

Destabilizacja biosensorów na podstawie zmian impulsu elektromagnetycznego i absorpcji

Aleksandra Kłos-Witkowska, Vasyl Martsenyuk

Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

Streszczenie: Podczas realizacji pracy, za pomocą specjalnie skonstruowanego układu pomiarowego, zbadano utratę stabilności komponenta warstw receptorowych biosensorów na podstawie zmian kształtu impulsu elektromagnetycznego oraz współczynnika absorpcji. Przeprowadzone badania wykazały zmiany w kształcie impulsu i jego amplitudzie po przejściu przez badane substancje. Zmiany te zależały od rodzaju substancji oraz częstotliwości impulsu i pola elektromagnetycznego. Wykazano nieznaczne różnice w kształcie impulsu po przejściu przez badaną substancję – dla różnych roztworów wodnych Albuminy Wołowej (świeżym oraz dwumiesięcznym). Wyznaczono współczynniki absorpcji dla roztworu jednodniowego oraz dla roztworu mającego 53, 58, 60, 63, 65 dni. Przeprowadzone badania nad zmianami konformacyjnymi białka, jakie zachodzą z upływem czasu, wykazały możliwe zmiany strukturalne jako wynik procesów denaturacji i agregacji.

Słowa kluczowe: biosensor, BSA, stabilność, pole elektromagnetyczne, impuls

1. Wprowadzenie

W ostatnim czasie obserwujemy wzmożone zainteresowanie biosensorami ze względu na uniwersalność ich zastosowania i precyzję działania. Biosensory powszechnie stosowane są w diagnostyce medycznej [1], między innymi do pomiaru glukozy [2, 3] czy wykonywania testów w celu monitorowania stanu zdrowia [4], w przemyśle spożywczym do analizy świeżości produktów [5, 6], w ochronie środowiska do monitorowania zanieczyszczeń [7, 8]. Prace nad biosensorami rozwijają się równolegle w dwóch nurtach: teoretycznym przez tworzenie modeli matematycznych [9, 10] i eksperymentalnym [11–13]. Kluczowym elementem konstrukcji biosensorów są warstwy receptorowe, których zadaniem jest detekcja badanego analitu. Oddziaływanie analitu z warstwą receptorową jest podstawą precyzji pomiarów. Na przestrzeni kilkunastu lat obserwuje się wzmożone zainteresowanie biosensorami zarówno przez grupy badawcze, na co wskazuje wzrastająca liczba publikacji w bazach naukowych Web of Science czy Scopus (np. Web of Science liczba publikacji 2010 r. to 2980, zaś w 2024 r. już 7243), jak i wśród przedstawicieli przemysłu, którzy w związku z rosnącymi możliwościami detekcyjnymi urządzeń liczą na potencjalne zyski finansowe. Widać zatem, że temat jest aktualny.

Autor korespondujący:

Aleksandra Kłos-Witkowska, aklos@ubb.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 05.06.2025 r., przyjęty do druku 04.09.2025 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

Stabilność warstw receptorowych, a w szczególności ich komponentów, jest niezwykle istotna ze względu na niezawodność biosensorów i precyzję ich działania. Wszelkiego rodzaju zmiany strukturalne w komponencie biosensora, a tym samym w warstwie receptorowej mogą być przyczyną obniżenia skuteczności detekcji oraz zafałszowania wyników pomiarowych, dlatego też aktywnie prowadzone są badania nad stabilnością tych warstw i ich komponentów [14]. Z tego względu niezwykle ważne jest znalezienie skutecznych metod monitorowania tych zmian i zapobiegania im. W prezentowanej pracy podjęto próbę analizy utraty stabilności komponenta warstwy receptorowej, jakim jest Albumina Surowicy Wołowej (BSA) przez zmianę impulsu elektromagnetycznego oraz współczynnika absorpcji. Badane białko jest powszechnie stosowane jako materiał sieciujący w warstwach receptorowych biosensorów. Proces starzenia się badanej proteiny oraz ich wpływ na sygnały elektromagnetyczne może dostarczyć cennych informacji na temat stabilności warstw i może przełożyć się na zastosowanie w konstrukcji biosensorów.

W prezentowanej pracy zaproponowano niestandardową metodologię bazującą na analizie kształtu impulsu elektromagnetycznego oraz współczynnika absorpcji, co pozwala na śledzenie zmian denaturacyjnych oraz agregacyjnych białka. Przeprowadzone badania dostarczają nowych informacji na temat sposobu monitorowania stabilności komponenta warstw receptorowych, jakim jest BSA. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane do opracowania nowej generacji biosensorów. Celem prezentowanej pracy jest zbadanie zmian zachodzących w strukturze komponenta matrycy biosensora (BSA) na podstawie analizy odpowiedzi badanego układu na aplikowane pole elektromagnetyczne. Przeprowadzone badania skoncentrowały się na:

- (I) określeniu wpływu różnych częstotliwości aplikowanego pola i różnych kształtów impulsu (sinus, prostokąt) na badaną proteinę,

- (II) identyfikacji zmian konformacyjnych zachodzących wraz z upływem czasu,
- (III) ocenę przydatności metody do śledzenia zmian w warstwach receptorowych biosensorów.

Kolejne rozdziały prezentowanego artykułu zawierają szczegółowy opis eksperymentu, wyniki badań oraz ich analizę i interpretację pod kątem stabilności białka stosowanego w warstwach receptorowych biosensorów.

2. Materiał i metoda

Do badań wpływu pola elektromagnetycznego na materię użyto specjalnie skonstruowanego stanowiska pomiarowego składającego się z: generatora WON AG GS1F, oscyloskopu XDS3102A, sondy pomiarowej wraz ze specjalnym stojakiem.

Badania zostały zaprojektowane i wykonane w trzech etapach:

- (I) Zbadanie zmian w kształcie i amplitudzie impulsu po przejściu przez: wodę, powietrze, roztwór wodny Albuminy Wołowej (BSA) (2mg/ml) (BSA 1-dniowe), roztwór wodny Albuminy Wołowej (BSA) (2 mg/ml) roztwór dwumiesięczny (BSA 2-miesięczne). Badania wykonano dla trzydziestu pięciu częstotliwości (0,1; 0,2; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2; 2,1; 2,2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,3; 4,4; 4,5; 4,6; 4,7; 4,8; 4,9; 5 MHz) dokonując aplikacji pola poprzez impulsy: sinusoidalny i prostokątny. Celem tego etapu było zbadanie podatności substancji na pole, określenie różnic impulsu po przejściu przez badane substancje na podstawie zmiany jego kształtu i amplitudy. Określenie czy możliwe jest zastosowanie tego typu badań do określenia zmian strukturalnych w badanym roztworze na podstawie zmian w kształcie widma
- (II) Badanie efektu stabilności badanego roztworu białkowego. (Badanie zmian strukturalnych zachodzących w roztworze wraz z czasem. Spośród badanych częstotliwości wybrano te których kształt był optymalny a sygnał czysty (1, 2, 5 MHz), ale skoncentrowano się na efekcie stabilności badanego białka, która zmieniała się wraz z czasem. Badania wykonano dla roztworów wodnych Albuminy Wołowej (2 mg/ml) dla roztworów jednodniowego (BSA_1d), dla roztworu mającego 53 dni (BSA_53d); 58 dni (BSA_58d), 60 dni (BSA_60d), 63 dni (BSA_63d), 65 dni (BSA_65d). Badania wykonano w trzech seriach pomiarowych, aby wyeliminować błędy przypadkowe. W badaniach wykorzystano Albuminę Wołową firmy Sigma oraz wodę demineralizowaną.
- (III) Dokonano analizy zachodzących zmian w roztworze na podstawie wyznaczenia współczynników absorpcji. Zdefiniowano wnioski.

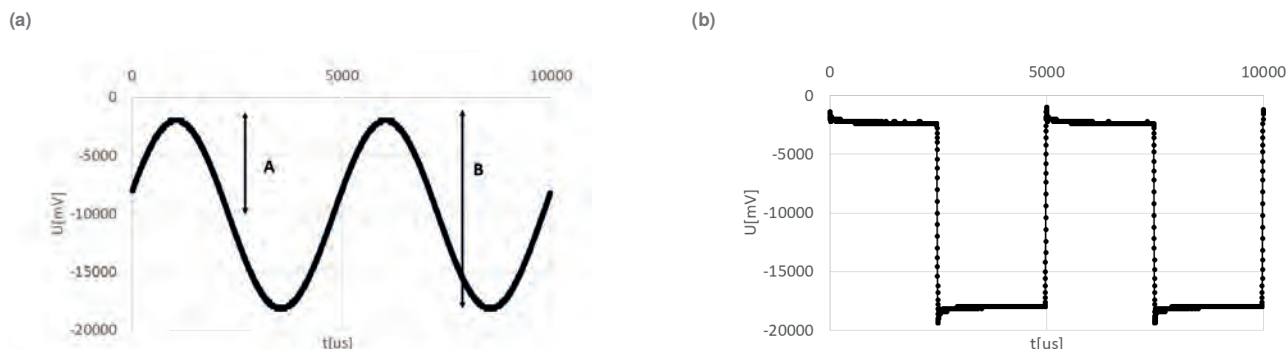
Osiągnięciem i zaletą pracy jest stosowanie niestandardowej metody do śledzenia utraty stabilności proteiny wraz z czasem. Proteiny powszechnie wykorzystywanej do sieciowania warstw receptorowych w biosensorze. W tym celu zaprojektowano i stworzono specjalny układ pomiarowy. Dzięki przeprowadzonym badaniom stworzono dużą bazę danych 1818 widm, którą przeanalizowano i wyciągnięto wnioski na temat dystrybucji pola elektromagnetycznego po przejściu przez próbkę oraz możliwych odpowiedzi układu zmieniającego się wraz z czasem. Najciekawszym elementem pracy jest śledzenie zmian konformacyjnych w białku wykorzystywanym do sieciowania w warstwach receptorowych biosensorów na podstawie wyznaczonych współczynników absorpcji.

3. Rezultaty i dyskusja

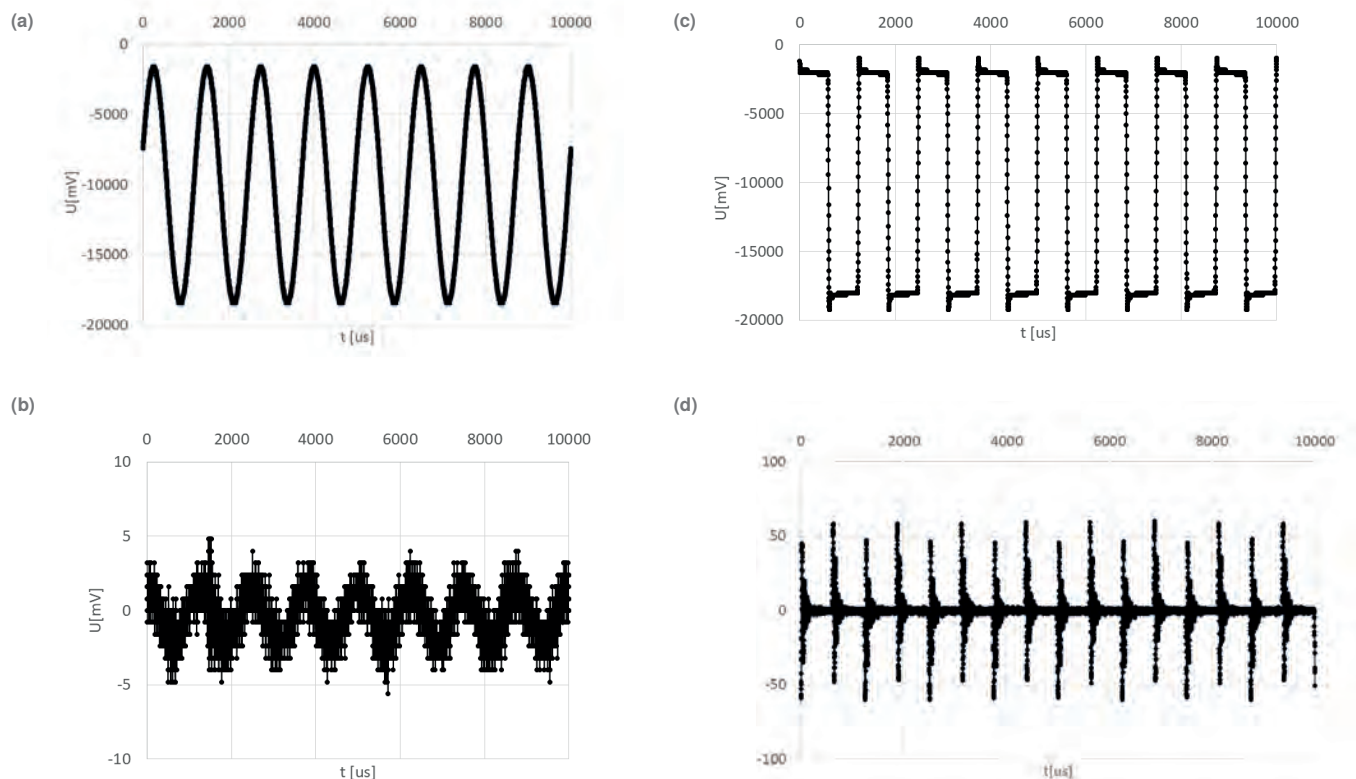
Na Rysunku 1 przedstawiono przykładowe widmo z oscyloskopu dla 10 000 punktów pomiarowych (próbkowanie sygnału następowało z krokiem 0,02 μ s) ukazujące sinusoidalny (Rys. 1a) oraz prostokątny (Rys. 1b), periodyczny przebieg. Na wykresie (Rys. 1a) oznaczono parametr „B”, określany jako wartość międzyszczytowa, której średnia wartość dla całego spektrum została automatycznie pobrana z oscyloskopu. Połowa wartości szczytowej, oznaczona jako „A”, odpowiada amplitudzie, która była następnie stosowana w dalszych analizach. Takie samo oznaczenie dotyczy przebiegu prostokątnego (Rys. 1b).

Kolejne wykresy (Rys. 2) przedstawiają zmiany amplitudy oraz kształtu impulsu dla impulsu sinusoidalnego (Rys. 2b) oraz dla impulsu prostokątnego (Rys. 2d) po przejściu przez roztwór BSA. Zbadano otrzymaną odpowiedź układu na przyłożone pole elektromagnetyczne. Dla porównania umieszczono również sygnały wejściowe sinusoidalne (Rys. 2a) oraz prostokątne (Rys. 2c).

Po przejściu przez roztwór BSA zaobserwowano wyraźne zmiany kształtu i amplitudy sygnału. Dla przypadku sinusoidalnego widać, że sygnał po przejściu przez absorbent jest znacząco osłabiony (do kilku mV), a także zdeformowany, co sugeruje dużą stratę energii. Widoczne drobne zakłócenia w sygnale wyjściowym mogą wskazywać na obecność szumów, nieliniowości lub efektów propagacyjnych. Podobnie w przypadku sygnału prostokątnego, który charakteryzuje się większą zawartością harmonicznych, po przejściu przez badany układ zaobserwowano przebieg znacznie osłabiony oraz znacząco zdeformowany, prawdopodobnie efekt ten jest spowodowany występowaniem efektów dyspersyjnych, związanych z propagacją fal elektromagnetycznych w badanym ośrodku. Nie ulega jednak wątpliwości, że odpowiedź układu charakteryzująca się zaobserwowanymi zmianami w kształcie oraz amplitudzie może być źródłem cennych informacji na temat



Rys. 1. Przykładowy impuls dla sygnału sinusoidalnego (a) i prostokątnego (b)
Fig. 1. Example pulse for a sinusoidal (a) and rectangular (b) signal



Rys. 2. Przykładowe zmiany w kształcie sygnału i amplitudzie po przejściu przez roztwór BSA dla częstotliwości 0,4 MHz; (a) sygnał wejściowy sinusoidalny, (b) sygnał wyjściowy sinusoidalny, (c) sygnał wejściowy prostokątny, (d) sygnał wyjściowy prostokątny

Fig. 2. Changes in signal shape and amplitude after passing through a solution of BSA at a frequency of 0.4 MHz; (a) sinusoidal input signal, (b) sinusoidal output signal, (c) rectangular input signal, (d) rectangular output signal

właściwości badanego roztworu. Dlatego też przedstawione dalej efekty analizy pozwolą na dokładną interpretację otrzymanych wyników.

Na kolejnych wykresach przedstawiono zależność względnej amplitudy sygnału $A2/A1$ ($A2$ – amplituda wyjściowa; $A1$ – amplituda wejściowa) dla badanych częstotliwości i aplikowanego sygnału sinusoidalnego (Rys. 3a, Rys. 3b, Rys. 3c) oraz sygnału prostokątnego (Rys. 3d, Rys. 3e, Rys. 3f) i dla wybranych substancji: woda, powietrze, BSA 1-dniowe, BSA 2-miesięczne.

Przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować liczne zależności. Biorąc pod uwagę zależność między wodą i powietrzem dla sygnału sinusoidalnego (Rys. 3a) zaobserwowano wzrost względnej amplitudy sygnału ($A2/A1$) wraz ze wzrostem częstotliwości. Podobną zależność zaobserwowano dla roztworów BSA (Rys. 3b). Na Rys. 3a widać, że woda charakteryzuje się wyraźnie wyższą amplitudą względną niż powietrze. W przypadku sygnału prostokątnego (Rys. 3d), cechującego się większą zawartością harmonicznych można powiedzieć, że różnice między wodą a powietrzem mają bardziej fluktuacyjny charakter. Wyższe wartości $A2/A1$ dla wody można przypisać lepszemu przenoszeniu fal przez medium o większej gęstości i mniejszej ściśliwości. Natomiast sygnał prostokątny, będący bardziej złożonym przebiegiem, podlega większej dyspersji i tłumieniu.

Analizując proces zmiany BSA wraz z czasem (denaturację i agregację białka) przez zmianę $A2/A1$ dla różnych typów impulsów (sygnału sinusoidalnego i prostokątnego) (Rys. 3b i 3e) widać, że, świeży roztwór BSA wykazuje nieco większe wartości $A2/A1$ niż roztwór dwumiesięczny, co może wskazywać na zmiany właściwości fizykochemicznych podczas przechowywania. Różnice te mogą być konsekwencją zmian w oddziaływaniach van der Waalsa pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak np. temperatura, promieniowanie czy kontakt z innymi substancjami.

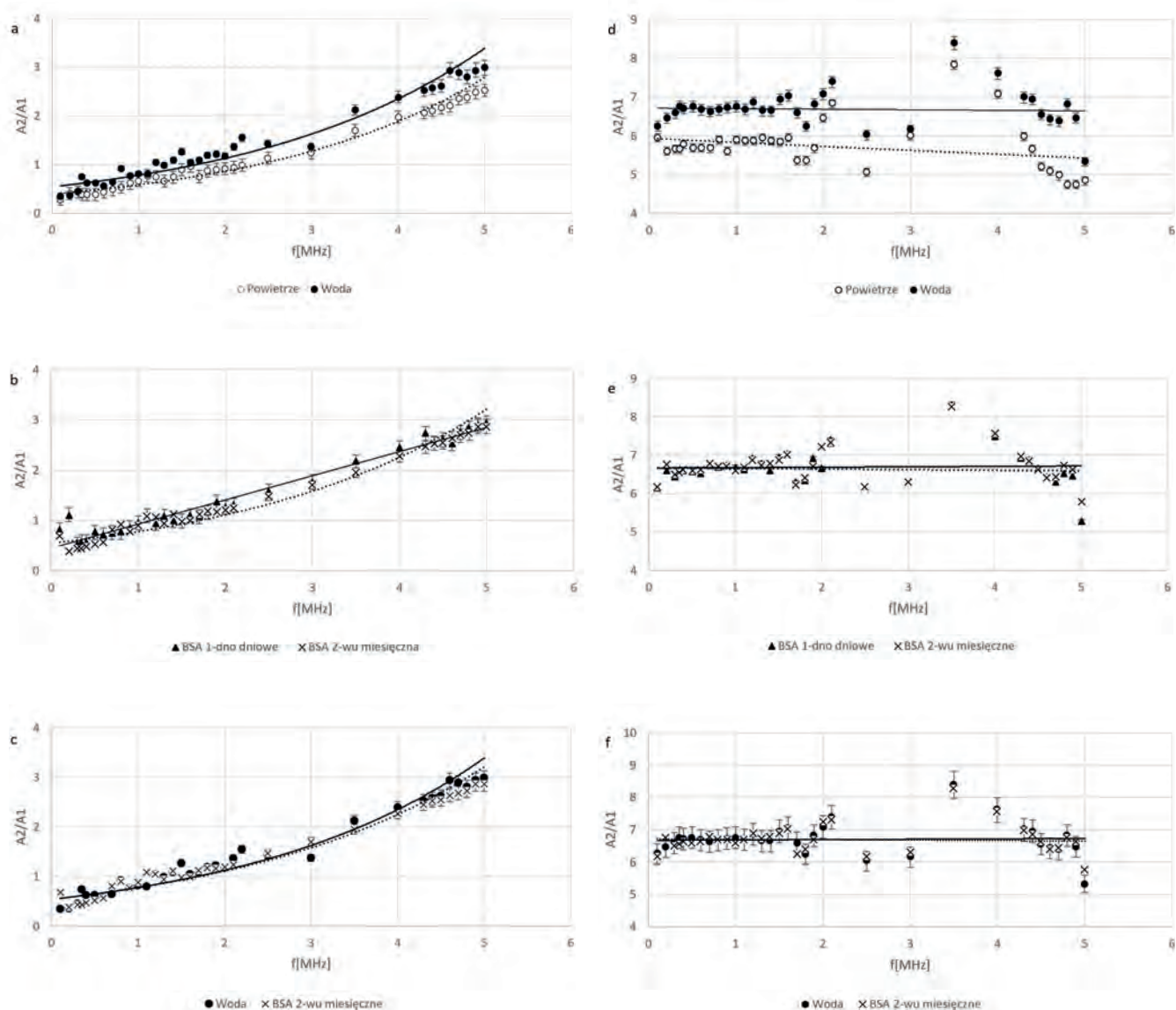
Porównując odpowiedzi układów (woda, roztwór) (Rys. 3c i Rys. 3f) zauważono niezwykle subtelne zmiany, bardzo zni-

kome. Zatem możemy przypuszczać, iż główna odpowiedź układu determinowana jest przez medium (w badanym przypadku przez wodę).

Analizując otrzymane zależności można powiedzieć, że zauważalne są wyraźne różnice w amplitudzie sygnału między wodą a powietrzem. Występują też subtelne różnice między roztworami BSA świeżym i BSA dwumiesięcznym oraz nieznaczne różnice między wodą a roztworem. Charakter zmian, jednakowy dla impulsu sinusoidalnego i prostokątnego, aczkolwiek w przypadku impulsu o kształcie prostokąta zauważalne są większe fluktuacje z uwagi na większą zawartość harmonicznych.

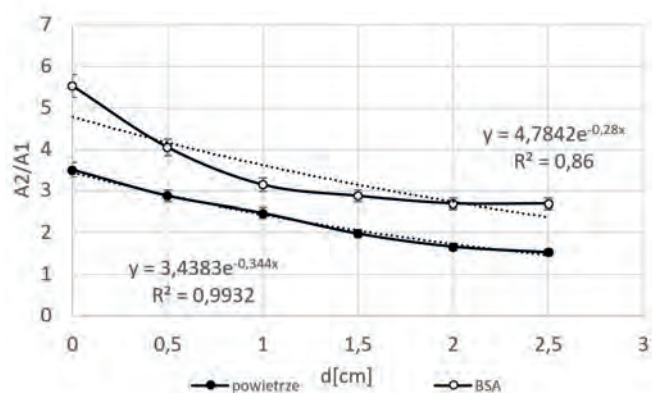
Aby dokonać głębszego wglądu we właściwości badanych układów a w szczególności na procesy związane ze zmianą stabilności szkieletu proteinowego na podstawie odpowiedzi na aplikowane pole elektromagnetyczne, wyznaczono współczynniki absorpcji w oparciu o regresję liniową. Biorąc pod uwagę względne zmiany amplitudy sygnału ($A2/A1$), gdzie $A2$ – amplituda wyjściowa; $A1$ – amplituda wejściowa) w funkcji grubości próbki (zmienna objętość) oraz filtrując otrzymaną zależność jako $y = ae^{-ux}$, (zależność ta jest powszechnie stosowana do wyznaczania współczynników absorpcji [15, 16]) wyznaczono współczynniki absorpcji jako parametr „u” (jego wartość bezwzględna). Sposób wyznaczania współczynników absorpcji przedstawia Rys. 4. Przykładowo dla roztworu BSA i dla porównania dla powietrza. Na wykresie znajduje się także współczynnik R^2 mówiący o stopniu dopasowania linii trendu do danych eksperymentalnych. Został on wyznaczony automatycznie podczas dopasowania linii trendu.

W dalszej kolejności skupiono się na badaniach procesu starzenia się próbek (utrąty stabilności szkieletu proteiny) wraz z czasem przez wyznaczenie współczynników absorpcji. Badania przeprowadzono dla impulsu sinusoidalnego, ponieważ impuls prostokątny wykazywał większe fluktuacje. Spośród badanych częstotliwości wybrano 1, 2 i 5 MHz. Natomiast poszerzono spektrum badanych układów. I tak badania wykonano dla roztworów świeżych (BSA 1-dniowego) oraz dla roztworów po 53,



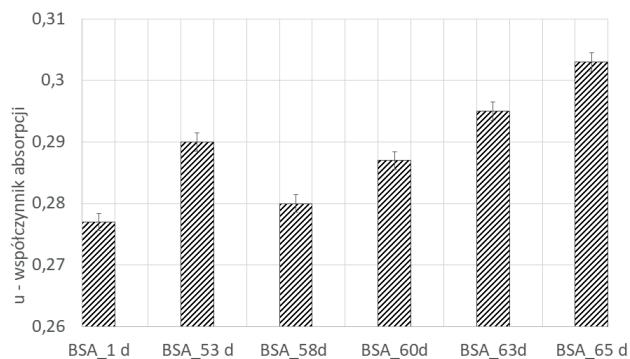
Rys. 3. Zależność względnej amplitudy sygnału A_2/A_1 (A_2 – amplituda wyjściowa; A_1 – amplituda wejściowa) dla badanych częstotliwości i aplikowanego sygnału sinusoidalnego (a, b, c) oraz sygnału prostokątnego (d, e, f) i dla wybranych substancji: woda, powietrze, BSA 1-dniowe, BSA 2-miesięczne

Fig. 3. Relative signal amplitude dependence A_2/A_1 (A_2 – output amplitude; A_1 – input amplitude) for the tested frequencies and applied sinusoidal signal (a, b, c) and rectangular signal (d, e, f) and for selected substances: water, air, 1-day BSA, 2-month BSA



Rys. 4. Względna amplituda sygnału w funkcji grubości próbki. Wyznaczanie współczynników absorpcji dla sygnału sinusoidalnego. Dla przykładu powietrza i BSA

Fig. 4. Relative signal amplitude as a function of sample thickness. Determination of absorption coefficients for sinusoidal. For example, in air and BSA



Rys. 5. Wartości współczynników absorpcji dla roztworów BSA (1, 53, 58, 60, 63, 65) dniowych i częstotliwości 5 MHz

Fig. 5. Absorption coefficient values for BSA solutions (1, 53, 58, 60, 63, 65) days and 5 MHz frequencies

Tab. 1. Wartości współczynników absorpcji dla roztworów BSA (1, 53, 58, 60, 63, 65) dniowych i częstotliwości: 1, 2, 5 MHz
Tab. 1. Absorption coefficient values for BSA solutions (1, 53, 58, 60, 63, 65) days and frequencies: 1, 2, 5 MHz

f [MHz]	BSA_1 d	BSA_53 d	BSA_58d	BSA_60d	BSA_63d	BSA_65 d
1	0,06 ± 0,003	0,045 ± 0,002	0,04 ± 0,002	0 ± 0,02	0,1 ± 0,004	0,1 ± 0,003
2	0,04 ± 0,002	0,036 ± 0,002	0,08 ± 0,004	0 ± 0,01	0 ± 0,002	0,1 ± 0,003
5	0,28 ± 0,014	0,29 ± 0,015	0,28 ± 0,014	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,015	0,3 ± 0,015

58, 60, 65 dniach. Wyznaczono współczynniki absorpcji. Otrzymane wyniki przedstawia Rys. 5 oraz Tabela 1.

Analizując wyniki przedstawione na rys. 5 widać, że współczynnik absorpcji początkowo wynosi ok. 0,277 dla 1-dniowego roztworu BSA, białko jest w stabilnym, natywnym stanie, więc absorpcja jest niższa. Wraz z upływem czasu (po 53 dniach) białko może ulegać stopniowej denaturacji lub agregacji, co zmienia jej zdolność do absorpcji. Po 58 i 60 dniach obserwujemy spadek absorpcji w porównaniu do wartości z 53 dnia, ale nadal są one wyższe niż dla roztworu 1-dniowego. Sugeruje to możliwą rekonfigurację strukturalną lub częściową sedymentację agregatów. Ponowny wzrost absorpcji po 63–65 dniach może wynikać z dalszej agregacji większych struktur białkowych, które silniej rozpraszają pole elektromagnetyczne. Badane roztwory były roztworami wodnymi (nie były buforowane), zatem możliwe są zmiany pH roztworu wraz z czasem oraz reakcje chemiczne takie jak utlenienie, które również mogą prowadzić do zmian konformacyjnych. Dla 5 MHz fale elektromagnetyczne mają krótszą długość fali, co sprawia, że są bardziej wrażliwe na zmiany struktury cząsteczek w roztworze. Wzrost absorpcji w czasie sugeruje, że zmiany w roztworze BSA skutkują większym tłumieniem fali elektromagnetycznej, co jest zgodne z hipotezą o agregacji i denaturacji białka. Podsumowując, współczynnik absorpcji roztworu BSA zwiększa się wraz z czasem, co sugeruje zmiany strukturalne białka (agregacja, denaturacja, zmiany oddziaływań międzycząsteczkowych). Krótkotrwałe spadki (np. po 58–60 dniach) mogą wskazywać na przejściowe procesy, takie jak restrukturyzacja agregatów. Najwyższą absorpcję odnotowano po 65 dniach, co sugeruje silne zmiany w roztworze.

Dokonując interpretacji danych w Tabeli 1 można wnioskować, że w przypadku niskiej częstotliwości (1 MHz) fale elektromagnetyczne mają większą długość fali i są mniej podatne na rozpraszanie na małych strukturach, co może prowadzić do nieregularnych fluktuacji absorpcji w wyniku procesów agregacji i rozpadu struktur białkowych. W zakresie 2 MHz mają większą czułość na zmiany w roztworze niż przy 1 MHz, co może tłumaczyć silniejsze oscylacje. Może to być efekt dynamicznych zmian konformacyjnych roztworów białkowych BSA, które początkowo tworzą agregaty, a następnie ulegają fragmentacji. Wyższa częstotliwość (5 MHz) oznacza krótszą długość fali, przez co fale elektromagnetyczne są bardziej podatne na rozpraszanie i absorpcję w wyniku obecności cząsteczek białka. Wzrost absorpcji w czasie sugeruje, że BSA przechodzi stopniowe zmiany konformacyjne, prowadzące do zwiększonego rozpraszania energii. Wyznaczone współczynniki absorpcji pozwoliły na ocenę stopnia zmian konformacyjnych zachodzących w czasie w badanych roztworach. Początkowa wartość współczynnika absorpcji dla roztworu świeżego wynosiła 0,277, co wskazuje na stabilność struktury białkowej. Jednak wraz z wydłużeniem czasu przechowywania zaobserwowano wyraźny wzrost absorpcji (do 0,3 po 65 dniach), co może sugerować zwiększoną agregację białka oraz zmiany w strukturze drugorzędowej. Skokowa zmiana absorpcji między 53 a 58 dniem może świadczyć o zachodzeniu pro-

cesów przejściowych, np. reorganizacji agregatów białkowych lub interakcji międzycząsteczkowych.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały zmiany w kształcie impulsu elektromagnetycznego i jego amplitudzie po przejściu przez badane substancje. Zmiany te zależały od rodzaju substancji oraz zaaplikowanej częstotliwości. Dla impulsu prostokątnego zauważono większe fluktuacje w widmie niż dla impulsu sinusoidalnego, najprawdopodobniej ze względu na większą zawartość harmonicznych. Zauważono różnice w kształcie impulsu między BSA jednodniowym a dwumiesięcznym. Przeprowadzone badania nad możliwymi zmianami konformacyjnymi białka zachodzące wraz z czasem przez wyznaczenie współczynników absorpcji, wykazały możliwe zmiany strukturalne jako wynik procesów: denaturacji i agregacji. Otrzymane wyniki są istotne w kontekście stosowania BSA jako komponentu matrycy w biosensorach, gdzie stabilność strukturalna białka może wpływać na skuteczność detekcji analitu. Jednocześnie wykazano, że przez analizę impulsu pola elektromagnetycznego również można wnioskować na temat możliwych zmian strukturalnych proteiny. Dalsze badania powinny skupić się na mechanizmach odpowiedzialnych za zmiany strukturalne oraz ich wpływie na funkcjonalność biosensorów.

Bibliografia

1. Chandra B., Yuming J., Jehad D., Simil T., Nimer W., Yongjiu L., Mrinal Kanti H., Xiangming X., Erol A.H., Omar M., Osman M.B., Antibody-functionalized MXene-based electrochemical biosensor for point-of-care detection of vitamin D deficiency, “Communications Materials”, Vol. 6, 2025, DOI: 10.1038/s43246-025-00756-9.

2. Adib M., Barrett C., O’Sullivan S., Flynn A., McFadden M., Kennedy E., O’Riordan A., In situ pH-Controlled electrochemical sensors for glucose and pH detection in calf saliva, “Biosensors and Bioelectronics”, Vol. 275, 2025, DOI: 10.1016/j.bios.2025.117234.

3. Bakar A.S.A.A., Hatta S.F.W.M., Soin N., Nouxman M.H.A., Rezali F.A.M., Daut M.H.M., High gain transimpedance amplification for wireless glucose monitoring in a wearable health sensor system, “Analog Integrated Circuits and Signal Processing”, Vol. 120, 2024, 141–153, DOI: 10.1007/s10470-024-02276-x.

4. Khandelwal D., Bhattacharya A., Kumari V., Ranjan K., Mishra V., Leveraging nanomaterials for ultrasensitive biosensors in early cancer detection: a review, “Journal of Materials Chemistry B”, Vol. 13, No. 3, 2025, 802–820, DOI: 10.1039/D4TB02107J.

5. Nath S., Advancements in food quality monitoring: integrating biosensors for precision detection, “Sustainable Food Technology”, Vol. 2, No. 4, 2024, 976–992, DOI: 10.1039/D4FB00094C.

6. Kumar A., Kulshreshtha S., Shrivastava A., Saini A., Biosensors for Food Spoilage Detection: A Comprehensive Review of Current Advances, "Journal of Food Chemistry & Nanotechnology", 2024, 73–82, DOI: 10.17756/jfcn.2024-s1-010.
7. Williams A., Aguilar M., Arachchillage P., Chandra S., Rangan S., Gupta S., Vivancos J., Biosensors for Public Health and Environmental Monitoring: The Case for Sustainable Biosensing, "ACS Sustainable Chemistry & Engineering", Vol. 12, No. 28, 2024, 10296–10312, DOI: 10.1021/acssuschemeng.3c06112.
8. Gavrilas S., Ursachi C., Perța-Crișan S., Munteanu F., Recent Trends in Biosensors for Environmental Quality Monitoring, "Sensors", Vol. 22, No. 4, 2022, DOI: 10.3390/s22041513.
9. Martsenyuk V., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A., Stability Investigation of Biosensor Model Based on Finite Lattice Difference Equations, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, PROMS, Vol. 312, 2020, 297–321, DOI: 10.1007/978-3-030-35502-9_13.
10. Martsenyuk V., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A., Bahrii-Zaiats O., Bernas M., Witos K., Intelligent Big Data System Based on Scientific Machine Learning of Cyber-physical Systems of Medical and Biological Processes, CMIS, 2021, 34–48.
11. Martsenyuk V., Soldatkin O., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A., Berketa K., Operational stability study of lactate biosensors: modeling, parameter identification, and stability analysis, "Frontiers in Bioengineering and Biotechnology", Vol. 12, 2024, DOI: 10.3389/fbioe.2024.1385459.
12. Klos-Witkowska A., Martsenyuk V., Stabilność komponenta sieciującego warstwę receptorową biosensora po dodaniu nanocząstek złota, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 25, Nr 1, 2021, 49–52, DOI: 10.14313/PAR_239/49.
13. Klos-Witkowska A., Martsenyuk V., Badania wpływu promieniowania elektromagnetycznego na komponenty matrycy biosensora, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 27, Nr 4, 2023, 57–63, DOI: 10.14313/PAR_250/57.
14. Klos-Witkowska A., Influence of fractional electromagnetic radiation doses on biosensor matrix component stability, "Acta Physica Polonica A", Vol. 133, No. 1, 2018, 101–104, DOI: 10.12693/APhysPolA.133.101.
15. Polk C., Postow E., Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, 2nd Edition, CRC Press 1995.
16. Klos-Witkowska A., Kajstura K., Effect of UV radiation applied fractionally or continuously on stability of biosensor receptor layer component, "Acta Physica Polonica A", Vol. 138, No. 6, 2020, 781–786.

Destabilisation of Biosensors Based on Changes in Electromagnetic Pulse and Absorption

Abstract: During the work, a specially constructed measuring system was used to examine the loss of stability of the receptor layer components of biosensors based on changes in the shape of the electromagnetic pulse and the absorption coefficient. The tests showed changes in the shape and amplitude of the pulse after it passed through the tested substances. These changes depended on the type of substance and the frequency of the pulse and electromagnetic field. Slight differences in the pulse shape were observed after passing through the tested substances (for different aqueous solutions of bovine albumin – fresh and two months old). Absorption coefficients were determined for a one-day-old solution and for solutions aged 53, 58, 60, 63, 65 days. Studies on conformational changes in the protein over time showed possible structural changes as a result of denaturation and aggregation processes.

Keywords: biosensor, BSA, stability, electromagnetic field, impulse

dr Aleksandra Kłos-Witkowska

aklos@ubb.edu.pl

ORCID: 0000-0003-2319-5974

Adiunkt w Katedrze Informatyki i Automatyki na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski w Bielsku-Białej. Zainteresowania naukowe: sensory i biosensory.



prof. dr hab. Vasyl Martsenyuk

vmartsenyuk@ubb.edu.pl

ORCID: 0000-0001-5622-1038

Profesor w Katedrze Informatyki i Automatyki na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski w Bielsku-Białej. Zainteresowania naukowe: biosensor, systemy dynamiczne, informatyka medyczna.

