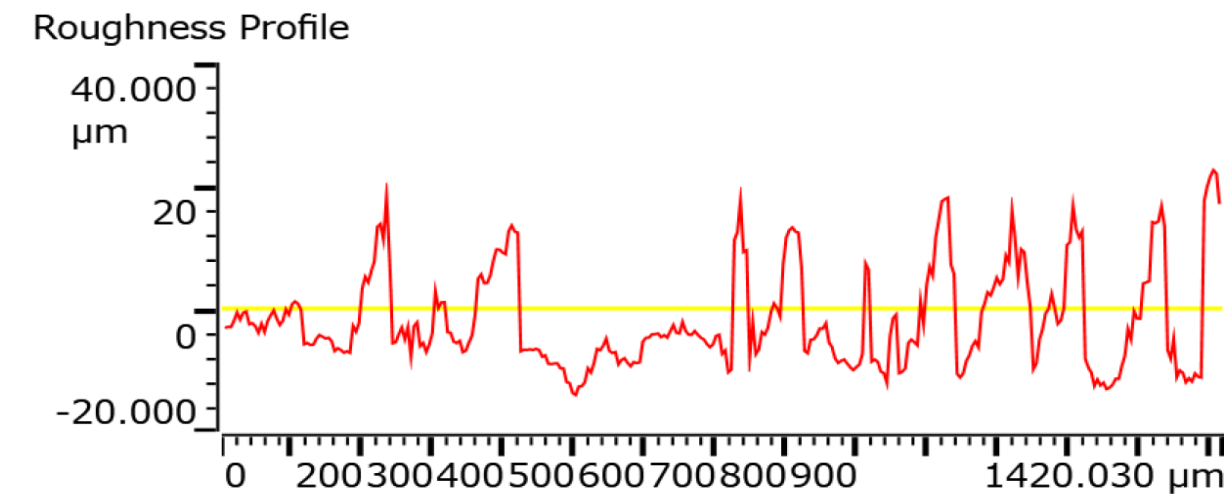
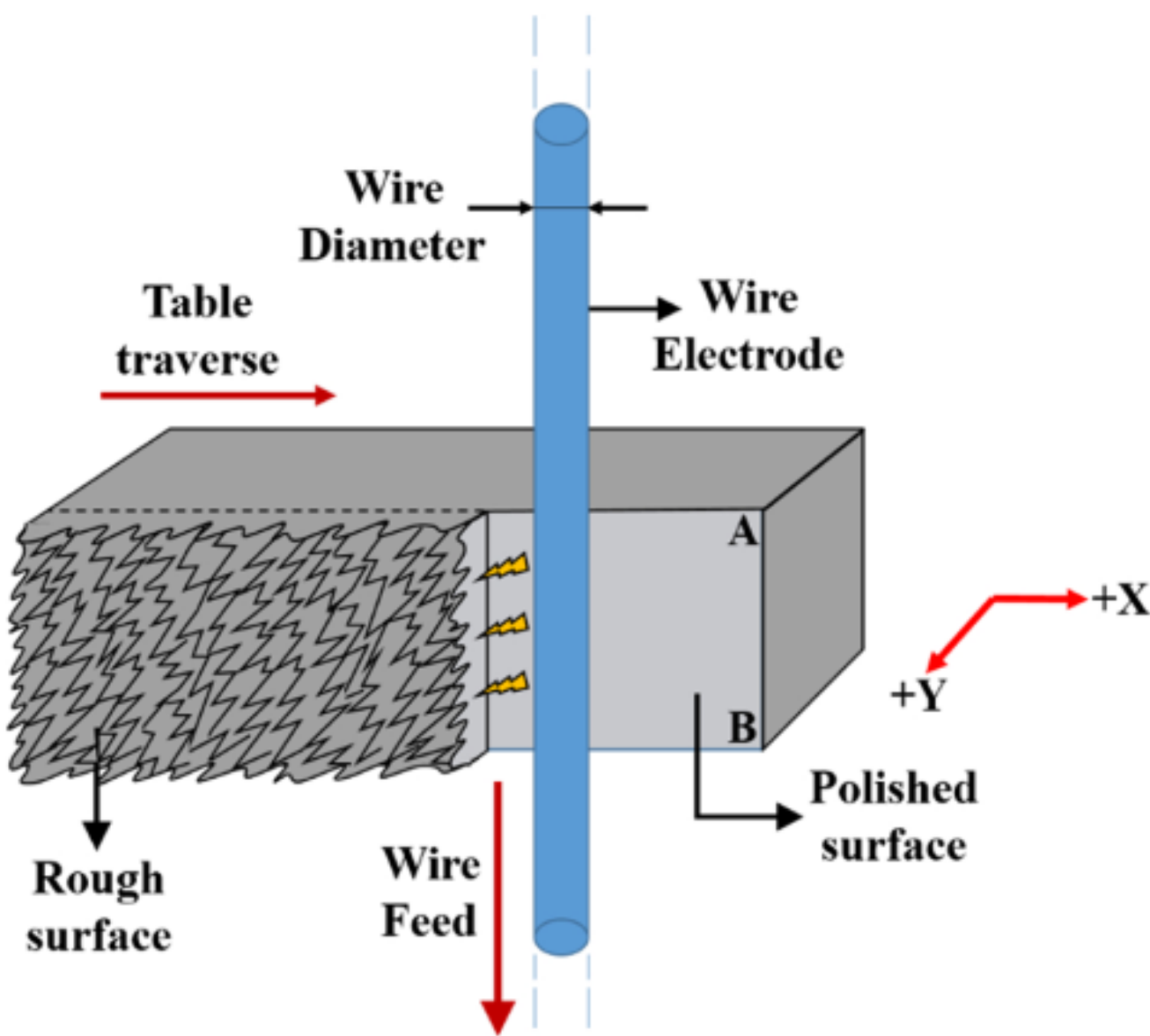
Naciąg drutu

Wysokość materiału ciętego

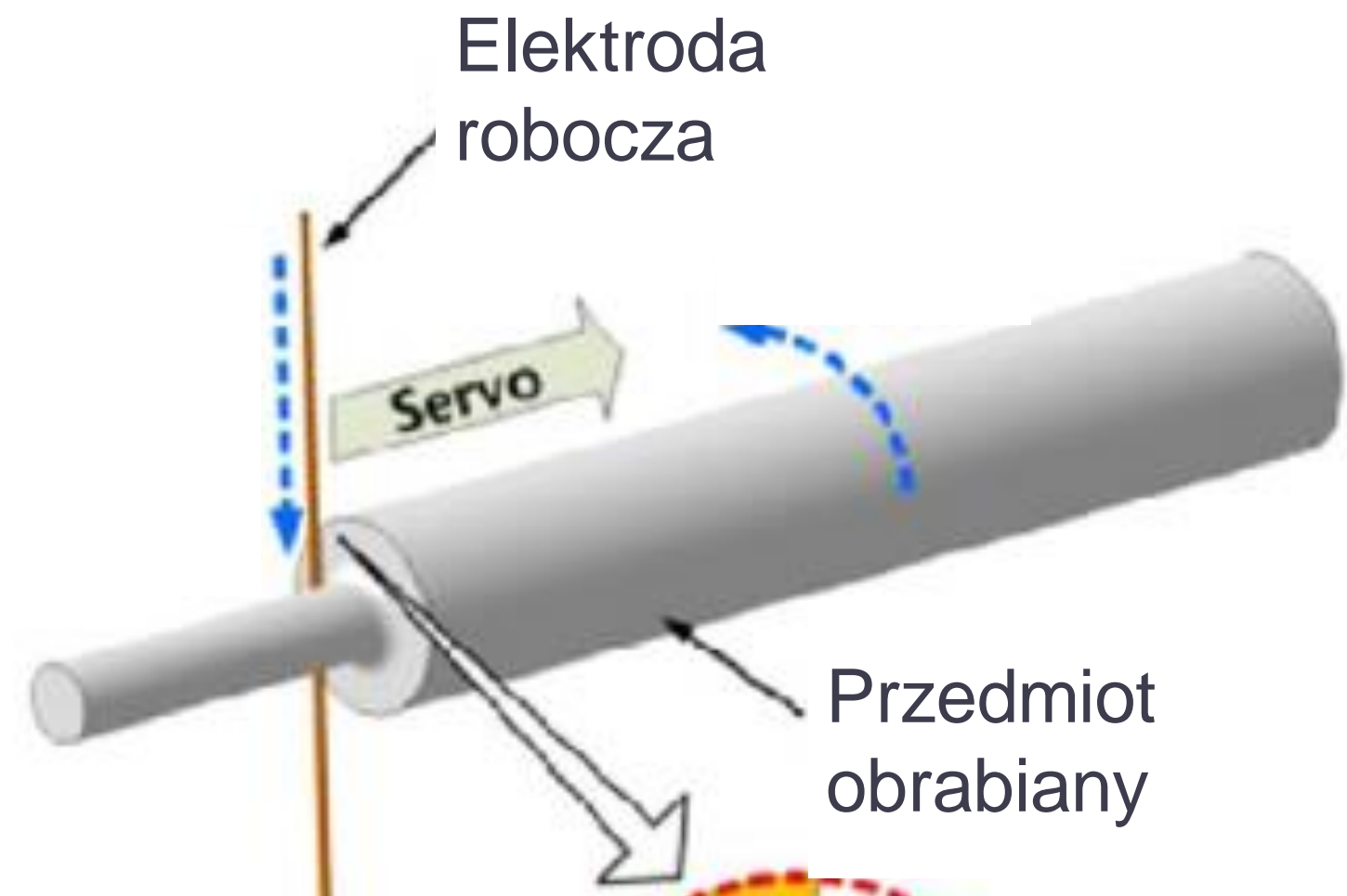




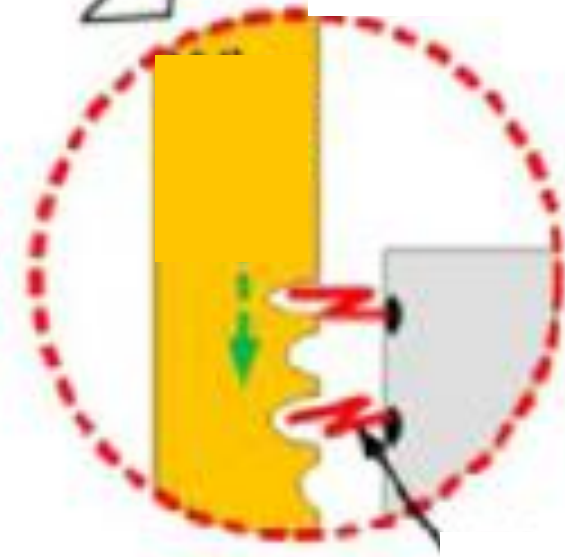
Technologia obróbki elektroerozyjnej – wycinanie elektroerozyjne



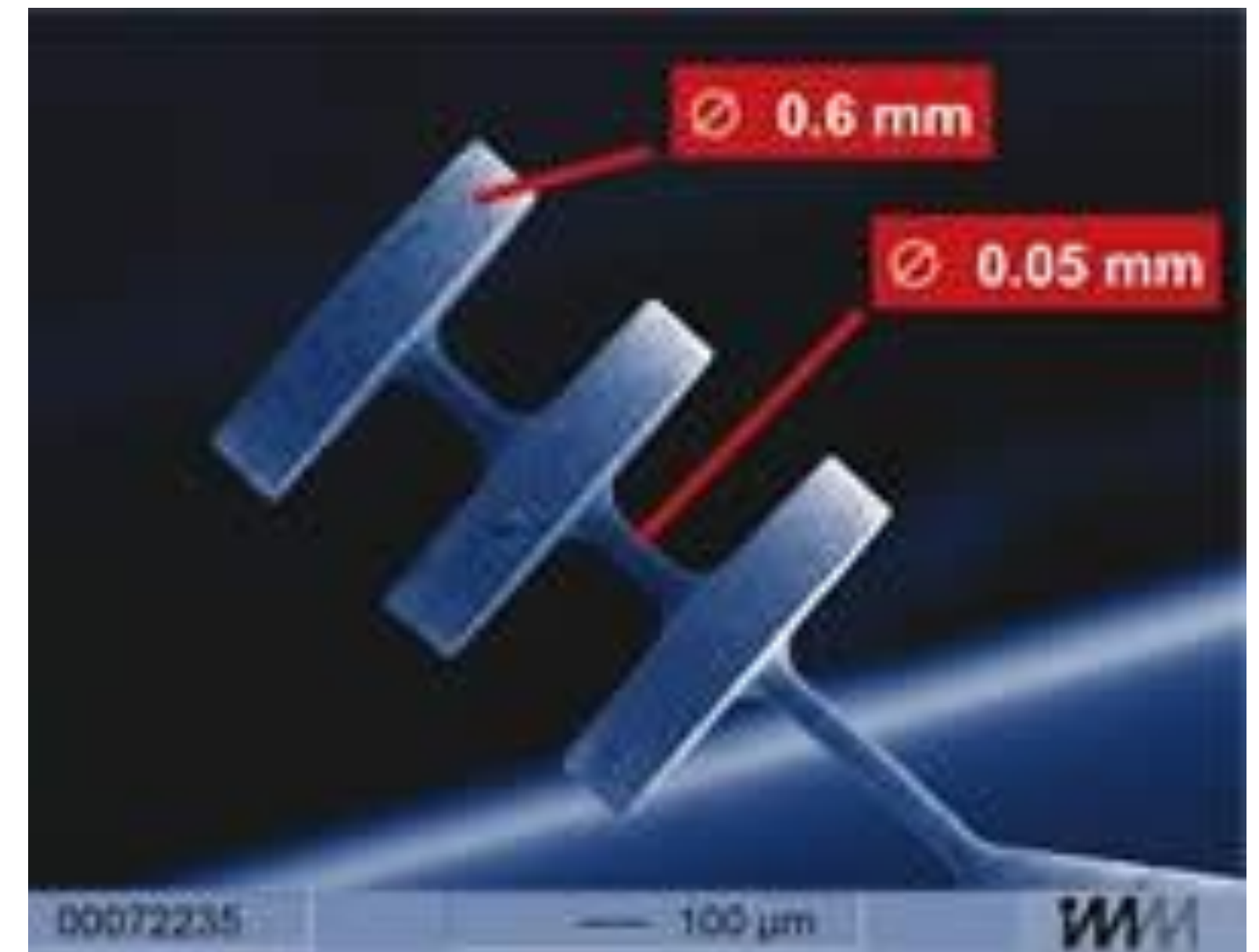
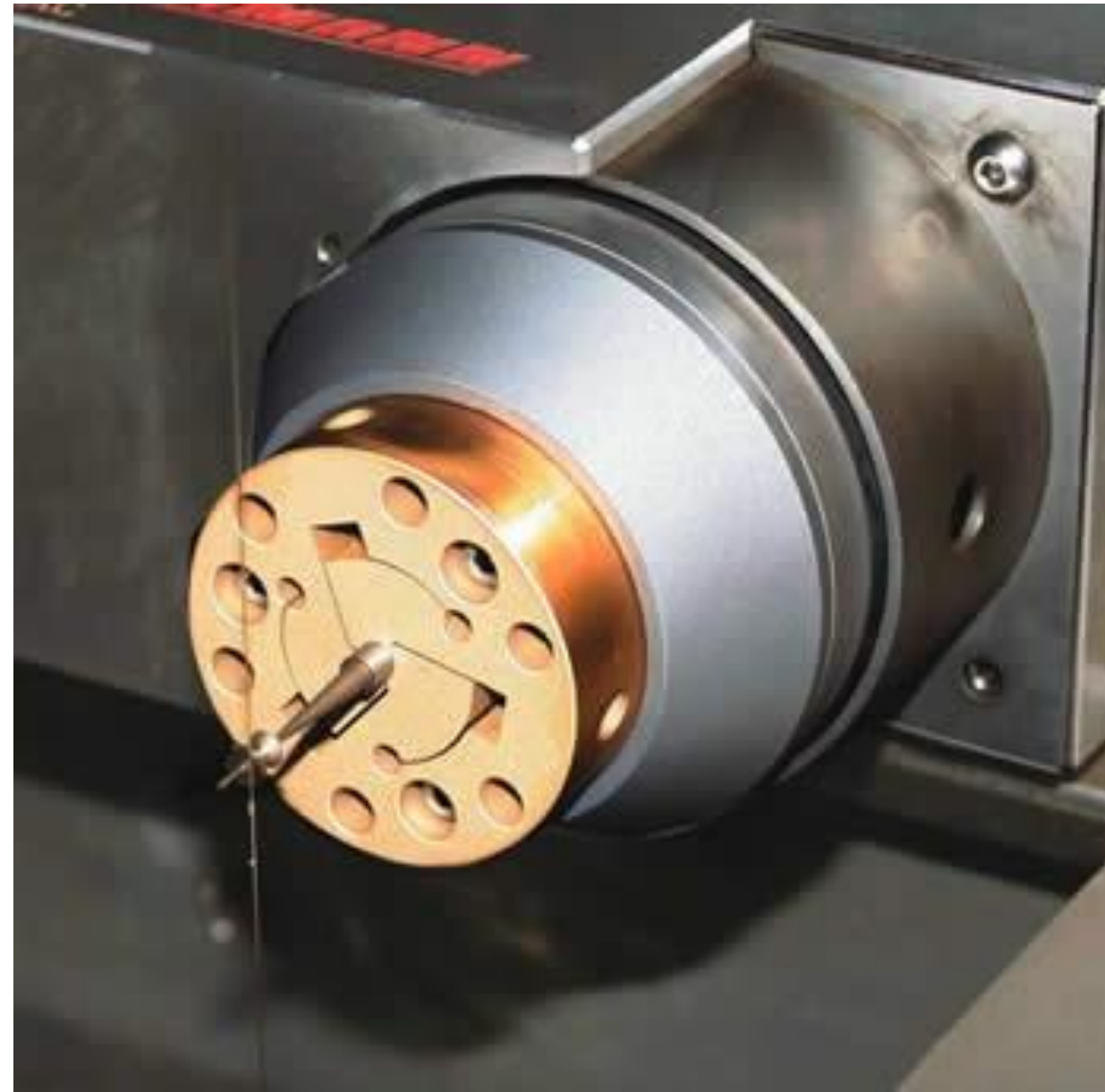
Technologia obróbki elektroerozyjnej – innowacje

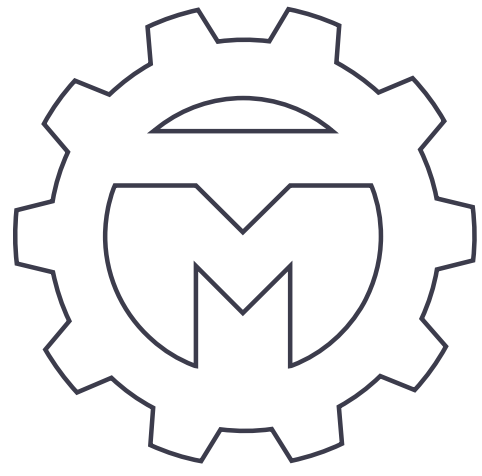


Toczenie elektroerozyjne



Wyładowanie elektryczne





Wydział Mechaniczny Technologiczny

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Technologie obróbki elektroerozyjnej materiałów trudnoobrabialanych

Rafał Świercz

