



Energy Flow In Ecosystem



Co-funded by
the European Union

STEAM4Climate edukacja klimatyczna metodą projektu

Przewodnik dla nauczycieli

Projekt: Od pomiarów do znaczenia – badanie ekosystemów

Twórca: Dariusz Aksamit (POLITECHNIKA WARSZAWSKA)

Współautorzy i recenzenci: Thomas Jörg (KGP), Rene Alimisi (Edumotiva)

Wersja: v.2.2, 2025.12.31

Status: wersja finała

Konsorcjum Projektu UE

Projekt STEAM4Climate otrzymał dofinansowanie z programu Erasmus+ Unii Europejskiej na podstawie umowy grantowej nr 2023-1-PL01-KA220-SCH-000158670. Autorzy wymienieni w tym podręczniku są częścią konsorcjum STEAM4Climate. Projekt angażuje 6 partnerów i jest koordynowany przez POLITECHNIKĘ WARSZAWSKĄ. Więcej informacji o projekcie można znaleźć na [stronie internetowej projektu](#).

Zastrzeżenie

Wsparcie Komisji Europejskiej dla wydania tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, która odzwierciedla wyłącznie poglądy autorów, a Komisja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie zawartych w niej informacji.

Licencja Creative Commons:

Dokument ten jest udostępniany publicznie na licencji Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](#))



Spis treści

Wprowadzenie	4
1. Przegląd nauki.....	4
2. Cele i metodologia nauki	5
3. Podejście "niska podłoga, wysoki sufit, szerokie ściany"	6
Materiały.....	7
4. Materiały dołączone do Toolboxa dla wersji podstawowej	7
5. Inne komponenty dla wersji podstawowej	9
6. Komponenty rozszerzonej wersji	9
Instrukcje dotyczące aktywności	10
7. Przygotowanie przed aktywnością.....	10
7.1 Urządzenia łączące	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
7.2 Logowanie danych.....	11
8. Wykonywanie działań	13
8.1 Zrozumienie ppm	13
8.2 Produkcja chemiczna CO ₂	15
8.3 Biologiczna produkcja CO ₂ – drożdże i rola temperatury	17
8.4 Biologiczna produkcja CO ₂ – gleba.....	20
8.5 Wprowadzenie do inteligentnego rolnictwa	22
8.6 Budowanie samowystarczalnego, zamkniętego ekosystemu – wyzwanie PBL.....	24
Podsumowanie po lekcji.....	26
9. Tematy dyskusji.....	26
10. Ocena	27
11. Rozszerzenia	28

Wprowadzenie

Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ



1. Przegląd metodyczny

Projekt ten zaprasza studentów do eksplorowania bioróżnorodności i ekosystemów poprzez praktyczne, interdyscyplinarne podejście STEAM. Projektując i monitorując samodzielne "ekosystemy w słoiku", uczestnicy łączą badania naukowe z kreatywnością inżynierską, technologią cyfrową i analizą danych, aby lepiej zrozumieć, jak życie oddziałuje ze swoim otoczeniem.

Korzystając z zestawu czujników z modułem akwizycji danych, uczniowie mierzą kluczowe parametry środowiskowe, takie jak temperatura, wilgotność, poziom CO₂, natężenie światła czy wilgotność gleby. Pozwala to budować rozumienie metody naukowej kalibrując sensory, formułując hipotezy i analizując dane w czasie rzeczywistym. Projekt bada niewidzialną dynamikę życia, w tym reakcję na ingerencje wywołane przez człowieka.

Od zamkniętych terrariów i ekosystemów wodnych po mikrosiedliska grzybów i systemy hydroponiczne, każdy słoik zaprojektowany przez uczniów staje się żywym laboratorium. Ten interdyscyplinarny projekt rozwija ciekawość, myślenie systemowe oraz świadomość ekologiczną.

Kluczowa koncepcja: Zapoznanie się z automatycznym logowaniem zestawu parametrów środowiskowych i rozwijanie biegłości w ich interpretacji

Czas trwania: 2 godziny na wprowadzenie, reszta zależy od konkretnego projektu

Liczba sesji: co najmniej dwie, przeznaczone na ustawianie sprzętu i przeprowadzanie dłuższych pomiarów (analiza danych zebranych w ciągu tygodnia).

Docelowa grupa wiekowa: liceum, 15+

2. Cele i metodyka

Uczniowie biorący udział w tym projekcie:

- Uczą się jak parametry środowiskowe (np. stężenie CO₂, temperatura, wilgotność, światło) są mierzone i rejestrowane w praktyce;
- zdobywają doświadczenie w pracy z czujnikami i systemami akwizycji danych (DAQ);
- Zgłębiają różnice między odczytami natychmiastowymi a danymi z dłuższych szeregów czasowych;
- Rozpoznają praktyczne ograniczenia pomiarów, takie jak czas nagrzewania czujników, bezwładność reakcji i niepewność;
- Interpretują dane za pomocą prostych wykresów i łączą wyniki numeryczne z obserwowanymi procesami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi;
- Wyjaśniają, jak procesy na małą skalę obserwowane w eksperymentach odnoszą się do pełnoskalowych efektów klimatu i dynamiki ekosystemów.

Metodologia

Projekt realizuje podejście oparte na **dociekaniu i uczeniu projektowym** (PBL).

Nauczanie opiera się na trzech powtarzających się elementach:

1. **Pomiar praktyczny:** Uczniowie zbierają rzeczywiste dane za pomocą czujników, koncentrując się na prawidłowym ustawieniu, kalibracji i obserwacji.
2. **Interpretacja danych:** Zarejestrowane dane są wizualizowane i omawiane w odniesieniu do wydarzeń eksperymentalnych, co pomaga uczniom powiązać pomiary z relacjami przyczynowo-skutkowymi.
3. **Badania otwarte:** W rozszerzonych wersjach aktywnościach studenci projektują własne eksperymenty (np. zamknięte ekosystemy, scenariusze inteligentnego rolnictwa), formułują hipotezy i oceniają wyniki.

Nacisk kładzie się na **interpretację pomiarów**, a nie tylko ich zbieranie, odzwierciedlając sposób, w jaki prowadzone są badania środowiskowe i klimatyczne w rzeczywistych kontekstach.

3. Podejście "niska podłoga, wysoki sufit, szerokie ściany"

W STEAM4Climate zaadaptowaliśmy podejście, które umożliwia uczniom eksplorowanie ekosystemów i bioróżnorodności za pomocą różnych sensorów, niezależnie od ich umiejętności technicznych.

- **Niska podłoga:** Początkujący mogą łatwo zacząć z podstawowymi narzędziami, takimi jak gotowy zestaw czujników Arduino, proste słoiki i codzienne materiały (gleba, mech, woda). W takim przypadku nie jest wymagane wcześniejsze doświadczenie w kodowaniu ani elektronice, jeśli *używa się STEAM4Climate Environmental Kit*. Obserwacje ilościowe pozwolą uczniom wgląd w dynamikę ekosystemu. Ponadto, dla każdego scenariusza, dostępny jest kod do kopiowania.
- **Wysoki sufit:** Uczniowie zaawansowani mogą włączyć bardziej zaawansowane czujniki (np. NO₂, CH₄ i czujniki etanolowe, oprócz samego CO₂) do odpowiednich sytuacji i samodzielnie oprogramować swoje projekty. Najlepszych uczniów zachęcamy do analizy ilościowej. Można ich zachęcić do przeprowadzania dodatkowych eksperymentów, takich jak obserwacja efektów nadmiernego nawożenia gleby prowadząca do emisji związków azotu lub badanie długoterminowej trwałości zamkniętych biosfer.
- **Szerokie ściany:** Możliwości są szerokie – uczniowie mogą wybrać modelowanie różnych ekosystemów (ekosystemy glebowe, systemy hydroponiczne, środowiska wodne): szczelnych czy otwartych, tlenowych lub beztlenowych. Każdy słoik staje się unikalną naukową i kreatywną kompozycją, zachęcającą do eksperymentowania z wieloma możliwościami. Ostatecznie, po co trzymać się słoika, skoro pomiary można wykonać na zewnątrz, w kompoście ogrodowym lub na pobliskich terenach podmokłych?

Niezależnie od tego, czy w pomieszczeniach, czy w terenie, ścieżka każdego ucznia jest inna – a każdy ekosystem w słoiku opowiada swoją własną historię. Mamy nadzieję, że immersyjne doświadczenie pobudza ciekawość i prowadzi do trwałego docenienia złożoności życia i środowiska.

Materiały

4. Materiały dołączone do Toolboxa dla wersji podstawowej

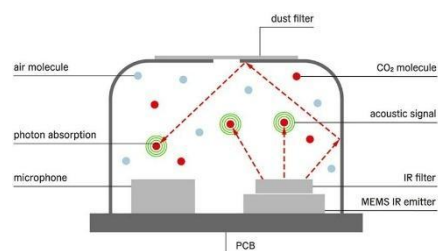
- Czujnik CO2 (Gravity: SEN0536)
- Moduł DAQ (Gravity: moduł SCI DAQ)
- Koszyk na baterie
- Dwie baterie
- Przewody: Podwójne PH2.0-4P, do połączenia baterii

Podstawowe czujniki – temperatura, wilgotność, stężenie CO2

Czujniki temperatury i wilgotności to zazwyczaj zintegrowane jednostki (takie jak DHT11 lub DHT22). Chociaż można je kupić i podłączyć osobno, użycie płytki z wbudowanymi detektorami jest wygodniejsze, co zmniejsza potrzebę martwienia się przewodami. Podstawowym czujnikiem stężenia CO₂, który polecamy, **jest SCD41**:

"SCD4x to druga generacja optycznych czujników CO2 firmy Sensirion. Seria czujników opiera się na zasadzie fotoakustycznego wykrywania NDIR¹ oraz opatentowanej technologii PASens® i CMOSens® firmy Sensirion, oferując dokładność w atrakcyjnej cenie i przy małym rozmiarze. Montaż SMD umożliwia oszczędną i oszczędną integrację czujnika w połączeniu z maksymalną swobodą projektowania. Kompensacja sygnału na chipie realizowana jest dzięki wbudowanemu czujnikowi wilgotności i temperatury SHT4x."²

"Sensor SCD41 wykrywa ilość energii pochłanianej przez cząsteczki CO2. Podczas impulsowej pracy emitera podczerwieni (diody IR) cząsteczki CO2 okresowo pochłaniają światło podczerwone. Powoduje to dodatkowe drgania tych cząsteczek, skutkujące powstaniem fali ciśnienia wewnątrz komory



¹ NDIR – Niedispersyjny Infrared

² <https://sensirion.com/products/catalog/SCD41>

pomiarowej. Im wyższe stężenie CO₂, tym więcej światła jest pochłaniane, i tym większa staje się amplituda tej fali akustycznej. Mikrofon w komorze gazowej mierzy tę falę, na tej podstawie wyznaczając stężenie CO₂."³

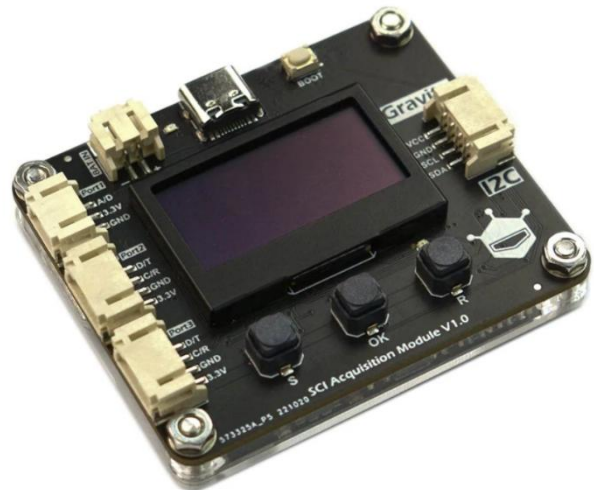
Różni producenci sprzedają ten czujnik z nieco innymi konstrukcjami płytek PCB. Aby uniknąć konieczności lutowania i korzystać z jednolitego zestawu czujników, zdecydowaliśmy się na **platformę Gravity zaprojektowaną przez firmę DFRobot**. Dlatego zdecydowaliśmy się wdrożyć projekt z wykorzystaniem modułu **DFRobot SEN0536**.



Moduł Gravity: Science Data Acquisition (SCI DAQ)

Specyfikacja⁴:

- Napięcie robocze: 3,3-5,5V DC
- Prąd operacyjny: 40mA
- Sygnał wyjściowy: I2C (0x21-0x23)
- Interfejs wejściowy: 1 x cyfrowy/analogowy, 2 x I2C/UART
- Pojemność na pokładzie: 16M
- Bateria RTC: CR1220
- Informacje o ekranie: 1,3 cala OLED
- Wymiary produktu: 62×52×13mm



³ https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0536_Gravity_SCD41_Infrared_CO2_Sensor

⁴ <https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

5. Pozostałe komponenty dla wersji podstawowej

- Szczelnie zamknięte pojemnik (1l słoik lub plastikowa butelka)
- Paczka drożdży suchych (5g)
- Paczka sody oczyszczonej
- Paczka kwasu cytrynowego lub octu
- Cukier
- Woda z kranu
- Garść ziemi ogrodowej

6. Komponenty do rozszerzonej wersji

Zgodnie z podejściem "szerokich ścian" istnieje wiele opcji rozszerzenia projektu za pomocą dostarczonego modułu SCI DAQ, ponieważ obsługuje on różne czujniki istotne dla badania środowiska:

- Analogowy pomiar wilgotności gleby, czujnik światła
- bezkontaktowy czujnik temperatury (IR),
- Jakość wody: pH, przewodność elektryczna, TDS, wodoodporny termometr
- Detektory gazów (pomiar elektrochemiczny)

W przypadku jednoczesnego użycia wielu czujników wymagany jest dodatkowy "hub I2C", jednak pojawiają się pewne trudności techniczne – zalecamy użycie osobnego DAQ. Pełna lista obsługiwanej aparatury jest dostępna na stronie internetowej producenta:

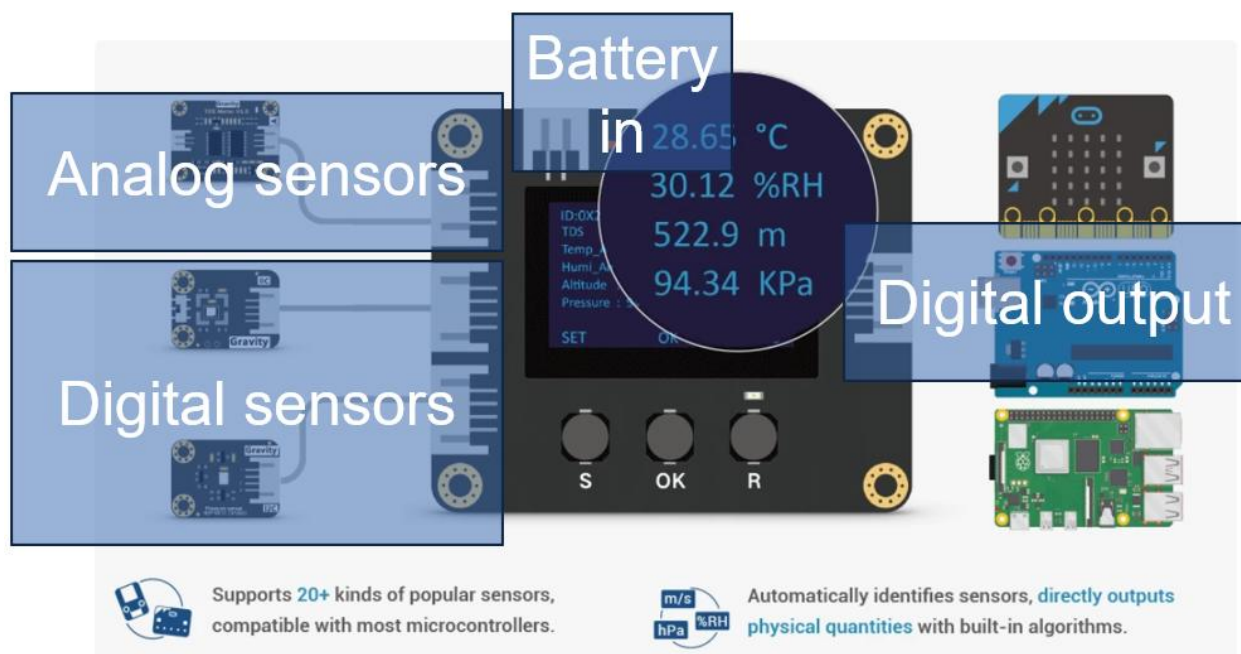
<https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

Instrukcje wykonania aktywności

7. Przygotowanie przed aktywnością

7.1 Połączenie urządzeń

Moduł DAQ SCI musi być zasilany – w naszym układzie używamy baterii z boosterem podwyższającym napięcie; dlatego dwie baterie AA wystarczą do zasilania DAQ. Gniazdo na baterię 2-pinową znajduje się nad wyświetlaczem, natomiast nasz sensor powinien być podłączony przez gniazdo 4-pinowe po lewej stronie wyświetlacza. Alternatywnie można go zasilać kablem USB-C (podłączonym do powerbanku – nie jest dołączony):⁵



Zadania wprowadzające dla uczniów:

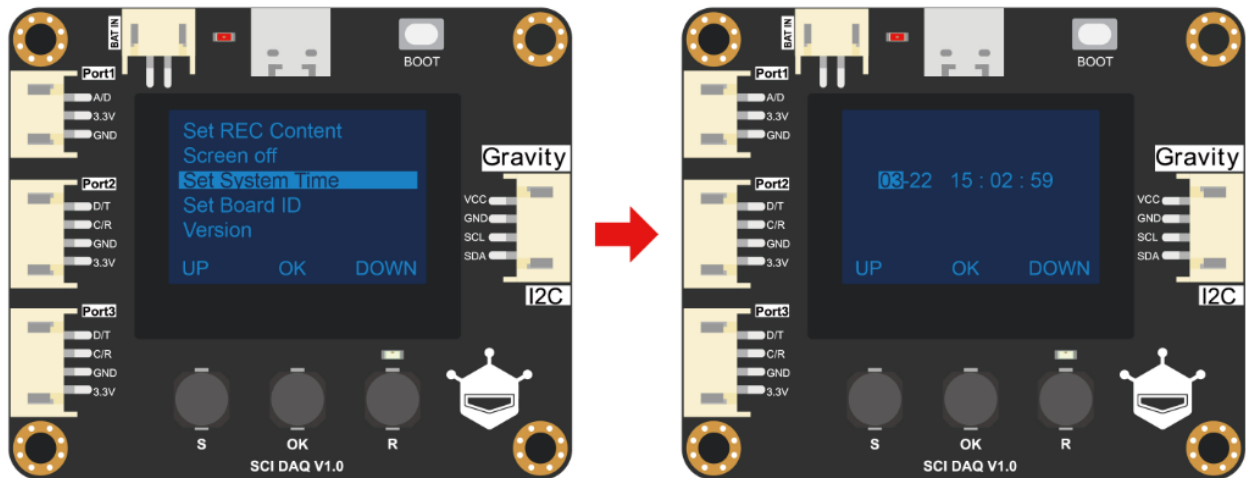
- Podłącz i odczytaj stężenie CO₂ (w ppm, części na milion)
- Porównaj wartości wyświetlane wewnątrz i na zewnątrz
- Sprawdź, jak czujnik reaguje na twój oddech

⁵ Zdjęcie z tyłu – strona producenta: <https://www.dfrobot.com/product-2724.html>

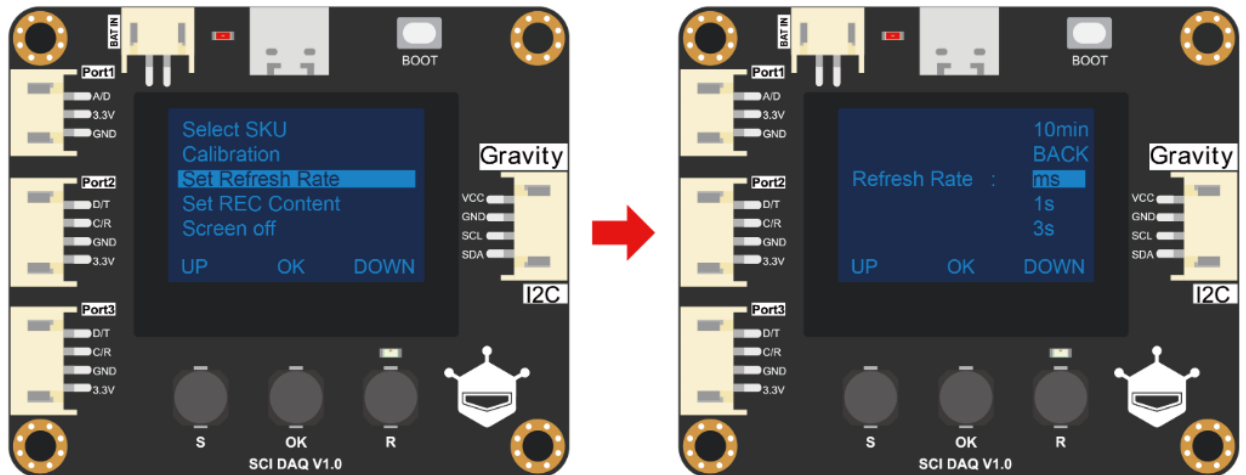
7.2 Logowanie danych

Aby zarejestrować pomiary, zaleca się przeprowadzenie dwóch następujących konfiguracji:

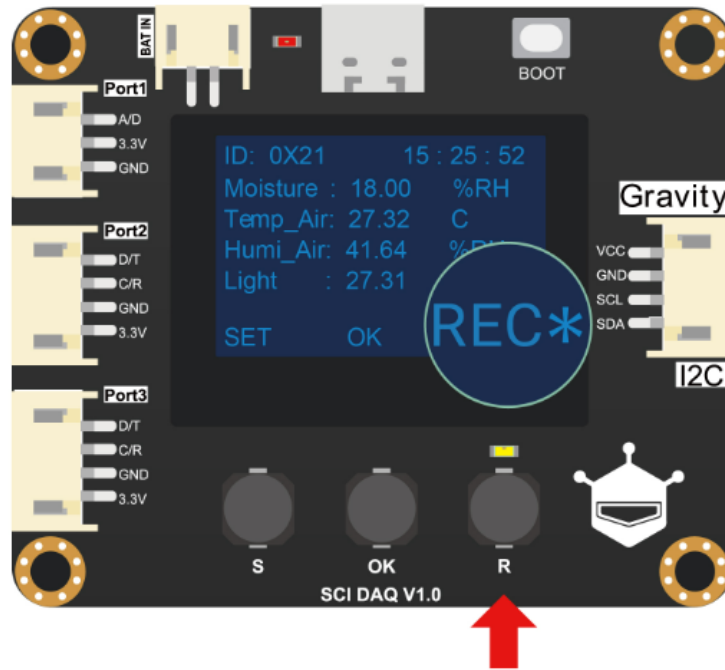
Ustawienie czasu systemowego:



Ustawienie częstotliwości odświeżania:



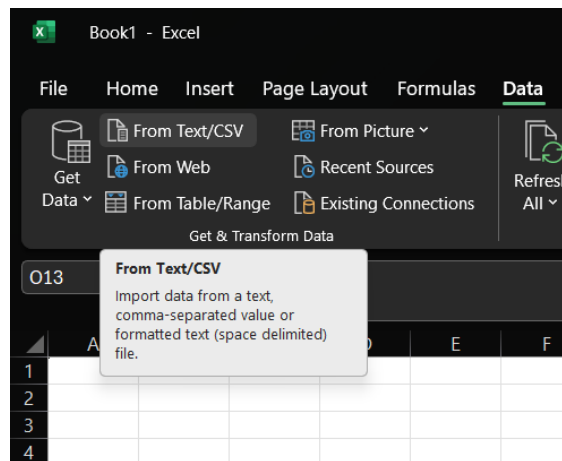
Za pomocą odpowiedniego przycisku można rozpocząć rejestrację danych.



Miganie żółtej diody oznacza, że nagrywanie jest w toku.

Po zapisaniu danych plik CSV jest tworzony z separatorem "," (separator). Aby odczytać plik, zalecamy użycie Excela (lub podobnego oprogramowania), zgodnie z krokami:

Data -> Read from CSV -> Load.



8. Wykonywanie aktywności

Poniżej znajduje się lista ćwiczeń o różnym poziomie złożoności. Nauczyciel decyduje, które ćwiczenia przeprowadzi z konkretną grupą uczniów.

8.1 Zrozumienie terminu ppm

Cel:

Aby zrozumieć, co oznacza "ppm", zmierz poziomy CO₂ w różnych środowiskach i przeanalizuj, jak stężenie zmienia się w czasie.

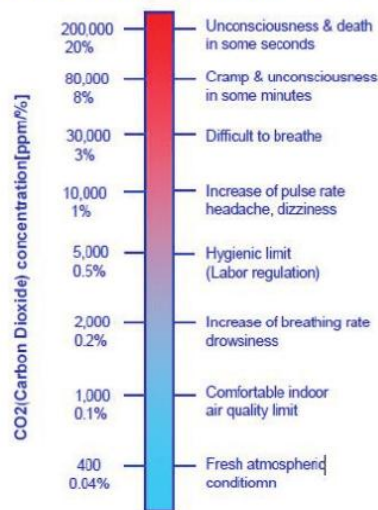
Procedura:

1. Włącz czujnik CO₂ i poczekaj kilka minut, aż odczyty się ustabilizują (czujnik się nagrzeje).
2. Zaczynij zapisywać dane rejestratorem danych SCI DAQ. Obserwuj wartości wyświetlane na wyświetlaczu.
3. Wykonaj pomiary w różnych miejscach:
 - Wewnątrz klasy.
 - Wyjdź na zewnątrz i porównaj wartości na zewnątrz.
 - Dmuchaj na czujniku w powietrzu (zwróć uwagę na szybki skok).
 - Włóż go do zamkniętego słoika/pudełka, wydychaj do środka powietrze i przykryj pudełko (zwróć uwagę, jak długo wartości pozostają wysokie).
4. Po zakończeniu spaceru/eksperymentów zatrzymaj nagrywanie.
5. Podłącz czujnik do komputera przez USB-C. Znajdź najnowszy plik CSV (separator = ";"), skopiuj go na swoje urządzenie i zwolnij pamięć loggera.
6. Zrób wykres XY: stężenie CO₂ (ppm) względem czasu (s).
7. Porównaj wykres ze swoimi notatkami i obserwacjami:
 - Kiedy pomiary odbywały się w środku, a kiedy na zewnątrz,
 - W którym momencie dmuchano na czujnik,
 - Jak szybko wartości rosły i spadały (jaka jest bezwładność detektora).

Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Powietrze zewnętrzne zwykle zawiera ~400–450 ppm CO₂, podczas gdy przestrzenie wewnętrzne bez wentylacji mogą osiągać 1000–2000 ppm.
- Na świecie poziom CO₂ przed rewolucją przemysłową wynosił około **280 ppm**. Obecnie przekraczają **420 ppm**, czyli wzrost o ~50% w ciągu zaledwie 200 lat – najszybszy wzrost w najnowszej historii Ziemi. Ten dodatkowy CO₂ zatrzymuje więcej ciepła w atmosferze, wzmacniając efekt cieplarniany i napędza zmiany klimatu.
- Stężenie CO₂ w powietrzu wydychanym przez człowieka to około ~40 000 ppm, co pokazuje, jak nawet niewielkie emisje w ograniczonej przestrzeni szybko się kumulują.
- Poprzez rejestrowanie danych, przedstawianie ich na wykresach i łączenie pomiarów z obserwacjami, uczniowie doświadczają, jak można śledzić niewidzialne gazy — dokładnie tak klimatolodzy monitorują zmieniającą się atmosferę planety.

How does CO₂ affect the human body?



ASHRAE Standard

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers 6

⁶ <https://gasalarm.com.au/importance-of-co2-measurement-inside-meeting-rooms-classrooms-offices-etc/>

8.2 Produkcja chemiczna CO₂

Cel:

Wykazanie, jak reakcje chemiczne mogą wytwarzać duże ilości CO₂ oraz pomiar tego gazu na podstawie zmiany masy oraz bezpośrednio przez czujniki.

Procedura:

1. Przygotuj 5 g sody oczyszczonej (NaHCO₃) oraz 3,8 g kwasu cytrynowego (C₆H₈O₇) rozpuszczonych w 30–50 ml wody (ocet może być alternatywą).
2. Umieść pojemnik z roztworem kwasowym na wadze elektronicznej i wyzeruj ją
3. Dodaj sodę oczyszczoną i obserwuj pojawiające się bąble w płynie oraz zmniejszanie masy na wyświetlaczu wagi. Zapisuj zmiany masy w czasie.
4. Powtórz eksperyment w słoiku z pokrywką:
 - Przymocuj czujnik CO₂ pod pokrywką (nad cieczą).
 - Zaczynij rejestrować dane, dodaj sodę oczyszczoną i zamknij słoik (zostaw małą szczelinę dla bezpieczeństwa).
 - Rejestruj gwałtowny wzrost stężenia CO₂ przez co najmniej kilkadziesiąt sekund.
5. Eksportuj plik danych (CSV) i wykonaj wykres XY stężenia CO₂ (ppm) względem czasu (s). Porównaj notatki z bezpośrednich obserwacji (bąbelki, zmiana masy).

Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Reakcja wyraźnie pokazuje uwalnianie gazu CO₂. "Znikająca" masa na wadze i rosnące odczyty czujnika to dwa wskaźniki tego samego procesu: niewidzialny gaz ulatniający się z cieczy do powietrza.
- Globalnie, to właśnie chemiczne, przemysłowe procesy są głównym źródłem CO₂. Spalanie paliw kopalnych (węgiel, ropa, gaz) wiąże się z emisjami ~35–37 miliardów ton CO₂ rocznie. Produkcja cementu dodaje kolejne ~2,5–3 miliardy ton (≈7–8% globalnych emisji).

- Podobnie jak w słoiku, atmosfera Ziemi jest zamkniętą przestrzenią: CO₂, który emitujemy, gromadzi się w niej.

Opcjonalne – obliczenia:

Krok 1: Masy molowe

Związek	Wzór	Masa molowa (g/mol)
Soda oczyszczona	NaHCO ₃	84.01
Kwas cytrynowy	C ₆ H ₈ O ₇	192.12
Dwutlenek węgla	CO ₂	44.01

Krok 2: Obliczenie moli sody oczyszczonej (podanej)

$$n_{\text{NaHCO}_3} = \frac{5 \text{ g}}{84.01 \text{ g/mol}} \approx 0.0595 \text{ mol}$$

Krok 3: Stechiometria

Z zapisu reakcji:

- Kwas cytrynowy o pojemności 1 mol reaguje z **3 mol NaHCO₃**, więc:

$$n_{\text{citric acid}} = \frac{1}{3} \times 0.0595 \text{ mol} \approx 0.01983 \text{ mol}$$

Krok 4: Potrzebna ilość kwasu cytrynowego

$$m_{\text{citric acid}} = n_{\text{citric acid}} \times M_{\text{citric acid}} = 0.01983 \text{ mol} \times 192.12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 3.81 \text{ g}$$

Krok 5: Wytwarzany CO₂

Z zapisu reakcji:

- Reakcja generuje **3 mol CO₂ na 3 mol NaHCO₃**, więc:

$$n_{\text{CO}_2} = 0.0595 \text{ mol}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 0.0595 \text{ mol} \times 44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 2.62 \text{ g}$$

Podsumowanie:

- Do reakcji z 5 g sody oczyszczonej potrzeba **3,81 g kwasu** cytrynowego.
- W efekcie powstanie około **2,62 g CO₂** (w formie ulotnionego gazu).

8.3 Biologiczna produkcja CO₂ – drożdże i rola temperatury

Cel:

Obserwacja produkcji CO₂ podczas fermentacji drożdży oraz dostrzeżenie związków pomiędzy procesami biologicznymi i emisją gazów cieplarnianych.

Procedura:

1. Przygotowanie:

- 1 paczka drożdży suchych (~7 g),
- 1 łyżeczka cukru,
- ciepła woda (30–40 °C), około 100 ml
- plastikowa butelka lub słoik,
- balon do nałożenia na butelkę lub nakrętka na słoik,
- czujnik CO₂ z DAQ,
- termometr do pomiaru temperatury wody.

2. Dodaj drożdże i cukier do pojemnika, wlej ciepłą wodę (zmierz początkową temperaturę) i wymieszaj.

3. Zamknij pojemnik:

- Jeśli używasz balonu, załóż go na szyjkę naczynia, aby mógł się napompować gazem (to jakościowa demonstracja produkcji gazu dla młodszych uczniów)
- Jeśli używasz pokrywki, przymocuj czujnik CO₂ pod pokrywką (nad cieczą) i zacznij rejestrować dane.

4. Obserwuj przez 15–30 minut:

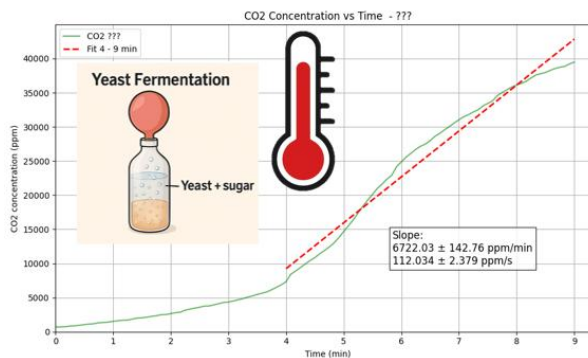
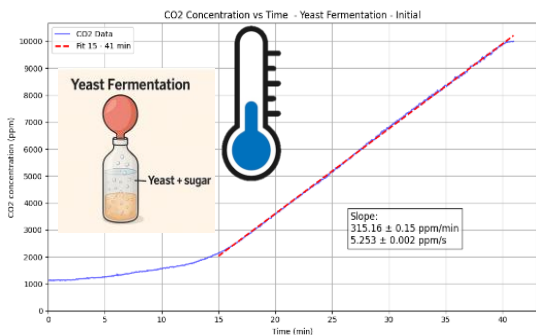
- na powierzchni pojawia się piana,
- Balon się nadmuchuje,
- czujnik CO₂ wykazuje stopniowy wzrost (często kilka tysięcy ppm).

5. Eksportuj dane (CSV) i stwórz wykres XY: stężenie CO₂ (ppm) względem czasu (s). Porównaj wykres z notatkami z obserwacji z tym, co się działo (piana, napompowanie balonów).

Wersja rozszerzona:

Poproś uczniów o przygotowanie kilku pojemników z wodą o różnych temperaturach (np. zimna $\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura pokojowa $\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ciepła $\sim 30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$, gorąca $\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dodaj do każdego z nich tyle samo drożdży i cukru. Rejestruj stężenie CO_2 w czasie za pomocą czujnika (lub porównaj nadmuchiwanie balonu). To rozszerzenie pozwala uczniom sprawdzić, jak temperatura wpływa na tempo produkcji biologicznego CO_2 oraz określić "optymalny zakres" aktywności drożdży. Łączy się bezpośrednio z nauką o klimacie, ponieważ temperatura silnie reguluje procesy biologiczne, takie jak oddychanie, rozkład i aktywność mikroorganizmów w glebie.

W poniższym przykładzie tempo uwalniania CO_2 zmienia się ponad 20 razy z powodu zmiany temperatury wody:



Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Fermentacja to proces biologiczny, w którym drożdże rozkładają cukier na alkohol i CO_2 . Eksperyment pokazuje, że organizmy żywe mogą być ważnym źródłem CO_2 .
- Na skalę globalną podobne procesy biologiczne przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie i produkcji żywności. Zmiany użytkowaniu ziemi, uprawa roślin i hodowla zwierząt prowadzi do emisji około **6 miliardów ton równoważnika CO_2** rocznie ($\sim 15\text{--}20\%$ gazów cieplarnianych emitowanych przez człowieka). Rolnictwo jest jednym z głównych sektorów odpowiedzialnych za globalne ocieplenie.

- Dramatyczne wydarzenia ekologiczne przypominają o wrażliwości ekosystemów: na przykład masowe **wymieranie antylop sajgi w Kazachstanie**⁷ w 2015 roku, gdzie warunki klimatyczne spowodowały infekcję bakteryjną, która zabiła ponad 200 000 zwierząt. Takie przypadki pokazują, jak subtelne zmiany temperatury i wilgotności mogą wywoływać duże biologiczne sprzężenia zwrotne, tak jak małe procesy mikrobiologiczne w tym eksperymencie skalują się, wpływając na globalny klimat.

⁷<https://www.theguardian.com/science/animal-magic/2016/apr/14/mass-death-saiga-antelope-kazakhstan-bacterial-infection>

8.4 Biologiczna produkcja CO₂ – gleba

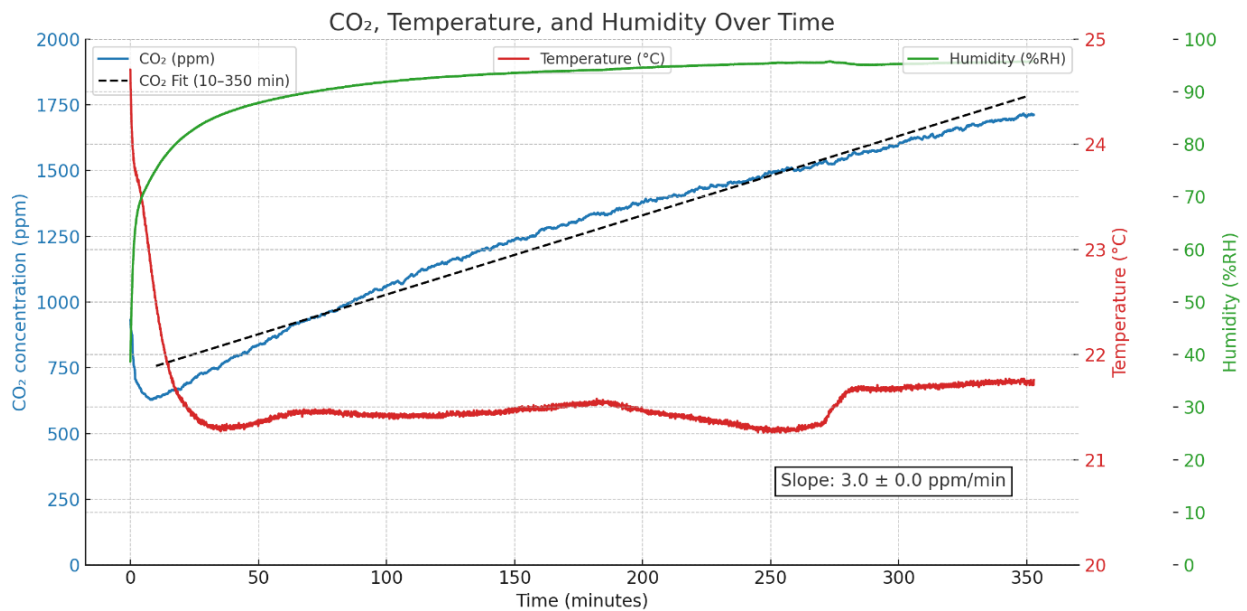
Cel:

Wykazanie, że gleba jest aktywnym systemem biologicznym i może być źródłem CO₂ w wyniku oddychania mikroorganizmów oraz rozkładu materii organicznej.

Procedura:

1. Przygotuj czysty słoik i włóż do niego kawałek wilgotnej ziemi (luźnej, nie zbitej).
2. Przymocuj czujnik CO₂ pod pokrywką, aby nie dotykał powierzchni gleby.
3. Zamknij słoik i zacznij rejestrację danych.
4. Prowadź niezakłócone pomiary przez 10–20 minut.
5. Obserwuj, jak stężenie CO₂ zmienia się w czasie.
6. Powtórz pomiar z pustym słoikiem (eksperyment kontrolny) i porównaj wyniki.
7. Wyrysuj stężenie CO₂ (ppm) względem czasu (s) i powiąż krzywą z tym, co dzieje się wewnątrz gleby.

Poniższy wykres przedstawia zmiany parametrów środowiskowych w ciągu kilku godzin



Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Gleba zawiera dużą liczbę mikroorganizmów, które oddychają i rozkładają materię organiczną, uwalniając CO₂ jako naturalną część cyklu węglowego.
- Na całym świecie gleby magazynują więcej węgla niż atmosfera i roślinność razem wzięte. Niewielkie zmiany warunków glebowych (wilgotność, temperatura, materia organiczna) mogą więc silnie wpływać na emisję CO₂.
- Praktyki rolnicze, takie jak uprawa, nawadnianie i nawożenie, wpływają na aktywność mikroorganizmów glebowych i mogą zwiększać emisję nie tylko CO₂, ale także innych gazów cieplarnianych, takich jak podtlenek azotu (N₂O) i amoniak (NH₃).
- Eksperyment ten pokazuje, że gleby nie są powierzchniami pasywnymi, lecz dynamicznymi ekosystemami, których zarządzanie odgrywa kluczową rolę w łagodzeniu i adaptacji do zmian klimatu.

8.5 Wprowadzenie do inteligentnego rolnictwa

Cel:

Wprowadzenie koncepcji inteligentnego rolnictwa poprzez wykorzystanie danych z czujników do wspierania decyzji dotyczących podlewania roślin, zamiast polegania na stałych harmonogramach czy intuicji.

Procedura:

1. Przygotuj doniczkę lub pojemnik z ziemią i rosnącą rośliną.
2. Włóż czujnik wilgotności gleby do gleby, blisko korzeni roślin.
3. Podłącz czujnik do modułu DAQ i rozpocznij rejestrację danych.
4. Obserwuj zmiany wartości wilgotności gleby w czasie w normalnych warunkach (bez podlewania).
5. Podlewaj roślinę i obserwuj, jak zmienia się odczyt wilgotności gleby.
6. Kontynuuj monitorowanie przez kilka godzin lub dni, aby zobaczyć, jak szybko gleba wysycha.
7. Omów lub określ **próg**, poniżej którego podlewanie jest konieczne.

Wersja rozszerzona:

Działalność inteligentnego rolnictwa można rozszerzyć poprzez wprowadzenie **automatycznego nawadniania**, gdzie dane o wilgotności gleby są wykorzystywane do automatycznego włączania podlewania (np. za pomocą pompy lub zaworu sterowanego przekaźnikowym). Uczniowie mogą zdefiniować wartości progowe i sprawdzić, jak różne strategie wpływają na wzrost roślin i zużycie wody.

Kolejnym rozszerzeniem jest przeprowadzenie eksperymentu w skrzynce do uprawy lub mini-szklarni, gdzie kontrolowane lub monitorowane są dodatkowe parametry, takie jak natężenie światła, temperatura i wilgotność. Pozwala to uczniom porównywać środowiska otwarte i kontrolowane, badać pętle sprzężenia zwrotnego między warunkami

klimatycznymi a potrzebami roślin oraz dyskutować, jak precyzyjne rolnictwo może pomóc w dostosowaniu produkcji żywności do zmian klimatu, jednocześnie ograniczając zużycie zasobów.

Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Rolnictwo jest bardzo wrażliwe na zmiany klimatu, zwłaszcza na rosnącą częstotliwość susz, fale upałów i nieregularne opady.
- Tradycyjne nawadnianie często marnuje wodę przez podlewanie zbyt wcześnie lub zbyt późno, podczas gdy inteligentne rolnictwo wykorzystuje dane w czasie rzeczywistym do optymalizacji wykorzystania zasobów.
- Nawadnianie oparte na czujnikach zmniejsza zużycie wody, zużycie energii oraz spływ nawozów, obniżając emisję gazów cieplarnianych związaną z rolnictwem.
- To zajęcie wprowadza uczniów w **strategie adaptacji do klimatu**, pokazując, jak technologia może pomóc ekosystemom i systemom produkcji żywności radzić sobie ze zmieniającymi się warunkami środowiskowymi.
- Ta sama logika oparta na danych jest stosowana w rolnictwie na dużą skalę, gdzie czujniki, satelity i modele wpływają na decyzje dotyczące globalnego bezpieczeństwa żywnościowego i odporność na zmiany klimatu.

8.6 Budowanie samowystarczalnego, zamkniętego ekosystemu – wyzwanie PBL

Cel:

Zaprojektowanie, budowanie i monitorowanie małego, zamkniętego ekosystemu, który może funkcjonować przez dłuższy okres bez zewnętrznych ingerencji, oraz zrozumienie pętli sprzężeń zwrotnych w zamkniętych systemach środowiskowych.

Procedura:

1. Podziel uczniów na małe grupy i postaw wyzwanie:
Zbuduj zamknięty ekosystem, który będzie mógł przetrwać tak długo, jak to możliwe.
2. Poproś uczniów o przyniesienie dodatkowych materiałów, takich jak przezroczysty słoik lub pojemnik, ziemia, małe rośliny lub mech, woda oraz opcjonalne naturalne elementy (kamienie, ściółka liściowa).
3. Poproś uczniów, aby zaplanowali swój ekosystem przed jego zbudowaniem, biorąc pod uwagę:
 - o ilość wody,
 - o typ i liczba roślin,
 - o obecność gleby i materii organicznej,
 - o dostępne światło.
4. Umieść czujniki CO₂, temperatury i wilgotności podłączone do DAQ wewnątrz słoika, przymocowane do pokrywki.
5. Zaczynij logowanie danych i zamknij pojemnik.
6. Monitoruj zmiany w czasie (godziny, dni lub tygodnie) – porównaj odczyty danych z widocznymi zmianami stanu roślin (wzrost, więdnienie, kondensacja pary).

Co to ma wspólnego z klimatem?:

- Zamknięty ekosystem jest dobrym modelem układu ziemskiego: energia wchodzi do układu głównie w postaci światła słonecznego, podczas gdy materia krąży wewnątrz.
- Małe nierównowagi w zawartości węgla, wody czy energii mogą prowadzić do dużych zmian w czasie, podobnie jak w rzeczywistym systemie klimatycznym.
- Rosnące poziomy CO₂, przegrzewanie się czy zaburzenia równowagi wodnej wewnątrz słoika odzwierciedlają globalne wyzwania, takie jak zmiany klimatu, susza czy załamanie się ekosystemu.
- Aktywność ta podkreśla sprzężenie zwrotne (np. fotosynteza roślin vs. oddychanie), efekty opóźnione w czasie i punkty krytyczne – kluczowe pojęcia w nauce o klimacie.
- Projektując i testując własne ekosystemy, uczniowie doświadczają, jak ludzkie decyzje wpływają na stabilność środowiska, wzmacniając przekonanie, że klimat Ziemi nie jest nieskończenie odporny na naszą działalność.

Opcjonalne pytania i refleksje:

- Co sprawia, że niektóre ekosystemy są bardziej stabilne od innych?
- Czy system osiągnął równowagę, czy raczej była to porażka?
- Które procesy były szybkie, a które wolne?
- W czym Ziemia jest podobna i różni się od ekosystemu słoików?

Podsumowanie po lekcji

9. Tematy do dyskusji

Poniższe tematy dyskusji pomagają uczniom zastanowić się nad pomiarami i połączyć wyniki eksperymentów z szerszymi procesami w ekosystemach i klimatycznymi:

- **Różne źródła CO₂:** Jak różniła się produkcja CO₂ między reakcjami chemicznymi, procesami biologicznymi (drożdże, gleba) a oddychaniem w zamkniętych ekosystemach? Które źródła były szybkie, a które powolne?
- **Systemy zamknięte a otwarte:** Jak CO₂ zachowywał się na otwartym terenie, w przestrzeniach wentylowanych, w słoikach i zamkniętych ekosystemach? Jak to pomaga nam zrozumieć atmosferę Ziemi jako układ - czy Ziemia jest systemem otwartym czy zamkniętym?
- **Od ppm do zmian klimatu:** Jak krótkoterminowy wzrost stężenia CO₂ wypada w porównaniu z długoterminowym wzrostem obserwowanym od ery przedindustrialnej? Dlaczego pozornie niewielka zmiana ppm jest ważna na skalę globalną?
- **Pętle zwrotne i punkty zwrotne:** Które eksperymenty wykazały stabilizujące sprzężenia zwrotne (np. wzrost roślin)? Który wykazał efekty niekontrolowane lub awarię systemu? Jak te zasady mają związek z rzeczywistymi punktami zwrotnymi klimatycznymi?
- **Pomiar i niepewność:** Jakie ograniczenia zaobserwowaliście w czujnikach i rejestrowaniu danych (czas rozgrzewania, bezwładność, szum)? Jak naukowcy odpowiadają na podobne problemy w badaniach nad klimatem?
- **Podejmowanie decyzji na podstawie danych:** Jak pomiary kierowały działaniami w zakresie inteligentnego rolnictwa i projektowania ekosystemów? Dlaczego podejmowanie decyzji opartych na danych jest niezbędne dla łagodzenia skutków i adaptacji do zmian klimatu?

- **Odpowiedzialność człowieka:** Które eksperymentalne interwencje przypominają działania człowieka w rzeczywistych ekosystemach? Jakie lekcje oferują te eksperymenty dotyczące zrównoważonego zarządzania ziemią, rolnictwem i emisjami?

10. Ocena

Ocena koncentruje się na **procesie, zrozumieniu i refleksji**, a nie na poprawnych wynikach liczbowych. Celem jest ocena, jak uczniowie wykorzystują pomiary do rozumowania o ekosystemach i klimacie.

Ocena formatywna (podczas aktywności)

Nauczyciele mogą obserwować i oceniać zdolność uczniów do:

- prawidłowego skonfigurowania czujników i rejestrowania danych;
- zapisywania obserwacji wraz z danymi numerycznymi;
- rozpoznawania ograniczeń pomiarowe (czas nagrzewania sensorów, bezwładność, szum);
- powiązanie zmian na wykresach z działaniami eksperymentalnymi lub procesami środowiskowymi;
- Skutecznej współpracy podczas zadań grupowych.

Ocena oparta na refleksji

Aby kłaść nacisk na zrozumienie zamiast zapamiętywania, uczniowie mogą odpowiadać na otwarte pytania, takie jak:

- Co wykazały pomiary, co nie było widoczne na pierwszy rzut oka?
- Który eksperyment najbardziej zmienił twoje rozumienie CO₂, ekosystemów i dlaczego?
- Jak pomiar małego układu pomaga nam zrozumieć globalne procesy klimatyczne?

11. Rozszerzenia

Zachęcamy nauczycieli i uczniów do projektowania własnych rozszerzeń, korzystając z wyposażenia dostępnego w zestawie lub poprzez rozszerzanie jego możliwości. Moduł DAQ obsługuje różne typy czujników, podczas gdy platformy takie jak micro:bit umożliwiają dodatkowe programowanie i personalizację.

1. Monitorowanie kompostu i odpadów organicznych

Zmierz CO₂ (a opcjonalnie inne gazy) uwalniane podczas kompostowania lub rozkładu odpadów organicznych, a także zmianę temperatury w kompoście. Ta działalność łączy gospodarkę odpadami, aktywność biologiczną oraz emisję gazów cieplarnianych.

2. Rzeczywiste pomiary ekosystemu

Wykonuj pomiary poza klasą, na przykład w szkolnym ogrodzie, parku, na skraju lasu czy na terenach podmokłych – zabierz DAQ na wycieczki i święta, buduj "kulturę dociekania".

3. Długoterminowe projekty monitoringu środowiska

Powtarzaj pomiary przez tygodnie lub miesiące, aby obserwować powolne zmiany w ekosystemach. Pomaga to studentom zrozumieć długoterminowe trendy, skutki sezonowe oraz różnicę między krótkoterminowymi wahaniami a trwałymi zmianami.

4. Porównywanie różnych typów ekosystemów

Projektujcie i monitorujcie wiele ekosystemów (np. glebowych, wodnych, mchowych, hydroponicznych) oraz porównujcie ich wymianę gazową, stabilność i odporność.

5. Łączenie pomiarów naziemnych z danymi zewnętrznymi

Połącz dane z czujników z lokalnymi zapisami pogodowymi, danymi o jakości powietrza lub obserwacjami satelitarnymi. Wprowadza to studentów w

wielozródłowe analizy środowiskowe, stosowaną w rzeczywistych badaniach klimatycznych.

6. **Budowanie systemów IoT do monitorowania środowiska**

Projekt można rozszerzyć, łącząc czujniki i moduły DAQ z Internetem, umożliwiając zdalny dostęp do danych, pulpitów lub alertów.