

# FOTOSYNTeza I ODDYCHANIE

Życie na Ziemi jest uwarunkowane „zieloną mocą”, mocą zielonego chlorofilu. Procesem który skutecznie porusza serce Natury jest fotosynteza. Praca wykonywana w każdej milionowej części sekundy przez rośliny warunkuje życie wszystkich ziemskich organizmów.

Wielu badaczy zdaje sobie sprawę, że u podstaw życia leżą niezwykle istotne procesy biochemiczne. Foton światła przebywa drogę od Słońca do Ziemi o długości 93 mln mil przez 8 minut. Rośliny zielone potrzebują tylko kilku sekund, by wychwycić energię światła, przetworzyć ją i zamknąć w formie wiązań chemicznych. Ten niezwykły proces przekształcania energii światła w energię wiązań chemicznych nazywamy fotosyntezą.

Fotosynteza składa się z kilku, poznanych stosunkowo niedawno reakcji chemicznych. Reakcje te przebiegają niezwykle szybko: miliony reakcji zachodzą w ciągu jednej sekundy.

Badanie tak krótkotrwałych wydarzeń i ich analiza w celu zrozumienia powiązań między nimi wymaga wielu bardzo dokładnie przygotowanych doświadczeń i precyzyjnych, nowoczesnych technik pomiarowych.

Wymagania stawiane badaczom fotosyntezy są wysokie, ale też warto poświęcić się dla tego celu. W końcu całe życie naszej planety jest zasilane „zieloną mocą” – mocą zielonego chlorofilu. Taka jest prawda.

„Moc zieleni”, John Svetlik



Rysunek wykonany przez Michaela Hagelberga

Arizona State University's Center for the Study of Early Events in Photosynthesis

<http://photoscience.la.asu.edu/photosyn/default.html>

# PORADNIK NAUCZYCIELSKI

## I. Wstęp

Tematem tego modułu jest fotosynteza. Fotosynteza jest jednym z najważniejszych procesów biochemicznych na Ziemi, ponieważ jej poznanie pozwala zrozumieć, jak funkcjonuje świat żywych organizmów.

Zarówno energia życiowa organizmów jak i energia potrzebna do funkcjonowania urządzeń zbudowanych przez człowieka pochodzi od Słońca. Energia słoneczna przepływa przez łańcuchy pokarmowe od jednego organizmu do drugiego, a pierwszym ogniwem tych łańcuchów jest z reguły roślina zielona, zdolna do fotosyntezy. Rośliny wytwarzają dzięki energii słonecznej węglowodany, które stanowią źródło budulca i energii dla nich i dla pozostałych organizmów. Także zasoby energetyczne: ropa naftowa, węgiel kamienny, gaz ziemny to także bezpośrednie lub pośrednie produkty fotosyntezy. To przecież przetworzone procesami geologicznymi i chemicznymi ciała wymarłych roślin i zwierząt. Zatem źródłem energii na Ziemi jest Słońce, z którego korzysta fotosynteza i jej produkty.

Działania proponowane w module „Fotosynteza i oddychanie”, podejmowane z wykorzystaniem technologii informacyjnej (TI) mogą przyczynić się do lepszego i głębszego zrozumienia fotosyntezy, a także procesów jej towarzyszących: wymiany gazowej i oddychania komórkowego tlenowego.

Moduł „Fotosynteza i oddychanie” proponuje wykorzystanie następujących metod:

### 1. **Pomiary wspomagane komputerowo** w formie trzech ćwiczeń:

- badanie wymiany gazowej zarodków roślinnych w kiełkujących nasionach, niezbędnej w procesie oddychania komórkowego tlenowego,
- badanie zależności między natężeniem światła (ewentualnie jego barwą) a tempem fotosyntezy, mierzonym szybkością zużycia dwutlenku węgla,
- badanie przebiegu fotosyntezy u różnych typów roślin w dłuższym czasie i w kontrolowanych warunkach (w rytmie dzień-noc).

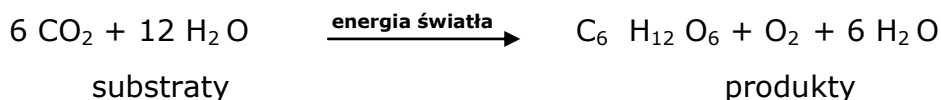
### 2. **Modelowanie**: symulacja zużycia tlenu rozpuszczonego w wodzie przez rośliny i zwierzęta żyjące w stawie.

Wszystkie ćwiczenia uczniowskie zostały przygotowane w programie Coach6, w projekcie Photosynthesis.

# 1. Podstawy teoretyczne

W procesie fotosyntezy rośliny zielone, bakterie zielone i purpurowe, nieliczne protisty (brunatnice, eugleniny), czyli fotoautotrofy wykorzystują energię światła do wytwarzania cząsteczek cukru z dwutlenku węgla i wody. Tlen uwalniany w procesie jest produktem ubocznym.

Reakcja sumaryczna fotosyntezy pokazuje substraty i produkty tego procesu:



Rośliny wytwarzają więcej glukozy niż jej potrzebują i gromadzą ją w formie zapasowej, jako m.in. skrobię. Ten cukier zapasowy, a także inne związki organiczne powstałe z glukozy w czasie tzw. syntez wtórnych, to podstawowe źródło pokarmu dla zwierząt i człowieka.

W skali globalnej chloroplasty roślin tworzą każdego roku miliardy ton materii organicznej, będącej pokarmem dla wszystkich konsumentów, a także tlen niezbędny do oddychania tlenowego roślin, zwierząt, człowieka, wielu grzybów i bakterii. Te fakty stanowią dowód na to, że fotosynteza jest podstawowym procesem, warunkującym funkcjonowanie życia na Ziemi.

Fotosynteza zachodzi w zielonych częściach roślin – liściach lub zielnych łodygach, a na poziomie komórkowym w chloroplastach, gdzie energia słoneczna jest pochłaniana przez zielony barwnik chlorofil i przetwarzana w energię elektryczną, a następnie chemiczną. Obecność chlorofilu warunkuje syntezę cząsteczek cukrów w kolejnych reakcjach. Chloroplasty mają skomplikowaną budowę – chlorofil zlokalizowany jest w błonach tworzących struktury zwane granami.

## HISTORIA

Poziom wiedzy o fotosyntezie wzrósł znacznie dopiero w II połowie XX wieku, ale proces ten interesował wielu badaczy w różnych okresach historycznych rozwoju nauki. Poniżej kilka ważnych wydarzeń historycznych:

- Antyczni Grecy powszechnie uznawali teorię, że Słońce zaspakaja wszystkie życiowe potrzeby roślin zielonych.
- XVII w.: belgijski fizjolog Jan Baptista van Helmont przeprowadził doświadczenie z siewką wierzby, której podawał tylko wodę. Stwierdził, że roślina korzysta z substancji znajdujących się w wodzie, a także w otoczeniu, czyli w powietrzu.
- XVIII w.: Joseph Priestley odkrył, że świeca gaśnie zamknięta pod kloszem, ale jeśli włoży się pod klosz świeżą gałązkę mięty to świeca pali się dłużej. W tym czasie Priestley nie znał jeszcze tlenu, ale prawidłowo twierdził, że świeża, wiosenna mięta „odświeża” powietrze, tak że świeca może palić się dłużej.

- XVIII w.: weterynarz i fizjolog roślin, Jan Ingenhousz, zainspirowany doświadczeniem Priestleya dowiódł, że tylko zielone części roślin odświeżają powietrze, pobierając dwutlenek węgla i uwalniając tlen i czynią to w obecności światła słonecznego. To było pierwsze powiązanie światła z procesem fotosyntezy. Ingenhousz odkrył, że to światło, a nie ciepło jest niezbędne w fotosyntezie.
- XIX w.: botanik niemiecki Julius von Sachs zasugerował, że skrobia powstaje z dwutlenku węgla. Dowiódł on w roku 1865, że w czasie ekspozycji słonecznej chlorofil znajdujący się w chloroplastach, katalizuje reakcje fotosyntezy.
- XIX w.: niemiecki fizjolog Theodor Wilhelm Engelmann wykazał, że reakcje świetlne, które gromadzą energię świetlną i przetwarzają ją w energię chemiczną, zanikają bez chloroplastów i zachodzą tylko przy świetle czerwonym i niebieskim.
- XX w.: Melvin Calvin prześledził drogę węgla w fotosyntezie używając odkrytego w 1940 r. przez Martina Kamena i Sama Rubena izotopu  $^{14}\text{C}$ . Po 10 latach badań (1950-60) Calvin potwierdził, że reakcje świetlne fotosyntezy uwarunkowane są chlorofilem, który absorbuje energię słoneczną. Równolegle prowadził on badania nad reakcjami zachodzącymi w ciemności. Calvin wykorzystywał jako materiał badawczy komórki zielonych glonów morskich. W trakcie przeprowadzania przez nie fotosyntezy Calvin wielokrotnie przerywał ten proces na kolejnych jego etapach i przepłukiwał komórki glonów alkoholem. Następnie, używając techniki chromatografii bibułowej rozdzielał wypłukane z komórek substancje, czyli produkty pośrednie fotosyntezy i analizował je. W ten sposób odkrył i opisał kolejne produkty pośrednie, pojawiające się w fotosyntezie. Ciąg niezależnych od światła reakcji fotosyntezy został nazwany cyklem Calvina (faza ciemna fotosyntezy). W roku 1961 Melvin Calvin otrzymał za te odkrycia Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii.
- W roku 1988 naukowcy z Uniwersytetu w Arizonie poinformowali o stworzeniu sztucznego układu fotosyntetycznego. Urządzenie przypominające komórkę używało światła do syntezy ATP, uniwersalnego akumulatora i transportera energii w komórce. Ta nowa technologia może być spożytkowana w biologicznych komputerach, a także lekach nowej generacji. (McGrath, 1999, p. 600)

(źródło: <http://www.geocities.com/barefeetchild/history.html>)

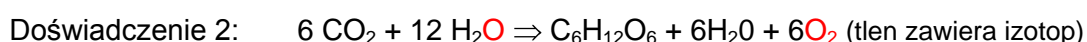
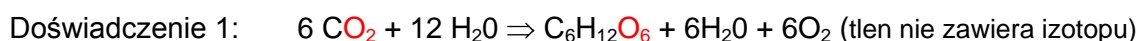
## TLEN – PRODUKT UBOCZNY FOTOSYNTETY

Rośliny wytwarzają tlen w wyniku rozpadu wody, pod wpływem energii słonecznej.

Dowiedziano tego w roku 1950, kiedy to zastosowano izotop tlenu  $^{18}\text{O}$  do śledzenia drogi tlenu w reakcjach fotosyntezy. W doświadczeniu 1. podano roślinom dwutlenek węgla zawierający izotop  $^{18}\text{O}$ . Tlen wydzielany przez nie do atmosfery nie zawierał tego izotopu.

W doświadczeniu 2. podano roślinom wodę z izotopem  $^{18}\text{O}$ . W efekcie, w wyniku fotosyntezy, w tlenie wydzielanym przez rośliny zarejestrowano izotop tlenu  $^{18}\text{O}$ .

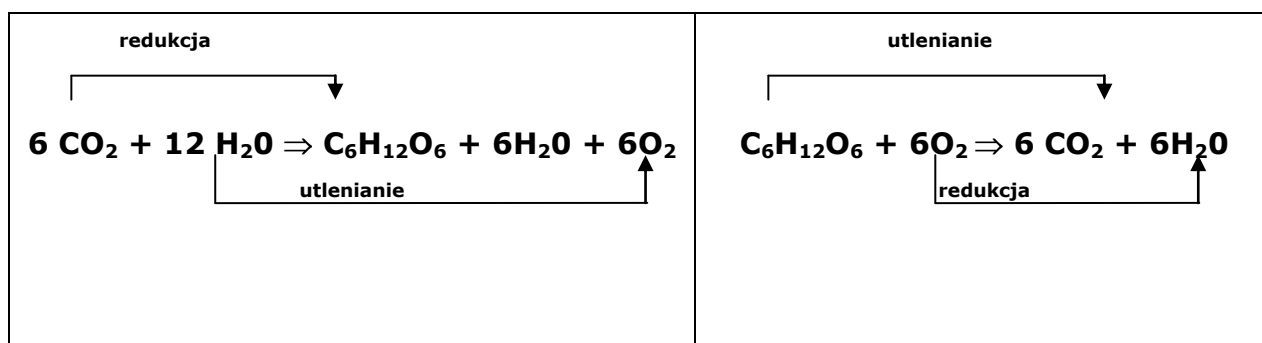
Na podstawie wyników tych doświadczeń wyciągnięto wniosek, że tlen cząsteczkowy będący produktem ubocznym fotosyntezy pochodzi z rozpadu wody.



## FOTOSYNTENZA I ODDYCHANIE TLENOWE TO UZUPEŁNIAJĄCE SIĘ PROCESY UTLENIANIA I REDUKCJI (REDOX)

W efekcie rozkładu wody pod wpływem światła, czyli fotolizy (inaczej fotodysocjacji) powstaje tlen cząsteczkowy, który jest produktem ubocznym fotosyntezy oraz jony wodorowe ( $\text{H}^+$ ), redukujące dwutlenek węgla do cukru prostego - glukozy.

W procesie oddychania natomiast tlen utlenia glukozę do dwutlenku węgla, ulegając redukcji przez łączenie się z jonami wodoru, w wyniku czego powstaje woda.

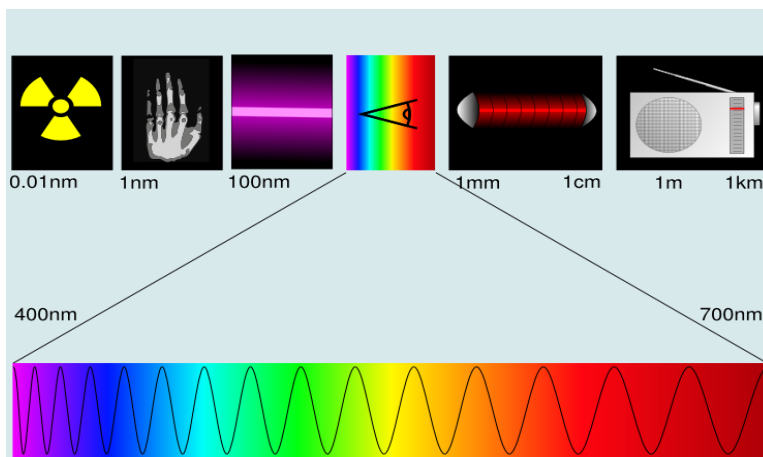


Fotosynteza zużywa energię słoneczną do wytwarzania glukozy, a oddychanie komórkowe uwalnia energię zgromadzoną w jej cząsteczkach.

## WŁAŚCIWOŚCI CHLOROFILU

Światło widzialne warunkuje przebieg pierwszej fazy fotosyntezy, zwanej jasną.

Słońce emituje promieniowanie elektromagnetyczne, którego niewielką częścią jest światło widzialne (od 400 do 700 nm. długości fali). Światło widzialne składa się z fal o różnej długości, które nasze oczy odbierają jako światło różnej barwy.



Promieniowanie elektromagnetyczne: światło widzialne to fale o długości od 400 nm do 700 nm. Fale krótsze to ultrafiolet, promieniowanie X, gamma, beta itp., fale dłuższe to podczerwień oraz fale radiowe.

Fotosynteza wykorzystuje tylko część światła widzialnego – te długości fal świetlnych, które absorbuje chlorofil oraz barwniki pomocnicze. Jest to głównie światło fioletowo-niebieskie i jasnoczerwone (chlorofil a) oraz niebieskie i pomarańczowe (chlorofil b).

Ponieważ chlorofil obecny w zielonych częściach rośliny absorbuje tę część światła białego, a odbija pozostałe długości fal (światło zielone), to do naszych oczu dociera właśnie światło odbite od liści i dlatego widzimy je jako zielone.

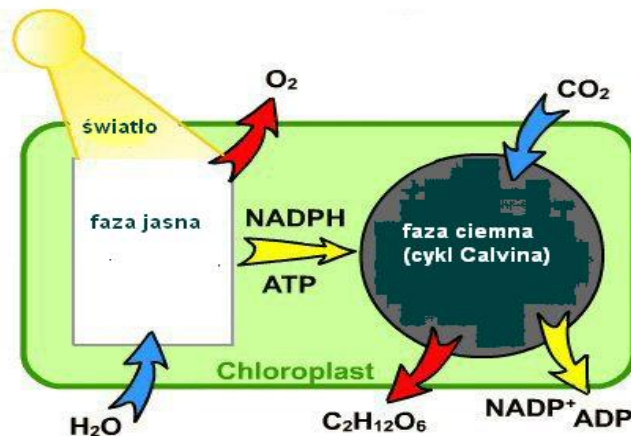
## FOTOSYNTENZA PRZEBIEGA W DWÓCH FAZACH

Fotosynteza nie jest prostą reakcją chemiczną, jest skomplikowanym procesem metabolicznym, przebiegającym w dwóch fazach – jasnej i ciemnej, a każda z nich składa się z wielu etapów - reakcji chemicznych.

Faza jasna przebiega w granach i jest przekształceniem energii świetlnej w energię chemiczną siły asymilacyjnej.

Siła asymilacyjna to ATP (adenozynotryfosforan), czyli związek wysokoenergetyczny i NADPH, czyli zredukowany przenośnik wodorowy (dwunukleotyd nikotynoaminoadeninowy). W tej fazie pod wpływem energii światła dochodzi też do rozpadu, czyli fotolizy wody, w wyniku czego powstaje jako produkt uboczny fotosyntezy tlen cząsteczkowy O<sub>2</sub>.

Faza ciemna znana jako cykl Calvina to szereg reakcji, z których ostatnia jest warunkiem przebiegu pierwszej. Istota tych przemian polega na składaniu cząsteczek glukozy przez redukcję dwutlenku węgla wodorem z NADPH, przy udziale energii ATP – a więc przy zużyciu siły asymilacyjnej z fazy jasnej.



Schemat ogólny fotosyntezy

Fotosynteza powoduje okresowe zmiany poziomu dwutlenku węgla w otaczającym roślinę powietrzu – roślina prowadzi wymianę gazową konieczną do przebiegu fotosyntezy, pobierając z powietrza dwutlenek węgla, a wydalając do niego tlen. Jednocześnie odbywa się proces transpiracji, czyli parowania. Oba procesy przebiegają u większości roślin lądowych dzięki aparatom szparkowym, obecnym w skórcie liści i zielnych łodyg. Kiedy jest gorąco i sucho rośliny przyspękują aparaty szparkowe, by ograniczyć do minimum transpirację. Powoduje to ograniczenie szybkości fotosyntezy ze względu na deficyt dwutlenku węgla.

Jednak pewne grupy roślin – rośliny typu  $C_4$  i typu CAM – potrafią gromadzić dwutlenek węgla (wbudowując go w związki organiczne) i wykorzystywać te zapasy w sytuacji deficytu wody.

Rośliny typu CAM pobierają drogą dyfuzji  $CO_2$  z otoczenia w nocy, gdy nie grozi im utrata wody (niższa temperatura otoczenia), gromadzą go i wykorzystują w procesie fotosyntezy, odbywającej się w dzień, przy dostępie do światła (przystosowanie czasowe).

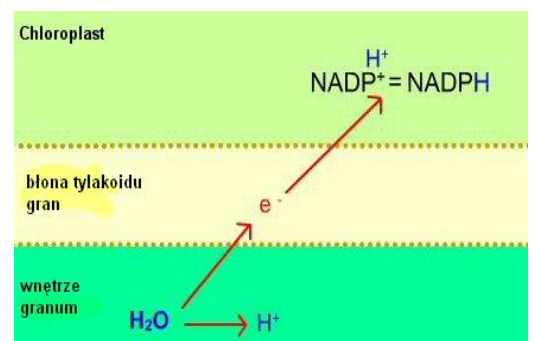
Rośliny typu  $C_4$  natomiast gromadzą dwutlenek węgla w okresach większej wilgotności powietrza, wykorzystując do tego specjalne komórki (przystosowanie anatomiczne).

### FAZA JASNA FOTOSYNTETY

Faza jasna zachodzi w błonach (tylakoidach) gran chloroplastu. W tylakoidach zakotwiczone są cząsteczki chlorofilu, zdolnego do absorpcji światła i emisji wzbudzonych energią światła elektronów.

Cząsteczki wody rozpadają się (fotoliza), uwalniając tlen cząsteczkowy i elektrony oraz protony  $H^+$ . Tlen cząsteczkowy uwalniany w fazie jasnej jest pochodną atomów tlenu z wody.

W fazie jasnej aktywne są dwa fotosystemy (zespoły barwników zdolnych do absorpcji światła), absorbujące światło o różnej barwie:

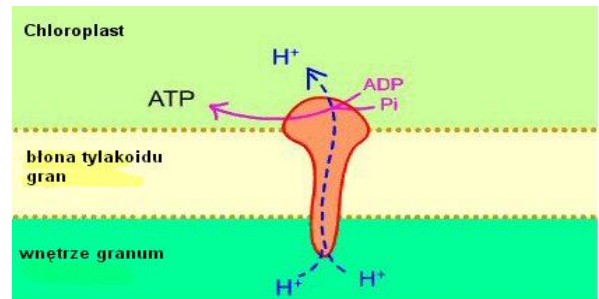
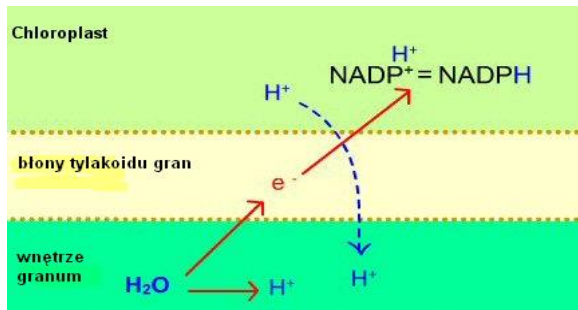


- fotosystem I absorbuje światło o długości fali 700 nm i składa się głównie z chlorofilu a
- fotosystem II absorbuje światło o długości fali 680 nm i składa się głównie z chlorofilu b

Oba fotosystemy oprócz chlorofilu zawierają barwniki pomocnicze, głównie karotenoidy i ksantofile.

Barwniki towarzyszące zbierają energię światła o długości fal nie absorbowanych przez chlorofile i przekazują ją do nich.

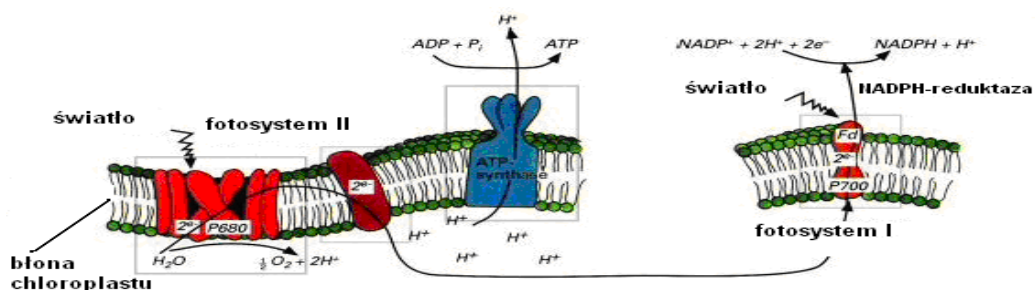
Chlorofil zbudowany jest z pierścieni z podwójnymi wiązaniami, a między



pierścieniami znajduje się atom magnezu, z którego uwalniane są pod wpływem kwantów energii świetlnej wzbudzone energetycznie elektrony. Elektrony przechodzą przez system przenośników elektronów, stopniowo oddając energię, która służy do syntezy ATP.

Źródłem energii są też jony wodoru, gromadzone wewnątrz gran chloroplastów. Tworzą one siłę chemiosmotyczną przez wysoką koncentrację po jednej tylko stronie błony (gradient stężenia jonów wodorowych w poprzek błony tylakoidów). Pod wpływem tej siły przepływają one lawinowo przez kanały białka enzymatycznego, czyli syntazy ATP. Energia uwalniana w procesie przepływu służy do syntezy ATP.

W dalszej kolejności jony wodoru i towarzyszące im elektrony redukują  $\text{NADP}^+$  do  $\text{NADPH}$ . W ten sposób powstaje siła asymilacyjna, czyli ATP i  $\text{NADPH}$ , konieczna do przebiegu fazy ciemnej.



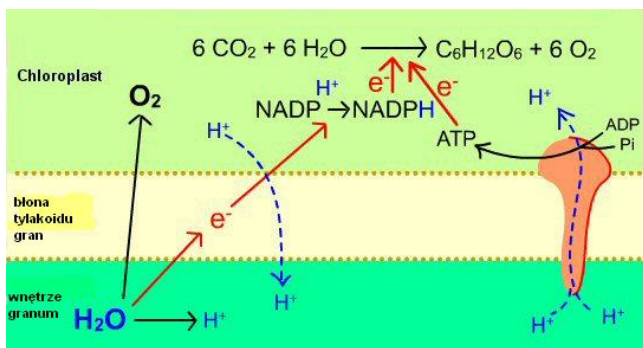
Procesy zachodzące na błonie tylakoidu granum z udziałem światła



## FAZA CIEMNA

Przebiega w stromie, czyli substancji podstawowej chloroplastów. Wbudowywanie węgla, pochodzącego z dwutlenku węgla w cząsteczki związków organicznych nazywane jest asymilacją (przyswajaniem, a w chemii karboksylacją). Po karboksylacji enzymy cyklu Calvina katalizują syntezę glukozy przez redukcję związków węgla jonami  $H^+$  i elektronami, pochodzącymi z NADPH. Do tej redukcji konieczna jest energia z ATP – drugiego składnika siły asymilacyjnej, powstającej w fazie jasnej fotosyntezy

Cykl Calvina nie wymaga światła do swojego przebiegu, wymaga natomiast dwutlenku węgla i siły asymilacyjnej. Przebiega w ciągu dnia, równoległe do tworzenia się siły asymilacyjnej ze względu na nietrwałość ATP.



## ODMIANY FOTOSYNTETY

Rośliny przeprowadzające fotosyntezę zgodnie z wcześniejszym opisem i pobierające  $CO_2$  na bieżąco z otaczającego powietrza, nazywane są roślinami typu  $C_3$  ze względu na pierwszy produkt cyklu Calvina czyli związek trójwęglowy PGA (kwas fosfoglicerynowy). Jednak jednym z poważnych problemów, związanych z tymi roślinami jest brak adaptacji do warunków suszy.

Kiedy w otoczeniu roślin  $C_3$  brakuje wody, zamykają one aparaty szparkowe, by jej nie tracić w procesie transpiracji. Uniemożliwia to dyfuzję  $CO_2$  i  $O_2$ , a to powoduje deficyt  $CO_2$  i wzrost stężenia tlenu we wnętrzu liścia. Fotosynteza zostaje zahamowana i rozpoczyna się proces fotooddychania<sup>1</sup> – proces niekorzystny dla przyrostu biomasy rośliny (patrz strona 9).

Nie wszystkie jednak rośliny przeprowadzają fotosyntezę wg tego wzorca.

## FOTOSYNTENZA ROŚLIN TYPU $C_4$

Rośliny typu  $C_4$ , które przystosowały się do suchego i gorącego klimatu odmienną budową anatomiczną liścia i odmiennym przebiegiem fotosyntezy (odmienna lokalizacja asymilacji dwutlenku węgla i syntezy glukozy), a także rośliny typu CAM, żyjące również w klimacie gorącym i suchym, które rozdzieliły w czasie procesu asymilacji dwutlenku węgla (noc) i syntezy glukozy (dzień).

Rośliny  $C_4$  wykształciły w liściach dwa typy tkanki – miękisz asymilujący mezofil i komórki pochwy okołowiązkowej. W miękiszu odbywa się asymilacja dwutlenku węgla przez wbudowywanie go do związku czterowęglowego  $C_4$  (kwasu szczawiooctowego). Kwas ten służy jako magazyn dwutlenku węgla, który jest z niego sukcesywnie uwalniany w komórkach pochwy okołowiązkowej, gdzie służy jako substrat cyklu Calvina. W rzeczywistości proces ten jest dużo bardziej

<sup>1</sup> Proces ten polega na zmianie właściwości enzymu karboksylazy RuBP, czyli karboksylazy rybulozobifosforanowej, krótko zwanej **rubisco**, który zaczyna katalizować utlenianie akceptora dwutlenku węgla (RuBP), co prowadzi do powstania nietrwałych związków pośrednich, rozkładanych w mitochondriach rośliny. Proces ten nie daje zysku energetycznego i przyczynia się do - czasem znacznego - ubytku plonów.

złożony i przebiega trochę odmiennie w roślinach należących do trzech podtypów roślin  $C_4$  – NADP-ME, NAD-ME, PEP-CK.

Dzięki temu rośliny te mogą przeprowadzać fotosyntezę nawet przy okresowo zamkniętych aparatach szparkowych (ochrona przed odwodnieniem w wyniku nadmiernej transpiracji), wykorzystując zgromadzony wcześniej zapas dwutlenku węgla.

Faza jasna może przebiegać u tych roślin zarówno w zbudowanych z gran chloroplastach mezofilu jak i bezgranowych chloroplastach komórek pochwy okołowiązkowej.

Komórki miękiszu asymilacyjnego połączone są z komórkami pochwy okołowiązkowej licznymi plazmodesmami przez które przechodzi z komórki do komórki błoniaste retikulum endoplazmatyczne peryferyjne (ER). Błony retikulum warunkują transport substancji z mezofilu (miękiszu asymilacyjnego) do komórek pochwy.

Do roślin typu  $C_4$  należy kukurydza, sorgo, trzcina cukrowa – ważne rośliny uprawowe, dające bardzo wysoką produkcję biomasy, a więc wysokie plony.

### FOTOSYNTENZA ROŚLIN TYPU CAM

Rośliny typu CAM to sukulenty (m.in. kaktusy, nagonasienna welwiczja), które asymilują dwutlenek węgla w nocy (powstaje związek  $C_4$ , czyli kwas szczawiooctowy), a w dzień syntezują glukozę z udziałem energii słonecznej i przy zamkniętych aparatach szparkowych.

Oba typy roślin łączy wspólny szlak metaboliczny asymilacji dwutlenku węgla do związku czterowęglowego, czyli szlak Hatcha-Slacka.

## 2. Wymagana wiedza wstępna

- wymiana gazowa roślin
- przebieg reakcji jasnej i ciemnej fotosyntezy
- przebieg oddychania komórkowego tlenowego

## 3. Wprowadzane lub rozwijane pojęcia

- wymiana gazowa roślin
- fotosynteza
- oddychanie komórkowe

## 4. Inne użyteczne informacje

1. Arizona State University Center for the Study of Early Events in Photosynthesis <http://photoscience.la.asu.edu/photosyn/>
2. Illuminating photosynthesis <http://www.pbs.org/wgbh/nova/methuselah/photosynthesis.html#>
3. Why Leaves Change Color <http://www.esf.edu/pubprog/brochure/leaves/leaves.htm>

4. Amir, R., Tamir, P. (1994) "In-depth analysis of misconceptions as a basis for developing research-based remedial instruction: The case of photosynthesis" *The American Biology Teacher*, 56, 94–100.
5. Barker, M., Carr, M. (1989) "Teaching and learning about photosynthesis. Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge" *International Journal of Science Education*, 11, 49–56.
6. Canal, P. (1999) "Photosynthesis and "inverse respiration" in plants: An inevitable misconception?" *International Journal of Science Education*, 21, 363–371.
7. F. Haslam, D. F. Treagust, (1987) "Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument" *Journal of Biological Education* 21, 203–211.
8. Marmaroti P., Galanopoulou D., (2006) "Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspect", *International Journal of Science Education* Vol. 28, No. 4, 383–403.
9. Stavy, R., Eisen, Y., Yaakobi, D. (1987) "How students aged 13-15 understand photosynthesis" *International Journal of Science Education*, 9, 105–115.
10. Waheed, T., Lucas, A. (1992) "Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education*, 26, 193–199.
11. <http://medycyna.linia.pl/fotosynt.html>
12. [http://portalwiedzy.onet.pl/122351,1,,,fotosynteza\\_schemat\\_ogolny,haslo.html](http://portalwiedzy.onet.pl/122351,1,,,fotosynteza_schemat_ogolny,haslo.html)
13. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Podtyp\\_PEP-CK](http://pl.wikipedia.org/wiki/Podtyp_PEP-CK)
14. <Http://photoscience.la.asu.edu/photosyn/>
15. <http://www.esf.edu/pubprog/brochure/leaves/leaves.htm>

## II. Podejście dydaktyczne

### 1. Kontekst pedagogiczny

Proponowany moduł może być stosowany jako program zajęć praktycznych. Uczniowie wykorzystują gotowe, opisane w programie ćwiczenia do analizy wyników przeprowadzanych doświadczeń i prawidłowego wnioskowania. Mogą też modyfikować ćwiczenia, wprowadzając nowe elementy (zmienne). Głównym celem modułu „Fotosynteza i oddychanie” jest rozwijanie wiedzy i umiejętności uczniów. W szczególności prowadzi on do lepszego zrozumienia teorii i działania modeli, symulujących procesy biologiczne.

### 2. Trudności ucznia

Fotosynteza jest oceniana przez nauczycieli jako najważniejszy, ale też najtrudniejszy do zrozumienia przez uczniów temat (Stavy i inni, 1987). Przyczyną tych trudności jest złożoność tematu i konieczność jego analizy w różnych aspektach – ekologicznym, fizjologicznym (odżywianie się

autotrofów), biochemicznym, energetycznym. Połączenie tych aspektów i ich zrozumienie jest zazwyczaj trudne dla uczniów (Waheed, Lucas, 1992).

Trudności są związane przede wszystkim z nieprawidłowym rozumieniem:

- autotroficznego odżywiania się roślin: tego, że roślina pobiera swój pokarm w postaci prostych związków z gleby a buduje swoje ciało dzięki związkom organicznym powstającym w procesie fotosyntezy, gdzie substratami są proste związki pobrane z otoczenia
- związków między wymianą gazową roślin a fotosyntezą i oddychaniem komórkowym tlenowym, a także trudnościami w zrozumieniu, że rośliny stale (i w dzień i w nocy) przeprowadzają identyczny ze zwierzętami proces oddychania komórkowego ze zużyciem tlenu
- różnicy, jaką daje w składzie chemicznym powietrza proces oddychania, a jaką fotosynteza
- różnicy, jaką daje w składzie chemicznym powietrza obecność żywej rośliny w dzień i w nocy
- przemian energetycznych w procesie fotosyntezy
- istoty przemian chemicznych oraz ich rozpoznawaniem
- gazu jako substancji chemicznej
- integracji wiedzy z dziedziny chemii i biologii (na przykład trudno jest uczniom zrozumieć, że ciało człowieka działa jak laboratorium chemiczne)

Przykłady błędnego rozumienia tych procesów to:

- dwutlenek węgla uczestniczy w wymianie gazowej tylko wtedy, gdy roślina nie przeprowadza procesu fotosyntezy
- oddychanie – wymiana gazowa zachodzi tylko przez liście lub tylko przez aparaty szparkowe (zachodzi również przez skórkę (oddychanie kutikularne) i przetchlinki w korku),
- rośliny wytwarzają tlen i pobierają dwutlenek węgla, kiedy oddychają (mylenie fotosyntezy i oddychania)
- rośliny zielone oddychają tylko nocą
- rośliny zielone w ogóle nie oddychają tylko fotosyntezują, a energia do wzrostu pochodzi bezpośrednio z fotosyntezy
- rośliny oddychają tylko wtedy, gdy brakuje im energii z fotosyntezy, a zwierzęta oddychają tylko dlatego, że nie potrafią przeprowadzać fotosyntezy.

### 3. Ewaluacja wykorzystania TI

Przeprowadzając pomiary wspomagane komputerowo w laboratorium biologicznym można natknąć się na pewne trudności.

Mogą one:

- przekraczać czas normalnych zajęć dydaktycznych i konieczne będzie zbieranie ich przez cały dzień lub też w weekend
- okazać się niemożliwe ze względu na zbyt małe zmiany w poziomie dwutlenku węgla lub tlenu, których nie są w stanie zarejestrować czujniki

W przypadku trudności lepiej jest powtórzyć doświadczenie, zmieniając jego warunki tak, by uzyskać lepsze wyniki i wtedy dopiero podjąć próby ich analizy, wnioskowania i dyskusji.

Takie czytelne, jasne wyniki z pewnością zachęcą uczniów do zadawania pytań i udzielania na nie odpowiedzi.

### 4. Krótki opis ćwiczeń

#### POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO

#### **Ćwiczenie 1. Oddychanie roślin (kiełkujących nasion)**

W tym doświadczeniu czujnik tlenu lub czujnik dwutlenku węgla rejestruje zmiany stężenia gazu w powietrzu otaczającym rośliny, zamknięte w szczelnym pojemniku, w stałej temperaturze i przy stałym oświetleniu lub braku oświetlenia. Najlepiej użyć do tego doświadczenia kiełkujących nasion, których zarodki bardzo intensywnie oddychają, a nie przeprowadzają jeszcze fotosyntezy. Uczniowie mogą stwierdzić, że rośliny oddychają podobnie jak zwierzęta – przez zużycie tlenu i wydalenie dwutlenku węgla, jako produktu końcowego oddychania komórkowego tlenowego, do otoczenia.

#### **Ćwiczenie 2. Zależność tempa fotosyntezy od natężenia oświetlenia (ew. barwy światła)**

W świetle sztucznym obserwowane są zmiany stężenia dwutlenku węgla w otaczającym roślinę powietrzu (układ zamknięty). W ciemności rośnie stężenie dwutlenku węgla – roślina oddycha, na świetle – spada, bo jest on zużywany do fotosyntezy. Tempo spadku stężenia dwutlenku węgla zwiększa się wraz ze wzrostem natężenia oświetlenia (wzrost szybkości fotosyntezy).

Można w tym doświadczeniu zbadać również wpływ barwy światła na intensywność zmian w poziomie dwutlenku węgla.

#### **Ćwiczenie 3. Monitorowanie fotosyntezy w dłuższym czasie.**

To doświadczenie jest przeprowadzane przez dłuższy czas – 72 godziny. Monitorowane w nim będą zmiany takich parametrów jak poziom  $O_2$ ,  $CO_2$ , światła, temperatury i wilgotności powietrza w cyklu dobowym. Można monitorować te zmiany w przypadku roślin  $C_3$ ,  $C_4$  i CAM.

## MODELOWANIE

Dotyczy relacji między czynnikami ważnymi w oddychaniu i fotosyntezie. Wpływ różnych zmiennych, takich jak liczba organizmów, natężenie oświetlenia i inne, reprezentowanych w formach graficznych należy przeanalizować, zinterpretować i połączyć z wiadomościami teoretycznymi i danymi doświadczalnymi, dotyczącymi zjawisk, które pokazują.

Uczniowie mogą tworzyć różne warunki i ustawiać różne wartości parametrów, a także samodzielnie tworzyć nowe modele.

**Ćwiczenie 4. Życie w jeziorze** (model zmian stężenia tlenu w zbiorniku wody stojącej)

Model prezentuje obliczenia zawartości tlenu w zbiorniku wody stojącej, w zależności od liczby roślin (fotosynteza i oddychanie tlenowe) i zwierząt (oddychanie tlenowe), a także od natężenia oświetlenia. W modelu zarówno produkcja jak zużycie tlenu jest określone i bilansowane.

Model ten służy badaniu jak rośliny, zwierzęta i światło wpływają na poziom stężenia tlenu w wodzie zbiornika stojącego.

W modelu przyjęto następujące założenia:

1. Fotosynteza zależy wprost proporcjonalnie od oświetlenia (im wyższe natężenie oświetlenia tym szybciej przebiega fotosynteza). Jest to oczywiście duże uproszczenie, ale jest ono konieczne do konstrukcji modelu.
2. Wymiana gazowa zależy od stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie, a stężenie tlenu w wodzie zależy od liczby roślin i zwierząt w niej żyjących.
3. Oświetlenie zależy od wartości natężenia światła:
  - przy natężeniu światła równym 0 w modelu panuje ciemność
  - w przedziale między 0 a 100 oświetlenie jest stałe (oznacza to maksymalne, stałe oświetlenie)
  - wartości powyżej 100 powodują, że generowane jest oświetlenie zmienne, symulujące rytm dobowy (dzień-noc)

## II. Podejście dydaktyczne

Cztery ćwiczenia proponowane w module, integrując wiedzę i umiejętności z biologii, chemii i fizyki oraz wykorzystując wyobraźnię ucznia wprowadzają go w problem zawarty w tytule modułu.

Ćwiczenie pierwsze koncentruje się na wymianie gazowej roślin oraz ich oddychaniu komórkowym (aspekt fizjologiczny). Drugie dodaje do oddychania fotosyntezę i analizuje wpływ intensywności światła na jej przebieg (aspekt energetyczny).

Trzecie ćwiczenie analizuje proces fotosyntezy i oddychania roślin w dłuższym okresie czasu (3 doby).

Czwarte ćwiczenie (analiza gotowego modelu) pomaga zrozumieć proces zmian stężenia tlenu w jeziorze w wyniku fotosyntezy roślin oraz oddychania tlenowego roślin i zwierząt (aspekt ekologiczny).

Żeby ćwiczenia były przydatne w nauczaniu, moduł korzysta z dostępnych w oprogramowaniu narzędzi do rozwijania dwóch rodzajów umiejętności:

- **Umiejętności informatyczne**, które polegają na sprawnym manipulowaniu sprzętem komputerowym i korzystaniu z wiedzy o podstawowych opcjach oprogramowania,
- **Umiejętności metodyczne**, których zdobycie umożliwia oprogramowanie, a w szczególności narzędzia programu Coach. Nabycie tych umiejętności to podstawowy cel nauczania przedmiotów przyrodniczych. Są to: analiza i interpretacja wyników, logiczne wnioskowanie, łączenie nowej wiedzy z wiedzą zdobytą wcześniej, a także integrowanie wiedzy i umiejętności z różnych przedmiotów.

Te umiejętności są ważne w przygotowaniu uczniów do kolejnych ćwiczeń, a każde ćwiczenie rozwija te umiejętności tak, by mogły służyć w realizacji następnych.

Nauczycielom, moduł umożliwia zdobycie *umiejętności pedagogicznych*, które po zastosowaniu dają pozytywne efekty nauczania.

Te umiejętności to:

1. dobre przygotowanie teoretyczne na bazie jasnej podstawy teoretycznej do każdego z ćwiczeń
2. rozumienie wartości stosowania metod TI i umiejętność wykorzystanie pełnych możliwości tych metod w ukierunkowanym, celowym działaniu edukacyjnym
3. umiejętność prowadzenia ćwiczeń tak, by propagować wśród uczniów i innych nauczycieli stosowanie TI
4. integrowanie nauczanej wiedzy z różnych przedmiotów przyrodniczych w każdym z ćwiczeń tak, by uczniowie coraz lepiej rozumieli problem

Ostatni punkt jest motywem przewodnim projektu IT for US, a prezentowane w module ćwiczenia są specjalnie skonstruowane tak, by pokazać, że taka integracja jest możliwa do osiągnięcia.

Zarówno modele jak i zestawy doświadczalne w ćwiczeniach modułu są tak dobrane, by pokazywały, jak można osiągnąć taką integrację nauczania przedmiotów przyrodniczych.

Na przykład:

- wykorzystanie danych z przeprowadzonych ćwiczeń doświadczalnych i symulacji modelu umożliwia przeprowadzenie dyskusji na temat czynników fizycznych i chemicznych wpływających na przebieg fotosyntezy i oddychania
- zestawienie rezultatów jednych ćwiczeń z innymi umożliwia ich analizę i porównanie

W obu typach aktywności wykres jest kluczowym narzędziem ułatwiającym analizę i interpretację wyników, a przecież umiejętność jego analizy jest podstawowym wymogiem zarówno egzaminu maturalnego jak i gimnazjalnego.

Dostęp do sprzętu komputerowego i odpowiedniego oprogramowania ułatwia efektywne przeprowadzanie ćwiczeń.

W założeniu każdy z uczniów powinien mieć dostęp do komputera, zbudować

osobiście zestaw doświadczalny i zebrać dane. Kiedy jest za mało komputerów w stosunku do liczby uczniów nauczyciel może przeprowadzić opisane w module ćwiczenia w formie demonstracji. Można też przeprowadzić ćwiczenia w grupach uczniowskich po 3-4 osoby, kiedy każda z grup realizuje inne ćwiczenie. Grupy przygotowują na podstawie zebranych materiałów prezentacje, które przedstawiają kolejno całej klasie. Nauczyciel, wykorzystując efekty pracy uczniowskiej może zainicjować dyskusję, ułatwiającą zrozumienie badanych zjawisk.

Ćwiczenia opracowane w module mogą być modyfikowane w różny sposób, w zależności od kontekstu edukacyjnego. Równocześnie tworzą one spójną, logiczną całość poświęconą trzem procesom: wymianie gazowej, fotosyntezie i oddychaniu.

W rozmaitych warunkach, w różnych szkołach, przy realizowaniu różnych programów nauczania i stawianiu zróżnicowanych wymagań edukacyjnych można realizować te ćwiczenia, modyfikując je wedle potrzeb. Można realizować ćwiczenia na lekcjach wprowadzających do tematu, na zajęciach realizujących temat, na zajęciach pozalekcyjnych dla zainteresowanych uczniów.

Można też realizować te ćwiczenia na różnych poziomach edukacyjnych: w szkole gimnazjalnej i ponadgimnazjalnej, a nawet – w formie demonstracji – w szkole podstawowej. Można również modyfikować czas trwania doświadczenia, w zależności od czasu jakim dysponujemy realizując dany temat.

Ćwiczenie	Korzyści płynące ze stosowania TI
Pomiary wspomagane komputerowo	Wykresy CO <sub>2</sub> (i/lub O <sub>2</sub> ), natężenia oświetlenia są wyświetlane w czasie trwania doświadczenia. Wykresy mogą być analizowane przy pomocy narzędzi programu, co pozwala uzyskać w krótkim czasie komplet danych do analizy i wnioskania. Można też, korzystając z programu ustawiać czas i częstotliwość próbkowania.
Modelowanie	Model pozwala na obliczenie zmian natężenia tlenu w wodzie w stojącym zbiorniku wodnym (stawie). Dostępne modele można wykorzystać do symulacji procesów i zjawisk. Dane zebrane na podstawie symulacji można porównać z danymi eksperymentalnymi i ocenić jakość modelu.

#### LITERATURA:

1. Piotr Felski, Krzysztof Służewski, „Monitorowanie fotosyntezy i oddychania u roślin przy pomocy technologii informacyjnej”, Biuletyn PSNPP „Nauczanie przedmiotów przyrodniczych”, 2002, adres internetowy (plik do pobrania): [ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/konkurs/b/fotosynteza2.doc](http://ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/konkurs/b/fotosynteza2.doc)
2. Piotr Felski, „Monitorowanie procesów kiełkowania i fermentacji przy pomocy technologii informacyjnej”, Biuletyn PSNPP „Nauczanie przedmiotów przyrodniczych”, 2002, adres internetowy (plik do pobrania): [ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/konkurs/e2/29.doc](http://ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/konkurs/e2/29.doc)
3. Praca zbiorowa pod redakcją Zurzycki, J., Michniewicz, M. „Fizjologia roślin”, PWRiL, Warszawa 1985.
4. Praca zbiorowa pod redakcją Jaroszyk, F. „Biofizyka”, PZWL, 2002.
5. Solomon, W., Ville, A. „Biologia”, Warszawa, 1995.



## 5. Zestaw środków dydaktycznych do ćwiczeń uczniowskich

Wykaz plików źródłowych, niezbędnych do wykonania ćwiczeń

### OPROGRAMOWANIE COACH 5 PL / COACH 6

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Pomiary wspomagane komputerowo	Coach 6	1.Plant respiration.cma (activity file) 1.Plant respiration.cmr (result file with exemplary data)
2. Pomiary wspomagane komputerowo	Coach 6	2.Processes in dark and light.cma (activity file) 2.Processes in dark and light.cmr (result file with exemplary data)
3. Pomiary wspomagane komputerowo	Coach 6	3.Monitoring photosynthesis.cma (activity file) 3.Monitoring photosynthesis.cmr (result file with exemplary data)
4. Modelowanie	Coach 6	4.Life in a pond.cma (activity file)

### WYPOSAŻENIE I MATERIAŁY DO ĆWICZENIA 1 I 2 (POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO):

- Komputer i oprogramowanie – patrz tabela powyżej
- Interfejs pomiarowy np. CoachLab II/II+ lub ULAB
- Czujnik CO<sub>2</sub> z butelką z gumowym korkiem o pojemności 250 ml
- Czujnik światła, czujnik temperatury, czujnik O<sub>2</sub>, czujnik wilgotności (opcjonalnie)

### Do ĆWICZENIA 1

- Duży, przezroczysty pojemnik szklany lub plastikowy, możliwy do uszczelnienia
- Płaskie naczynia szklane np. szalki Petriego
- Lignina lub wata
- Kiełkujące nasiona rzeżuchy lub fasoli, grochu, słonecznika

## Do ĆWICZENIA 2

- Silna lampa, najlepiej z tzw. zimną żarówką
- Naczynie wypełnione wodą mineralną
- Naczynie pomiarowe
- Folia aluminiowa
- Folia spożywcza do uszczelnienia naczynia pomiarowego
- Różne filtry światła
- Duże, świeże zielone liście np. szpinaku (6-8) lub też 3 rośliny z dużymi liśćmi np. bazylią, melisą (do kupienia w dużych sklepach spożywczych)

# III. ĆWICZENIA UCZNIOWSKIE

## ĆWICZENIE 1. ODDYCHANIE ROŚLIN

### Cele nauczania:

- Analiza zmian poziomu tlenu w otoczeniu jako efektu wymiany gazowej roślin
- Analiza zmian poziomu dwutlenku węgla jako efektu wymiany gazowej roślin
- Badanie zależności tych zmian od warunków oświetlenia (ciemność, światło rozproszone)
- Zrozumienie, że wymiana gazowa roślin odbywa się zarówno w dzień jak i w nocy

Zastosowana TI:  
pomiary wspomagane komputerowo

Poziom nauczania:  
14 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie pod kierunkiem nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Przyłączanie czujników i interfejsu
- Pomiar zmian i ich rejestracja
- Zapis, gromadzenie i przetwarzanie danych

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Analiza danych zapisanych w tabeli lub w formie wykresu
- Odczyt wzrostów i spadków z wykresu
- Ewaluacja jakości pomiarów

### Materiały:

- Interfejs Coach Lab II/II+ lub ULAB
- Czujniki stężenia gazu (tlenu, dwutlenku węgla)
- Duży, przezroczysty pojemnik szklany lub plastikowy, możliwy do uszczelnienia
- Płaskie naczynia szklane np. szalki Petriego
- Lignina lub wata
- Kiełkujące nasiona rzeżuchy lub fasoli, grochu, słonecznika

## Przebieg ćwiczenia:

W tym ćwiczeniu, jako materiał badawczy używa się kiełkujących nasion.

### 1. Przygotowujemy materiał badawczy w następujący sposób:

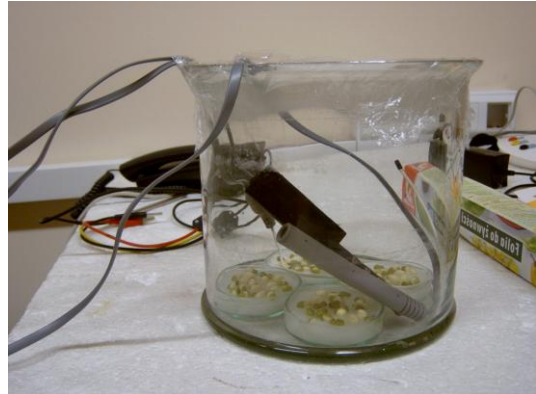
- Umieść krążki bibuły lub ligniny w szalkach Petriego (lub innych płaskich naczyniach szklanych) o średnicy około 8-10 cm. Umieść nasiona na podłożu (w niewielkiej odległości od siebie (ok.0,5 cm), liczba nasion zależy będzie od ich wielkości). Dodaj po 20-25 ml wody mineralnej do każdego naczynia, tak by nasiona były na wilgotnym podłożu, ale żeby nie były przykryte wodą (zachowany dostęp powietrza).
- Utrzymując stałą wilgotność podłoża (ważną dla życia zarodków rośliny) i temperaturę (20-22 °C) w warunkach laboratoryjnych pozwól kiełkować nasionom przez okres 2-3 dni.
- Jako próbę kontrolną użyj nasion nie kiełkujących, na suchym podłożu. Powinny być one przechowywane w takich samych warunkach laboratoryjnych jak próba badawcza.
- Pomiarzy próby kontrolnej mogą być przeprowadzone przed właściwymi pomiarami lub równoległe do nich, jeśli posiadamy odpowiednią liczbę czujników i interfejsów.



Nasiona rzeżuchy kiełkujące - próba doświadczalna (z prawej) i nie kiełkujące - próba kontrolna (z lewej)

2. Połącz czujnik CO<sub>2</sub> (lub O<sub>2</sub>) z wejściem 1 interfejsu. Zanim zaczniesz pomiary skalibruj czujnik w świeżym powietrzu (np. za oknem).
3. Skalibruj naczynie pomiarowe: po włożeniu podłączonych do interfejsu czujników w naczyniu i uszczelnieniu go uruchom pomiar na 15 minut w celu sprawdzenia, czy poziom tlenu/dwutlenku węgla nie zmienia się. Zapisz wyniki jako kalibrację naczynia pomiarowego.

4. Umieść szalkki (3) z kiełkującymi nasionami w naczyniu pomiarowym.
5. Połącz czujnik tlenu lub dwutlenku węgla z interfejsem (wybierz odpowiednie wejście). Należy też podłączyć czujnik temperatury w celu monitorowania warunków doświadczenia. Można użyć też czujnika wilgotności i światła.
6. Umieść czujniki w pojemniku obok kiełkujących nasion i uszczelnij pojemnik np. folią spożywczą, taśmą klejącą.
7. Umieść cały zestaw pomiarowy w ciemności (np. owiń go szczelnie folią aluminiową).
8. Uruchom program, wybierz odpowiednie ćwiczenie, ustaw parametry pomiaru (czas ok. 1-2 h, częstotliwość próbkowania). Uruchom pomiar.
9. Zapisz uzyskane wyniki i dokonaj ich analizy, określając tempo zmian poziomu gazów oddechowych w otoczeniu kiełkujących nasion. Ustal tempo oddychania (przez użycie opcji *Slope*).
10. Powtórz ćwiczenie w świetle rozproszonym (natężenie ok. 700 Lux).

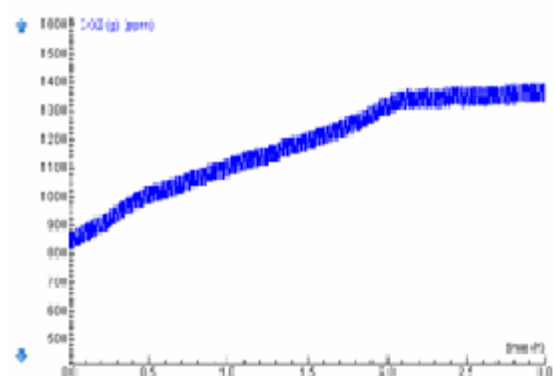


### Pytania:

- W jaki sposób zmienia się stężenie tlenu/dwutlenku węgla w otoczeniu kiełkujących nasion?
- Jaki proces metaboliczny jest związany ze zużyciem tlenu/wytwarzaniem dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona?
- Czy suche nasiona również przeprowadzają ten proces?
- Porównaj zmiany ilości tlenu i dwutlenku węgla w otoczeniu nasion. Jaki jest stosunek jednego do drugiego? Czy mógłbyś wytłumaczyć jaka jest przyczyna takiego związku? (ostatni punkt może być realizowany, gdy pomiar dotyczy tlenu i dwutlenku węgla)

### Analiza wyników:

Analizując wykres uczniowie mogą wnioskować, że żywe zarodki roślin, obecne w nasionach oddychają pobierając przy tym tlen i wydając dwutlenek węgla, podobnie jak to robią zwierzęta i człowiek. Przez ilościową analizę wykresu uczniowie mogą wnioskować o szybkości oddychania kiełkujących nasion, uwzględniając przy tym zamknięty układ doświadczalny (po



Zmiany poziomu CO<sub>2</sub> w otoczeniu kiełkujących nasion rzeżuchy na świetle rozproszonym

pewnym okresie brakuje tlenu w otoczeniu i tempo oddychania spada).  
 Rezultaty ćwiczenia przeprowadzanego na świetle są podobne do przeprowadzanego w ciemności, jedynie wykres może być trochę bardziej spłaszczony.

To ćwiczenie pokazuje uczniom, że roślina oddycha nie tylko w ciągu nocy, ale również w dzień.

Porównując wyniki próby doświadczalnej i kontrolnej uczniowie upewniają się, że uzyskane wyniki nie są przypadkowe, mogą też wnioskować o zachowaniu się zarodków w stanie spoczynku (uśpienia) i w fazie wzrostu w czasie kiełkowania.

### **Uwaga !**

Można modyfikować to ćwiczenie, zmieniając czynniki środowiska takie jak: temperaturę, oświetlenie (badanie wpływu ilości i jakości światła), składniki podłoża (np. przez dodanie detergentu można zbadać wpływ tego środka chemicznego na proces oddychania nasion w czasie kiełkowania).

### **Wskazówki i rady:**

Zmiany w stężeniu tlenu w otaczającym nasiona powietrzu są bardzo małe równe około 0,5%. Prowadząc pomiary w ppm uzyskujemy bardziej zróżnicowane dane. Również pomiar procentowy dobrze pokazuje różnice.

### **Ćwiczenie w Coach6:**

Oddychanie nasion

## ĆWICZENIE 2. PROCESY NA ŚWIETLE I W CIEMNOŚCI

### Cele nauczania:

- Pomiar zmian poziomu dwutlenku węgla jako rezultatu fotosyntezy i oddychania
- Badanie zależności między szybkością fotosyntezy, ilustrowanym szybkością zmian stężenia dwutlenku węgla w otoczeniu rośliny a intensywnością oświetlenia
- Analiza czynników wpływających na poziom fotosyntezy i oddychania (wariant ćwiczenia)
- Badanie zależności między poziomem fotosyntezy a barwą światła (wariant ćwiczenia)

Zastosowana TI:  
pomiar wspomagane komputerowo

Poziom nauczania:  
14 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie pod kierunkiem nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Połączenie czujników z interfejsem
- Ustawienie parametrów
- Zbieranie wyników i ich analiza w określonym czasie

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

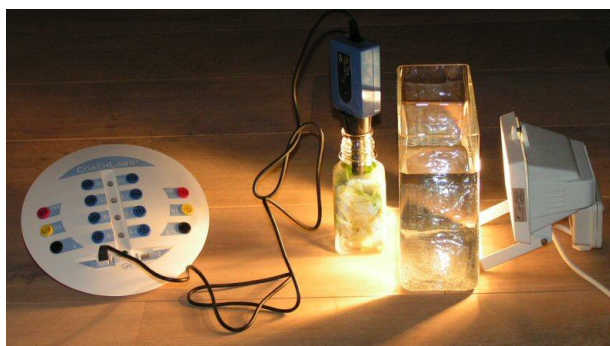
- Analiza danych zilustrowanych wykresem
- Odczyty wzrostu i spadku wartości czynnika
- Ocena wyników pracy

### Materiały:

- Interfejs Coach LabII/II+ lub ULAB
- Czujnik rejestrujący stężenie dwutlenku węgla
- Czujnik światła
- Czujnik temperatury
- Silna lampa, najlepiej z tzw. zimną żarówką
- Naczynie wypełnione wodą mineralną
- Naczynie pomiarowe
- Folia aluminiowa
- Folia spożywcza do uszczelnienia naczynia pomiarowego
- Różne filtry światła
- Duże, świeże zielone liście np. szpinaku (6-8) lub też 3 rośliny z dużymi liśćmi np. bazylija, melisa (do kupienia w dużych sklepach spożywczych)

## Przebieg ćwiczenia:

1. Umieść naczynie z wodą mineralną i liśćmi szpinaku lub też trzy rośliny doświadczalne w naczyniu pomiarowym jako próbę doświadczalną (uprzednio skalibruj uszczelnione folią spożywczą i taśmą klejącą naczynie pomiarowe – próba kontrolna naczynia pomiarowego).
2. Podłącz czujnik dwutlenku węgla do interfejsu, skalibruj go na świeżym powietrzu i umieść w naczyniu pomiarowym.
3. Włóż do naczynia pomiarowego czujnik temperatury i podłącz go do interfejsu.
4. Podobnie uczynić z czujnikiem światła.
5. Owiń pojemnik folią aluminiową tak, by światło nie docierało do liści (roślin).
6. Uszczelnij pojemnik pomiarowy folią spożywczą i taśmą klejącą.
7. Uruchom pomiar (czas może być ustawiony na min. 45 minut lub max. 3 godziny, częstotliwość próbkowania należy dobrać do czasu pomiaru).
8. Po 15 minutach zdejmij folię aluminiową i kontynuuj pomiar w świetle rozproszonym (dziennym lub lamp sufitowych).
9. Po kolejnych 15 minutach włącz lampę, uprzednio ustawioną tak, by światło skierowane było na rośliny.
10. Po upływie czasu zapisz wyniki na dysku komputera i dokonaj ich analizy.
11. Określ tempo fotosyntezy i oddychania w tych trzech sytuacjach.
12. Możesz przeprowadzić ćwiczenie w wersji zmodyfikowanej, stosując różne barwy światła przez nałożenie na lampę odpowiednich filtrów.



## Pytania:

- Jak zmienia się stężenie dwutlenku węgla kiedy światło jest wyłączone?
- Jaki proces jest odpowiedzialny za te zmiany? Napisz reakcję sumaryczną procesu, który przebiega, kiedy liście pozostają dłużej w ciemności.
- Jaki jest wpływ natężenia oświetlenia na stężenie dwutlenku węgla w otoczeniu rośliny (liści)?
- Jaki proces jest odpowiedzialny za te zmiany? Zapisz sumaryczną reakcję tego procesu, przeprowadzanego przez liście, pozostające na świetle.



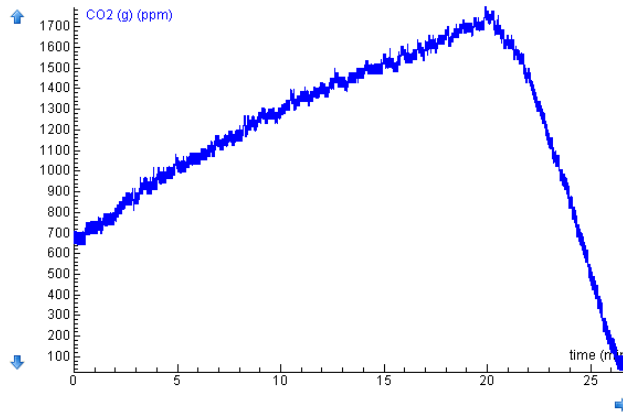
- Jak intensywność oświetlenia wpływa na poziom fotosyntezy?
- Jak barwa światła wpływa na poziom fotosyntezy/oddychania?
- Jakie inne czynniki, mają wpływ na poziom produkcji dwutlenku węgla przez rośliny?

### Analiza wyników:

Dane zebrane w trakcie doświadczenia są widoczne na wykresie.

W doświadczeniu wykorzystano liście szpinaku. Pomiar prowadzony był przez 30 minut.

Przez pierwsze 10 minut pomiaru pojemnik z liśćmi był owinięty folią aluminiową. Przez ten okres czasu poziom dwutlenku węgla wzrastał; szybkość produkcji dwutlenku



węgla wynosiła około 77 ppm/min (określone przez użycie opcji *Nachylenie* w Narzędziach).

W tym czasie obserwowaliśmy tylko efekt oddychania komórkowego liści. Zielone liście wykorzystywały energię zgromadzoną w cząsteczkach glukozy, utleniając ją w procesie oddychania komórkowego tlenowego i wytwarzając przy tym dwutlenek węgla. Przez następne 10 minut pomiaru (między 10 a 20 minutą) folia aluminiowa była zdjęta, a pojemnik oświetlony był światłem rozproszonym (natężenie około 700 Lux). Stężenie dwutlenku węgla nadal rosło, ale wolniej około 44 ppm/min. W tej sytuacji zachodziła zarówno fotosynteza jak i oddychanie tlenowe, ale produkcja dwutlenku w oddychaniu przewyższała zużycie tego gazu w fotosyntezie (niskie tempo fotosyntezy).

Przez ostatnie 7 minut (od 20 do 27 minuty) pomiaru liście były oświetlane silnym, ukierunkowanym światłem z lampy. Stężenie dwutlenku węgla bardzo szybko zaczęło spadać. Tempo fotosyntezy wzrosło pod wpływem silnego światła i zużycie dwutlenku węgla w tym procesie znacznie przewyższyło jego produkcję w procesie oddychania komórkowego. Dwutlenek węgla posłużył jako substrat do produkcji cukru w procesie fotosyntezy.

### Wskazówki i rady:

Liście szpinaku są dostępne praktycznie cały rok w sklepach spożywczych. Należy jednak zwrócić uwagę, by były w miarę jędrne, ciemno zielone.

Należy je przechowywać krótko, w niskiej temperaturze (ok. 10-15 °C). Przed użyciem w doświadczeniu należy je oświetlić przez ok. 5 minut jasnym światłem. Wystarczy użyć 7-8 liści, by zmiany poziomu dwutlenku węgla były wyraźne.

### Ćwiczenie w Coach6:

Procesy na świetle i w ciemności

# ĆWICZENIE 3. MONITOROWANIE FOTOSYNTETY. PRZEBIEG WYMIANY GAZOWEJ U ROŚLIN C3, C4, CAM

## Cele nauczania:

- Rejestrowanie zmian stężenia dwutlenku węgla (lub tlenu) jako efektu zmian szybkości fotosyntezy i oddychania komórkowego tlenowego roślin przez dłuższy okres czasu (72 godziny)
- Analiza zmian tempa fotosyntezy i oddychania w cyklu dobowym (dzień-noc)
- Analiza różnic w przebiegu i tempie fotosyntezy u roślin typu C3 i C4 oraz CAM
- Rozumienie procesów zachodzących na świetle i w ciemności

Zastosowana TI:  
pomiary wspomagane komputerowo

Poziom nauczania:  
14 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie pod kierunkiem nauczyciela (praca indywidualna lub zespołowa)

## Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Podłączenie czujników do interfejsu
- Ustawienie parametrów doświadczenia w programie
- Uruchomienie pomiaru

## Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Analiza wyników przedstawionych za pomocą wykresu
- Umiejętność odczytywania wzrostów i spadków
- Ocena jakości pomiarów i przydatności wyników

## Materiały:

- Interfejs CoachLab II/II+ lub ULAB
- Czujnik CO<sub>2</sub>
- Czujnik światła
- Czujnik temperatury
- Ewentualnie czujnik wilgotności
- Duży, łatwy do uszczelnienia, szklany lub plastikowy pojemnik
- Folia spożywcza, taśma klejąca lub inne materiały do uszczelnienia pojemnika
- 3 rośliny C3 np. melisa, bazylika (do kupienia w dużych sklepach spożywczych)
- 3 rośliny C4 np. Sanseweria (popularna roślina doniczkowa)

- 3 rośliny typu CAM np. kaktusy Mamilaria sp.

### Przebieg ćwiczenia:

1. Umieść rośliny (3 sztuki) w naczyniu pomiarowym (jeśli jest to butla plastikowa, jak na zdjęciu to przetnij ją na pół, włóż rośliny i połącz szczelnie obie części taśmą klejącą).
2. Wykalibruj czujnik dwutlenku węgla w świeżym powietrzu.
3. Podłącz czujniki odpowiednio do interfejsu pomiarowego, w taki sposób, by nie kolidowały ze sobą (czujnik CO<sub>2</sub> do wejścia 1, czujnik światła do wejścia 2).
4. Umieść w pojemniku czujniki w taki sposób, by rejestrowały dane maksymalnie zbliżone do rzeczywistych (np. czujnik światła skieruj ku źródłu światła i ustaw go w takiej odległości jak rośliny).
5. Ustaw pojemnik w miejscu oświetlonym światłem dziennym (np. na parapecie okiennym) lub sztucznym (wyłączanym i włączanym w cyklu 12-godzinnym).
6. Ustaw parametry doświadczenia w programie i włącz pomiar. Pomiar powinien być nastawiony na 72 godziny. Przy sztucznym świetle konieczne jest włączanie i wyłączanie źródła światła w ściśle określonych godzinach.
7. Powtórz to doświadczenie stosując rośliny odmiennych typów (C<sub>4</sub> i CAM).



### Pytania:

- Opisz, jak zmienia się stężenie dwutlenku węgla w czasie trwania pomiaru. Czy dwutlenek węgla jest zużywany w procesie fotosyntezy w równym stopniu przez cały dzień?
- Kiedy w ciągu dnia stężenie dwutlenku węgla w otoczeniu rośliny jest najwyższe, a kiedy najniższe?
- Co dzieje się ze stężeniem dwutlenku węgla kiedy zapada ciemność, a co dzieje się kiedy rozpoczyna się dzień?
- W jaki sposób natężenie oświetlenia wpływa na tempo fotosyntezy?

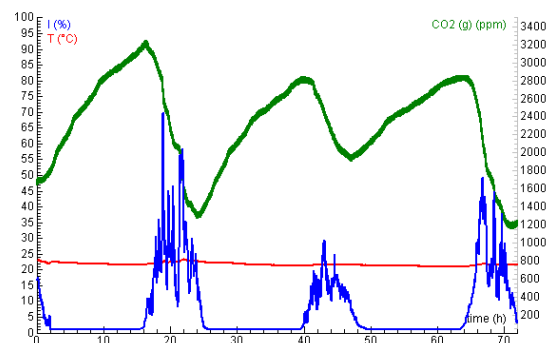
**Uwaga: Aby odpowiedzieć na poniższe pytania konieczne jest użycie dodatkowo czujnika tlenu.**

- Wyjaśnij jak zmienia się stężenie tlenu w otoczeniu roślin w czasie pomiaru? Czy tlen jest wydzielany w równym stopniu przez cały czas trwania fotosyntezy?
- Kiedy w ciągu dnia stężenie tlenu jest najwyższe, a kiedy najniższe?

- Co dzieje się ze stężeniem tlenu kiedy zapada zmrok, a co dzieje się, kiedy robi się jasno?
- Czy istnieje korelacja między szczytami stężenia tlenu, a szczytami natężenia oświetlenia?
- Dlaczego szczyty stężenia tlenu występują po szczytach natężenia oświetlenia?
- W jakim okresie dnia roślina wytwarza najwięcej tlenu i zużywa najwięcej dwutlenku węgla?
- Czy roślina oddycha w czasie fotosyntezy? Czy prowadzi wymianę gazową w tym czasie? Czy można to stwierdzić na podstawie otrzymanych wyników?
- Na czym polega różnica między zmianami stężenia dwutlenku węgla w cyklu dobowym w otoczeniu roślin C<sub>3</sub> i roślin typu C<sub>4</sub> lub CAM?
- Przedyskutuj obie fazy fotosyntezy. Użyj swojej wiedzy o nich by wyjaśnić zarejestrowane w doświadczeniu zmiany. Czy to pomoże ci lepiej poznać funkcjonowanie organów roślinnych – liści?

### Analiza wyników:

Przeprowadź to ćwiczenie przez kilka nocy i dni, to pozwoli na dyskusję na temat: jakie procesy zachodzą w roślinie w dzień, a jakie w nocy. Na wykresie z prawej, będącym przykładowym zapisem tego doświadczenia z rośliną C<sub>3</sub>, można odczytać zależność zmian poziomu CO<sub>2</sub> od światła i temperatury. Umieszczenie danych na jednym układzie współrzędnych i użycie lupy (powiększenia) ułatwi analizę uzyskanych danych. Opcja wygładzania pomoże uprościć odczyt wartości natężenia światła dziennego.



Analizując wykres możemy stwierdzić, że:

- w nocy stężenie dwutlenku węgla rośnie, jest on wytwarzany przez roślinę w procesie oddychania komórkowego tlenowego
- w czasie dnia (natężenie światła większe niż 2 %) stężenie dwutlenku węgla spadło, został on zużyty do procesu fotosyntezy

W przypadku roślin C<sub>4</sub> i CAM należy spodziewać się mniejszych wahań stężenia dwutlenku węgla niż w przypadku roślin C<sub>3</sub>. Jeśli rośliny C<sub>4</sub> mają stałe dostępną wodę w sposób ciągły, pobierają dwutlenek węgla i gromadzą go w postaci kwasu jabłkowego w komórkach mezofilu.

### Wskazówki i rady:

- Należy sprawdzić na początku ćwiczenia szczelność naczynia pomiarowego.
- Gatunki roślin z cienką warstwą kutikuli na liściach dają lepsze wyniki niż gatunki z liśćmi pokrytymi grubą warstwą kutikuli lub wosku.
- Zmiany poziomu tlenu (przy wykorzystaniu czujnika tlenu) są bardzo małe, około 0,5 %. Można je jednak dokładnie odczytać z wykresu.
- Dokonując pomiaru w ppm można uzyskać wyraźniej zróżnicowane dane.

### Ćwiczenie w Coach6:

Badanie fotosyntezy

## ĆWICZENIE 4. ŻYCIE W JEZIORZE. MODEL ZMIAN STĘŻENIA TLENU W ZBIORNIKU WODY STOJĄCEJ

### Cele nauczania:

- Zrozumienie procesów, które determinują stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie jeziora
- Interpretacja wykresu zmian stężenia tlenu w zależności od natężenia światła
- Zbadanie wpływu liczby roślin, liczby zwierząt i natężenia oświetlenia na stężenie tlenu w jeziorze

Zastosowana TI:  
modelowanie, symulacja

Poziom nauczania:  
14 – 17 lat

Zalecany sposób  
prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie  
pod kierunkiem  
nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Stosowanie modelu do symulacji zmian podstawowych parametrów środowiska życia w stawie

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Aktywna obserwacja i analiza przebiegu symulacji
- Zmiana parametrów modelu
- Analiza i interpretacja wyników

### Przebieg ćwiczenia:

W modelu można zbadać, w jaki sposób zmienia się stężenie tlenu w wodzie stawu w zależności od liczby hipotetycznych roślin i zwierząt zamieszkujących ten ekosystem. Dodatkowym czynnikiem, którego wartość może ulegać zmianie jest natężenie oświetlenia.

W modelu można zmieniać następujące parametry:

- liczbę roślin,
- liczbę zwierząt,
- natężenie oświetlenia.

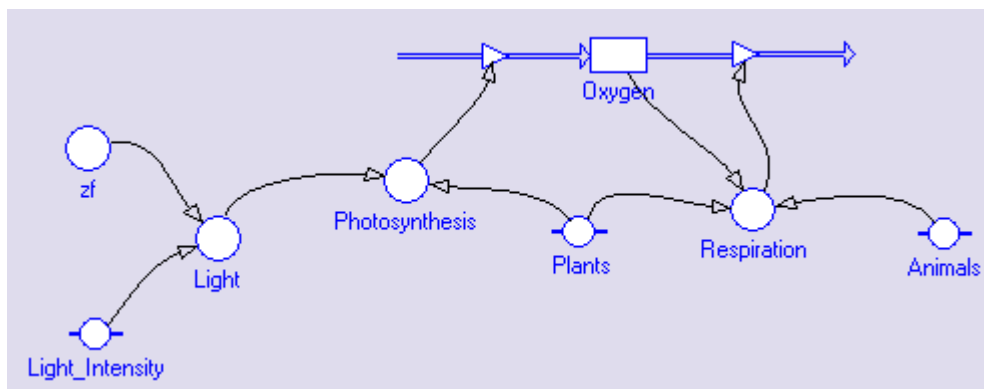
Uczniowie mogą użyć tego modelu do prognozowania stężenia tlenu w wodzie (na przykład w sytuacji eutrofizacji jeziora) i odpowiadać na ważne pytania (patrz zadania w modelu).

### Pytania:

- Co stanie się ze stężeniem tlenu, kiedy w jeziorze nie będzie ani roślin, ani zwierząt?
- Co stanie się ze stężeniem tlenu, kiedy w jeziorze zabraknie roślin i będą w nim jedynie zwierzęta?
- Co stanie się ze stężeniem tlenu w jeziorze, kiedy będzie tam więcej zwierząt?
- Co możesz powiedzieć o wpływie zwierząt na poziom tlenu w wodzie?
- Jak zmieni się poziom tlenu kiedy w jeziorze będą tylko rośliny?
- Co stanie się ze stężeniem tlenu w jeziorze, jeśli będzie tam więcej roślin?
- Co możesz powiedzieć o wpływie roślin na poziom tlenu w wodzie?
- Zakładając, że w wodzie są tylko zwierzęta, co stanie się ze stężeniem tlenu w wodzie kiedy jest:
  - całkowita ciemność,
  - obecne światło,
  - natężenie oświetlenia się zmienia?
- Zakładając, że w jeziorze są tylko rośliny, co stanie się ze stężeniem tlenu kiedy jest:
  - całkowita ciemność,
  - obecne światło,
  - ilość światła się zmienia?
- W jakiej porze dnia stężenie tlenu w wodzie jest najwyższe i najniższe?
- Jak wpływa światło na stężenie tlenu?
- Czy istnieje korelacja między szczytami stężenia tlenu i natężenie światła?
- Dlaczego szczyt stężenia tlenu występuje po szczycie natężenia światła?

## Analiza modelu:

Uczniowie potrzebują wyjaśnienia modelu i zależności między zmiennymi.



W procesie fotosyntezy rośliny wytwarzają tlen. Natężenie oświetlenia wpływa wprost proporcjonalnie na fotosyntezę: im wyższe natężenie oświetlenia – tym wyższa aktywność fotosyntezy (do pewnych wartości). Tlen w wodzie jest zużywany zarówno przez rośliny jak i zwierzęta do procesu oddychania komórkowego. Oddychanie komórkowe jest uwarunkowane stężeniem tlenu, liczbą roślin i zwierząt.

Ilość światła docierającego do roślin opisuje intensywność oświetlenia. Jeśli wartość oświetlenia jest:

- równa 0 wtedy jest ciemno (noc),
- między 0 i 100 wtedy ilość światła jest stała (wartość 100 znaczy maksymalne stałe natężenie światła),
- większe niż 100 – wtedy wytwarzane jest okresowo zmieniające się natężenie światła.

Te ustawienia umożliwiają symulację cyklu dobowego – dnia i nocy.

Uczeń może ustawiać wartości zmiennych w modelu zgodnie z treścią zadań do ćwiczenia lub też w inny, proponowany przez nauczyciela sposób. W ten sposób uzyskuje się pewne wyniki, które mogą być analizowane, a na podstawie analizy mogą być wyciągnięte wnioski dotyczące równowagi w ekosystemie.

Uczniowie mogą z pomocą nauczyciela doskonalić model przybliżając go do warunków rzeczywistych.

Jest to możliwe przez:

- uwzględnienie relacji między liczbą zwierząt i stężeniem tlenu (jeśli nie będzie odpowiedniej ilości tlenu zwierzęta zginą)
- uwzględnienie relacji między liczbą roślin i liczbą zwierząt (rośliny wytwarzają pokarm i dają ochronę zwierzętom)
- uwzględnienie relacji między liczbą roślin i liczbą zwierząt (rośliny są zjadane przez zwierzęta).

## Ćwiczenie w Coach6:

Fotosynteza i oddychanie w stawie