

Aleksandra KŁOS-WITKOWSKA<sup>1</sup>, Wojciech POŚPIECH<sup>2</sup>,  
Vasyl MARTSENYUK<sup>3</sup>

Opiekun naukowy: Aleksandra KŁOS-WITKOWSKA

## ZMIANA PARAMETRÓW POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PO PRZEJŚCIU PRZEZ ROZTWORY

**Streszczenie:** Celem pracy było zbadanie zmian parametrów pola elektromagnetycznego po przejściu przez roztwory BSA-Au. Eksperyment wykonano dla 180, 195, 240 MHz. Analiza skanów wykazała zmiany parametrów pola po przejściu przez roztwory w stosunku do referencyjnej warstwy powietrza. Efekt wytłumaczono za pomocą mechanizmów oddziaływania pola elektromagnetycznego z materią.

**Słowa kluczowe:** pole elektromagnetyczne, roztwory BSA-Au, absorpcja

## CHANGE IN ELECTROMAGNETIC FIELD PARAMETERS AFTER PASSING THROUGH SOLUTIONS

**Summary:** The purpose of this study was to investigate the changes in electromagnetic field parameters after passing through BSA-Au solutions. The experiment was performed for 180, 195, 240 MHz. Analysis of the scans showed changes in the field parameters after passing through the solutions compared to a reference air layer. The effect was explained using the mechanisms of electromagnetic field interaction with matter.

**Keywords:** electromagnetic field, BSA-Au solutions, absorption

### 1. Wstęp

Sygnaty pola elektromagnetycznego są podstawą postępowania diagnostycznego w medycynie [1] i podstawą formułowania określonych wniosków badawczych w wielu dziedzinach nauki takich jak fizyka [2] czy elektrotechnika [3]. Dystrybucja pola elektromagnetycznego jest również wykorzystywana medycznych celach

---

<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, awitkowska@ath.bielsko.pl

<sup>2</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, wp055827@student.ath.edu.pl

<sup>3</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, vmatrsenyuk@ath.bielsko.pl

diagnostycznych [4], jest również w elektronice w celu diagnozowania potencjalnych uszkodzeń komponentów elektronicznych [5,6].

Dlatego też badanie dystrybucji pola elektromagnetycznego jest tematem ważnym i modnym, ale jednocześnie bardzo trudnym i jeszcze nie do końca wyjaśnionym.

Powszechnie znany hamiltonian oddziaływania fali elektromagnetycznej z materią jest bardzo skomplikowanym równaniem i niestety bezpośrednie zastosowanie tego formalizmu jest bardzo trudnym i nierozwiązanym do tej pory zagadnieniem wielu ciał. Istnieje wiele teorii proponujących wyjaśnienie mechanizmów dystrybucji pola :np. Teoria dipolowej relaksacji Dabaya, modele Grosa, efekt radioecha, ale żadna z nich nie daje pełnego wytłumaczenia obserwowanych zjawisk.

Dlatego, aby poszerzyć zakres wiedzy w temacie dystrybucji pola, zaprojektowano i przeanalizowano eksperyment, którego celem było zbadanie zmian dystrybucji pola po przejściu przez wodne roztwory w stosunku do referencyjnej warstwy powietrza.

Do badań wybrano kompleks proteinowy BSA-Au. Białko, Bovine Serum Albumin (BSA)(Albumina Surowicy Wołowej) jest powszechnie wykorzystywane w biosensorowych warstwach receptorowych w procesie sieciowania (cross-linking) [7], natomiast ostatnio pojawiły się również prace mówiącej o wzmożonej efektywności działania białka po dodaniu nanocząstek złota (Au) [8]. Dlatego też w przeprowadzone badania wykonano bazując na kompleksie białkowym BSA+Au

## 2. Materiały i metody

Badania dystrybucji pola elektromagnetycznego po przejściu przez roztwory wykonano za pomocą specjalnie skonstruowanego stanowiska pomiarowego zawierającego: Źródło pola elektromagnetycznego, analizator widma z sondą pola bliskiego, skaner pola elektromagnetycznego model RSE321 firmy ASTAT ,komputer oraz zestaw próbek. Próbkami były wodne roztwory Albuminy Surowicy Wołowej (BSA) (Bovine Serum Albumin) o stężeniu 2mg/ml do których dodano roztwór nanocząstek złota Au o stężeniach : 0,1mg/ml; 1 mg/ml; 10 mg/ml. Roztwory umieszczono w specjalnych pojemnikach z pleksi o wymiarach: 1cm x 3cm x 6cm.

Materiał badawczy (Bovine Serum Albumin) w postaci stałego; skryształizowanego i zliofilizowanego proszku (czystość 99%, partia: SLBK3063V) zakupiono w firmie Sigma Aldrich . Nanocząstki złota to gold nanoparticles o średnicy 10 nm stabilizowane w 0.1mM PBS, otrzymane z firmy Aldrich Chemistry.

Skany dystrybucji pola elektromagnetycznego wykonano dla częstotliwości: 180, 195, 240 MHz.

Badania wykonano dla roztworów: bezpośrednio po przygotowaniu -1 dniowych, dla roztworów 2 dniowych oraz 20 dniowych.

Zmiany dystrybucji pola elektromagnetycznego były badane po przejściu przez substancje oraz dla porównania przez warstwy wody i powietrza. Na podstawie otrzymanych skanów dystrybucji za pomocą specjalistycznego oprogramowania skanera określono wartość maksymalną i minimalną amplitudy pola elektromagnetycznego w skanowanym obszarze. Na tej podstawie dokonano analizy porównawczej dystrybucji pola elektromagnetycznego ze względu na rodzaj substancji i aplikowaną częstotliwość. Eksperyment wykonano w trzech seriach pomiarowych, aby uniknąć błędów przypadkowych.

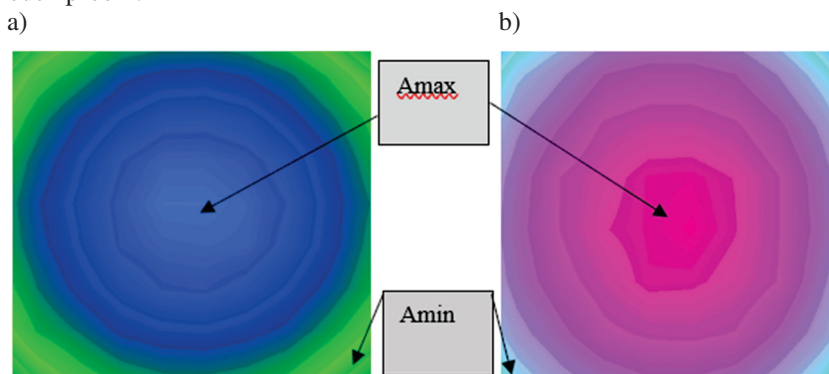
### 3. Rezultaty i dyskusja

Analizując charakterystyki pola elektromagnetycznego penetrującego roztwory wodne BSA-Au brano pod uwagę amplitudę maksymalną sygnału  $A_{max}$  oraz amplitudę minimalną sygnału  $A_{min}$ .

Wartości  $A_{max}$  oraz  $A_{min}$  odczytywano bezpośrednio za pomocą oprogramowania skanera. Charakterystyki aplikowanego pola elektromagnetycznego zebrano po przejściu przez roztwory BSA- Au, w których do BSA 2mg/ml dodawano domieszki Au o stężeniach 0,1; 1 ;10 mg/ml oraz po przejściu przez warstwę powietrza w pojemniku pomiarowym (warstwa referencyjna). Analizy dokonano poprzez parametr  $A_{max}$  oraz poprzez parametr  $A_{min}$ . Wyniki obu analiz porównano.

Rysunek 1 przedstawia skan pola elektromagnetycznego po przejściu przez warstwę referencyjną oraz tej samej grubości warstwę roztworu BSA-Au (10mg/ml) dla częstotliwości 180 MHz. Zaobserwowano zmianę amplitudy pomiędzy impulsem po przejściu przez roztwory, w stosunku do referencyjnej warstwy powietrza co widoczne jest na ilustracji jako zmiana kolorów skanu odzwierciedlająca zmiany amplitudy sygnału. Dokładną analizę zmian amplitudy sygnału po przejściu przez roztwory o różnym stężeniu dla częstotliwości 180, 195, 240 MHz, prezentuje rysunek 2 (Rys.2).

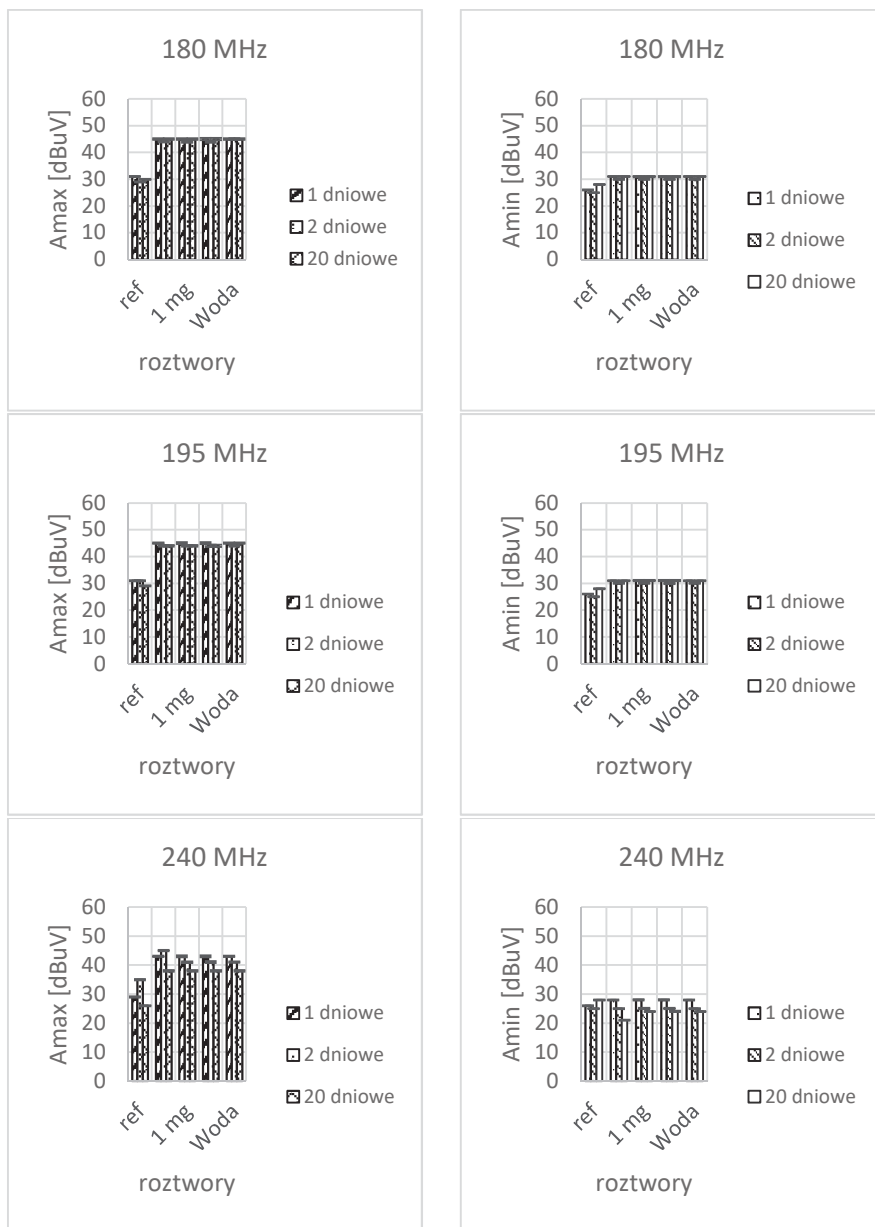
Na rysunku 1 (Rys.1.) zaznaczono również punkt w których amplituda jest maksymalna ( $A_{max}$ ). W większości otrzymanych skanów punkt ten znajdował się w centralnej części skanu. Natomiast punkt o amplitudzie minimalnej ( $A_{min}$ ), zwykle zlokalizowany był na obrzeżach skanu. Taka dystrybucja pola związana była z ułożeniem źródła pola elektromagnetycznego, które przyłożone było centralnie na środek próbki.



Rysunek 1. Skan pola elektromagnetycznego po przejściu przez warstwę referencyjną (a) oraz tej samej grubości warstwę roztworu BSA-Au (10mg/ml)(b) dla częstotliwości 180 MHz

Rysunek 2 (Rys.2) przedstawia zmianę amplitudy sygnału po przejściu przez roztwory oraz warstwę referencyjną i wodę w 1-wszym, 2-gim, 20-stym dniu trwania eksperymentu. Można zauważyć wzrost amplitudy sygnału po przejściu przez roztwór oraz wodę w stosunku do amplitudy impulsu po przejściu przez porównywalną warstwę powietrza. Obserwowany efekt może być tłumaczony jako „efekt radioecha”, który powstaje w wyniku oddziaływania pola elektromagnetycznego

o częstotliwości radiowej z materią. Jak opisano w literaturze [9] ,powodem zaistniałego zjawiska jest rotacja spinów zmieniających fazę i amplitudę oscylujących dipoli.



Rysunek 2. Zmiana amplitudy sygnału po przejściu przez roztwory oraz warstwę referencyjną i wodę w 1-wszym, 2-gim, 20-stym dniu trwania eksperymentu

Zmiana amplitudy po przejściu przez warstwę roztworów może być również konsekwencją radio-szumów, które powstają w substancji pod wpływem pola elektromagnetycznego [10]. Jednym z efektów, które również mogą wystąpić podczas transmisji pola elektromagnetycznego przez roztwory jest efekt Maxwella-Wagnera. Jest to efekt, który związany jest z dyspersją pola elektromagnetycznego w koloidach i emulsjach, a jest on konsekwencją różnych właściwości dielektrycznych medium oraz substancji rozpuszczonej.

Biorąc pod uwagę fakt, że badane roztwory są heterogeniczne, obserwowana dyspersja pochodzi najprawdopodobniej od ładunku oddziałującego wewnątrz materiału. Zjawisko to jest konsekwencją zmian fazy pola w wyniku oddziaływania z zawiesiną. Obserwowane zmiany dystrybucji pola elektromagnetycznego po przejściu przez roztwory o różnym stężeniu mogą być również wytłumaczone za pomocą modelu Grossa, który stanowi częściowe wytłumaczenie zmian właściwości dielektrycznych.

Sprowadza się on do wyjaśnienia przenikalności elektrycznej ( $\epsilon$ ) oraz przewodności ( $\sigma$ ) roztworu w oparciu o asymetryczne rozmieszczenie ładunku w pobliżu cząsteczek i na ich powierzchni.

Ruch pojedynczego jonu w medium w pobliżu cząsteczki zależy od znaku jonu na powierzchni cząsteczki. Jeżeli jony są tego samego znaku, wtedy ładunek z medium swobodnie dyfunduje do cząsteczki.

Jeżeli natomiast ładunki jonów są przeciwne, wtedy jony medium muszą „podróżować” dookoła cząsteczki, tworzą się wtedy chmury ładunku elektrycznego, które kumulują się blisko siebie dając wzrost do indukowanych momentów dipolowych, stąd duża przenikalność dielektryczna zawiesin.

W badanym roztworze (podobnie jak w przypadku białek) powierzchnia cząsteczki jest wysoko-ładunkowa, dlatego też efekt przedkłada się na zmianę parametrów dielektrycznych, co w konsekwencji prowadzi do obserwowanych zmian w dystrybucji pola elektromagnetycznego [11].

Tabela 1. Względna zmiana amplitudy sygnału ( $\Delta A$ ) po przejściu przez roztwory oraz wodę w stosunku warstwy referencyjnej w częstotliwościach 180, 195, 240 MHz

1-dniowe			2-dniowe			20 dniowe		
0,1mg/ml			0,1 mg/ml			0,1 mg/ml		
f[MHz]	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$
180	14 ± 0,354	24 ± 4	15 ± 0,354	25 ± 4	15 ± 0,36	25 ± 4		
195	14 ± 0,27	24 ± 3	13 ± 0,264	23 ± 3	15 ± 0,27	25 ± 3		
240	14 ± 0,315	25 ± 3	10 ± 0,308	18 ± 3	12 ± 0,315	24 ± 3		
1mg/ml			1 mg/ml			1 mg/ml		
f[MHz]	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$	$\Delta A = A_{sub} - A_{ref}$	$\Delta A / A_{ref} [\%]$
180	14 ± 0,315	24 ± 3	15 ± 0,308	25 ± 3	15 ± 0,342	25 ± 3		
195	14 ± 0,383	24 ± 4	13 ± 0,374	23 ± 4	15 ± 0,258	25 ± 3		
240	14 ± 0,27	25 ± 3	14 ± 0,264	25 ± 3	12 ± 0,301	24 ± 3		

10mg/ml				10 mg/ml				10 mg/ml			
f[MHz]	$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]
180	14 ± 0,315	24 ± 3		15 ± 0,308	25 ± 3		15 ± 0,33	25 ± 3			
195	14 ± 0,383	24 ± 4		13 ± 0,374	23 ± 4		15 ± 0,27	25 ± 3			
240	14 ± 0,27	25 ± 3		14 ± 0,27	25 ± 3		12 ± 0,287	24 ± 3			
woda				woda				woda			
f[MHz]	$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]		$\Delta A=A_{sub}-A_{ref}$	$\Delta A/A_{ref}$ [%]
180	14 ± 0,308	24 ± 3		14 ± 0,354	24 ± 4		15 ± 0,3	25 ± 3			
195	14 ± 0,374	24 ± 4		13 ± 0,264	23 ± 3		14 ± 0,228	25 ± 2			
240	14 ± 0,27	25 ± 3		14 ± 0,308	25 ± 3		12 ± 0,266	24 ± 3			

Z analizy wykresów (Rys.2.) oraz tabeli 1 (Tab.1.) wynika, że decydujący wpływ na charakterystykę impulsu przechodzącego przez roztwory ma rozpuszczalnik. Otrzymano, iż pole elektromagnetyczne oddziałuje w sposób selektywny z badanymi roztworami ze względu na aplikowaną częstotliwość. Podobieństwo w dystrybucji pola zauważono dla częstotliwości 180, 195 MHz, gdzie charakter dystrybucji pola w wodzie i w roztworach był bardzo podobny w dniach 1-wszym, 2-gim, 20-stym, natomiast innego typu charakter zmian wykazano dla 240 MHz, gdzie największą amplitudę sygnału zauważono dla próbek świeżych (1-dniowych, 2-dniowych) a najmniejszą dla próbek 20 dniowych.

Zaobserwowane zmiany amplitudy analizowano poprzez parametry  $A_{max}$  i  $A_{min}$ . Otrzymano podobny charakter obserwowanych efektów.

Tabela 1 prezentuje względną zmianę amplitudy sygnału ( $\Delta A$ ) po przejściu przez roztwory oraz wodę w stosunku warstwy referencyjnej w częstotliwościach 180, 195, 240 MHz. Otrzymane zmiany plasują się w przedziale (18-25%) w zależności od aplikowanej częstotliwości oraz rodzaju badanej substancji.

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można powiedzieć, że pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej oddziałuje w sposób selektywny z badanymi substancjami. Charakter zmian zależny był od częstotliwości aplikowanego pola. Z analizy amplitudy impulsu po przejściu przez wodę, roztwory oraz referencyjną warstwę powietrza widać, że decydujący wpływ na otrzymane efekty dystrybucyjne miał rozpuszczalnik. Zauważone zmiany w amplitudzie sygnału zawierały się w przedziale (18-25%) w zależności od aplikowanej częstotliwości oraz rodzaju badanej substancji.

Obserwowane wzmocnienie amplitudy sygnału wytłumaczono za pomocą: efektu radioecha, efektu Maxwella-Wagnera oraz modelu Grossa, który sprowadza się on do wyjaśnienia przenikalności elektrycznej ( $\epsilon$ ) oraz przewodności ( $\sigma$ ) roztworu w oparciu o asymetryczne rozmieszczenie ładunku w pobliżu cząsteczek i na ich powierzchni.

Szczegółowe teoretyczne analizy prezentowanych rezultatów są bardzo skomplikowane ze względu na wiele różnych zjawisk mogących mieć miejsce podczas transmisji pola elektromagnetycznego przez próbkę: mogą to być odbicia,

załamania, lokalne rezonanse. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że eksperyment prowadzony był w polu bliskim, gdzie składowe pola elektrycznego (E) i magnetycznego (H) fluktuują.

## 5. Podziękowania

Praca została współfinansowana dzięki European Union Erasmus + Programme for Education under KA2 grant (project no 2020-1-PL01-KA203-082197) "innovations for Big Data in a Real World".

## LITERATURA

1. TADEUSIEWICZ R., WAJS W.: Informatyka medyczna, Uczelniane wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.
2. LEWCZUK B., REDLARSKI G., ŻAK A., ŻÓTKOWSKA N., PRZYBYLSKA-GORNOWICZ B., KARWCZUK M.: Influence of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields on the Circadian System: Current Stage of Knowledge, (2014), 169459.
3. BOLKOWSKI S.: Elektrotechnika, Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1998.
4. SINGH S., KAPOOR N.: Health implications of electromagnetic field, mechanisms of action and research needs, *Advances in Biology*, (2014), 198609.
5. MONTROSE M.: Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers, 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2000.
6. SAYEGH A., JENU M.: Evaluation of radiated emission of a printed circuit board attached with cables, 3<sup>rd</sup> International Conference on Electric and Electronics (EEIC), (2013) 195-198.
7. LI Y., SU J., CAVACO-PAULO A.: Laccase-catalyzed cross-linking of BSA mediated by tyrosine, *International Journal of Biological Macromolecules* 166, (2021), 798-805.
8. SOLDATKIN O. O., SOLDATKINA O.V., POLIPONSKIY I., RIEZNICHENKO L. S., GRUZINA T.G., DYBKOVA S.M., DZYADEVYCH S.V., SOLDATKIN A.P.: Application of gold nanoparticles for improvement of analytical characteristics of conductometric enzyme biosensors. *Applied Nanoscience*, 12 (2022), 995–1003.
9. POLK E., POSTOW: Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Praca zbiorowa, Wyd 2. CRC Press, 1996.
10. SZÓSTKA J: Fale i anteny, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.

11. KŁOS-WITKOWSKA A., V.MARTSENYUK.: Badanie oddziaływań promieniowania niejonizującego z roztworami poprzez analizę skanów dystrybucji pola elektromagnetycznego w zakresie fal radiowych, wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej 2019.