

E=NOS –Narzędzie do oceny parametrów gleby. Zastosowanie w Rolnictwie Regeneratywnym.

mgr inż. Bartłomiej Borowski
Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Skierniewice
Zakład Ochrony Roślin – Pracownia Entomologii



ROLNICTWO REGENERATYWNE

„Rolnictwo regeneratywne to powrót do naturalnego gospodarowania, które odbudowuje i utrzymuje potencjał plonotwórczy gleby oraz całego agroekosystemu, prowadząc produkcję w sposób nieszkodzący środowisku i redukujący ślad węglowy.”

Źródło: Wielkopolska Izba Rolnicza, 2022.

Parlament Europejski:

W swoich opracowaniach definiuje rolnictwo regeneratywne jako praktyki mające na celu **łagodzenie zmian klimatu** poprzez **sekwestrację dwutlenku węgla** w glebie i redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Podkreśla również dodatkowe korzyści, takie jak poprawa bioróżnorodności, zdrowie gleby i jakość wody.

Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN:

Badania i Projekty koncentrują się na rolnictwie regeneratywnym jako systemie produkcji rolnej chroniącym i odbudowującym grunty rolne i otaczające je ekosystemy.

GLEBA - NOWY PUNKT WIDZENIA

Gleba to złożony ekosystem, w którym mikroorganizmy, takie jak bakterie, grzyby i wirusy, odgrywają kluczową rolę w obiegu pierwiastków, wzroście roślin i kształtowaniu jej struktury. (Kołwzan i in., 2005.)

Ponieważ różnorodność mikroorganizmów glebowych odgrywa zasadniczą rolę w podtrzymywaniu kluczowych funkcji ekosystemu, modyfikacje w strukturze mikrobioty glebowej wywołane aplikacją preparatów (szczepionek) mikrobiologicznych mogą wpływać na jakość i żyzność gleby, prowadząc do różnych konsekwencji które ostatecznie mogą oddziaływać na plonowanie i parametry jakościowe roślin.

Źródło: Manfredini, A., Malusà, E., (2021)

Coraz częściej wykorzystuje się preparaty mikrobiologiczne :

- Bioinokulanty** (lub biopreparaty) to preparaty zawierające żywe mikroorganizmy (np. bakterie, grzyby), które stosuje się na nasiona, rośliny lub glebę w celu poprawy ich wzrostu, zdrowotności lub zwiększenia przyswajalności składników odżywczych.
- Biofertylizatory** to substancje zawierające mikroorganizmy, które po zastosowaniu na rośliny, nasiona lub do gleby kolonizują ryzosferę i wspomagają wzrost roślin poprzez zwiększanie dostępności składników pokarmowych (np. wiązanie azotu, solubilizacja fosforu).
- Biopestycydy** to pestycydy pochodzenia naturalnego (np. od zwierząt, roślin, mikroorganizmów lub minerałów), używane do zwalczania szkodników, chorób i chwastów w uprawach.

Źródło: Kujawa, P. (2022).

Rosnące zainteresowanie nimi wynika z możliwości ograniczenia stosowania chemicznych nawozów i pestycydów.

CO TO JEST E NOS ?

Elektroniczny nos – to urządzenie elektroniczne służące do rozpoznawania i analizy zapachów lub lotnych związków chemicznych w powietrzu.

Jego działanie naśladuje ludzki zmysł powonienia.

Składa się zwykle z:

- **matrycy czujników chemicznych** (np. metalicznych tlenków cyny, półprzewodnikowych, polimerów przewodzących,
- umożliwiają identyfikację i utworzenie charakterystycznych „wzorów zapachowych”.

Ocena respiracji i aktywności mikrobiologicznej gleby za pomocą **e-nosa** (**elektronicznego nosa**) to narzędzie, które opiera się na analizie (lotnych związków organicznych (LZO, VOCs)) wydzielanych przez mikroorganizmy w trakcie metabolizmu.



Smell.
INSPECTOR



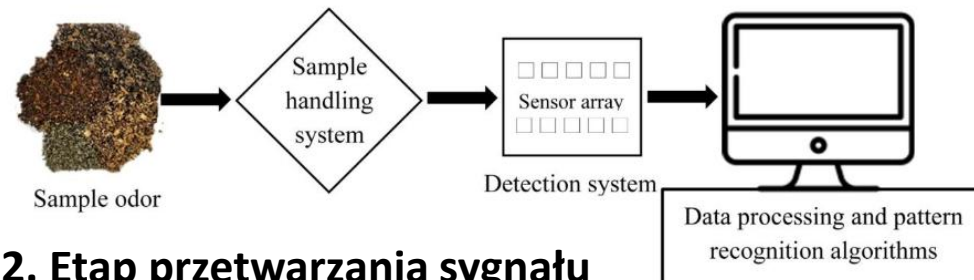
JAK DZIAŁA E NOS ?

Zasada działania elektronicznego nosa

Elektroniczny nos **naśladuje ludzki zmysł węchu**, ale zamiast receptorów w nabłonku węchowym wykorzystuje **zestaw czujników chemicznych**.

1. Etap detekcji (czujniki)

- Powietrze lub próbka gazu trafia do **matrycy czujników**.
- Każdy czujnik reaguje w inny sposób na obecne w powietrzu **lotne związki organiczne (VOC)**.
- Reakcja ta objawia się np. **zmianą przewodnictwa elektrycznego, pojemności, rezystancji lub częstotliwości rezonansowej**.
- Każdy związek chemiczny wywołuje **unikalny wzór odpowiedzi** w zestawie czujników – analogicznie do tego, jak węch człowieka działa poprzez wzorce pobudzonych receptorów.



2. Etap przetwarzania sygnału

- Dane z czujników są zamieniane na sygnały cyfrowe.
- Tworzony jest „**odcisk zapachowy**” (fingerprint) danej próbki – czyli charakterystyczny wzór odpowiedzi czujników

3. Etap analizy (rozpoznawanie zapachu)

- System komputerowy porównuje uzyskany wzór z bazą znanych zapachów.
- Do analizy wykorzystuje się metody sztucznej inteligencji i statystyki, np.:
 - **PCA** (Principal Component Analysis),
 - **sieci neuronowe**,
 - **algorytmy uczenia maszynowego** (SVM, k-NN, Random Forest).
- Wynikiem jest **klasyfikacja** (rozpoznanie zapachu) albo **kwantyfikacja** (określenie stężenia związku).

ZASTOSOWANIA E -NOS

1. Ocena jakości i żyzności gleby

- Analiza **lotnych związków organicznych (VOC)** uwalnianych z gleby pozwala określić jej aktywność biologiczną.
- E-nos może wykrywać metabolity mikroorganizmów (np. bakterii, grzybów), co daje pośrednią informację o **żyzności i zdrowiu gleby**.

2. Wykrywanie zanieczyszczeń

- Identyfikacja obecności **substancji ropopochodnych, pestycydów, metali ciężkich, ścieków**.
- Wskaźniki zapachowe mogą służyć do **monitorowania rekultywacji terenów skażonych**.

3. Monitoring procesów biodegradacji

- Badanie zapachów powstających podczas **rozkładu materii organicznej** w glebie.
- Pomaga ocenić **tempo i skuteczność procesów w glebie**.

4. Diagnostyka chorób roślin

- Mikroorganizmy patogenne w glebie wydzielają specyficzne VOC.
- E-nos może wspomagać **wczesne wykrywanie chorób glebowych** (np. fuzariozy, rizoktoniozy).

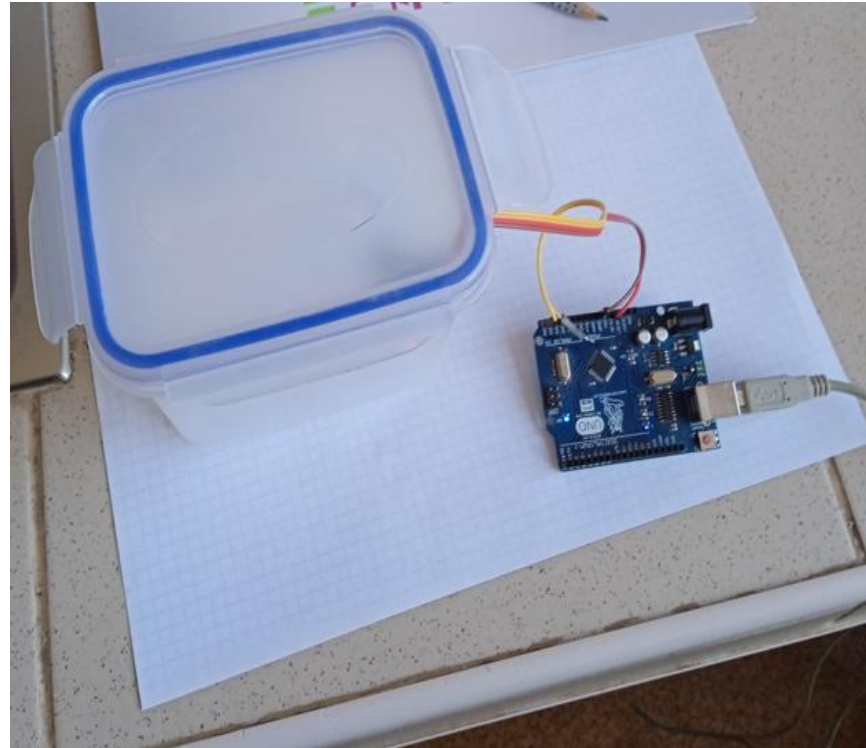
5. Rolnictwo precyzyjne

- W połączeniu z systemami GIS i AI e-nos może być używany do **mapowania jakości gleby** na polach uprawnych.
- Ułatwia decyzje dotyczące nawożenia i nawadniania

E -NOS



Rys 1. Urządzenie pomiarowe Smell Annonator z badaną zawiesiną.



Rys 2. Urządzenie prototypu pomiarowego z sondą MQ-135 z mikrokontrolerem Arduino UNO.

WYNIKI E -NOS

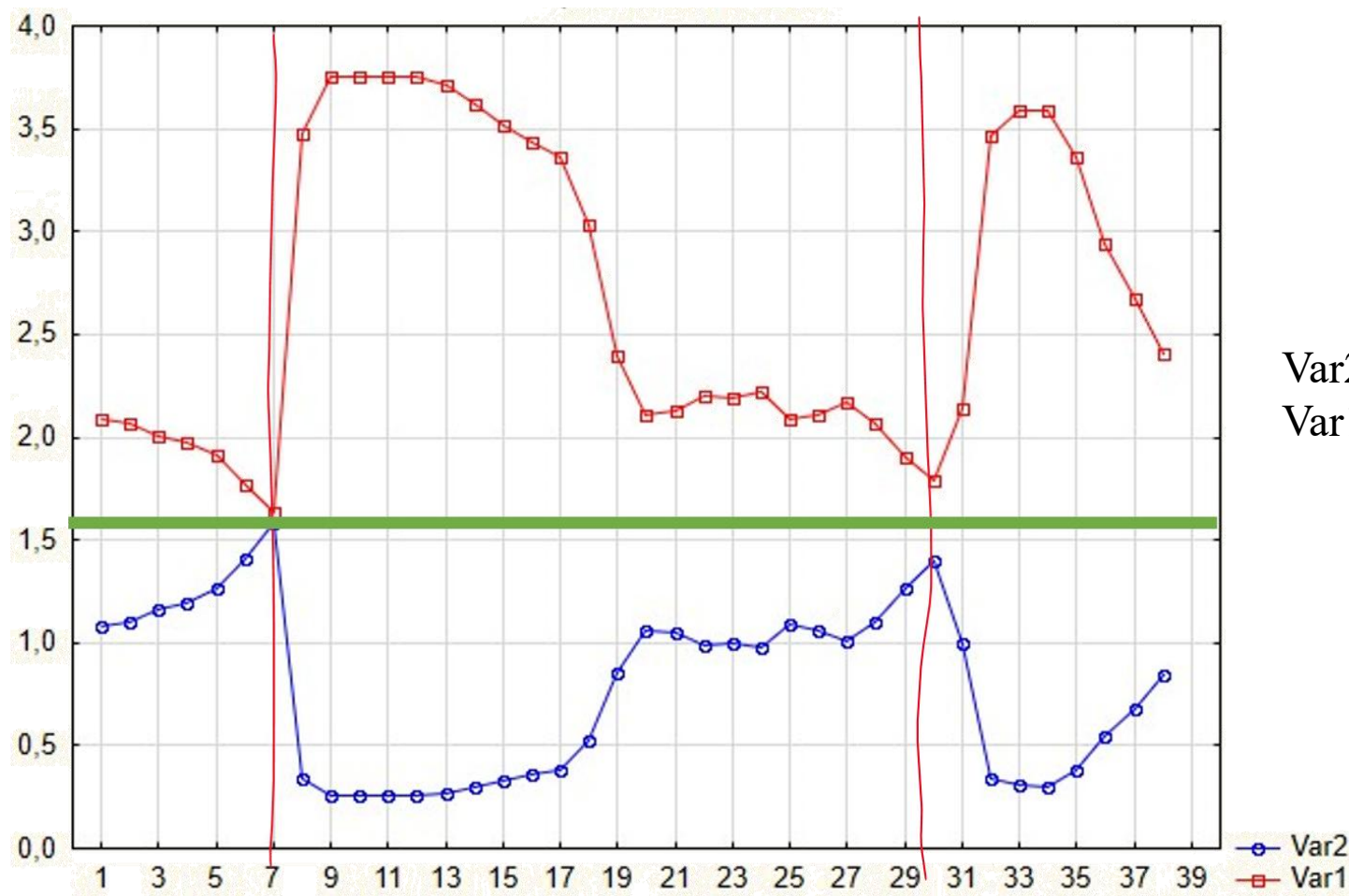
Termite log, started at Thu Jan 2 17:31:30 2025

2025/01/02 17:31:29:

V: 2.09
VAnalog : 428 RS: 6.53
RS/R0: 1.08
PPM: 3.34

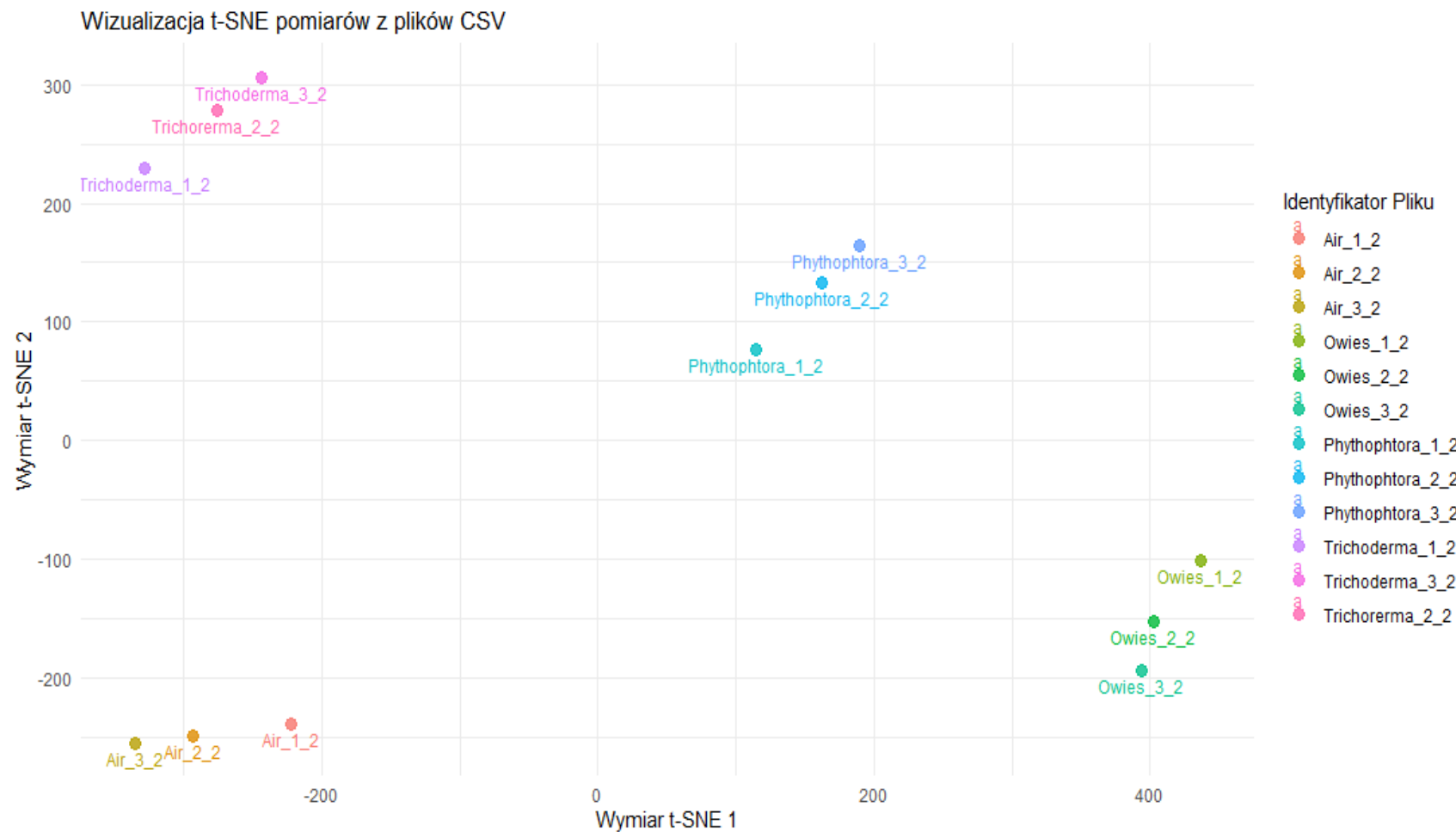
2025/01/02 17:31:31:

V: 2.07
VAnalog : 424 RS: 6.64
RS/R0: 1.10
PPM: 3.24



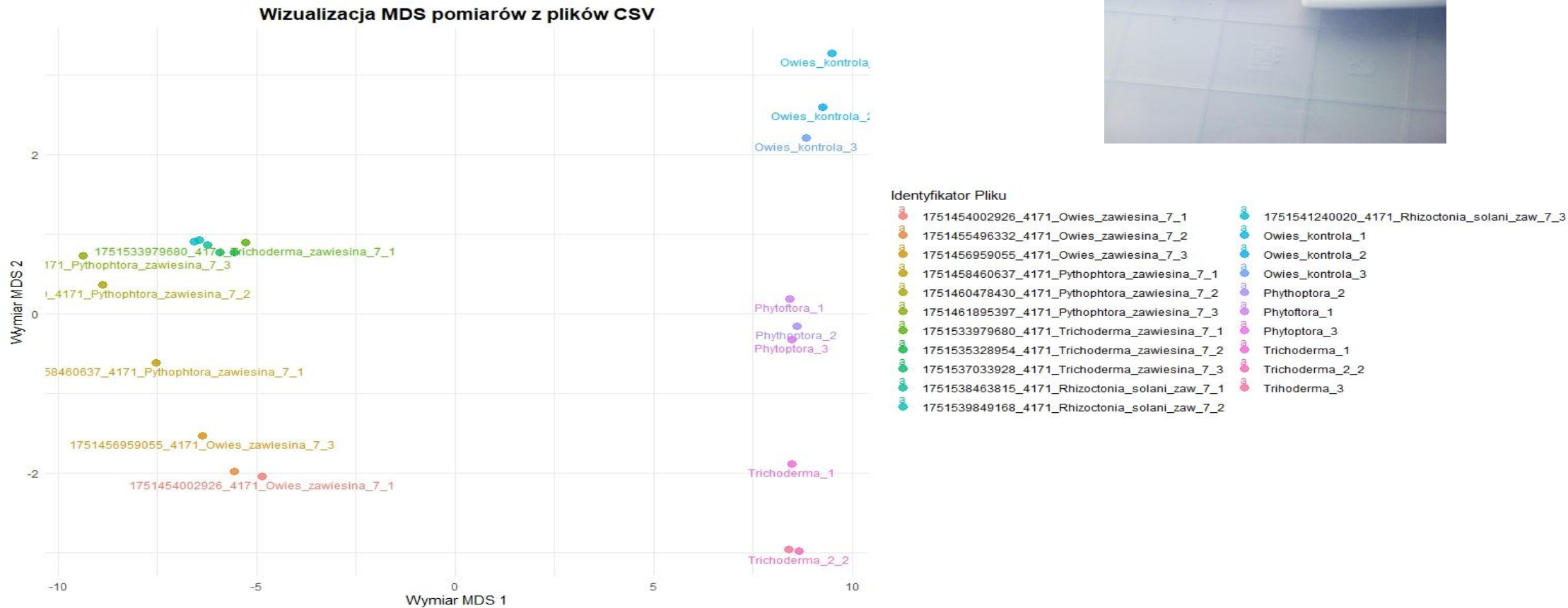
Wykres 1. Logowanie z czujnika MQ-135 podczas pomiaru etanolu.

WYNIKI E -NOS



Wykres 2. Analiza porządkowania najbliższych sąsiadów (t-SNE) próbek gleby za pomocą e nosa.

WYNIKI E -NOS



Wykres 3. Skalowanie wielowymiarowe (MDS). Zróźnicowanie pomiędzy badaną zawiesiną zainfekowanym grzybem a próbkami gleby.

WYNIKI E -NOS

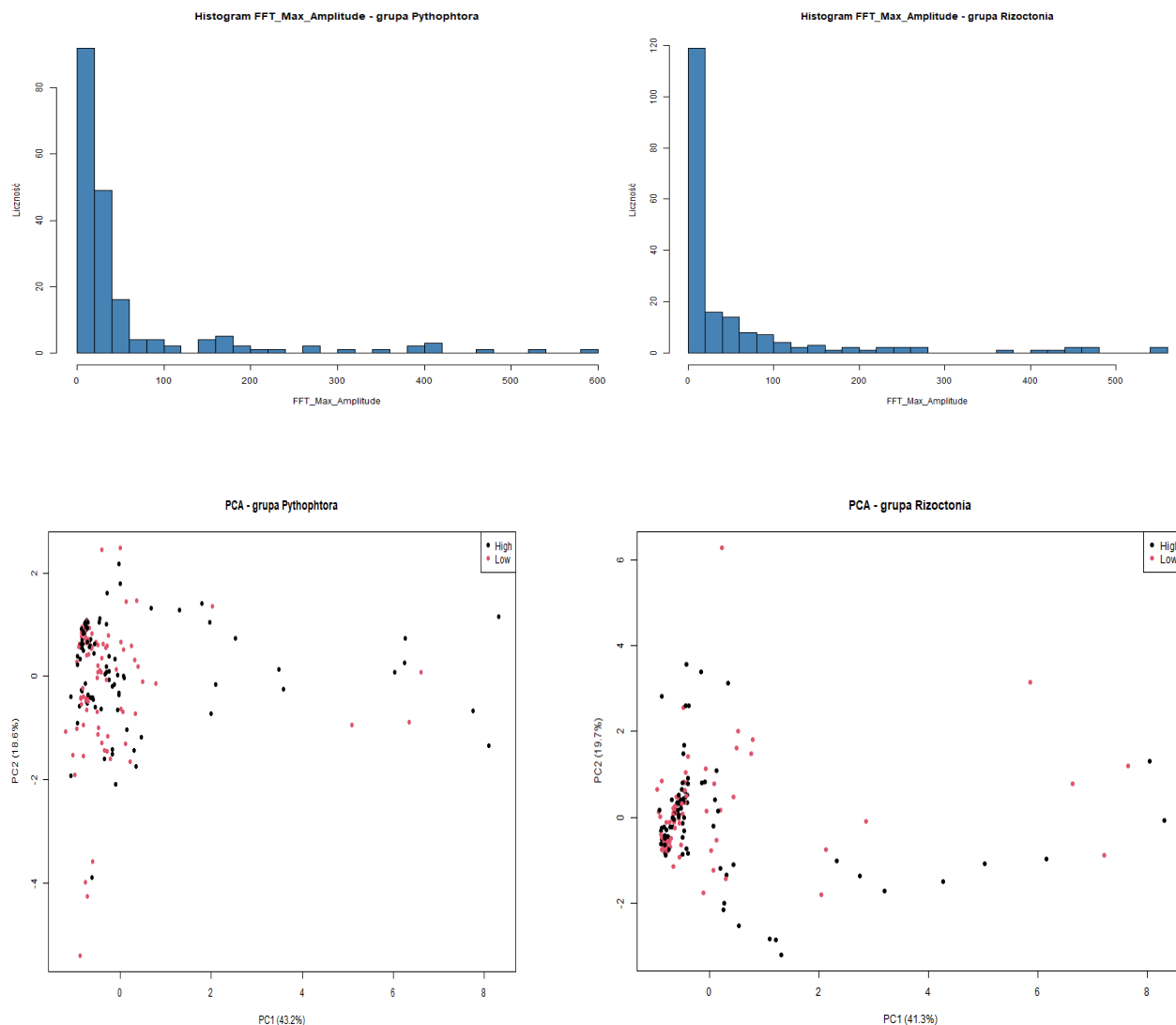
Tabela 1. Logowanie danych pomiarowych oraz ekstrakcja cech z 64 kanałów e nosa.

Sensor	Max_Response	Response_Time	Integral_Response	Slope_Initial	Recovery_Time	CurveFit_A	CurveFit_Tau	FFT_Dominant_Freq	FFT_Max_Amplitude
ch1	37,688	25	-2189,54	0,14803385	1			0,00143885	1,17839346
ch2	21,231	430	-1812,955	0,20277764	1			0,9971223	1,06073318
ch3	55,879	10	-63042,195	1,44760101	4			0,00143885	24,9451632
ch4	60,304	12	-62627,92	2,27149123	2			0,00143885	25,4889888
ch5	126,286	12	-64880,83	0,48120503	6			0,00143885	25,6337073
ch6	1295,315	562	-20095,775	11,0715336	1			0,00143885	48,6618682
ch7	888,239	495	-4491,595	10,0356011	1			0,00143885	35,5601128
ch8	1002,17	374	-40909,85	7,88823603	1			0,00143885	36,1838135
ch9	26,777	28	-30255,185	2,36501464	3			0,00143885	13,2897344
ch10	41,849	185	-33792,545	0,9006746	1			0,00143885	14,276152

-|....|-

ch55	125,085	131	-54901,825	4,90528559	2			0,00143885	29,9805555
ch56	111,58	28	-52442,1	3,27704188	1			0,00143885	27,9533946
ch57	21,593	0	-20782,665	0,10780374	13			0,00143885	7,20491851
ch58	26,254	58	-20970,87	0,80917774	2			0,00143885	6,883336
ch59	21,564	0	-21421,22	0,43078063	9			0,00143885	7,06717618
ch60	43,756	51	-23762,08	0,94820611	3			0,00143885	10,8525404
ch61	33,15	61	-24649,95	0,68785364	1			0,00143885	10,8393738
ch62	39,786	36	-24030,53	1,06080716	1			0,00143885	11,0393835
ch63	463,612	558	-19579,56	3,12215867	1			0,00143885	17,5056187
ch64	455,178	327	-16013,89	5,99681893	1			0,00143885	18,0620172

WYNIKI E -NOS



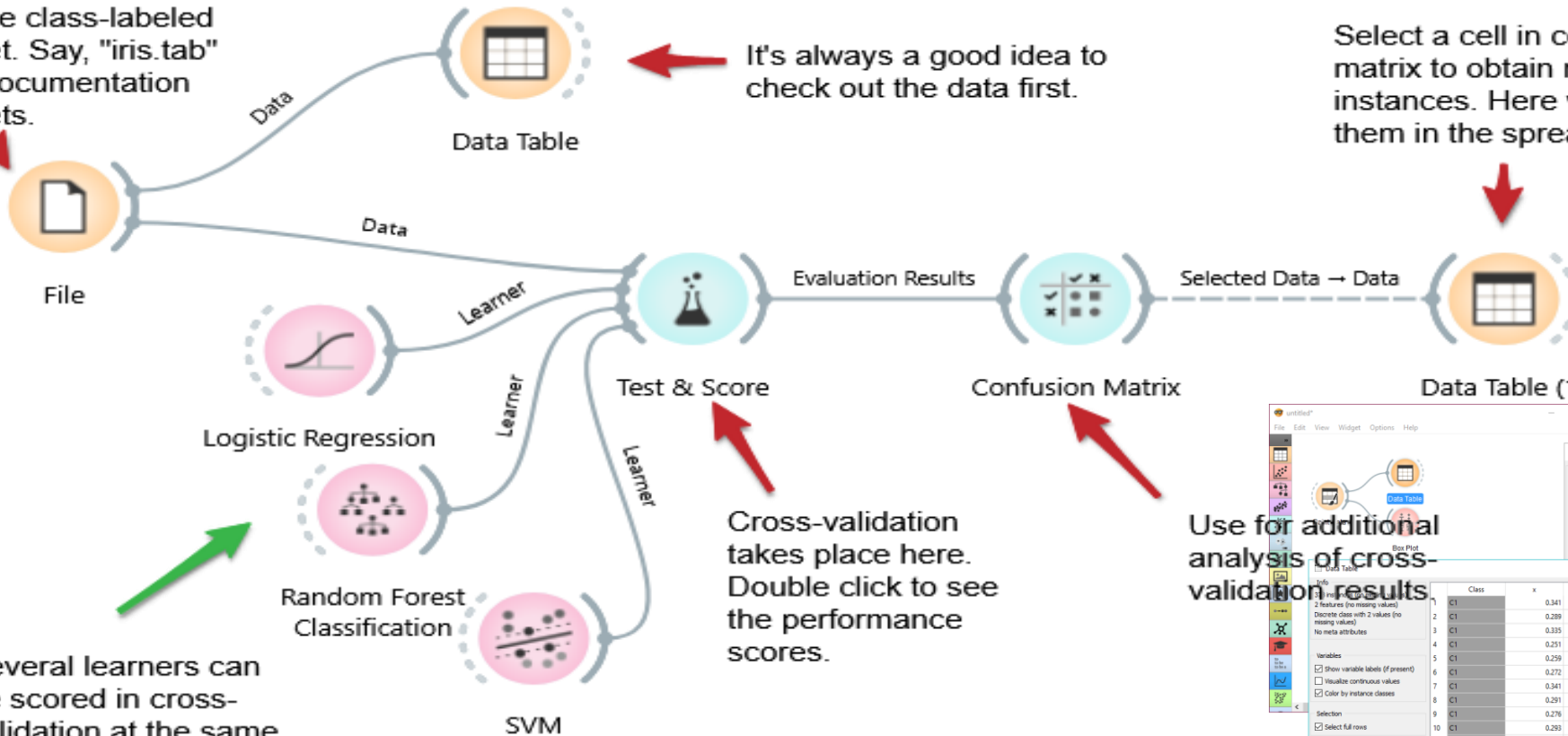
Maksymalna amplituda FFT (z ang. *FFT Max Amplitude*) to największa wartość amplitudy, jaką można zaobserwować w widmie (spektrum) sygnału po zastosowaniu szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Jest to więc najwyższy "szczyt" na wykresie widma amplitudowego.

Innymi słowy, po przetworzeniu sygnału z dziedziny czasu na dziedzinę częstotliwości, FFT rozkłada go na poszczególne składowe sinusoidalne o różnych częstotliwościach. Każda z tych składowych ma swoją amplitudę, która reprezentuje jej "siłę" lub "udział" w oryginalnym sygnale. Maksymalna amplituda FFT jest wartością amplitudy dla tej częstotliwości, która ma **największy wkład energetyczny** w sygnale.

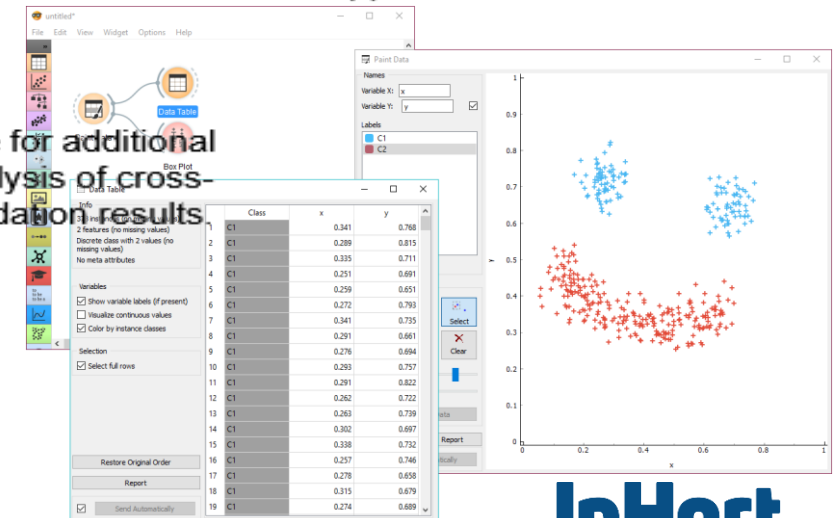
Rys. 4 Rozkład **amplitudy FFT** badanych próbek gleby na podstawie histogramu oraz analizy PCA

BUDOWA MODELU KLASYFIKACJI - ŚRODOWISKO ORANGE DATA MINING

Choose class-labeled dataset. Say, "iris.tab" from documentation datasets.



Use for additional analysis of cross-validation results



KORZYŚCI ZASTOSOWANIA E -NOS

E-nosy umożliwiają szybką, nieinwazyjną i nieniszczącą ocenę mikrobiologiczną próbek gleby. Mogą być tańsze od tradycyjnych metod i aparatury, a ich przenośna forma daje możliwość analizy w terenie oraz automatyzacji badań.



Szybkość

znacznie krótszy czas analizy w porównaniu z metodami tradycyjnymi



Nieinwazyjność i nieniszczący charakter

można wielokrotnie badać tę samą próbkę gleby



Niższe koszty

szczególnie w przypadku konstrukcji niskokosztowych w porównaniu z drogą aparaturą laboratoryjną



Mobilność

możliwość stosowania przenośnych urządzeń w terenie



Automatyzacja

potencjał integracji z systemami pomiarowymi i monitorującymi



Ocena na miejscu

bez konieczności transportu próbek do laboratorium

Rys 5. Przykład instalacji prototypu urządzenia pomiarowego wykorzystujące wykrywanie VOC w glebie przez e nos.

WYZWANIA I PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA E -NOS

Precyzyjna interwencja: Wczesna i szybka diagnoza pozwala na **terminowe i precyzyjne interwencje**, co jest kluczowe dla skutecznego zarządzania zdrowiem upraw.

Ograniczenie chemikaliów: Identyfikacja ogniska zakażenia pozwala na zastosowanie środków ochrony roślin (np. fungicydów) tylko tam, gdzie jest to absolutnie konieczne, wspierając tym samym **zrównoważony rozwój rolnictwa** i redukcję zanieczyszczeń.

Mimo obiecujących wyników, wciąż trwają prace nad rozwiązaniem problemów związanych z (dryft sygnału), **standaryzacją** pomiarów oraz **walidacją technologii** w rzeczywistych warunkach polowych, gdzie na profil VOC wpływają również czynniki środowiskowe (temperatura, wilgotność, inne zapachy).

www.inhort.pl

DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ!

