# Tytuł

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

,,Quotes”

* Lorem
* Ipsum
* Dolor

*Rys. 1. Podpis rysunku*

1. Nazwisko I., *Tytuł*  
   Rodzaj pracy, Miasto, RRRR

# Abstract

In this study, we employ the BME688 sensor board to differentiate between original and counterfeit perfume samples through their volatile organic compound (VOC) emissions. Utilizing clustering and classification techniques, we analyse the sensor data, mainly gas resistance profiles, to identify distinct patterns that distinguish authentic perfumes from fakes. Our methodology leverages k-means clusteringto effectively classify the time-ordered VOC emissions. In our research we found….

W naszym badaniu wykorzystaliśmy układ sensorów BME688, w celu rozróżnienia próbek oryginalnych perfum i falsyfikatów, poprzez analizę emitowanych lotnych związków organicznych (LZO). Posługując się metodami klastrowania i klasyfikacji, dokonaliśmy analizy danych pochodzących z sensorów, w szczególności profili rezystancji gazu, w celu identyfikacji wzorców odróżniających autentyczne i nieautentyczne perfumy. Nasze podejście bazuje na klastrowaniu metodą k-średnich, by efektywnie klasyfikować uszeregowane czasowo emisje LZO. W toku badania ustaliliśmy, że…

# Streszczenie (wersja Weroniki)

Elektroniczny nos jest czujnikiem gazów, który poprzez pomiary takich cech jak rezystancja czy wilgotność, pozwala na przybliżenie zmysłu węchu. Niniejsza praca podejmuje problem rozróżnienia próbek oryginalnych perfum oraz ich falsyfikatów za pomocą układu sensorów BME688 poprzez analizę emitowanych lotnych związków organicznych (LZO). Posługując się metodami klastrowania szeregowego oraz klasyfikacji, dokonano analizy danych pochodzących z sensorów elektronicznego nosa, w szczególności profile rezystancji gazu, w celu identyfikacji wzorców rozróżniających autentyczne i nieautentyczne perfumy. Nasze podejście bazuje na klastrow metodą k-średnich, by efektywnie klasyfikować uszeregowane czasowo emisje LZO. Badanie doprowadziło do wniosków, że …

# Wstęp

Elektroniczny nos w ostatnich latach stał się popularnym narzędziem w badaniach dotyczących szerokiego wachlarza dyscyplin. System sztucznego węchu został m. in. wykorzystany w badaniach zanieczyszczeń powietrza[1], klasyfikacji czarnej herbaty [2], czy w analizie oddechu pacjentów w celu przewidywania raka płuc [3].

Perfumy, będące przedmiotem codziennego użytku, składają się z mieszaniny związków zapachowych, środków homogenizujących i wzmacniających oraz rozpuszczalnika. W zależności od ilości rozpuszczalnika rozróżnia się perfumy właściwe (ekstrakty perfum), wody perfumowane i wody toaletowe. Mieszanina związków zapachowych oraz środków wzmacniających jest nazywana często kompozycją zapachową, która decyduje o specyficznym zapachu. Kompozycje te są mieszaninami składników, które dzieli się na akordy: bazowy, średni oraz wysoki. Składniki akordu bazowego uwalniają się do powietrza najwolniej oraz nie pachną intensywnie, a nawet nieprzyjemnie. Wśród nich można wyróżnić m. in. ambrę czy piżmo. Akord średni, którego reprezentantami są składniki kwiatowe czy korzenne, charakteryzują się średnią lotnością oraz mniejszą intensywnością zapachu. Składniki akordu wysokiego, takie jak cytrusy czy zioła, wyróżnia największa lotność oraz najintensywniejszy zapach. Istnieją także kategorie zapachów, wśród których można wymienić cytrusowe, kwiatowe, orientalne czy drzewne. Szeroki wachlarz wymienionych zapachów, ich intensywność oraz mnogość występowania w perfumach, skłaniają do postawienia pytania, czy elektroniczny nos jest w stanie odróżnić oryginały perfum od ich tańszych odpowiedników.

# Hardware (Sprzęt/Urządzenie)

Na potrzeby naszych badań wykorzystaliśmy zespół Evaluation Kit Board BME688, będący połączeniem płytki deweloperskiej Adafruit HUZZAH32   
z wbudowanym modułem Wi-Fi ESP32, oraz płytki deweloperskiej BME688 zawierającej osiem sensorów BOSCH BME688. Sensory są zdolne do rejestracji dziesięciu punktów pomiarowych rezystancji gazu, ciśnienia atmosferycznego   
w zakresie od 300 hPa do 1100 hPa, temperatury w szerokim zakresie od -40°C do +85°C oraz wilgotności powietrza w pełnym zakresie. W tabeli poniżej przedstawiono właściwości używanego urządzenia.

Tabela 1.Właściwości Evaluation Kit Board BME688

|  |  |
| --- | --- |
| **Parametry** | |
| Interface | I²C and SPI |
| Średni pobór prądu | 3.9 mA w standardowym trybie pomiaru gazu |
| **Sensor gazu** | |
| Standardowy czas pomiaru | 10.8 s / pomiar |
| Pobór prądu przy pomiarze standardowym | 0.18 mAh (5 pomiarów ~ 1 min) |
| Czas odpowiedzi (τ 33-63%) | < 1 s |
| Odchylenie między czujnikami | +/- 15% +/- 15 |
| **Sensor ciśnienia** | |
| Zakres pomiaru (pełna dokładność) | 300 hPa - 1100 hPa |
| RMS Szumu | 0.12 Pa (odp. 1.7 cm) |
| Błąd czułości | ± 0.25 %  (odp. zmianie o 1 m na wys. 400 m) |
| Przesunięcie współczynnika temperaturowego | ±1.3 Pa/K (odp. ±10.9 cm na 1°C zmiany temperatury) |
| **Sensor temperatury** | |
| Zakres pomiaru (pełna dokładność) | -40°C - +85°C |
| Dokładność bezwzględna | ±0.5°C (0°C - 65°C) |
| **Sensor wilgotności** | |
| Zakres pomiaru (pełna dokładność) | 0% - 100% |
| Czas odpowiedzi (τ0-63%) | 8 s |
| Tolerancja | ± 3 % wilgotności względnej |
| Histereza | ≤ 1.5 % wilgotności względnej |

Źródło: Opracowanie własne.

# Metodologia

Podczas zbierania próbek bardzo istotnym było zachowanie szczególnej ostrożności, by nie zanieczyścić płytki z sensorami ­­­– gdyż nawet niewielkie zabrudzenie powierzchni sensora mogłoby zaburzyć jego odczyty.

Aby uniknąć bezpośredniej ekspozycji sensorów na estry zawarte w badanych wodach perfumowanych, postanowiliśmy nakładać zapachy na paski z gęstego, niezadrukowanego papieru, pochodzącego z tej samej płachty papieru dla maksymalnej powtarzalności testu. W ten sposób przygotowany preparat pozostawiany był do odparowania alkoholu przez minutę. Następnie wraz z płytką preparat umieszczany był w szczelnym worku wykonanym z wysokiej gęstości polietylenu. Po trwającej 30 minut (±1 min.) sesji poboru głównej próbki, pobierany był pomiar poza workiem, samego otoczenia pozbawionego preparatu perfum. Trwający 10 minut (±0.5 min.) pomiar miał na celu umożliwienie późniejszego odfiltrowania rezydualnych cząstek zapachowych, które podczas pomiaru głównego mogły osadzić się na powierzchni zespołu.

Po zakończeniu danej sesji pomiarów cały zespół sensorów pozostawiano do wywietrzenia przez okres ok. 2 godz. Warto zaznaczyć, że zadbaliśmy o to, by pomiary próbek oryginału i imitacji danego zapachu zawsze były oddzielone pomiarem wody perfumowanej innego producenta. W ten sposób ograniczyliśmy scenariusz, w którym wyniki badań wskazywałyby na wyższe podobieństwo zapachów, niż obserwowane w rzeczywistości, na przykład z powodu rezydualnych śladów substancji zapachowych perfum oryginalnych, obecnych   
w trakcie badania perfum nieoryginalnych.

Kolejna sesja pomiarów odbywała się przy użyciu wywietrzonego zespołu czujników, w wywietrzonym pomieszczeniu oraz z wykorzystaniem nowego worka.

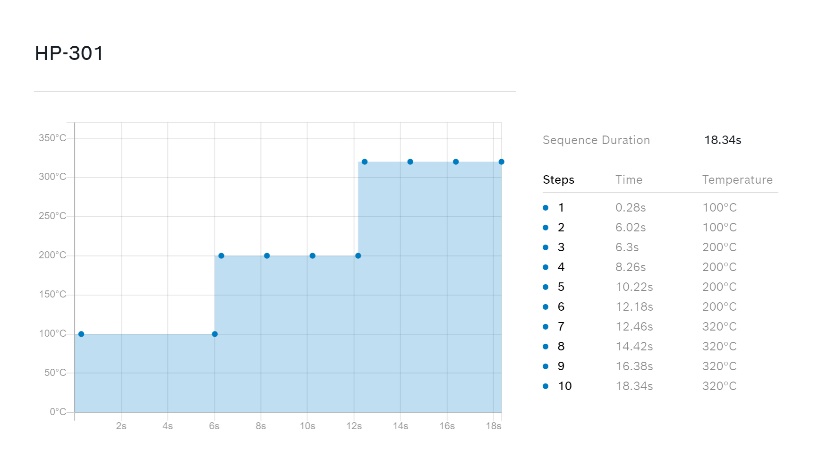
# Program

Zespół układów scalonych i sensorów współpracuje z oprogramowaniem BME AI-Studio, umożliwiającym dostosowanie sposobu, w jaki urządzenie będzie zbierało dane z otoczenia.

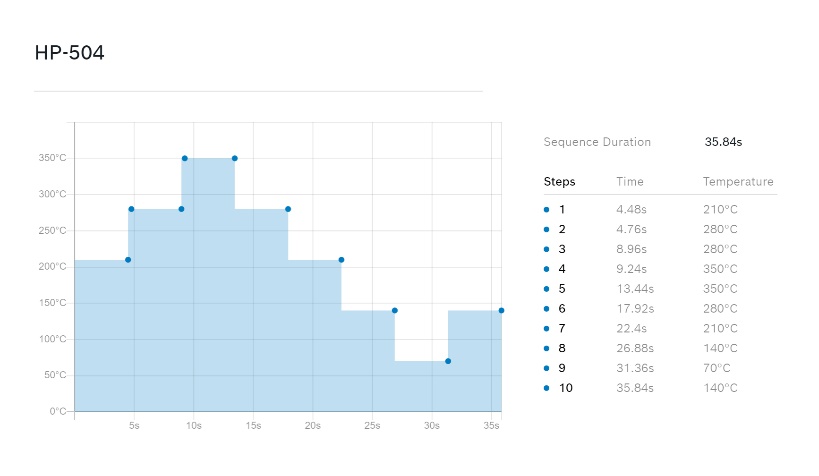
Ustalając szczegółowy program szukaliśmy złotego środka pomiędzy różnorodnością i szerokością zakresu pomiarowego, a powtarzalnością   
i niezawodnością. Połączenie tych cech zapewniła kombinacja dwóch   
profili: HP-301 oraz HP-504, rozłożonych równomiernie na cztery pary sensorów.

Decydując o cyklu pracy układu wybraliśmy ustawienie RDC-1-0, zapewniające stałe próbkowanie przez cały okres trwania pomiaru.

Przebiegi wybranych do badania profili oraz cyklu pracy prezentują grafiki zamieszczone poniżej, pochodzące z programu BME AI-Studio.



Rys. 1. Przebieg …  
Źródło: Program BME AI-Studio



Rys. 2. Przebieg …  
Źródło: Program BME AI-Studio

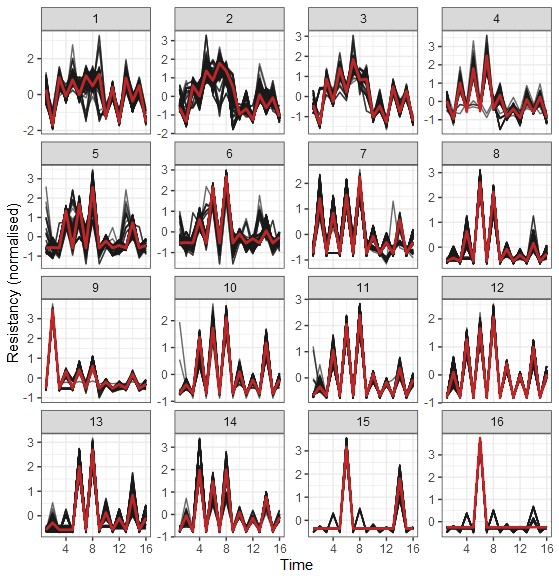


Rys. 3. Przebieg …  
Źródło: Program BME AI-Studio

# (Teoria) Klastrowanie metodą *k*-średnich

*K-means* jest fundamentalnie ważną metodą w analizie danych i należy do szerokiego zakresu podstaw uczenia maszynowego. Algorytm polega na grupowaniu zbioru danych na podgrupy lub klastry w oparciu o określone cechy lub parametry. Głównym celem jest uzyskanie wglądu w podobieństwa/rozbieżności w zbiorze danych, które można następnie wykorzystać do zrozumienia wzorców, trendów i modelowania predykcyjnego.

W zadaniu klastrowania szeregów czasowych wymagane są metryki odległości dedykowane do tego typu danych, takie jak dynamiczne wypaczanie czasu (DTW – *Dynamic Time Warping*). Klastry gromadzą szeregi czasowe o podobnych kształtach, a ich centroidy są obliczane jako barycentra w odniesieniu do DTW, a zatem pozwalają na uzyskanie rozsądnego średniego kształtu niezależnie od czasowych przesunięć w klastrze. W naszych badaniach użyliśmy zatem tej metryki w metodzie *k*-średnich.



Rys. 4. Wyniki zastosowania metody k-średnich na danych  
Źródło: Opracowanie własne.

Opis wyników….

**(Teoria) Modele klasyfikacyjne**

# Charakterystyka danych

W badaniu uwzględniono cztery pary perfum oryginalnych oraz fałszywych. Są to: Euphoria (Calvin Klein), Good Girl (Carolina Herrera), Theone (Dolce & Gabbana) oraz Ysly (Yves Saint Laurent). Jako przykład ich scharakteryzowania posłużą falsyfikaty perfum Euphoria. W tabeli poniżej zaprezentowano dane odczytane z czujnuka gazów.

*Tabela 2. Fragment odczytanych danych dla wybranych perfum*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **sensorId** | **cycle\_id** | **cycle\_step\_id** | **resistancy** | **temperature** | **pressure** | **humidity** |
| 1 | 844 | 0 | 5565218 | 33,775 | 1002,140 | 42,954 |
| 1 | 844 | 1 | 1890607 | 32,951 | 1002,113 | 43,548 |
| 1 | 844 | 2 | 207077,9 | 33,232 | 1002,108 | 43,649 |
| 1 | 844 | 3 | 147720,7 | 33,828 | 1002,115 | 43,820 |
| 1 | 844 | 4 | 123373,5 | 33,931 | 1002,121 | 43,625 |

*Źródło: Opracowanie własne.*

Gdzie:

* *sensorID* – ID sensora (1-8),
* *cycle\_id* – ID cyklu (około 200 unikalnych numerów; tutaj od 844 do 1407),
* *cycle\_step\_id* – ID kroku cyklu (0-9),
* *resistancy* – rezystancja sensora w Ohmach,
* *temperature* – temperatura sensora w stopniach Celsiusza,
* *pressure* – ciśnienie sensora/powietrza(?) w hPa,
* *humidity* – wilgotność sensora/powietrza(?) w %.

Te konkretne dane zawierają 5750 odczytów, a liczba odczytów dla każdej z próbek waha się od 1840 do 1980 dla próbek *background*, a dla próbek perfum od 5360 do 6060.

*Tabela 3. Opis Statystyki opisowe czterech zmiennych dla wybranego przykładu perfum*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Statystyka** | **resistancy** | **temperature** | **pressure** | **humidity** |
| Count | 5750 | 5750,000 | 5750,000 | 5750,000 |
| Mean | 581309,6 | 41,238 | 1002,365 | 33,786 |
| Std | 1619313 | 2,176 | 0,159 | 3,155 |
| min | 11118,33 | 32,951 | 1002,007 | 29,047 |
| 25% | 48843,31 | 40,336 | 1002,273 | 31,519 |
| 50% | 88858,04 | 41,829 | 1002,354 | 32,824 |
| 75% | 124612,1 | 42,785 | 1002,437 | 35,297 |
| max | 9890733 | 44,536 | 1002,802 | 44,286 |

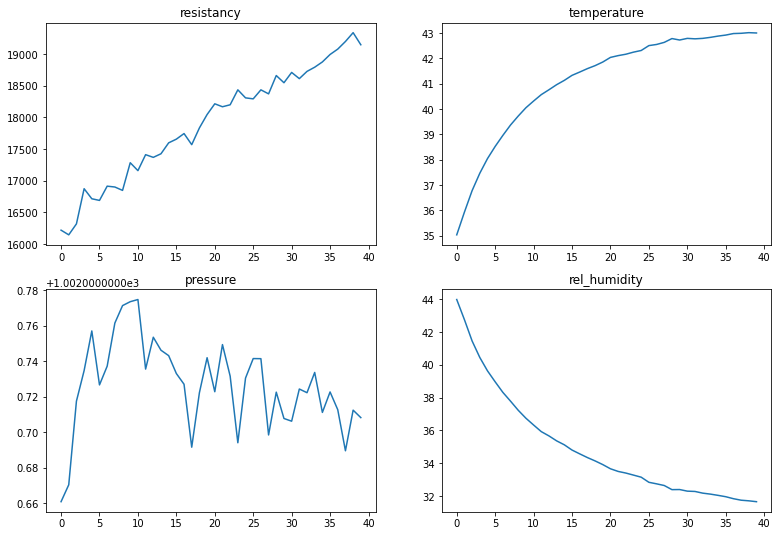
*Źródło: Opracowanie własne.*

Na podstawie powyższych statystyk opisowych czterech zmiennych zebranych przez "elektroniczny nos", dostrzec można, że sprzęt ten nagrzewał się podczas badania - od temperatury 32°C przeszedł do 44°C. Ciśnienie zmierzone przez ten sprzęt pozostawało na stałym poziomie. Wilgotność, podobnie jak i temperatura, ulegała zmianie podczas badania.

Docelowa cecha w tym badaniu to rezystancja.

Dane przekształcone zostały na tensory o wymiarze (4,10,96), gdzie 4 to liczba cech zmierzonych przez sensor, 10 to liczba kroków pojedynczego cyklu pracy urządzenia, a 96 to stała liczba próbek.

Poniżej przedstawiono przebiegi poszczególnych cech dla badanych danych.

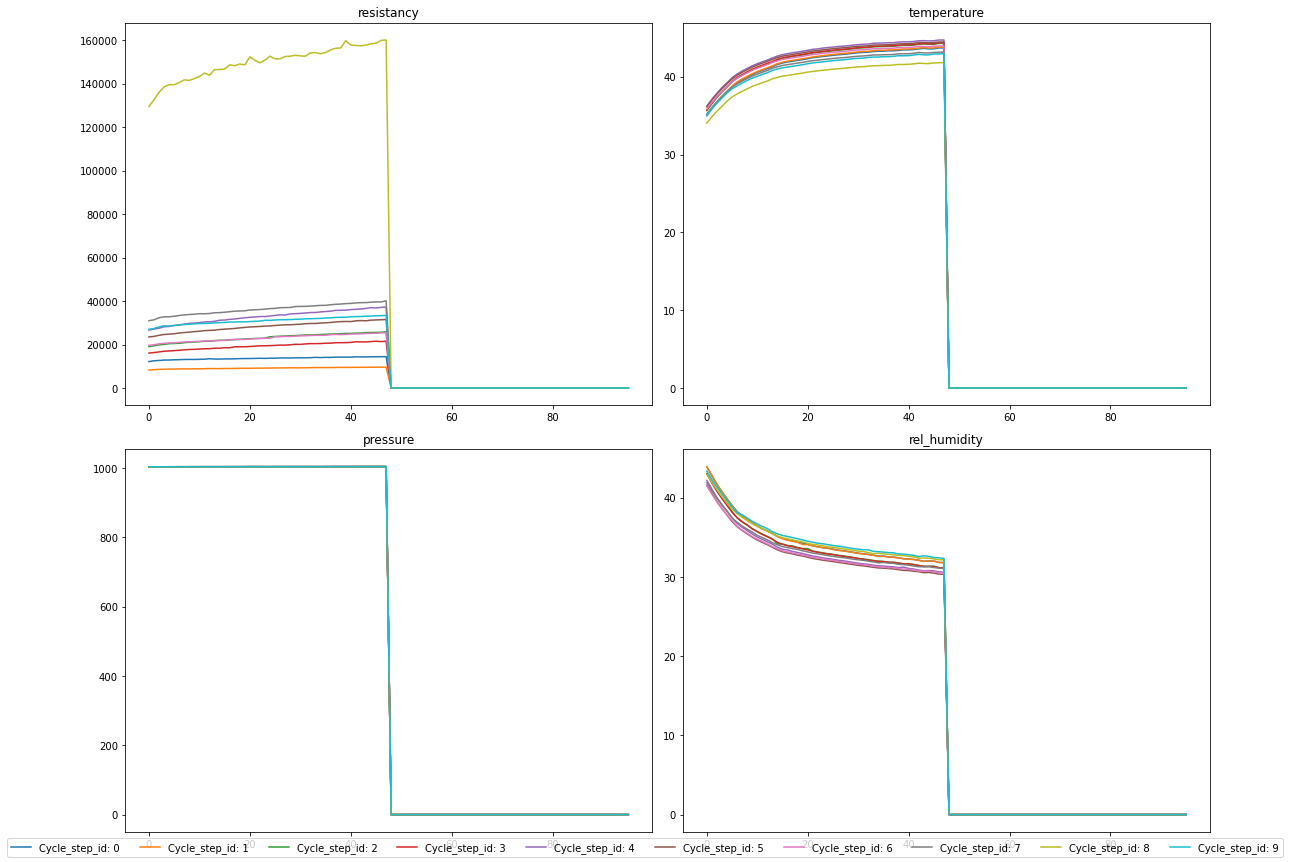


*Rys. 5. Przebieg badanych zmiennych dla wybranych perfum*

*Źródło: Opracowanie własne*

Widzimy zaobserwowane przy okazji statystyk opisowych tendencje - zwiększa się temperatura sensora, zmniejsza się jego wilgotność. Zwiększają się także wartości rezystancji.

Poniżej przedstawiono zmiany 4 badanych cech w porównaniu dla każdego z dziesięciu kroków cyklu.



*Rys. 6. Przebieg badanych zmiennych w podziale na kroki cyklu dla wybranych perfum*

*Źródło: Opracowanie własne*

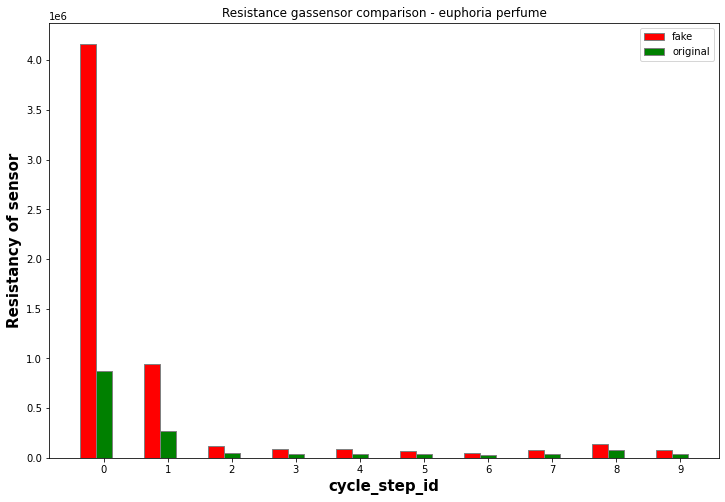
# Porównanie oryginałów oraz falsyfikatów perfum

# 

*Rys. 7. Porównanie rezystancji sensora dla oryginalnych perfum oraz ich falsyfikatów*

*Źródło: Opracowanie własne*

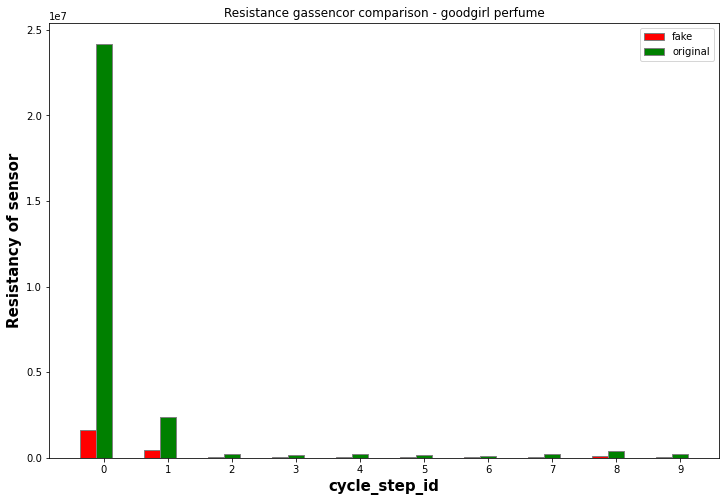
Widzimy, że dla perfum Euphoria wartość rezystancji oryginalnych perfum jest mniejsza niż dla pozostałych perfum. Jednak dla trzech pozostałych, wartości rezystancji dla oryginałów znacznie przewyższają fałszywe perfumy.



*Rys. 8. Porównanie rezystancji sensora dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Euphoria*

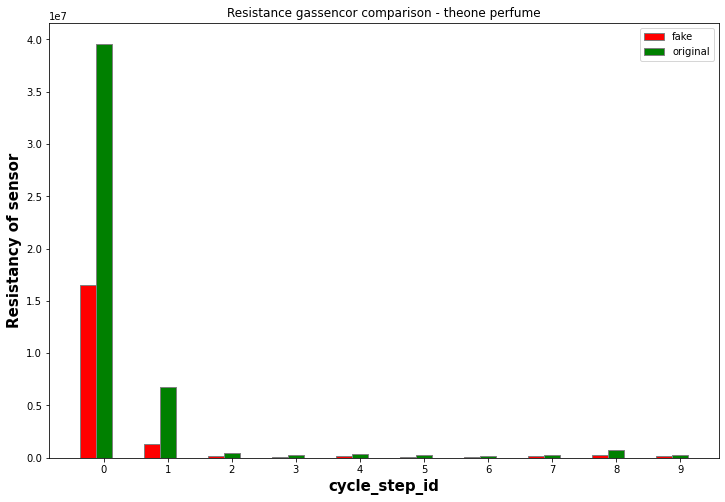
*Źródło: Opracowanie własne*

Widzimy tutaj zaobserwowane powyżej wnioski - fałszywe perfumy "pachną mocniej" niż oryginał.



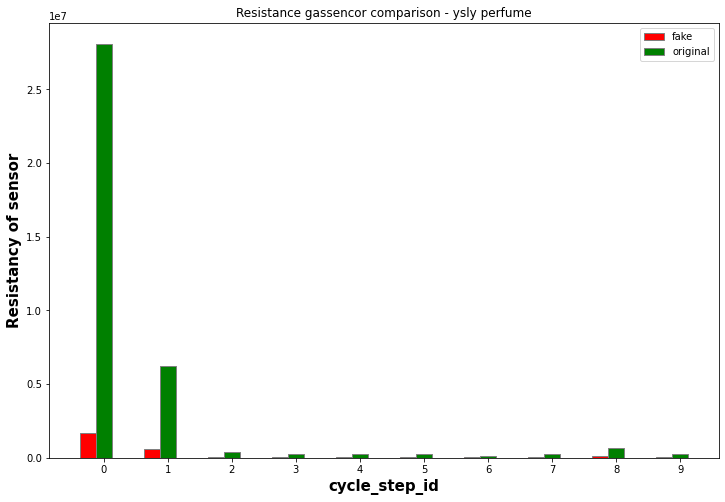
*Rys. 9. Porównanie rezystancji sensora dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Good Girl*

*Źródło: Opracowanie własne*



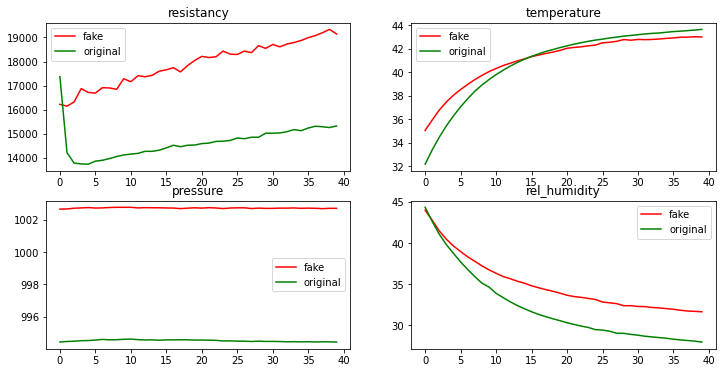
*Rys. 10. Porównanie rezystancji sensora dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Theone*

*Źródło: Opracowanie własne*



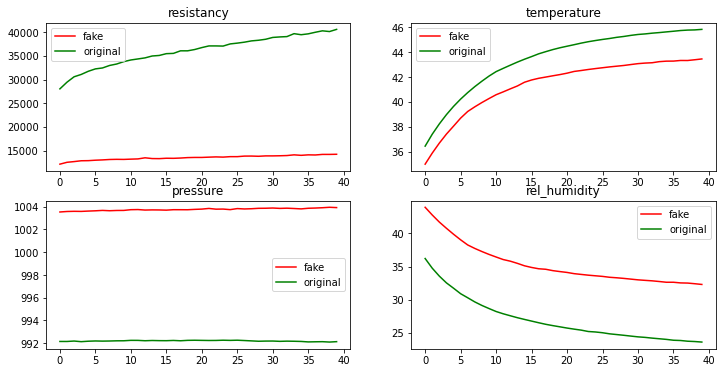
*Rys. 11. Porównanie rezystancji sensora dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Ysly*

*Źródło: Opracowanie własne*



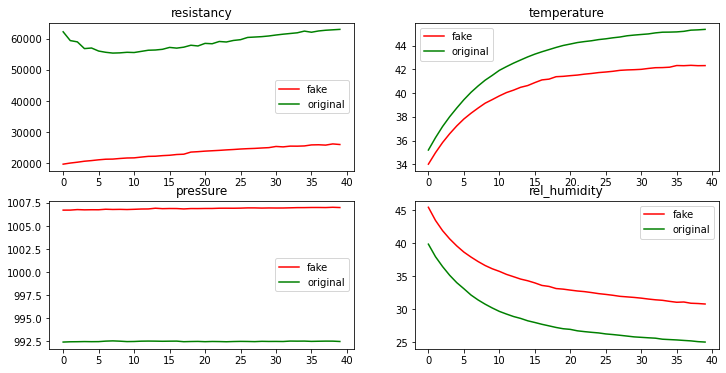
*Rys. 12. Porównanie przebiegów 4 badanych zmiennych dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Euphoria*

*Źródło: Opracowanie własne*



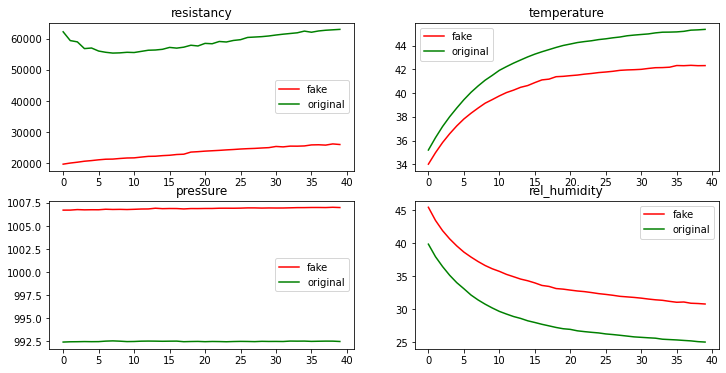
*Rys. 13. Porównanie przebiegów 4 badanych zmiennych dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Good Girl*

*Źródło: Opracowanie własne*



*Rys. 14. Porównanie przebiegów 4 badanych zmiennych dla oryginału oraz falsyfikatu perfum theone*

*Źródło: Opracowanie własne*



*Rys. 15. Porównanie przebiegów 4 badanych zmiennych dla oryginału oraz falsyfikatu perfum Ysly*

*Źródło: Opracowanie własne*

Podsumowanie

Podsumowując tę część badania - widoczne są znaczące różnice w odczytach rezystancji (cechy docelowej) pomiędzy perfumami oryginalnymi a ich falsyfikatami z większymi wartościami dla oryginałów. Dla perfum Euphoria jednak wyższa wartość rezystancji jest dla fałszywych perfum niż dla oryginału.

# Literatura

[1] L. Dang et al., *A novel classifier ensemble for recognition of multiple indoor air contaminants by an electronic nose*, Sensors Actuators A Phys., vol. 207, pp. 67–74, Mar. 2014.

[2] N. Bhattacharyya et al., *Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with ‘tea taster’ marks*, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 57, no. 7, pp. 1313–1321, Jul. 2008.

[3] C. Di Natale et al., *Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors*, Biosensors Bioelectron., vol. 18, no. 10, pp. 1209–1218, 2003.

[4] [https://www.adafruit.com/category/946 dostęp dnia 15.04.2024](https://www.adafruit.com/category/946%20dostęp%20dnia%2015.04.2024) roku

[5][https://www.reichelt.com/pl/en/bme688-development-kit-bme-688-dev-kit-p310709.html dostęp dnia 15.04.2024](https://www.reichelt.com/pl/en/bme688-development-kit-bme-688-dev-kit-p310709.html%20dostęp%20dnia%2015.04.2024) roku

[6]<https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme688/> dostęp dnia 15.04.2024 roku

[7][https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme688-ds000.pdf dostęp dnia 15.04.2024](https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme688-ds000.pdf%20dostęp%20dnia%2015.04.2024) roku

[8]

[9]

[10]