



# Usuwanie artefaktów z sygnału EEG z użyciem GAN

Autorzy:

Małgorzata Sokół, dr hab. inż. Marcin Kołodziej

Wydział Elektryczny,  
Politechnika Warszawska

W pracy wykorzystano techniki uczenia maszynowego do oczyszczania sygnału EEG z zakłóceń zwanych artefaktami. Modele w architekturze GAN, zostały wytrenowane na parach sygnałów syntetycznych – czystego oraz zaburzonego artefaktem sygnału.

## Encefalografia

EEG jest powszechnie stosowaną, nieinwazyjną metodą badania aktywności elektrycznej mózgu. Wymaga umieszczenia zestawu elektrod na powierzchni skóry głowy badanego zgodnie z określonym schematem. Najczęściej wykorzystywany jest System 10-20, w którym elektrody rozmieszczone są w odstępach stanowiących 10 lub 20% dostępnego miejsca, uznany za standard w 1958 r przez Międzynarodową Federację Elektroencefalografii i Neurofizjologii Klinicznej. Elektrody są łączone w jeden z dwóch układów zwanych montażem: dwubiegunowy lub referencyjny.

Zapis EEG może rozróżnić u badanego stan snu i czuwania, ale również dostarczać niektórych informacji o czynnościach kognitywnych. Istotnym zastosowaniem elektroencefalografii jest diagnostyka epilepsji i monitorowanie wyładowań padaczkowych. Możliwe jest dzięki temu rozróżnienie niektórych podtypów epilepsji.

Pierwszy zapis aktywności elektrycznej ludzkiego mózgu powstał w 1929r. Jest on powszechnie uznawany za pierwsze badanie EEG na człowieku. Metoda ta, jest dziś powszechnie stosowana ze względu na nieinwazyjność, przenośność i dobrą rozdzielczość czasową. Niestety jest ona również podatna na zakłócenia, czyli powstawanie artefaktów.

## Artefakty

Elektrody podłączane w badaniu rejestrują każdego rodzaju aktywność elektryczną, tak więc zarówno badana aktywność mózgu będzie wytwarzała sygnał, jak i zdarzenia z nią tylko pośrednio lub niezwiązane. W ten sposób powstają tzw. artefakty. Są to zakłócenia zapisu EEG, które mogą interferować z procesami diagnostycznymi. Dzielone są na fizjologiczne - pochodzące z wewnątrz, oraz niefizjologiczne - spoza ciała badanego. Niejednokrotnie sygnał pochodzący z artefaktu może nachodzić na istotne z perspektywy analizy pasma częstotliwości.

Najbardziej znanymi typami artefaktów fizjologicznych są EOG, EMG i ECG.

Artefakty EOG (elektrookulograficzne, oczne) to zaburzenia sygnału o amplitudzie wielokrotnie wyższej niż amplituda sygnału EEG. Występują w paśmie częstotliwości poniżej 4 Hz. Ich przyczyną są zmiany w polu elektrycznym wynikające z ruchów oczu i obserwowane są najczęściej na elektrodach czołowych. Gałki oczne są zazwyczaj lekko naładowane dodatnio na rogówce i ujemnie na siatkówce, przez co zmiana ich orientacji przestrzennej, np. podczas mrugnięcia, może być odnotowana przez aparaturę EEG.

Artefakty EMG (elektromiograficzne, mięśniowe) powstają w wyniku aktywności mięśni badanego. Odnaczają się wysoką amplitudą oraz duże szerszym niż EOG zakresem częstotliwości, bo aż do 200 Hz. Zakłócenia rejestrowane są zazwyczaj na elektrodach najbardziej zbliżonych do poruszanej grupy mięśni.

Artefakty ECG (elektrokardiograficzne, sercowe) wynikają z aktywności mięśnia sercowego i mogą wyglądać podobnie, jak sygnał EKG – mają zazwyczaj częstotliwość ok. 1 Hz oraz amplitudę między 1, a 10 mV. Mogą pojawiać się najczęściej na elektrodach w okolicy lewej skroni.

## Metody oczyszczania sygnału EEG

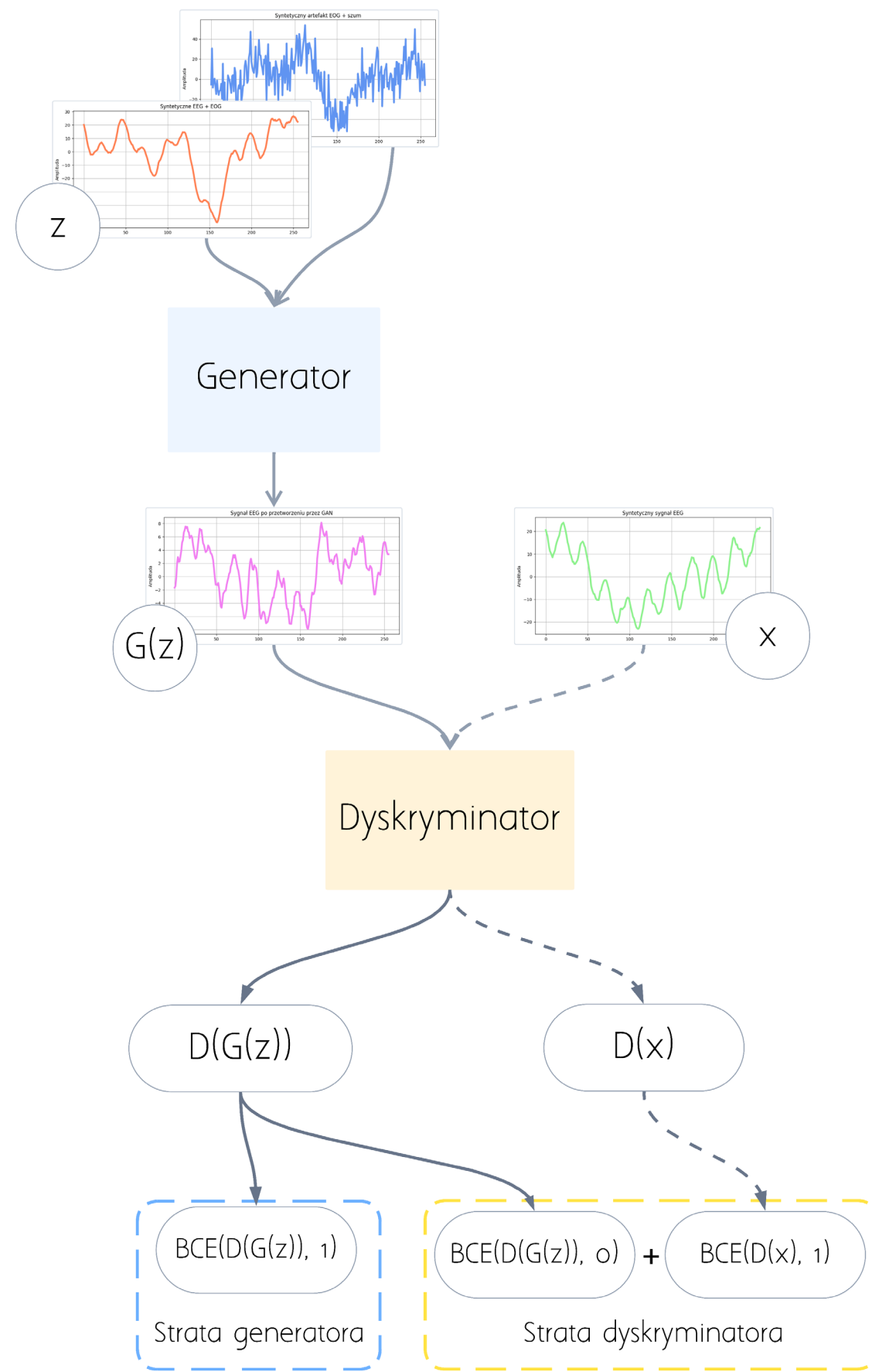
Części sygnału zawierające artefakty mogą zostać odrzucone, aby nie interferować z interpretacją badania. Powstało jednak wiele technik, których celem jest usunięcie z zapisu komponentów artefaktu przy minimalnej stracie czystego sygnału.

W 1970 wprowadzone zostały metody oparte na regresji w dziedzinie czasu. Dalej zaczęto rozwijać techniki z grupy ślepej separacji źródeł. W 1991 do oczyszczania zapisu EEG zastosowano metodę PCA (analiza głównych składowych). W 1997 roku użyto metody analizy składowych niezależnych (ICA) do usuwania artefaktów ocznych. Natomiast ok. roku 2006 zaczęto do podobnych celów stosować CCA (analizę korelacji kanonicznej). W podobny okresie powstawały również metody usuwania artefaktów korzystające z transformacji falkowej, a także technika empirycznej dekompozycji modowej (EMD).

Obecnie dynamicznie rozwijają się metody korzystające z technik uczenia maszynowego. Do zadania oczyszczania artefaktów z sygnału EEG stosowano sieci konwolucyjne (CNN), autoenkodery, sieci GAN oraz sieci transformerowe. Modele GAN wykazały dotąd dobre wyniki.

## Oczyszczanie sygnału z użyciem GAN

W projekcie wykorzystano architekturę GAN złożoną z dwóch modeli konwolucyjnych. Generator oraz dyskryminator trenowane były na parach próbek syntetycznego sygnału EEG, gdzie do jedna próbka z pary posiadała dodany jeden lub więcej wygenerowanych zaburzeń o określonej charakterystyce (przypominającej artefakty EOG lub EMG). Sygnały tworzone przez generator były razem z próbkami niezanieczyszczonymi oceniane przez dyskryminator, klasyfikujący próbki na czyste (oznaczone przez 1) oraz zanieczyszczone (z etykietą 0). Proces uczenia przybliżał próbki generowane do ich niezanieczyszczonych odpowiedników.



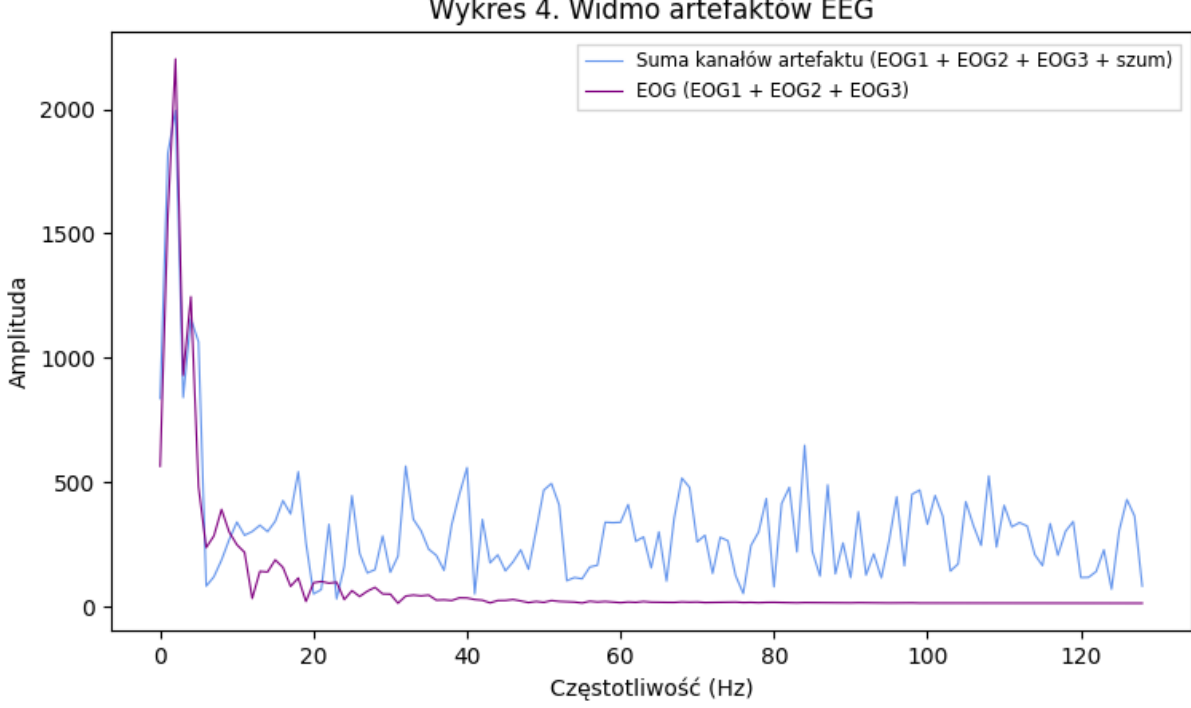
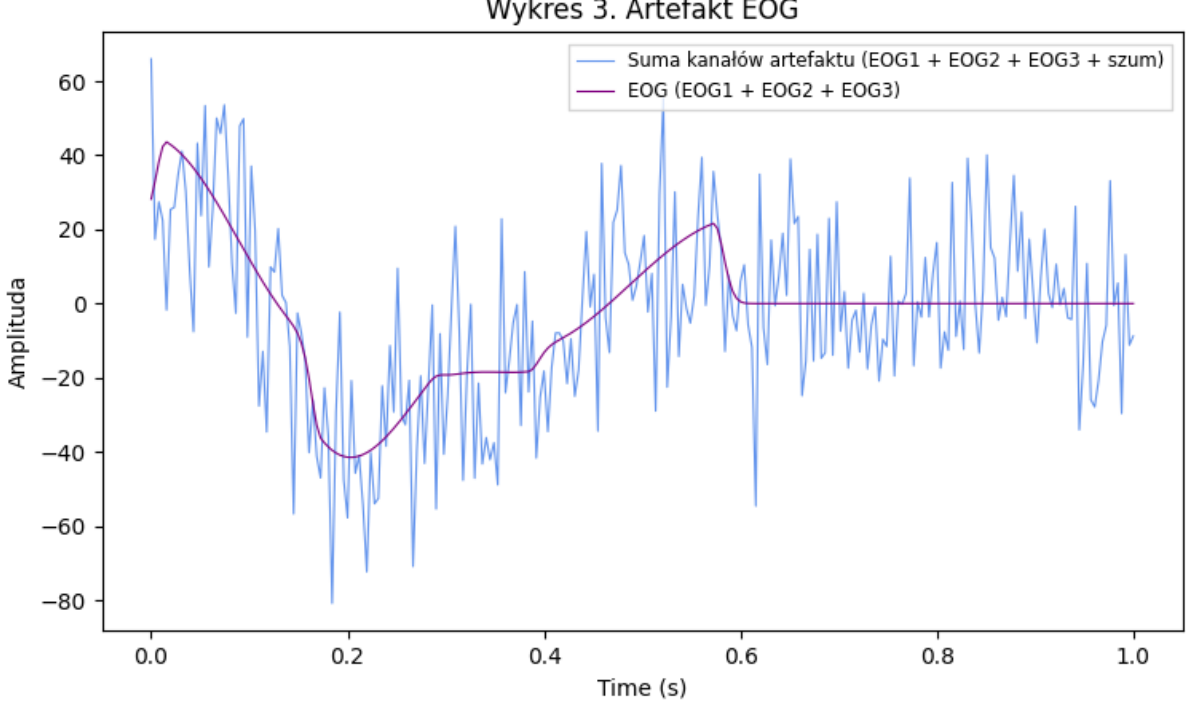
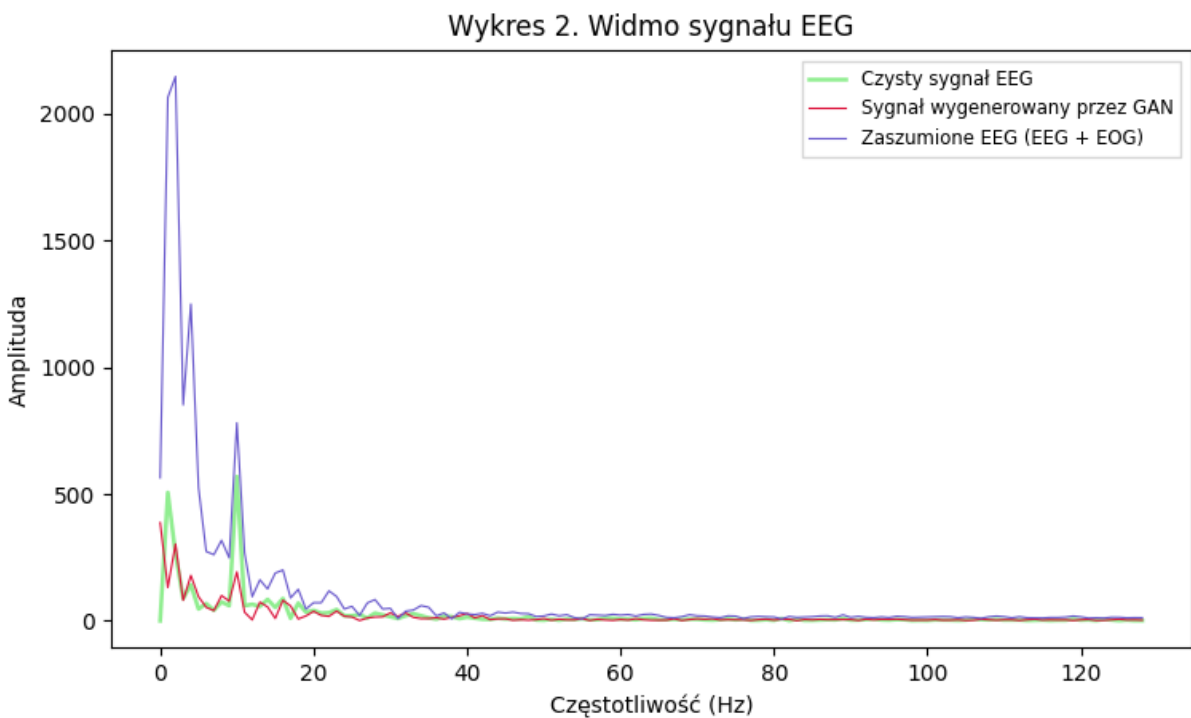
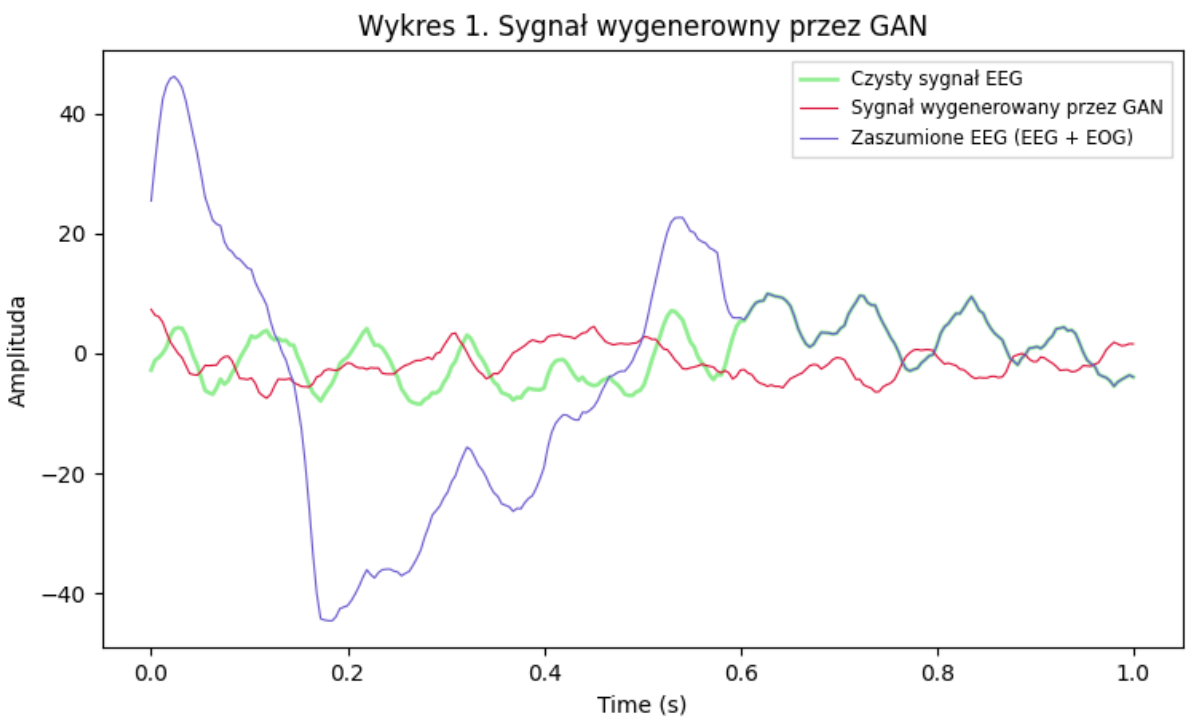
Rysunek przedstawia schemat architektury GAN wykorzystanej w projekcie. U góry, oznaczony przez „z”, jest przykład danych wejściowych generatora, czyli syntetyczny zaburzony artefaktem sygnał (pomarańczowy) oraz kanał zawierający sam artefakt z dodanym szumem (niebieski). Dalej dyskryminator dostający na wejściu próbkę czystą (zielony) lub zrekonstruowaną przez generator (różowy) miał za zadanie przypisać każdej prawdopodobieństwo należenia do czystych próbek. Na dole zobrazowano funkcję straty każdego z modeli opartą o binarną entropię krzyżową (BCE).

	SNR	RMSE	MAE	korelacja
Zbiór danych z pojedynczym artefaktem EOG				
GAN*	1,1826	5,7194	4,5155	0,5169
GAN	-6,2726	12,7055	10,9303	0,1400
Brak oczyszczania	-11,7449	24,2738	19,5299	0,2500
Zbiór danych z pojedynczym artefaktem EMG				
GAN*	2,5425	4,8283	3,7959	0,7231
GAN	-7,8765	14,9320	12,8807	0,1776
Brak oczyszczania	-16,812	41,6887	33,3176	0,1487

\* Modele o najwyższej wartości SNR uzyskanej w drodze uczenia na zbiorze walidacyjnym.

## Podsumowanie

Wyniki potwierdzają, że pomocą GAN możliwe jest uzyskanie próbek zbliżonych do czystego sygnału. Na otrzymywane rezultaty wpływ miał rodzaj zastosowanych modeli, typ oraz ilość wprowadzonych artefaktów. Wyniki odfiltrowywania zaburzeń jednego artefaktu obejmującego całość próbki prezentują się lepiej, niż w przypadku wprowadzenia trzech różnych artefaktów tego samego typu ograniczonych czasowo. Niemniej jednak metoda wydaje się wykazywać szanse dalszej poprawy dokładności odwzorowania w drodze rozwoju.



Wyniki działania nauczonego modelu GAN (linia czerwona) w zestawieniu z oryginalnym sygnałem (linia zielona) oraz sygnałem z trzema artefaktami EOG – wykresy 1, 2. Wykresy 3 i 4 przedstawiają sygnał szumu EOG złożonego z trzech wygenerowanych artefaktów oraz sumę trzech kanałów podawanych dodatkowo na wejście modelu generatora.