



INSTRUKCJE **z ćwiczeniami**

Zmierz się Z KLIMATEM!

Podmiot odpowiedzialny:

Fundacja Edukacji Klimatycznej



**FUNDACJA
EDUKACJI
KLIMATYCZNEJ**

Fundacja Edukacji Klimatycznej

ul: Hoża 86/410

00-682 Warszawa

NIP: 5252851616 | KRS: 0000883035

Patronat:

www.naukaoklimacie.pl



NAUKA O KLIMACIE

Produkcja wydawnicza

Ida M. Kozłowski

**Materiał i filmy inspiracyjne
dostępne online pod QR-kodem**



Spis treści

<u>Wstęp</u>	5
<u>1. Przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów</u>	6
<u>1.1 Zestaw pomiarowy strumieni promieniowania i stężenia CO₂</u>	6
<u>1.2 Kamera termowizyjna</u>	11
<u>1.3 Zestaw fotowoltaiczny</u>	12
<u>2. Ćwiczenie 1 – Co możemy zaobserwować kamerą termowizyjną?</u>	13
<u>3. Ćwiczenie 2 – Termoizolacja</u>	16
<u>4. Ćwiczenie 3 – Wyznaczanie efektu cieplarnianego i efektu aerozolowego</u>	18
<u>4.1 Sposób wykonania ćwiczenia</u>	20
<u>4.2 Ćwiczenie dodatkowe</u>	20
<u>4.3 Analiza wyników pomiarów</u>	21
<u>4.4 Pytania</u>	21
<u>5. Ćwiczenie 4 – Jak wykorzystać energię słoneczną?</u>	22
<u>5.1 Słowniczek pojęć</u>	23
<u>5.2 Zadanie nr 1 – Panel i żarówka, rola magazynu energii</u>	24
<u>5.3 Zadanie nr 2 – Panel i silnik: moc ładowania i moc rozładowania</u>	25
<u>5.4 Zadanie nr 3 – Micro:bit: wykresy ładowania i rozładowania</u>	27
<u>5.5 Zadanie nr 4 – Sterowanie odbiornikiem (wyłącznik zmierzchowy)</u>	29
<u>5.6 Podsumowanie</u>	30
<u>6. Ćwiczenie 5 – Jakie są źródła emisji dwutlenku węgla?</u>	31
<u>6.1 Zadanie nr 1 – Pomiar stężenia CO₂ w powietrzu</u>	32
<u>6.2 Zadanie nr 2 – Wytworzenie CO₂ w reakcji chemicznej</u>	33
<u>6.3 Zadanie nr 3 – Wytworzenie CO₂ w procesie biologicznym</u>	34
<u>6.4 Zadanie nr 4 – Czynniki wpływające na intensywność emisji CO₂</u>	36
<u>6.5 Podsumowanie</u>	38

Autorzy



**prof. dr hab.
Szymon Malinowski**
fizyk atmosfery



**prof. dr hab.
Krzysztof Markowicz**
fizyk atmosfery



**dr hab. prof. ucz.
Jacek Pniewski**
Instytut Geofizyki
Uniwersytet Warszawski

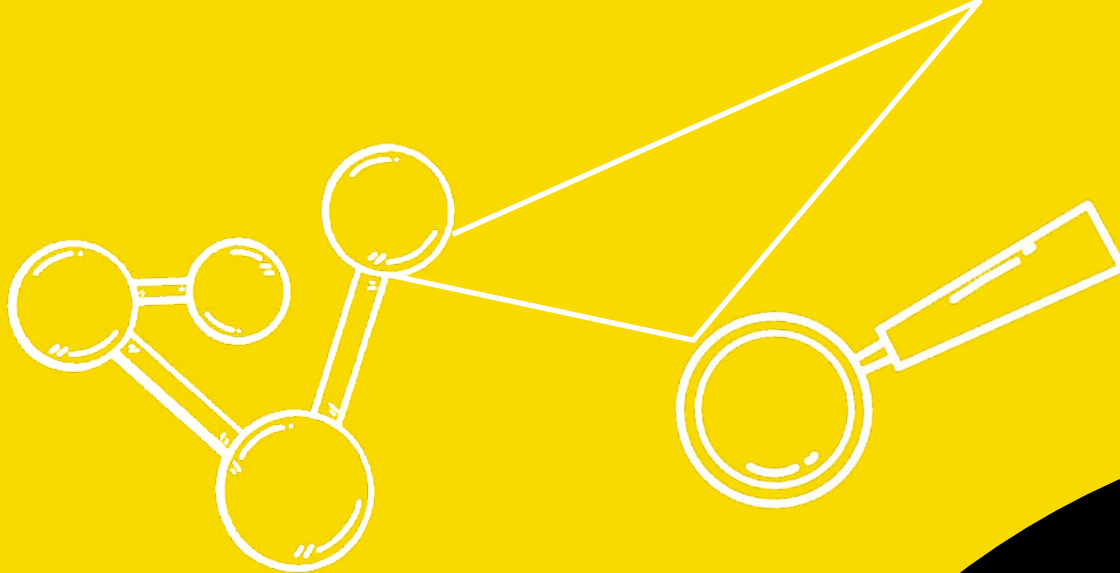


dr Robert Grosz
fizyk atmosfery



Dariusz Aksamić
Wydział Fizyki
Politechniki
Warszawskiej





S4ClimateKit

Przed Tobą zestaw S4ClimateKit – Twój mały warsztat badawczy! W środku znajdziesz proste, ale nietypowe narzędzia do pokazów, demonstracji i doświadczeń, które pozwolą odkrywać procesy zachodzące wokół nas. Ten podręcznik pomoże Ci poznać układ pomiarowy, nauczy zasad jego wykorzystania i poprowadzi przez ćwiczenia, dzięki którym zrozumiesz podstawy systemu klimatycznego. W trakcie zabawy poczujesz się jak prawdziwy naukowiec: będziesz obserwować zjawiska, analizować je i wyciągać wnioski. Gotowy na odkrycia? Do dzieła!

W skład zestawu wchodzi:

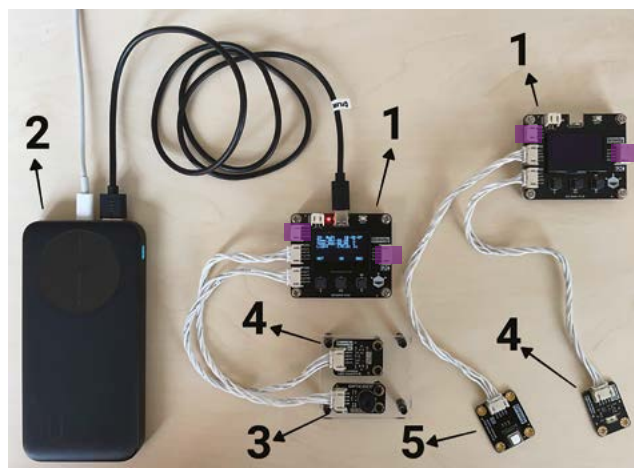
- kamera termowizyjna z układem obrazowania,
- zestaw fotowoltaiczny,
- zestaw pomiarowy strumieni promieniowania i stężenia CO₂ w atmosferze.



1. Przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów

W tej części opiszemy od strony technicznej układy pomiarowe i przedstawimy zwięzłą instrukcję właściwego przeprowadzenia pomiarów.

1.1 Zestaw pomiarowy strumienia promieniowania i stężenia CO₂



Rysunek 1.1. Układ pomiarowy z prawidłowym podłączeniem wszystkich elementów.

1.1.1 Elementy zestawu

Na Rys. 1.1. znajduje się układ złożony z następujących elementów: rejestratory danych – Gravity SCI DAQ Module (DFRobot DFR0999) (1), moduł zasilający – powerbank (2) oraz czujniki: zdalny termometr (3), luksomierze (4) i czujnik stężenia CO₂ (5). Poniżej znajduje się skrócony opis czujników oraz wielkości, które pozwalają zmierzyć:

- zdalny termometr – pirometr (3), Gravity MLX90614 (DFRobot SEN206), wykorzystuje promieniowanie podczerwone (długofalowe) dla określenia temperatury obiektu. Układ optyczny o polu pola widzenia (35°) reaguje na natężenie promieniowania podczerwonego, co pozwala określić tzw. temperaturę emisyjną obiektów w polu widzenia (producent oznacza tę zmienną w plikach jako Temp_Amb). Drugą mierzoną wielkością jest temperatura samego czujnika (oznaczona jako Temp_Obj). W obu przypadkach dane podawane są w stopniach Celsjusza (°C);



wewnętrznych komponentów, są to złącza: USB-C, zasilania baterijnego (w tej konfiguracji NIE UŻYWAMY zasilania baterijnego), jeden wejściowy port analogowy (Port1), dwa wejściowe porty cyfrowe (Port2 i Port3), które są wykorzystywane do podłączenia naszych czujników i jeden wyjściowy port cyfrowy (12C). Obraz pochodzi ze strony producenta (https://wiki.dfrobot.com/SKU_DFR0999_Gravity_SCI_DAQ_Module) i uwzględnia tłumaczenie.

Podłączenie układu poprzez kabel USB do powerbanku lub komputera powoduje automatyczne włączenie układu.

• **Uwaga:** producent powerbanku zastosował w urządzeniu pewne ograniczenie poboru energii, co prowadzi do tego, że samo podłączenie rejestratora z czujnikami może spowodować odcięcie zasilania po około 30 s (zbyt mały pobór energii). Dzieje się to w przypadku układu, w którym jest pirometr i luksomierz; drugi układ nie wykazuje takich cech. Aby obejść problem, podłącz do złącza USB-C powerbanku dowolny kompatybilny kabel do złącza in/out, to spowoduje, że powerbank pozostanie włączony.

2. Kiedy układ jest już podłączony do zewnętrznego zasilania, a do rejestratora danych podpięte są czujniki, na rejestratorze danych wyświetlają się informacje m.in. na temat aktualnych wskazań podłączonych czujników oraz ustawionego czasu rejestratora. W przypadku schematu z Rys. 1.2. są to przykładowe wskazania temperatury powietrza (Temp_Air), wilgotności względnej (Humi_Air) oraz natężenia światła (Light); ustawiony czas to godzina 15 i upływająca 26 minuta. Moduł ID nie jest w naszym przypadku użyteczny, dlatego go pominiemy w dalszej części opisu. Bardzo istotne są natomiast oznaczenia przycisków na dole ekranu, są to kolejno SET, OK oraz REC. Pierwszy z lewej pozwala nam wejść w ustawienia rejestratora, drugi zatwierdza nowe ustawienia, a trzecie służy do zapisu danych.

Po kliknięciu SET otworzy się menu, które, jak możesz się domyślić, jest napisane w języku angielskim. Wszystkie osoby, które nie czują się z tego powodu komfortowo, uspokajamy, ponieważ oznaczenia są bardzo proste, a w praktyce posługujemy się jednym ustawieniem, mianowicie Data Refresh Rate (częstotliwość odświeżania). Za jego pomocą ustawiamy, z jaką rozdzielczością czasową chcemy rejestrować nasze dane. Aby się tam dostać, musimy wcisnąć SET, a następnie nawigować dolnymi przyciskami, które po otwarciu menu zmieniają oznaczenia na UP (góra), OK i DOWN (dół).

Po dotarciu do ustawienia Data Refresh Rate kliknij OK i wybierz preferowany czas interwału. Rejestrator pozwala wybrać jeden z następujących wariantów: 1 ms (milisekunda), 1 s (sekunda), 5 s, 10 s, 1 min (minuta), 5 min oraz 10 min. Polecamy wybrać jedną sekundę dla najlepszych efektów. Aby wrócić do głównego ekranu, należy dwukrotnie wybrać opcję BACK (powrót). Wówczas w prawym górnym rogu powinieneś widzieć upływające sekundy i aktualny czas. Wyłączenie układu nie spowoduje zresetowania ustawień, więc wystarczy to zrobić tylko raz.

• **Uwaga:** częstotliwość odświeżania to nie to samo co czas reakcji czujnika. Pierwsza wielkość oznacza jedynie to, jak często odświeża nam się aktualna wartość konkretnej zmiennej na ekranie. Czas reakcji czujnika z kolei mówi nam o tym, jak szybko może on dokonywać pomiaru. Czujniki temperatury i natężenia światła mają czas reakcji wynoszący około 1/3 s. W przypadku wybrania częstotliwości większej niż 1 s rejestrator będzie po prostu obliczał średnią dla większego interwału. Z drugiej strony czujnik CO₂ ma zadany czas reakcji 60 s w przypadku pomiaru stężenia CO₂ oraz 120 s dla pomiarów temperatury i wilgotności względnej. W efekcie tego po ustawieniu czasu odświeżania krótszego niż czas reakcji, będziesz obserwować na ekranie dużo wolniejszą odpowiedź czujnika na zmiany (np. po bezpośrednim chuchnięciu w czujnik nie zaobserwujemy szybkich zmian stężenia CO₂, wartość będzie rosła stopniowo, a następnie powoli opadać).

1.1.3 Przeprowadzenie pomiarów

Skoro wiesz już, z czego składa się układ badawczy, ustawile(a)ś wybraną częstotliwość odświeżania i zdecydowałeś(a)ś, gdzie wykonać pomiar, możesz przejść do samej procedury pomiarowej.

W zależności od wybranej metody zasilania podejście do rejestracji danych jest nieco inne. Jeżeli zdecydujesz się na pomiar przy zasilaniu przez port USB-C z powerbanku, wystarczy jedynie podłączyć układ do źródła zasilania, ustawić go w wybranym miejscu i nacisnąć klawisz REC. Wówczas rozpocznie się zapisywanie danych do

arkusza, a dioda zacznie migać z częstotliwością ustawionej wcześniej częstotliwości odświeżania. Aby zakończyć pomiar, kliknij ponownie REC. Jeżeli natomiast podłączysz układ do komputera, to z naszych obserwacji wynika, że rozpoczęcie pomiaru powinno rozpocząć w ciągu około 20 s od podłączenia. Po tym czasie zazwyczaj komputer rozpoznaje podłączenie pamięci zewnętrznej i nie da się już rozpocząć pomiaru – naciśnięcie REC nie da żadnego efektu. W przypadku niepowodzenia, zalecamy odłączyć i podłączyć ponownie układ.

Sugerujemy, aby każdy pomiar trwał minimum 30 min (a najlepiej kilka godzin), co pozwoli zebrać dobrą statystykę.

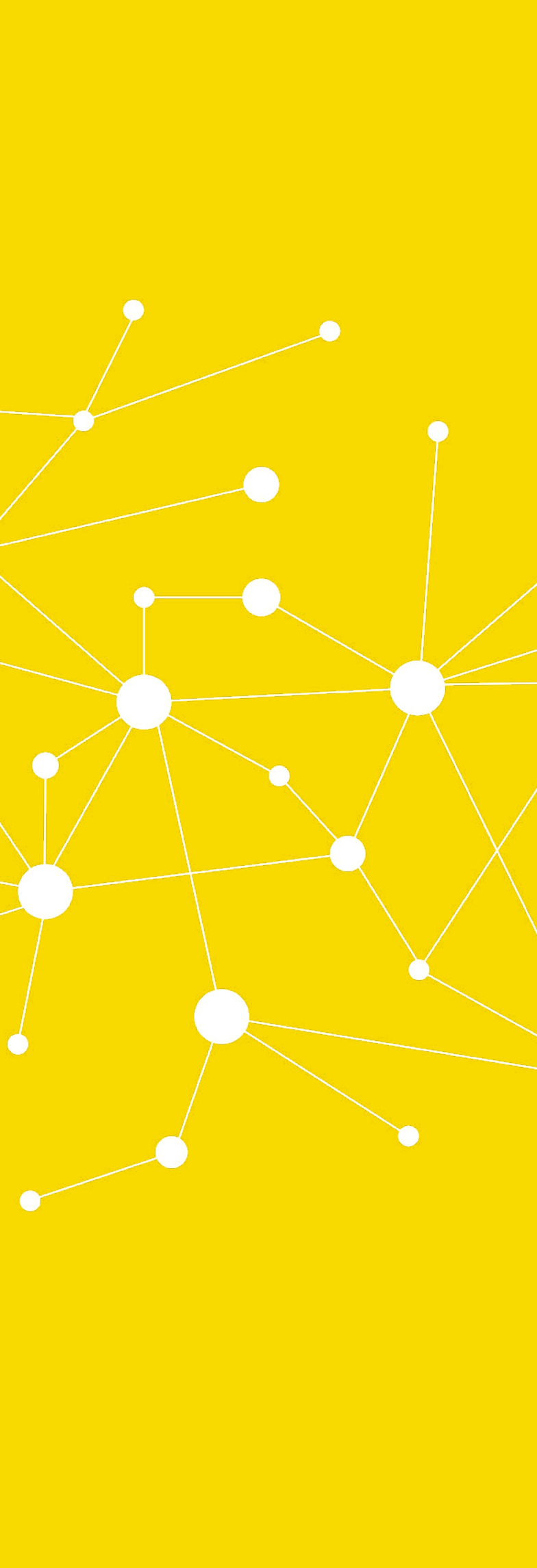
• **Uwaga:** bardzo dobrą praktyką podczas pomiarów jest prowadzenie notatek i zapisywanie czasu rozpoczęcia/zakończenia pomiarów, a także notowanie istotnych uwag, które mogą mieć wpływ na pomiary (położenie układu pomiarowego lub aktualny poziom zachmurzenia).

• **Uwaga:** podczas wykonywania pomiaru nie dotykaj czujników, nie zasłaniaj im pola widzenia oraz nie przestawiaj układu. W przeciwnym razie efekty będą widoczne w późniejszym czasie na wykresach.

• **Uwaga:** zalecamy wykonywanie kolejnych pomiarów po wcześniejszym wyłączeniu i włączeniu układu (odłączeniu i podłączeniu kabla). W przeciwnym razie zapisane dane będą dołączane do uprzednio utworzonego skoroszytu w pamięci rejestratora.

1.1.4 Odczytywanie i przedstawianie danych na wykresach

Po zebraniu pełnego zestawu danych przyszedł czas na przeanalizowanie tego, co udało się zmierzyć. Podłącz układ pomiarowy do komputera przez port USB-C i otwórz zawartość pamięci rejestratora, który widoczny jest jako dysk zewnętrzny (pendrive). Znajdą się tam pliki z rozszerzeniem CSV, które możesz otworzyć przy pomocy Excela lub podobnego programu (np. darmowy otwarty Libre Office Calc). Zwróć uwagę na nazwy plików, to one pomogą rozróżnić konkretne pliki. Ich format opiszemy na przykładzie: 07_24_11_42_20.CSV – oznacza,



że plik powstał dnia 24.07 o godzinie 11:42:20 i od tego momentu rejestrator zaczął tam zapisywać dane pomiarowe.

Po otwarciu pliku zaobserwuj, że dane są mocno „skompresowane” przy lewej krawędzi. To oznacza, że zanim będzie można je wygodnie odczytać, musimy je jeszcze odpowiednio sformatować. W Excelu **zaznacz najpierw całą kolumnę A** (klikając w komórkę z tą literą, wówczas podświetli się cała kolumna), a następnie wybierz kartę **Dane**, a z niej opcję: **Tekst jako kolumny**. Wówczas otworzy się: **Kreator konwersji tekstu na kolumny**, który pomoże sformatować dane. Zaznacz opcję: **Rozdzielany** i kliknij: **Dalej**, na następnej karcie zaznacz wszystkie ograniczniki z wyjątkiem: **Inne i Dalej**. Na ostatniej karcie wybierz opcję **Zaawansowane**, zmień separator dziesiętny z **przecinka na kropkę** i kliknij kolejno **OK** i **Zakończ**. Dane powinny ładnie porozdzielać się na kolumny - każdy wers będzie odpowiadał danym odczytanym w konkretnej sekundzie (o ile wybierzesz czas odświeżania 1 s).

Ostatnim etapem jest przekopiowanie kolejnych kolumn do odpowiednich miejsc arkusza pudełko.xlsx. Aby zaznaczyć całą kolumnę, użyj kombinacji Shift+Ctrl+strzałka w dół w przypadku Windowsa lub Shift+Command+strzałka w dół na MacOSie. Następnie Ctrl+c lub Ctrl+Command, aby skopiować i Ctrl+v lub Command+v, aby wkleić w odpowiednim miejscu.

23:48:46	23:48:46
23:49:46	23:49:46
23:50:46	23:50:46
23:51:46	23:51:46
23:52:46	23:52:46
23:53:46	23:53:46
23:54:46	23:54:46
23:55:46	23:55:46
23:56:46	23:56:46
23:57:46	23:57:46
23:58:46	23:58:46
23:59:46	23:59:46
00:00:46	=G30+1
00:01:46	
00:02:46	
00:03:46	
00:04:46	
00:05:46	
00:06:46	
00:07:46	
00:08:46	
00:09:46	
00:10:46	

Rysunek 1.3. Schemat zmiany daty w Excelu w przypadku wykonywania pomiarów przez noc.

Arkusz pudełko.xlsx zbudowany jest z dwóch tabel i odpowiednio sformatowanych wykresów, które automatycznie wykreślą krzywe, po wprowadzeniu danych do tabel. Potrzebne będą dane ze wszystkich czujników, czyli łącznie z dwóch skoroszytów CSV. W celu wygodnego wklejenia, skopiuj najpierw potrzebne dane, a następnie zaznacz pierwszą komórkę pod odpowiednią nazwą zmiennej (we wszystkich arkuszach nazwy zmiennych są te same) i wklej tam konkretną kolumnę. Powtórz tę czynność dla każdej kolumny oddzielnie, aż obie tabele się zapełnią.

Po zakończeniu wklejania wszystkie wykresy powinny się odpowiednio sformatować, co pozwoli zaobserwować zmienność badanych wielkości fizycznych. Jeżeli wykresy będą miały niewłaściwe granice na osi poziomej lub pionowej, to dwukrotne kliknięcie w wartości danej osi otworzy okno **Formatowania** osi, gdzie będzie można je zmodyfikować.

• **Uwaga:** jeżeli zdecydujesz się na pomiar przez noc (nastąpi zmiana daty), to nie wystarczy proste przekopiowanie kolumny czasu. Wynika to z faktu, że rejestrator nie uwzględnia tego w plikach CSV – **wszystkie dane pomiarowe mają przypisaną datę rozpoczęcia zapisu.** Aby to obejść, proponujemy przekopiować najpierw całą kolumnę czasu w dowolne inne miejsce w Excelu, a następnie zaznaczyć cały początkowy zakres z pierwszego dnia (dane przed północą) i przekopiować go obok do kolumny. W pierwszej komórce poniżej napisać „=”, kliknąć sąsiednią komórkę, dopisać „+1” oraz kliknąć Enter.

Po zakończeniu tej operacji najedź na prawy dolny róg komórki (pojawi się czarny krzyżyk) i kliknij dwa razy, aby zastosować zmianę do wszystkich komórek poniżej. Pozornie obie kolumny będą miały te same wartości, jednak dzięki wykonanej operacji, Excel będzie wiedział, że ma do czynienia z danymi o różnej dacie. Schemat postępowania w opisanej sytuacji zobrazowany jest na Rys. 1.3.

1.2 Kamera termowizyjna

Na Rys. 1.4. przedstawiono poglądowe zdjęcie bezprzewodowej kamery termowizyjnej FLIR One Edge, która pozwoli Ci lepiej zobrazować strumienie energii różnych obiektów. Jest to bardzo intuicyjne urządzenie, które zostało

zaopatrzone przez producenta w dedykowaną aplikację FLIR ONE dostępną zarówno na systemy Android, jak i iOS. Funkcjonalność w przypadku obu systemów jest bardzo podobna, ale nieznacznie się różni, co nie powinno wpływać na same pomiary.



Rysunek 1.4. Kamera termowizyjna FLIR One Edge (po prawej) oraz obraz w podczerwieni w dedykowanej aplikacji FLIR ONE (po lewej). Zdjęcie pochodzi ze strony producenta.

Do instrumentu dołączona jest również skrócona instrukcja papierowa w języku angielskim oraz bardziej rozbudowana wersja cyfrowa, która jest załącznikiem tej instrukcji (plik: flir_one_edge_manual.pdf). Aby ułatwić Ci pracę, użyliśmy ChataGPT do przetłumaczenia jej kluczowych części i dodaliśmy je w formie załącznika (plik: flir_one_edge_instrukcja.pdf). Zalecamy, aby przed pierwszym użyciem dokładnie przeczytać instrukcję oraz naładować baterię poprzez dołączony do zestawu kabel.

Jak podaje producent, czas pełnego naładowania zajmuje ok. 60-90 min, a 15 min ładowania pozwala na pracę przez około 40 min. Czas pracy na naładowanej baterii powinien wynosić około 1,5 h. Z kolei dokładność pomiaru w temperaturze otoczenia między 15 a 35 °C oraz temperaturze obiektu ponad 0°C wynosi +/-3°C lub 5% wartości pomiaru (decyduje wyższa wartość). Więcej szczegółów technicznych znajduje się na stronie producenta: www.support.flir.com

1.2.1 Przeprowadzenie pomiarów

Po zainstalowaniu aplikacji FLIR ONE na telefonie oraz zamontowaniu instrumentu na plecach telefonu, połączcie bezprzewodowo oba urządzenia zgodnie z instrukcją. Następnie wybierz jeden z dostępnych trybów obrazu i dostosuj obie kamery (wizyjną i termiczną), aby obejmowały ten sam zakres widzenia (jeśli zdecydujesz się na tryb podwójnego widzenia, czyli MSX). Warto też wybrać tryb pomiaru (liczbę punktów oraz tryby śledzenia najcieplejszego i najchłodniejszego punktu) oraz zakres temperatur (do wyboru jest zakres automatyczny, który zmienia się zależnie od tego, co widzi kamera, oraz zakres ręczny, w którym samodzielnie wybieracie zakres).



Rysunek 1.5. Zestaw pomiarowy MonkMakes Solar Experimenter's Kit. Grafika pochodzi z instrukcji producenta.

1.3 Zestaw fotowoltaiczny

1.3.1 Elementy zestawu MonkMakes Solar Experimenter's Kit

Zestaw składa się z następujących elementów (patrz Rys. 1.5):

- panel słoneczny do 10 V (Solar Panel),
- moduł Solar Store (superkondensator – magazyn energii),
- lampka 3 V (żarówka w oprawce),
- silniczek z wentylatorkiem,
- przewody połączeniowe z krokodylkami.

Dodatkowe elementy:

- BBC micro:bit (z kablem USB do programowania i koszyczkiem na baterie),
- multimetr cyfrowy (z sondami pomiarowymi).

Opcjonalne rozszerzenia w zakresie własnym:

- statyw lub podkładka do stabilnego ustawienia panelu słonecznego;
- źródła światła do testów (np. lampka biurkowa, latarka – oprócz naturalnego słońca);
- stoper lub zegar z sekundnikiem (do pomiaru czasu pracy silnika/lampki);
- komputer, tablet lub telefon do programowania micro:bita.

2. Ćwiczenie 1

Co możemy zaobserwować kamerą termowizyjną?

Cele ćwiczenia:

- zapoznanie z funkcjonowaniem kamery termowizyjnej
- zapoznanie z właściwościami promieniowania podczerwonego
- obserwacja różnic emisji promieniowania podczerwonego różnych obiektów.

Zachęcamy do skierowania kamery FLIR One Edge na różne powierzchnie, np. na odkryte fragmenty ciała lub głowę osoby w okularach korekcyjnych. Skąd wynikają takie wskazania kamery? Zwróć też uwagę, jakie są temperatury obiektów wokół Ciebie, np. telefonów i oświetlenia, ale też okien/luster lub automatów z przekąskami. Ze względu na ciągły przepływ energii ich temperatury mogą być bardzo różne. Przykładowy obrazek z kamery termowizyjnej w dwóch trybach zamieściliśmy na Rys. 2.1 i 2.2.



Rysunek 2.1. Powyżej. Zdjęcie dłoni zakrytej czarną folią w trybie MSX (podczerwień + kamera zakresu widzialnego, po lewej) i odbitym od nich świetle widzialnym (kamera zakresu widzialnego, po prawej). Na obrazie po lewej zaznaczony jest pomiar temperatury w centrum obrazu. Fotografie własne.

Wyjdź również z kamerą na zewnątrz i zmierz, jaka jest temperatura betonowej i asfaltowej nawierzchni przy wysokich temperaturach otoczenia. Jak temperatura ta zmienia się w zależności od rodzaju nawierzchni, kiedy zwrócisz kamerę na trawę i zacienione miejsca? Skieruj też kamerę w stronę chmur i bezchmurnego nieba zarówno pionowo nad głową, jak i blisko widnokregu. Czy widzisz jakieś różnice we wskazaniach? Z czego mogą wynikać?

Rysunek 2.2. Poniżej. Zdjęcie ulicy latem wykonane w trybie MSX (podczerwień + kamera zakresu widzialnego, po lewej) i odbitym od nich świetle widzialnym (kamera zakresu widzialnego, po prawej). Na obrazie po lewej zaznaczony jest pomiar temperatury w centrum obrazu. Fotografie własne.



Aby odpowiedzieć na to pytanie bardziej dokładnie, wykonaj poniższe zadania.

1. Co „widzi” kamera termowizyjna?

Kamera termowizyjna koduje temperaturami natężenie promieniowania podczerwonego docierającego do każdego piksela i korzystając z prawa Stefana Boltzmanna przypisuje temperaturę (uśrednioną) tego, co wyemitowało to promieniowanie.

Wykonaj następujące doświadczenia:

- Skieruj kamerę na dwa naczynia z wodą, jedno z ciepłą, drugie z zimną. Jak skomentujesz obraz?
- Skieruj kamerę na okno w klasie. Zaobserwuj temperaturę okna, następnie otwórz okno. Jak zmieni się obraz w kamerze? Co to znaczy?
- Przygotuj czarny worek z folii. Skieruj kamerę na rękę, a następnie nałóż na rękę worek. Jakie zmiany zaobserwujesz?

Wykonanie tego zadania pozwala zrozumieć sposób działania kamery termowizyjnej. Pozwala też zrozumieć, że szkło, mimo że przepuszcza światło widzialne, nie jest przezroczyste dla promieniowania podczerwonego, natomiast czarna folia, nieprzezroczysta dla światła widzialnego, jest częściowo przezroczysta dla podczerwieni.

2. Jak wygląda niebo w kamerze termowizyjnej?

Zadanie najlepiej wykonać przy częściowym zachmurzeniu. Skieruj kamerę termowizyjną w niebo, tak aby w polu widzenia nie znalazły się żadne obiekty stojące na powierzchni ziemi. Zarejestruj obraz, najlepiej albo ze skalą kolorów, albo z zaznaczonymi punktami o najwyższej i najniższej temperaturze. Jednocześnie wykonaj analogiczny obraz w świetle widzialnym, a następnie porównaj obrazy.

Jakie wnioski można wyciągnąć?

Najważniejszy wniosek to taki, że zarówno „czysta” atmosfera, jak i chmury promieniują w podczerwieni i że promieniowanie to dociera do powierzchni Ziemi. Brawo! Właśnie zaobserwowałeś bezpośrednio efekt cieplarniany! Gdybyś zrobił(a) podobne ćwiczenie na powierzchni Księżyca, gdzie nie ma atmosfery, mając „idealną” kamerę termiczną, zaobserwował(a)byś

temperaturę przestrzeni kosmicznej, która jest bliska zera bezwzględnego.

Dlaczego temperatura chmur jest na ogół wyższa niż temperatura nieba?

Chmury składają się z wody, substancji cieplarnianej, a ich budowa powoduje, że są (niemal) przezroczyste dla promieniowania widzialnego i nieprzezroczyste dla promieniowania podczerwonego. Powietrze, zawierające niewielkie domieszki gazów cieplarnianych (w tym pary wodnej), jest (niemal) przezroczyste dla promieniowania widzialnego i częściowo nieprzezroczyste dla podczerwieni. Chmury i powietrze emitują w dalekiej podczerwieni, zależnie od swojej temperatury. Temperatura w dolnych warstwach atmosfery spada z wysokością, co powoduje, że od chmur dociera do kamery promieniowanie podczerwone (przez nie emitowane) tylko nieznacznie zmodyfikowane przez emisję oraz pochłanianie podczerwieni z niższych warstw powietrza.

Promieniowanie w obszarze bezchmurnym to złożenie promieniowania podczerwonego emitowanego przez każdą z warstw atmosfery oraz efektu pochłaniania promieniowania wyemitowanego przez warstwy wyższe z pochłanianiem przez warstwy niższe, leżące „po drodze”. Im więcej gazów cieplarnianych znajduje się w atmosferze, tym jest ona mniej przezroczysta dla promieniowania podczerwonego. Kamera widzi wtedy cieńszą warstwę atmosfery, pokazując wyższą temperaturę (mierzy temperaturę warstwy bliższej powierzchni Ziemi, która jest średnio cieplejsza).

3. Ćwiczenie 2

Termoizolacja

Cele ćwiczenia:

- zapoznanie się ze zjawiskiem termoizolacji,
- zrozumienie idei ocieplania budynków.

W chłodny dzień wyjdź na zewnątrz szkoły i spójrz na budynek przez kamerę termowizyjną. Co widzisz?

Jeśli wskutek ogrzewania temperatura wewnątrz budynku jest większa niż na zewnątrz, to przewodnictwo cieplne powoduje, że ściany odbierają ciepło z wnętrza i transportują je na zewnątrz budynku. Tam, gdzie przewodnictwo cieplne jest największe (izolacyjność termiczna najmniejsza), temperatura radiacyjna jest najbardziej zbliżona do temperatury wewnątrz, czyli najwyższa. W tych miejscach budynek traci najwięcej ciepła.

W okresie zimowym przy dużej różnicy temperatur między temperaturą wewnątrz i na zewnątrz budynku, można sprawdzić też termoizolacyjność ścian od wewnątrz. W obszarze najgorszej termoizolacji zauważymy najniższą temperaturę ścian. Czy potrafisz wytłumaczyć dlaczego?

Jeśli znajdujemy się z kamerą blisko budynku (kilka-, kilkadziesiąt metrów), możemy z dobrym założeniem przyjąć, że warstwa powietrza między kamerą a budynkiem nie wpływa na promieniowanie termiczne i kamera obrazuje temperaturę emisyjną zewnętrznej powierzchni budynku. Gdy na zewnątrz budynku jest istotnie chłodniej niż we wnętrzu, a bezpośrednie promieniowanie słoneczne nie pada na ścianę budynku (pochłanianie nie ogrzewa powierzchni ściany), to temperatura ściany jest wprost zależna od temperatury wewnątrz budynku i od

izolacji termicznej ścian. Tam, gdzie izolacyjność jest słaba (a przewodnictwo cieplne duże), ciepło z wnętrza budynku, skutkiem przewodnictwa, silniej ogrzeje zewnętrzną powierzchnię jego ściany, niż tam, gdzie izolacyjność jest dobra. Różnicę temperatur można zaobserwować na obrazie z kamery termowizyjnej i na jej podstawie wskazać miejsca, które trzeba zaizolować.

Demonstrację tej zasady można przeprowadzić w prostym eksperymencie w klasie. Potrzebne będzie pudełko, najlepiej nieprzezroczyste i dla światła widzialnego, i podczerwieni, warstwa tektury falistej lub styropianu o rozmiarze jednej ze ścian pudełka z wyciętym kawałkiem. Ta tekstura /styropian imituje izolację, a wycięcie – miejsce bez izolacji termicznej.

Kolejnym rekwizytem jest szklanka gorącej wody. Postawmy ją na podstawce (aby ograniczyć przewodnictwo cieplne do blatu) i przykryjmy pudełkiem z jedną lub kilkoma ścianami z izolacją termiczną. Po kilkudziesięciu sekundach obserwacji ścianki z zewnątrz kamerą termowizyjną zauważymy cieplejszy obszar o kształcie odpowiadającym obszarowi bez izolacji (zobacz Rys. 3.1).

Rysunek. 3.1. Poniżej. Efekt działania cienkiej warstwy termoizolacji (prawa ściana pudełka na zdjęciu) widziany przez kamerę termowizyjną. Obszar w centralnej części pudełka ma jaśniejszy kolor, co obrazuje łatwiejszą ucieczkę promieniowania podczerwonego z pojemnika.



Na zdjęciu:
prof. dr hab.
Szymon Malinowski

4. Ćwiczenie 3

Wyznaczanie efektu cieplarnianego i efektu aerozolowego

Cele ćwiczenia:

- zapoznanie z fizycznymi podstawami efektów cieplarnianego i aerozolowego,
- zrozumienie podstaw funkcjonowania systemu klimatycznego,
- zapoznanie z obsługą amatorskich czujników pomiarowych (pirometru i luksomierza).

Zadanie dotyczy wyznaczania efektu cieplarnianego oraz efektu aerozolowego poprzez pomiar strumienia energii światła słonecznego i promieniowania zwrotnego atmosfery. Pierwszy z nich pokazuje wpływ gazów cieplarnianych, a drugi wpływ zanieczyszczeń stałych i ciekłych (aerozoli) na strumienie promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi. Chociaż gazy cieplarniane jak i aerozole emitowane są do atmosfery w procesach naturalnych, to jednak działalność człowieka znacząco zmienia poziom jednych i drugich w atmosferze. Warto przed wykonaniem tego ćwiczenia przeczytać artykuł: Efekt cieplarniany – ABC. Aby do niego przejść, wystarczy kliknąć w hiperłącze lub zeskanować kod QR.



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

W ramach ćwiczenia użyjemy prostych czujników: luksomierza, mierzącego natężenie oświetlenia, oraz pirometru – zdalnego termometru rejestrującego promieniowanie długofalowe i na tej podstawie określającego temperaturę materii emitującej to promieniowanie. Odczyty z tych przyrządów przeliczymy (w sposób przybliżony) na wartości strumieni promieniowania słonecznego i ziemskiego, a dokładniej – promieniowania zwrotnego atmosfery.

Dodatkowo wykorzystamy szklaną szybę lub płytkę pleksi do zilustrowania efektu cieplarnianego oraz efektu aerozolowego. Zarówno szkło, jak i pleksi charakteryzują się podobnymi właściwościami optycznymi do gazów cieplarnianych: przepuszczają promieniowanie słoneczne, a zatrzymują w przybliżeniu 100% promieniowania podczerwonego, które następnie same emitują z natężeniem zależnym od temperatury płytki. To pozwala nam zasymulować warunki, w których poziom gazów cieplarnianych jest znacznie wyższy niż w obecnie. Natomiast okopcona szybka szklana posiada właściwości optyczne zbliżone do aerozoli powstających w wyniku spalania (np. węgla, drewna w piecach czy spalania biomasy na polach i w lasach).

- **Uwaga:** nasze przyrządy są amatorskie – charakteryzują się znaczną niepewnością i wykonują nieco inny pomiar niż pyranometry czy pyrgeometry. Są mniej dokładne, ponieważ nie rejestrują promieniowania z całego nieboskłonu, lecz jedynie z ograniczonego obszaru. W przypadku pirometru jest to kąt około 35° . Z kolei luksomierz nie “widzi” znacznej części widma promieniowania słonecznego, czujnik różnie reaguje na promieniowania padające z różnych kierunków. Jego wskazania można przeliczyć na natężenie promieniowania z dużym zakresem niepewności (jest niedokładny).



Rysunek 4.1. Blok mieszkalny, drzewa niebo i chmury w trybie MSX (podczerwień + kamera zakresu widzialnego, po lewej) i odbitym od nich świetle widzialnym (kamera zakresu widzialnego, po prawej). Na obrazie po lewej zaznaczone jest najchłodniejsze (niebieski punkt) i najcieplejsze (czerwony punkt) miejsce. Fotografie własne.

- Uwaga: nasza kamera termowizyjna działa niemal jak pirometr. Pirometr pokazuje uśrednioną po polu swojego widzenia temperaturę emisyjną. Spójrz na przykład z Rys. 4.1, aby zrozumieć, jak wyglądają typowe temperatury emisyjne różnych obiektów.

- Uwaga: w ciepły, słoneczny dzień przyrządy pomiarowe nagrzewają się wskutek pochłaniania padającego na nie promieniowania słonecznego, co może powodować, że ich wskazania będą błędne.

Bardzo istotnym czynnikiem jest wybór miejsca pomiarów. Zadbaj o to, aby układ pomiarowy leżał na płaskiej powierzchni i nie w pełnym słońcu, ponieważ czujniki nie są odporne na zbyt wysoką temperaturę (temperatura odczuwalna powyżej $\sim 35^{\circ}\text{C}$). W przypadku czujnika temperatury i natężenia światła zwróć również szczególną uwagę na kierunek, w jakim będą zwrócone oba czujniki. Aby uzmysłwić zmienność możliwych wskazań natężenia światła, zamieszczamy poniżej tabelę od producenta z typowymi mierzalnymi wartościami w luksach.

	Natężenie światła (lx)
Noc	0.001–0.2
Noc przy świetle księżycy	0.02–0.3
Pochmurnie, pomiar w pomieszczeniu	5–50
Pochmurnie, pomiar na zewnątrz	50–500
Słonecznie, pomiar w pomieszczeniu	500–1000
Letnie słoneczne popołudnie	$\sim 10^6$
Natężenie oświetlenia do czytania	50–60
Standardowe oświetlenie do filmowania w domu	14000

W przypadku pomiaru temperatury (Temp_Amb) zmienność ta może oscylować od $\sim -40^{\circ}\text{C}$ dla bezchmurnego nieba, przez $\sim +15^{\circ}\text{C}$ podczas średniego zachmurzenia latem (temperatura podstawy chmury), do $\sim +33^{\circ}\text{C}$, jeśli zakryjesz czujnik dłonią.

4.1 Sposób wykonania ćwiczenia

1. Znajdujemy otwartą przestrzeń z widokiem dużej części nieboskłonu, najlepiej z widokiem horyzontu wokół, a co najmniej kilkadziesiąt metrów od drzew budynków.
2. Podłączamy według instrukcji pirometr i czujnik natężenia światła do rejestratora.
3. Umieszczamy obydwa czujniki na płaskiej poziomej powierzchni.
4. Podłączamy zasilanie, łącząc przez port USB-C rejestrator z powerbankiem.
5. Korzystając z menu na ekranie rejestratora, ustawiamy częstotliwość rejestracji wyników na co sekundę.

6. Uruchamiamy przyciskiem rejestrację pomiarów.

7. Po jakimś czasie (np. po kilku minutach) umieszczamy nad czujnikami płytkę szklaną lub z pleksi.

8. Ściągamy płytkę z czujników i korzystając z zapalanej świeczki, okadzamy drugą płytkę tak, aby stała się czarna.

9. Następnie kładziemy płytkę ponownie na układzie pomiarowym i wykonujemy pomiary przez minimum 1-2 minuty.

10. Można przeprowadzić krótką, kilkuminutową serię pomiarową lub przeprowadzić rejestrację w dłuższym czasie, kiedy chmury, pozycja słońca i wygląd nieba się zmieniają. Wskazane jest jednak, aby serie pomiarów składające się z pomiaru bez płytki, z czystą i zabrudzoną płytką odbywały się w miarę stałych warunkach atmosferycznych. Dobrze jest udokumentować przebieg pomiarów fotografiami wyglądu nieba.

11. Podczas pomiarów należy zwracać uwagę, aby nie zasłaniać nieboskłonu, a w szczególności tarczy Słońca.

12. Pomiar kończymy tym samym przyciskiem.

13. Odłączamy zasilanie.

14. Wyniki pomiarów odczytujemy na komputerze, łącząc go przez kabel USB-C z rejestratorem. Postępujemy zgodnie z instrukcją rejestratora, a plik z pomiarami odczytujemy przy pomocy arkusza kalkulacyjnego. Możemy wygenerować wykresy pokazujące przebieg pomiaru.

4.2 Ćwiczenie dodatkowe

Aby zmierzyć, w jaki sposób gazy cieplarniane zmieniają strumień promieniowania, które opuszczają atmosferę w przestrzeń kosmiczną, przeprowadź następujące pomiary:

1. W słoneczny ciepły dzień znajdujemy gorącą powierzchnię ziemi (np. asfalt, beton).
2. Podłączamy według instrukcji pirometr i czujnik natężenia światła do rejestratora.
3. Umieszczamy obydwa czujniki skierowane w kierunku powierzchni ziemi (np. trzymając je w dłoni).
4. Podłączamy zasilanie, łącząc przez **port USB-C** rejestrator z powerbankiem.
5. Korzystając z menu na ekranie rejestratora, ustawiamy częstotliwość rejestracji wyników na co sekundę.
6. Uruchamiamy przyciskiem rejestrację pomiarów.
7. Po 1-2 minutach umieszczamy pomiędzy

czujnikiem a powierzchnią ziemi czystą płytkę szklaną lub z pleksi.

8. Pomiar kończymy tym samym przyciskiem.

9. Odłączamy zasilanie.

10. Wyniki pomiarów odczytujemy na komputerze, łącząc go przez kabel USB-C z rejestratorem.

Postępujemy zgodnie z instrukcją rejestratora, a plik z pomiarami odczytujemy przy pomocy arkusza kalkulacyjnego – możemy wygenerować wykresy pokazujące przebieg pomiaru.

4.3 Analiza wyników pomiarów

Porównaj zmierzone strumienie promieniowania słonecznego i długofalowego docierające do powierzchni Ziemi w dwóch przypadkach: gdy czujniki są przykryte szklaną szybą oraz gdy skierowane są bezpośrednio w stronę nieboskłonu. Określ, o ile zmieniają się oba strumienie pod wpływem obecności szklanej szyby (odpowiadającej działaniu gazów cieplarnianych). Następnie, w sposób analogiczny, porównaj wyniki uzyskane przy zastosowaniu szyby okopconej względem szyby czystej. W tym przypadku wyznacz, o ile zmieniają się oba strumienie w obecności cząstek sadzy pochodzących ze spalania.

4.4 Pytania

1. W jakim zakresie zmieniała się temperatura radiacyjna nieboskłonu? Jakiemu zakresowi strumieni promieniowania zwrotnego atmosfery (promieniowania podczerwonego) to odpowiada?
2. W jakim zakresie zmieniało się natężenie oświetlenia w trakcie pomiaru? Jakim zmianom strumienia promieniowania słonecznego to odpowiada?
3. Jaki wpływ na promieniowanie krótko- i długofalowe mają chmury?
4. Czy zmierzone wartości strumieni promieniowania podobne są do wartości średnich wieloletnich dla całej planety, przedstawionych na rysunku we wstępie?



5. Ćwiczenie 4

Jak wykorzystać energię słoneczną?

Cele ćwiczenia:

- zapoznanie z podstawowymi parametrami ogniwa fotowoltaicznego (napięcie, prąd, moc, efektywność, moc zainstalowana, sprawność),
- zrozumienie potrzeby podłączenia magazynu energii – obliczenia mocy ładowania i rozładowania,
- zapoznanie z koncepcją sterowania zużyciem i przepływem energii.

Energia słoneczna jest najważniejszym i najczystszy źródłem energii na Ziemi. Każdego dnia dociera do nas jej ogromna ilość, znacznie przekraczająca zapotrzebowanie całej ludzkości. Kluczem jest jednak to, aby tę energię **pochłonać, dokonać konwersji na inny rodzaj energii i energię tę przechować**, tak aby można ją było wykorzystać wtedy, gdy jest potrzebna. Służą temu m.in. ogniwa fotowoltaiczne (PV), które zamieniają promieniowanie słoneczne na energię elektryczną, a także magazyny energii, w których możemy ją zgromadzić.

W tym zestawie doświadczeń zbadasz, jak działa pojedyncze ogniwo słoneczne, jak magazynować energię w superkondensatorze i jak sterować jej przepływem, np. do zasilania silnika czy uruchamiania odbiornika tylko w wybranych warunkach.

5.1 Słowniczek pojęć

Poniżej dodaliśmy prosty słowniczek pojęć, aby ułatwić zrozumienie kolejnych kroków instrukcji.

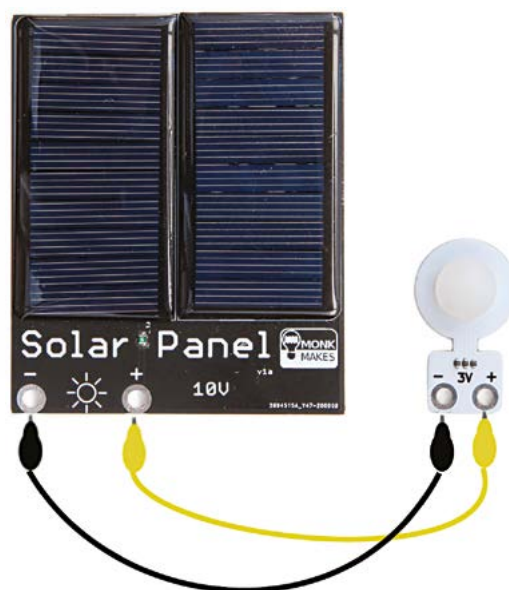
- **Napięcie (U)** – różnica potencjałów elektrycznych, można o nim myśleć jak o „ciśnieniu” w instalacji wodnej, wyrażana w woltach
- **Natężenie prądu (A)** – ilość ładunku przepływająca w jednostce czasu, odpowiednik „strumienia wody” w rurze, wyrażany w amperach
- **Moc elektryczna (P)** – ilość energii dostarczanej w jednostce czasu, dla prądu stałego wyrażona wzorem: $P=UI$, wyrażana w watach
- **Obciążenie** – urządzenie pobierające prąd (np. żarówka, silnik, rezystor)
- **Charakterystyka prądowo-napięciowa (I–V curve)** – wykres pokazujący jak zmienia się prąd i napięcie panelu w zależności od obciążenia
- **Punkt pracy** – miejsce na wykresie charakterystyki, w którym znajduje się panel po podłączeniu odbiornika; tam ustala się napięcie i prąd w obwodzie
- **Punkt mocy maksymalnej (MPP)** – punkt na wykresie charakterystyki, w którym iloczyn $P=UI$ (moc) jest największy; właśnie w nim panel oddaje najwięcej energii
- **Moc zainstalowana** – maksymalna moc, jaką teoretycznie może oddać panel (lub cała elektrownia) w idealnych warunkach (pełne słońce, optymalne ustawienie, brak zacienienia)
- **Moc chwilowa** – rzeczywista moc oddawana w danym momencie, zależna od aktualnego oświetlenia, temperatury i obciążenia
- **Magazyn energii** – urządzenie (akumulator, superkondensator), które gromadzi energię w czasie ładowania i oddaje ją później, gdy jest potrzebna
- **Włącznik zmierzchowy** – prosty układ sterujący, który włącza odbiornik (np. lampkę) tylko wtedy, gdy poziom światła otoczenia spada poniżej określonego progu
- **Sterownik baterii (BMS)** – układ elektroniczny w większych systemach, który chroni magazyn energii przed przeładowaniem lub nadmiernym rozładowaniem i steruje jego pracą.

5.2 Zadanie nr 1

Panel i żarówka, rola magazynu energii

5.2.1 Instrukcja

1. Podłącz panel słoneczny bezpośrednio do żarówki 3V z zestawu.
2. Obserwuj, jak lampka świeci w różnych warunkach: pełne słońce, półcień, sztuczne światło, cień.
3. Zasłoń część powierzchni panelu dłonią lub kartką – sprawdź, jak szybko zmienia się jasność lampki.
4. Odłącz żarówkę od panelu. Teraz podłącz panel do modułu Solar Store (magazyn energii), a żarówkę do wyjścia „Power” tego modułu.
5. Wystaw panel na światło i poczekaj, aż lampka zacznie świecić.
6. Zakryj panel – sprawdź, jak długo lampka świeci dzięki energii zgromadzonej w superkondensatorze.



Rysunek 5.1. Panel fotowoltaiczny i żarówka z zestawu MonkMakes Solar Experimenter's Kit. Obrazek pochodzi z instrukcji producenta.

5.2.2 Obserwacje

- Bezpośrednio podłączona żarówka świeci tylko wtedy, gdy panel ma odpowiednie oświetlenie.
- Nawet częściowe zasłonięcie panelu powoduje wyraźne przygaszenie lampki.
- Podłączenie przez magazyn energii sprawia, że lampka świeci stabilniej, a nawet po zasłonięciu panelu działa jeszcze przez pewien czas.



- Magazyn energii pełni rolę bufora – ładuje się stopniowo i oddaje energię płynnie.

5.2.3 Pytania

Dlaczego żarówka przygasa przy każdym cieniu, gdy jest podłączona bezpośrednio do panelu?
Jak zmienia się zachowanie układu po włączeniu magazynu energii?

Jakie praktyczne wnioski płyną z tego doświadczenia dla instalacji PV?

Jak można zwiększyć ilość energii zbieranej przez panel?

5.2.4 Wniosek

Panel fotowoltaiczny działa tylko wtedy, gdy jest oświetlony. Nawet niewielkie zacienienie powoduje spadek jego wydajności – im większe natężenie oświetlenia, tym większa moc dostarczana przez panel.

Magazyn energii stabilizuje pracę układu – gromadzi energię wtedy, gdy panel działa i oddaje ją, gdy chwilowo brakuje światła.

Inspiracja praktyczna:

W rzeczywistych instalacjach można stosować Solar Trackery, które obracają panele za słońcem, aby zwiększyć ilość zebranej energii. Poniżej znajduje się inspiracja, jak zbudować takie urządzenie, wykorzystując dołączony do zestawu micro:bit



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.
www.sciencebuddies.org

5.3 Zadanie nr 2

Panel i silnik: moc ładowania i moc rozładowania

5.3.1 Instrukcja

1. Podłącz panel słoneczny bezpośrednio do silnika z zestawu i sprawdź, czy silnik zaczyna się

obracać. Spróbuj w pełnym słońcu i w półcieniu.
2. Następnie podłącz panel do modułu Solar Store (magazyn energii) i naładuj go przez kilka minut w słońcu.

3. **Zmierz poziom naładowania magazynu energii:** ustaw multimetr na pomiar napięcia V DC i podłącz równolegle do pinów GND i BATTERY. Zanotuj wartość napięcia (im wyższa, tym bardziej naładowany superkondensator).

4. Po wybranym czasie ładowania (np. 1, 2, 5 minut) podłącz do wyjścia magazynu silnik i mierz czas pracy silnika do zatrzymania.

5. W trakcie ładowania i rozładowania użyj multimetru do pomiaru napięcia i prądu, aby obliczyć moc (osobno dla ładowania – między panelem a magazynem i dla rozładowania – między magazynem a silnikiem):

$$P=UI$$

6. Powtórz doświadczenie dla różnych czasów ładowania i porównaj wyniki.



Rysunek 5.2. Panel fotowoltaiczny, magazyn energii i silnik z zestawu MonkMakes Solar Experimenter's Kit. Obrazek pochodzi z instrukcji producenta.

5.3.2 Obserwacje

- Podłączenie silnika bezpośrednio do panelu zazwyczaj nie działa – moc potrzebna do uruchomienia silnika jest większa niż moc dostarczana przez panel.
- Magazyn energii ładuje się powoli – moc ładowania jest niewielka, zależy od światła i ustawienia panelu. Zgromadzona energia to moc razy czas.
- Silnik podłączony do naładowanego magazynu uruchamia się natychmiast i pracuje płynnie.
- Widać wyraźną różnicę: panel ładuje magazyn małą mocą przez dłuższy czas, a silnik pobiera dużą moc chwilową w krótkim czasie.

5.3.3 Pytania

- Dlaczego silnik nie pracuje stabilnie przy podłączeniu bezpośrednio do panelu?
- Co zmienia obecność magazynu energii w tym układzie?
- Dlaczego czas pracy silnika zależy od czasu ładowania magazynu? Jak duża jest różnica w czasie ładowania i rozładowania?
- Czym różni się moc ładowania od mocy rozładowania?
- Jakie konsekwencje ma to dla systemów energetycznych w skali przemysłowej?

5.3.4 Wniosek

Magazyn energii pełni kluczową rolę: gromadzi energię ładowaną przez panel małą mocą, a następnie oddaje ją w postaci dużej mocy chwilowej, wystarczającej do uruchomienia silnika. To pokazuje różnicę między **mocą zainstalowaną** (teoretyczną mocą panelu w idealnych warunkach) a **mocą chwilową** (rzeczywistą mocą oddawaną w danym momencie). W praktyce instalacje PV często produkują mniej energii niż wynikałoby z mocy zainstalowanej – dlatego do ich efektywnego działania potrzebne są magazyny energii.

Inspiracja praktyczna:

Na Politechnice Warszawskiej prowadzone są badania nad **inteligentnymi magazynami energii**, które – podobnie jak w tym doświadczeniu – pozwalają gromadzić energię produkowaną stopniowo i oddawać ją wtedy, gdy jest potrzebna. Dzięki takim rozwiązaniom możliwe staje się stabilne zasilanie urządzeń i sieci energetycznych mimo zmienności produkcji energii z odnawialnych źródeł.



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

Zachęcamy do wysłuchania rozmowy (QR kod) z prof. Tomaszem Wejrzanowskim na temat integracji instalacji fotowoltaicznych z inteligentnymi magazynami energii.



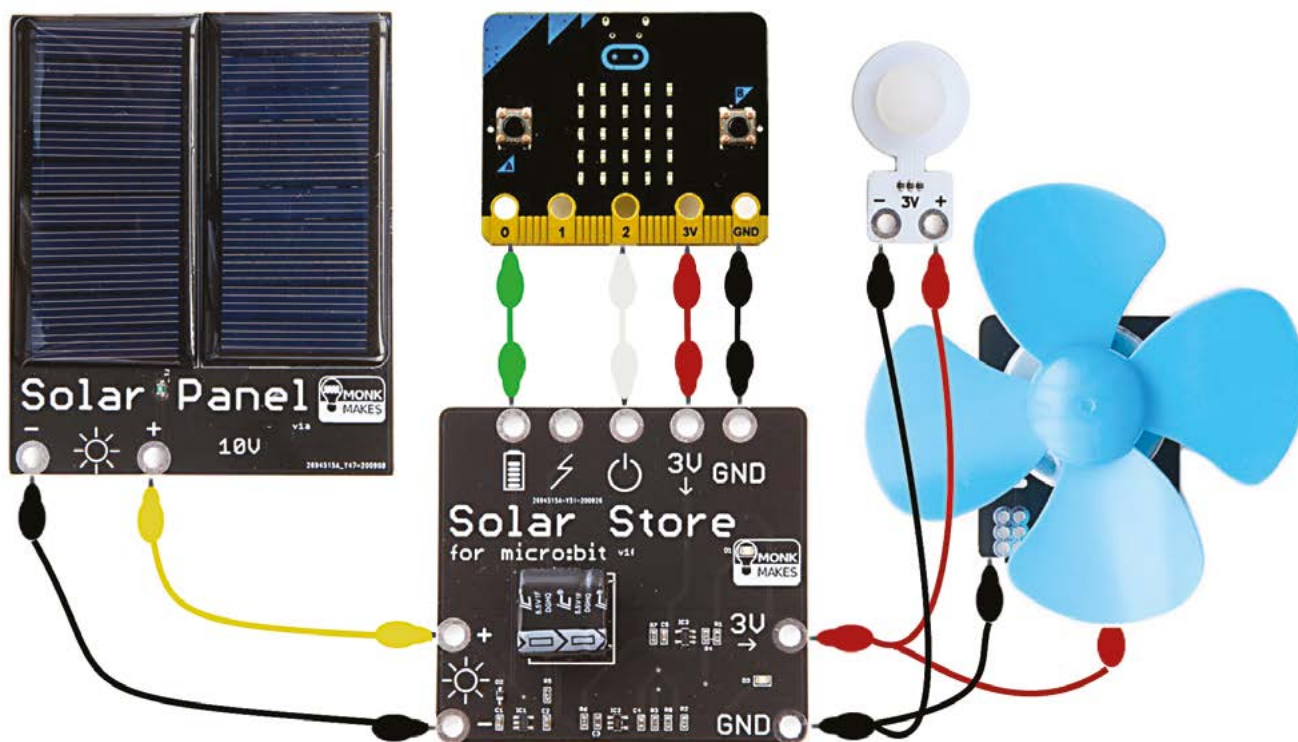
5.4 Zadanie nr 3

Micro:bit: wykresy ładowania i rozładowania

5.4.1 Instrukcja

Podłącz moduł **Solar Store** do micro:bita:

- wyjście **Charge%** (0–3 V) – wejście analogowe Po micro:bita,
 - pin **3V** i **GND** Solar Store – odpowiednio **3V** i **GND** micro:bita (zasilanie pomiarowe),
 - wyjście **Enable** Solar Store – pin cyfrowy **P2** micro:bita (sterowanie odbiornikiem).
- **Uwaga:** nie podłączaj wyjścia **Level** (0–5 V) bezpośrednio do micro:bita, bo przekroczyłby dopuszczalne napięcie!



Rysunek 5.3. Panel fotowoltaiczny, magazyn energii, silnik i micro:bit z zestawu MonkMakes Solar Experimenter's Kit. Obrazek pochodzi z instrukcji producenta.

2. Napisz prosty program w MakeCode:

- Wejdź na stronę <https://makecode.microbit.org> lub pobierz aplikację na swoje urządzenie – w celu nawiązania połączenia i zgrania programu postępuj zgodnie z instrukcją: <https://microbit.org/get-started/first-steps/set-up/>
- odczytuj wartość z Po jako liczbę 0–1023 (proporcjonalną do naładowania superkondensatora),
- wyświetlaj ją w formie paska naładowania (bar graph) na ekranie LED micro:bita,
- dodatkowo rejestruj wartości w konsoli (USB – komputer).

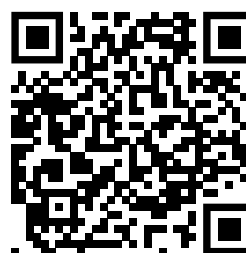
3. **Ładowanie:** wystaw panel na światło i rejestruj rosnące wartości co kilka sekund, aż kondensator się napełni.

4. **Rozładowanie:** włącz odbiornik (np. lampkę lub silnik), sterując pinem P2 i rejestruj spadek wartości w czasie.

5. Zgraj dane i narysuj wykresy:

- **napięcie (Charge%) vs czas** dla ładowania,
- **napięcie (Charge%) vs czas** dla rozładowania.

W razie trudności z pisaniem kodu, pod poniższym linkiem/kodem znajduje się gotowa wersja do pobrania i modyfikacji:



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

5.4.2 Obserwacje

Podczas ładowania wartości z czujnika rosną systematycznie, a tempo zależy od intensywności światła.

Podczas rozładowania wartości spadają, początkowo szybciej, potem coraz wolniej (charakterystyczny wykres rozładowania kondensatora). Różne odbiorniki (lampka vs silnik) dają różne kształty krzywych rozładowania.



5.4.3 Pytania

- Dlaczego wykres ładowania ma kształt krzywej wznoszącej się, a rozładowania – opadającej?
- Co decyduje o szybkości ładowania i rozładowania (światło, czas ładowania, rodzaj odbiornika)?
- Dlaczego rozładowanie nie jest liniowe w czasie?
- Jakie informacje o działaniu systemu PV daje nam taki wykres?

5.4.4 Wniosek

Dzięki micro:bitowi można zobaczyć, że procesy ładowania i rozładowania magazynu energii nie są natychmiastowe ani liniowe. Wykresy pozwalają przeanalizować, jak różne czynniki wpływają na przepływ energii i jak zachowuje się superkondensator. To wprowadzenie do **analizy danych w energetyce**.

Inspiracja praktyczna:

W rzeczywistości w skali kraju podobne pomiary prowadzą **Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE)** – operator krajowego systemu elektroenergetycznego. PSE w czasie rzeczywistym monitoruje **napięcie, prąd, moc i bilans energii** w całej sieci przesyłowej, aby zapewnić jej stabilną pracę, rejestrując i analizując dane o pracy milionów odbiorników i źródeł energii w Polsce, sterując przepływem mocy w skali całego kraju. <https://www.pse.pl/dane-systemowe>



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

5.5 Zadanie nr 4 Sterowanie odbiornikiem (wyłącznik zmierzchowy)

5.5.1 Instrukcja

1. Podłącz micro:bita do modułu Solar Store tak, aby mógł sterować odbiornikiem:

- Enable – P2 (sterowanie włączeniem lampki/silnika),
 - 3V/GND Solar Store – 3V/GND micro:bita.
2. W programie MakeCode użyj czujnika światła micro:bita (LED matrix – input.lightLevel(), skala 0-255).
 3. Zapisz prostą logikę:
 - jeśli poziom światła < ustalonego progu (np. 50), to ustaw P2 = 1 (lampa włączona),
 - w przeciwnym razie P2 = 0 (lampa wyłączona).
 4. Sprawdź działanie:
 - zasłoń micro:bita ręką – lampa się zapala,
 - wystaw micro:bita na światło – lampa gaśnie.Zmień próg i sprawdź, jak wpływa to na moment włączania.

5.5.2 Obserwacje

- Lampa zapala się tylko wtedy, gdy czujnik micro:bita wykryje niski poziom światła.
- W jasnym otoczeniu lampa pozostaje wyłączona.
- Zmiana progu decyduje o tym, przy jakim „stopniu ciemności” lampa się załącza.

5.5.3 Pytania

- Dlaczego sterowanie oświetleniem na podstawie światła otoczenia jest praktyczne?
- Jakie urządzenia w codziennym życiu działają podobnie (np. lampy uliczne, lampki ogrodowe, automatyczne podświetlenie telefonów)?
- Jak można wykorzystać taki prosty układ w oszczędzaniu energii?

5.5.4 Wniosek

Micro:bit może działać jako prosty **czujnik zmierzchowy**, który steruje odbiornikiem w zależności od warunków oświetlenia. To przykład inteligentnego zarządzania energią – urządzenie działa tylko wtedy, gdy jest naprawdę potrzebne.

Inspiracja (opcjonalna):

Podobną logikę można zastosować nie tylko do światła, lecz także do poziomu naładowania magazynu energii. W większych systemach PV odbiorniki włączają się dopiero, gdy magazyn jest wystarczająco naładowany, a wyłączają się, gdy jego poziom spada poniżej bezpiecznej wartości. To mechanizm podobny do działania sterowników baterii (BMS).

5.6 Podsumowanie

Źródła odnawialne (OZE), takie jak fotowoltaika, a także turbiny wiatrowe, nie produkują prądu w sposób ciągły – zależą od warunków pogodowych i pory dnia. Dlatego tak ważne jest magazynowanie energii i inteligentne sterowanie jej przepływem. Wtedy możemy maksymalnie wykorzystać energię, kiedy jest dostępna i oszczędzać ją, gdy jej brakuje.

Na stronie Electricity Map (zeskanuj kod QR) można w czasie rzeczywistym sprawdzić, jak mix energetyczny zmienia się w różnych krajach i regionach (wystarczy wybrać konkretny region). Widać tam m.in.:



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

- kiedy Polska korzysta głównie z węgla;
- kiedy w Niemczech i Danii dominują wiatraki;
- jak we Francji przeważa energia jądrowa, stabilizując system
- a w Hiszpanii – fotowoltaika w godzinach słonecznych.

Ćwiczenia, które wykonałeś, pomagają zrozumieć, dlaczego na mapie udział źródeł odnawialnych zmienia się z godziny na godzinę i dlaczego tak istotne jest rozwijanie **magazynów energii i systemów zarządzania popytem**.

Dzięki temu możemy ograniczać emisje gazów cieplarnianych i sprawić, że energia, którą zużywamy, będzie coraz czystsza i bardziej zrównoważona.



6. Ćwiczenie 5

Jakie są źródła emisji dwutlenku węgla?

Cele ćwiczenia:

- zapoznanie się z obsługą czujnika CO₂ i sposobem zapisywania wyników;
- wyrobienie intuicji, czym są jednostki ppm i jakie wartości można spotkać w różnych warunkach;
- poznanie różnych źródeł emisji CO₂ – zarówno naturalnych, jak i związanych z działalnością człowieka;
- zbadanie, jak procesy chemiczne i biologiczne prowadzą do powstawania CO₂ oraz jakie czynniki wpływają na intensywność emisji.

Dwutlenek węgla (CO₂) jest gazem, który odgrywa kluczową rolę w przyrodzie i w systemie klimatycznym Ziemi. Gaz ten powstaje w wielu procesach chemicznych i biologicznych – zarówno naturalnych (przykładowo: oddychanie, fermentacja, wulkanizm), jak i związanych z działalnością człowieka (przykładowo: spalanie paliw kopalnych, produkcja cementu). Skąd wiemy, jakie są jego stężenia?

Przed Tobą cztery zadania:

1. **Pomiary CO₂ w różnych pomieszczeniach i na zewnątrz** – sprawdzamy, jak zmienia się stężenie w zależności od miejsca pomiaru, a także jak zmienia się skład powietrza wdychanego i wydychanego;
2. **Reakcja chemiczna wytwarzająca CO₂** – reakcja sody oczyszczonej z kwasem cytrynowym;
3. **Proces biologiczny** – obserwacja, jak żywe organizmy mogą produkować lub konsumować CO₂;
4. **Czynniki wpływające na intensywność emisji** – badanie, jak ilość substratów czy temperatura oddziałują na tempo reakcji i ilość powstającego gazu.

Wszystkie doświadczenia są proste do przeprowadzenia, a ich wyniki pozwalają na samodzielną analizę i wyciąganie wniosków.

6.1 Zadanie nr 1 – Pomiar stężenia CO₂ w powietrzu

6.1.1 Instrukcja

1. Włącz czujnik CO₂ i poczekaj chwilę, aż pomiar się ustabilizuje.
2. Zmierz i zapisz wartość w sali lekcyjnej (wewnątrz).
3. Wyjdź na zewnątrz i powtórz pomiar.
4. Sprawdź, jak zmienia się wskazanie czujnika po chuchnięciu na niego:
 - na otwartym powietrzu – zbliż twarz do czujnika i chuchnij;
 - w zamkniętym pojemniku – włóż czujnik na dno słoika lub pudełka, chuchnij do środka i przykryj otwór dłonią lub pokrywką.

6.1.2 Obserwacje

- Na świeżym powietrzu typowe wartości wynoszą około **400-450 ppm**.
- W pomieszczeniach mogą wzrosnąć do 1000-2000 ppm lub więcej.
- Powietrze wydychane przez człowieka może przekroczyć zakres pomiarowy czujnika (**40 000 ppm**).
- Krótkie chuchnięcie na czujnik na otwartym powietrzu daje chwilowy efekt, natomiast w pojemniku wartości utrzymują się dłużej.

6.1.3 Pytania

- Dlaczego stężenie CO₂ jest wyższe w klasie niż na zewnątrz?
- Jakie czynniki w sali mogą wpływać na wartości CO₂ (np. wentylacja, liczba osób, zamknięte okna, obecność roślin)?
- Co powoduje, że na otwartym powietrzu wartości po chuchnięciu szybko spadają?
- Dlaczego w zamkniętym pojemniku wysokie wartości utrzymują się dłużej?
- Jakie sytuacje z życia codziennego przypominają taki „zamknięty pojemnik”?

6.1.4 Wniosek

Ćwiczenie pokazuje, że w zamkniętej przestrzeni nawet mała emisja szybko zwiększa stężenie CO₂. To tłumaczy, dlaczego niewietrzone pomieszczenia osiągają wysokie wartości tego gazu i jak duże znaczenie ma dobra wentylacja.

6.1.4 Dodatek:



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.

Zobacz krótki film (powyższy kod)
„NASA | A Year in the Life of Earth's CO₂”, który ilustruje zmiany stężenia CO₂ w powietrzu w zależności od pór roku.

6.2 Zadanie nr 2 – Wytworzenie CO₂ w reakcji chemicznej

6.2.1 Instrukcja

1. Przygotuj: **5 g sody oczyszczonej** (NaHCO₃) oraz **4 g kwasku cytrynowego** (C₆H₈O₇) rozpuszczonego w 30-50 ml wody (możesz też użyć octu jako alternatywy).
2. Postaw naczynie z roztworem kwasu na wadze elektronicznej.
3. Wyzeruj wagę (tara).
4. Dodaj sodę do roztworu i obserwuj, co się dzieje – zarówno w naczyniu, jak i na wyświetlaczu wagi.
5. Zanotuj zmiany wskazań wagi w czasie trwania reakcji.
6. Powtórz doświadczenie w słoiku z przykrywką: umieść czujnik w środku, przyklejony taśmą od spodu pokrywy, aby nie wpadł do cieczy, włącz rejestrację danych, dodaj sodę i zamknij słoik (zostawiając lekki luz).
7. Wykonaj wykres zmienności stężenia CO₂ w funkcji czasu (podpowiedź: wystarczy kilkadziesiąt sekund pomiaru).

6.2.2 Obserwacje

- W trakcie reakcji pojawiają się bąbelki.
- Wskazania wagi zmieniają się – masa układu stopniowo maleje (!).
- Czujnik CO₂ pokazuje bardzo gwałtowny wzrost stężenia.

6.2.3 Pytania

- Dlaczego w roztworze pojawiły się bąbelki?
- Dlaczego masa układu zmniejsza się, skoro wszystkie ciała stałe i ciecze pozostały w naczyniu?
- Jak wyniki wskazań czujnika pomagają zrozumieć, co się dzieje?
- Jakie czynniki mogą wpływać na intensywność reakcji (np. ilość odczynników, temperatura)?

6.2.4 Wniosek

Prosta reakcja kwasu i sody pokazuje, że chemiczne przemiany mogą prowadzić do powstania dużej ilości gazu. Zmiany masy na wadze

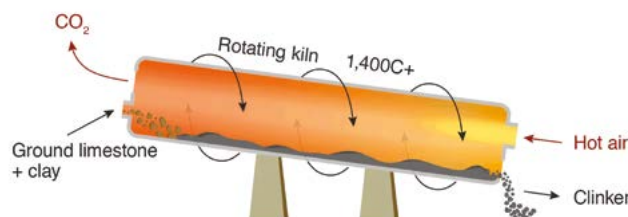
i wskazania czujnika CO₂ pozwalają na różne sposoby zbadać ten sam proces – „znikająca” masa i obecność bąbelków oznaczały uwalnianie się gazu. Analogicznie można do słoika włożyć zapaloną świeczkę – jej masa się zmniejsza, ale ta masa nie „znika”, tylko znajduje się w powietrzu w postaci wyemitowanych gazów.

Procesy chemiczne w skali przemysłowej są głównymi źródłami emisji CO₂ do atmosfery:

- **Spalanie paliw kopalnych** (węgla, ropy, gazu) powoduje emisję rzędu **35-37 miliardów ton CO₂ rocznie** na świecie.
- **Produkcja cementu** (rozkład wapienia CaCO₃ – CaO + CO₂) odpowiada za dodatkowe **ok. 2,5-3 miliardy ton CO₂ rocznie**, czyli około 7-8% całkowitych emisji globalnych.

To doświadczenie w małej skali ilustruje, że procesy chemiczne prowadzące do uwalniania CO₂ mają ogromne znaczenie dla klimatu Ziemi.

Dodatek – ilustracja dotycząca produkcji cementu:



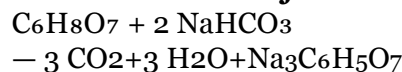
Obrazek pochodzi ze strony: www.bbc.com

Rysunek 6.1. Schemat poglądowy procesu wytwarzania cementu. W odnośniku znajduje się więcej ciekawych informacji dotyczących emisji CO₂ w związku z wytwarzaniem cementu.



Dodatek – obliczenia:

1. Równanie reakcji:



2. Masy molowe:

NaHCO₃ = 84 g/mol

C₆H₈O₇ = 192 g/mol

CO₂ = 44 g/mol

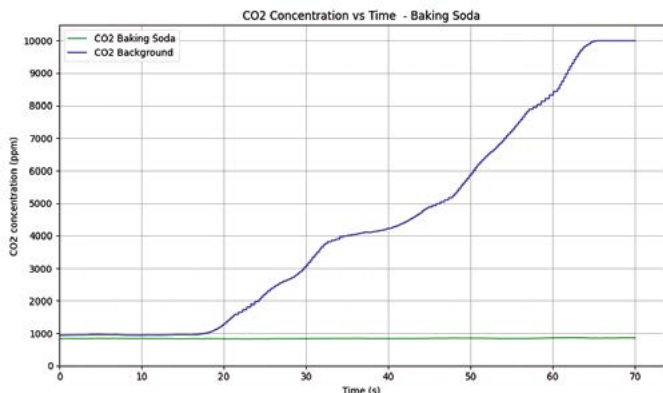
3. Obliczenia dla 5 g sody:

- Liczba moli NaHCO₃: 5 g ÷ 84 g/mol ≈ 0,059 mol
- Z równania: 3 mol NaHCO₃ daje 3 mol CO₂ – stosunek 1:1
- Ilość CO₂: 0,059 mol × 44 g/mol ≈ 2,6 g
- Na 5 g sody potrzeba 3,8 g kwasku cytrynowego

- Objętość CO₂ w warunkach pokojowych:
 $0,059 \text{ mol} \times 24 \text{ l/mol} \approx 1,4 \text{ l}$

Uwaga BHP: podczas przeprowadzania reakcji chemicznej powstaje duża ilość gazu. Jeśli doświadczenie wykonywane jest w szczelnym naczyniu, może to prowadzić do **wzrostu ciśnienia** i ryzyka uszkodzenia szkła lub pokrywki. **Nie należy wykonywać tego doświadczenia w całkowicie zamkniętej butelce czy słoiku!** Aby uniknąć niebezpieczeństwa, zawsze pozostaw mały luz na ujście gazu – przy podanej ilości odczynników

Rys. 6.2 zawiera przykładowy wykres reakcji. Widoczny bardzo gwałtowny – w ciągu kilkudziesięciu sekund – wzrost stężenia poza skalę pomiarową detektora.



Rysunek 6.2. Przykładowy wykres opisywanej reakcji.

6.3 Zadanie nr 3 – Wytworzenie CO₂ w procesie biologicznym

6.3.1 Instrukcja

1. Przygotuj:
 - 1 paczkę suchych drożdży (ok. 7 g),
 - 1 łyżeczkę cukru,
 - ciepłą wodę (ok. 30-40°C),
 - butelkę plastikową lub słoik,
 - balonik albo pokrywkę,
 - czujnik CO₂.
2. Wsyp drożdże i cukier do butelki/słoika, zalej ciepłą wodą i zamieszaj.
3. Zamknij naczynie i włóż czujnik CO₂ do środka, włącz rejestrację danych (czujnik można przymocować taśmą od spodu pokrywki, żeby nie wpadł do cieczy).

4. Wykonaj wykres stężenia CO₂ w funkcji czasu (podpowiedź: to doświadczenie wymaga kilkunastu do kilkudziesięciu minut).

6.3.2 Obserwacje

Po chwili na powierzchni cieczy pojawia się piana – to efekt fermentacji. Balonik zaczyna się napędląć gazem. Czujnik CO₂ pokazuje stopniowy wzrost stężenia – wartości mogą sięgać kilku tysięcy ppm. W zamkniętym pojemniku zmiany są bardziej wyraźne i utrzymują się dłużej.

6.3.3 Pytania

Co jest „paliwem” dla drożdży? Dlaczego dodanie cukru przyspiesza fermentację? Jak temperatura wody wpływa na tempo reakcji? Jakie procesy biologiczne w przyrodzie są podobne do tego doświadczenia? Jakie znaczenie mają procesy biologiczne dla emisji CO₂ w rolnictwie i produkcji żywności?

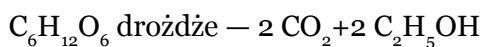
6.3.4 Wniosek

Fermentacja to przykład procesu biologicznego, w którym powstaje CO₂. Drożdże, rozkładając cukier, wytwarzają zarówno alkohol, jak i gaz. To doświadczenie pozwala zobaczyć, że organizmy żywe mogą być istotnym źródłem emisji CO₂.

W skali globalnej takie procesy biologiczne odpowiadają m.in. za emisje związane z rolnictwem i hodowlą zwierząt, które szacuje się na ok. 6 miliardów ton CO₂ równoważnika rocznie (czyli około 15-20% wszystkich antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych).

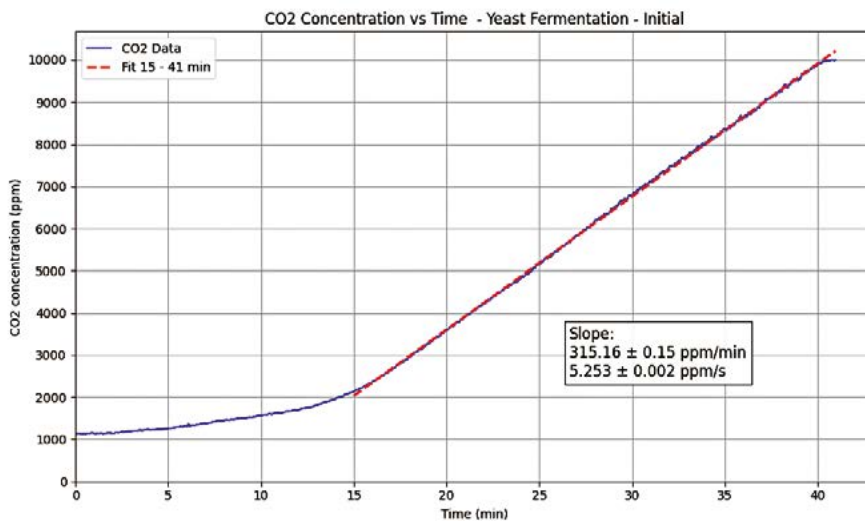
Obliczenia:

Fermentacja alkoholowa przebiega według równania:



- Z 1 mola glukozy (180 g) powstają 2 mole CO₂ ($2 \times 44 \text{ g} = 88 \text{ g}$).
- Z 10 g cukru (ok. 0,055 mola) może powstać do 2,4 g CO₂, czyli ok. **1,2 litra gazu** w warunkach pokojowych.

Rys. 6.3. zawiera przykładowy wykres reakcji. Widoczny jest czas potrzebny suszonym drożdżom na rozpoczęcie metabolizowania cukru i następnie bardzo wyrównane tempo emisji CO₂.



Rysunek 6.3. Przykładowy wykres opisywanej reakcji.

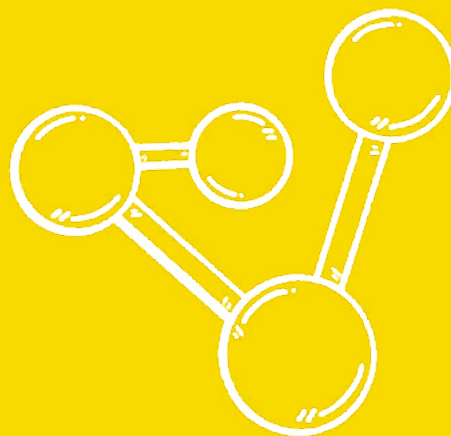
Wyzwanie nr 1:

Spróbuj porównać emisję CO₂ z procesu fermentacji z procesem pochłaniania CO₂ przez rośliny w procesie fotosyntezy:

1. Wybierz roślinę doniczkową, najlepiej o dużej powierzchni liści.
2. Szczelnie okryj roślinę przezroczystym foliowym workiem, umieszczając wewnątrz czujnik CO₂ i włączając rejestrację danych.
3. Opcjonalnie wykorzystaj czujnik natężenia światła (w zestawie razem z pirometrem).
4. Zostaw układ na kilkanaście-kilkadziesiąt minut w dobrze oświetlonym miejscu.
5. Obserwuj zmiany stężenia – w czasie fotosyntezy roślina **pochłania CO₂**, więc wartości powinny spadać.

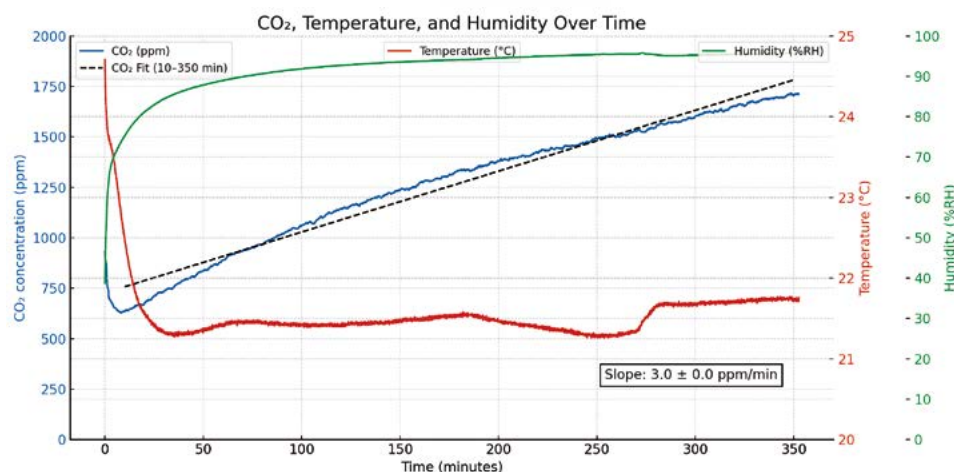
Wyzwanie nr 2 – gleba jako źródło gazów:

1. Włóż porcję wilgotnej gleby do słoika i umieść w nim czujnik CO₂ (najlepiej przy pokrywie, aby nie dotykał podłoża).
2. Szczelnie zamknij słoik i pozostaw na kilkanaście minut.
3. Obserwuj zmiany stężenia CO₂ – mikroorganizmy glebowe rozkładają materię organiczną, uwalniając ten gaz.
4. Porównaj uzyskane wartości z pomiarem dla pustego słoika.



Dyskusja:

- Dlaczego gleba może być źródłem CO₂?
- Jak warunki (wilgotność, zawartość materii organicznej) mogą wpływać na wynik?
- Jak nawożenie gleby w rolnictwie wiąże się z emisją dodatkowych gazów, np. amoniaku (NH₃) czy podtlenku azotu (N₂O)?



Rysunek 6.4. Przykładowy wykres zależności zawartości CO₂, zmian temperatury i wilgotności w opisywanym procesie.

6.4 Zadanie nr 4 – Czynniki wpływające na intensywność emisji CO₂

6.4.1 Instrukcja

1. Przygotuj układ z drożdżami i cukrem (tak jak w zadaniu 3).
2. Podziel roztwór na kilka próbek i zmień w każdej z nich jeden czynnik: temperaturę wody lub stężenie cukru.
3. Do każdej próbki włóż czujnik CO₂ (można mierzyć kolejno, jeśli jest tylko jeden czujnik).
4. Obserwuj, jak szybko rośnie stężenie CO₂ w każdej z prób.

6.4.2 Obserwacje

Z większą ilością cukru drożdże pracują intensywniej, ale tylko do pewnego poziomu – gdy substratu jest za dużo, proces może się spowolnić. Wyższa temperatura (ok. 30-40°C) przyspiesza fermentację, ale zbyt gorąca woda (>50°C) zabija drożdże i reakcja nie zachodzi.



6.4.3 Pytania

- Czy widać różnice w szybkości wzrostu i w wartości maksymalnej stężenia CO₂?
- Dlaczego zbyt wysoka temperatura zatrzymuje proces?
- Jakie wnioski można wyciągnąć o warunkach sprzyjających życiu mikroorganizmów?
- Jakie inne procesy (np. kompostowanie, hodowla zwierząt, spalanie biomasy) zależą od takich samych czynników?

6.4.4 Wniosek

Intensywność emisji CO₂ w procesach biologicznych i chemicznych zależy od warunków środowiska – ilości substratów, temperatury i aktywności enzymów. Widać, że przy umiarkowanej temperaturze drożdże pracują najszybciej, ale w zbyt wysokiej giną i proces zatrzymuje się.



Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.
www.theguardian.com

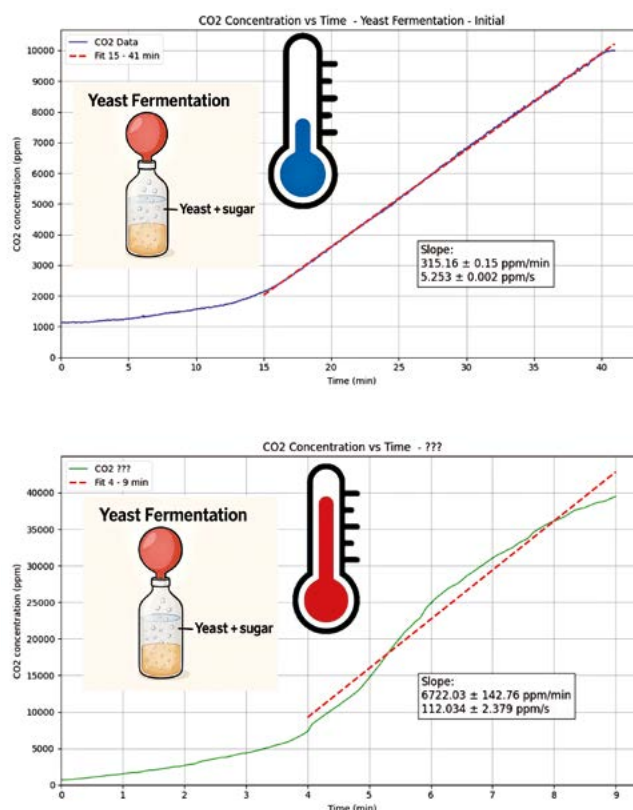
W szerszym kontekście klimatycznym:

- wzrost temperatury może „przebudzić” bakterie wcześniej uśpione w glebie czy w organizmach, co prowadzi do nieoczekiwanych emisji i zagrożeń biologicznych (np. masowe wymieranie antylop saiga w Kazachstanie związane z infekcją bakteryjną po ociepleniu środowiska);
- jednocześnie w wysokich temperaturach fotosynteza u roślin zwalnia, więc naturalne pochłanianie CO₂ słabnie.

To pokazuje, że globalne ocieplenie może działać dwukierunkowo: zwiększać emisje i jednocześnie ograniczać naturalne mechanizmy ich redukcji. W efekcie może prowadzić do pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego, czyli procesów, które stają się samonapędzające.

Przykładowe dane:

Rys. 6.5 obrazuje, jak zmiana temperatury wody z 20°C do 40°C spowodowała 20-krotny (!) wzrost intensywności produkcji CO₂.



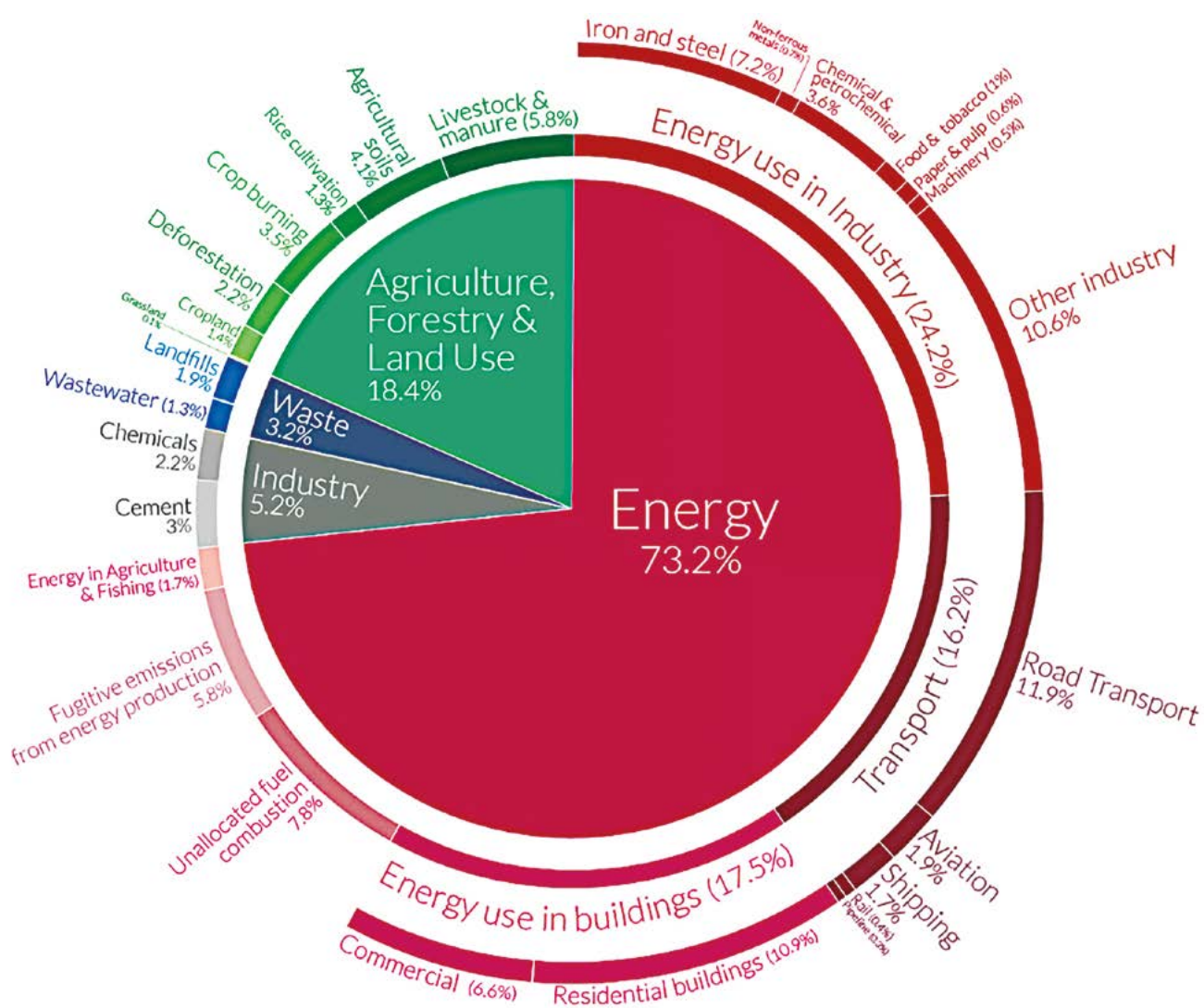
Rysunek 6.5. Wykresy opisujące zmianę zawartości dwutlenku węgla w opisywanym procesie.

6.5 Podsumowanie

Wykonane zadania pokazały, że dwutlenek węgla może powstawać w wyniku bardzo wielu procesów o różnorodnej dynamice i przyczynach. Te ćwiczenia laboratoryjne odtwarzają w małej skali procesy, które w skali planetarnej decydują o zmianach klimatu. Zrozumienie, jak powstaje i gdzie trafia CO₂, jest pierwszym krokiem do świadomego spojrzenia na globalny bilans emisji i możliwości jego ograniczenia.

W ramach podsumowania zachęcamy do zapoznania się z danymi Our World in Data, aby przedyskutować w szczegółach „skąd biorą się nasze emisje?”

Zczytaj kod
i dowiedz się więcej.
www.ourworldindata.org



Rysunek 6.6. Diagram emisji gazów cieplarnianych w zależności od sektora gospodarczego.



S4CLIMATEKIT
MEASURE & DISCOVER



**Minister
Edukacji**

Zadanie “STEAM4ClimateKit - eksperymentalny
zestaw dydaktyczny dla szkół średnich
z kursem online dla nauczycieli” sfinansowano
ze środków Ministra Edukacji Narodowej
(umowa nr MEN/2025/DK/917) w ramach
programu “Odkrywcy” na 2025 r.

