KURS

„BIOLOGIA POD KLUCZ"

FOTOSYNTEZA, CHEMOSYNTEZA

Prezentacja jest chroniona prawnie przed kopiowaniem bez pisemnej zgody autora i stanowi „utwór" i w myśl Ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 1994 r., Nr 24, poz. 83 z późn. zm.).

PODSTAWA PROGRAMOWA 2025



1. Wykazuje związek budowy chloroplastu z przebiegiem procesu fotosyntezy.
2. Przedstawia rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy.
3. Analizuje na podstawie schematu przebieg fazy zależnej od światła oraz fazy niezależnej od światła; wyróżnia substraty i produkty obu faz; wykazuje rolę składników siły asymilacyjnej w fazie niezależnej od światła
4. Wyjaśnia mechanizm powstawania ATP w procesie chemiosmozy w chloroplaście.
5. Opisuje na podstawie schematu fotofosforylację niecykliczną.

AUTOTROFIZM



Autotrofizm (samożywność) to sposób odżywiania się organizmów, który polega na **samodzielnym** wytwarzaniu **związków organicznych** z prostych **związków nieorganicznych**, głównie dwutlenku węgla i wody. Proces ten wymaga dostarczenia energii. W zależności od jej pochodzenia wyróżniamy fotoautotrofizm i chemoautotrofizm.

FOTOAUTOROFIZM

sposób odżywiania, polegający na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem **energii świetlnej** podczas fotosyntezy.

CHEMOAUTOROFIZM

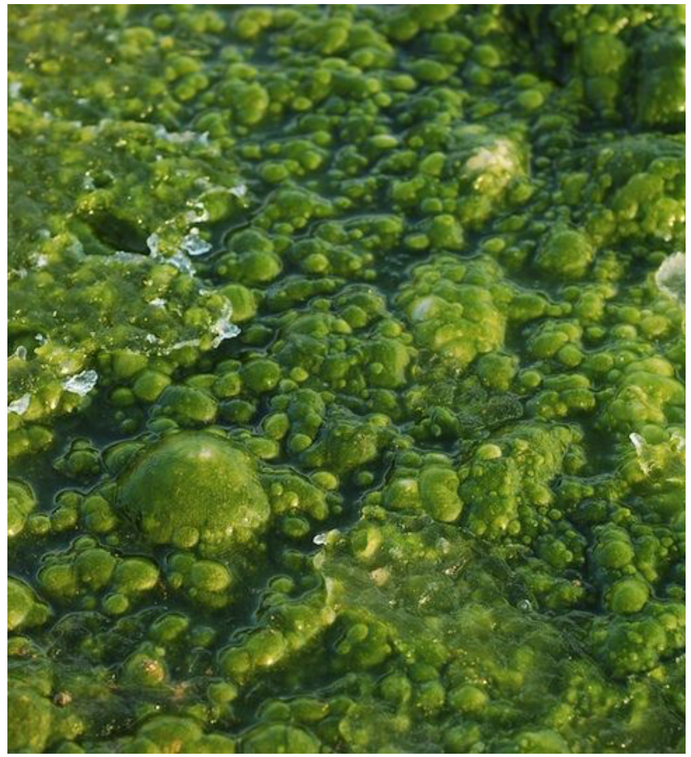
sposób odżywiania polegający na wytwarzaniu związków organicznych z prostych związków nieorganicznych z udziałem **energii chemicznej** podczas chemosyntezy.

FOTOSYNTEZA

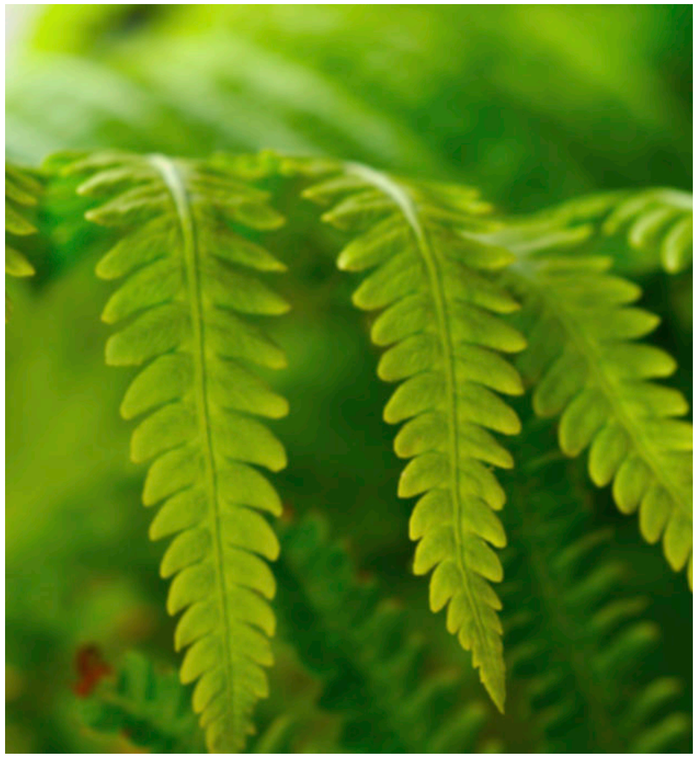
JAKIE ORGANIZMY PRZEPROWADZAJĄ FOTOSYNTEZĘ?



sinice



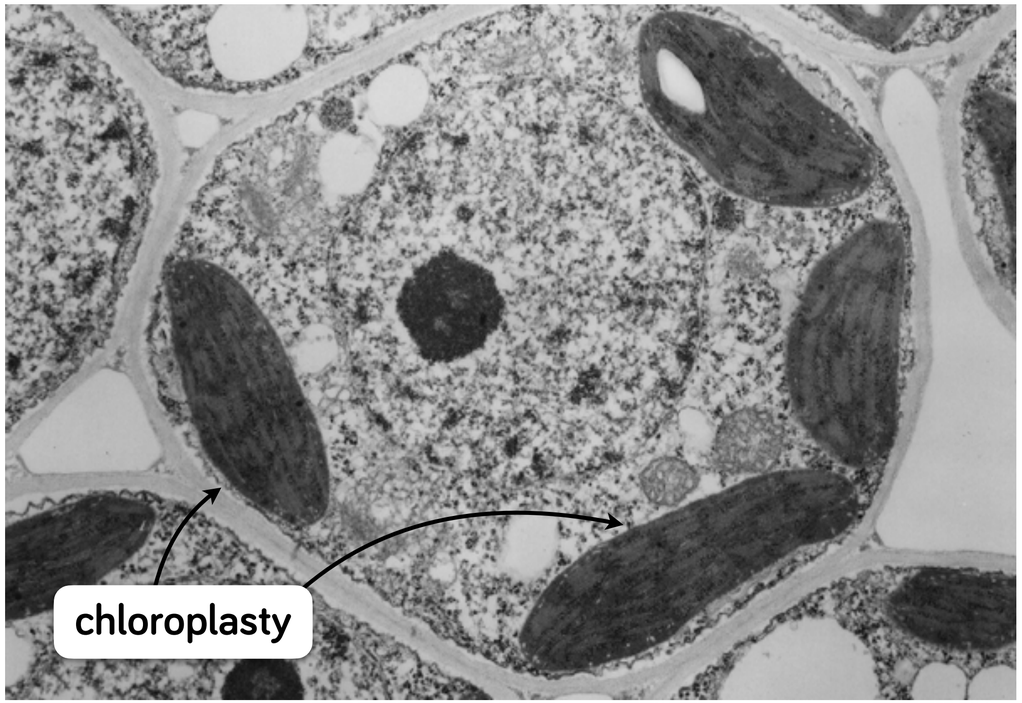
glony i protisty roślinopodobne



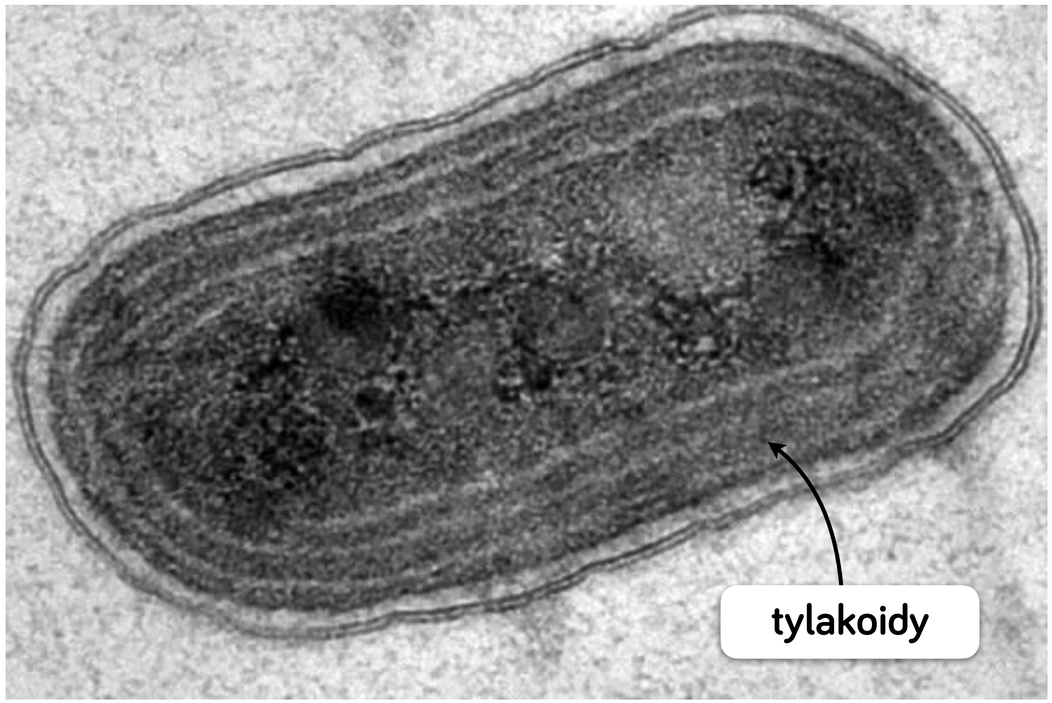
rośliny

MIEJSCE ZACHODZENIA FOTOSYNTEZY

U komórek **eukariotycznych** fotosynteza zachodzi w **chloroplastach**.



U komórek **prokariotycznych** (np. sinic) fotosynteza zachodzi w **tylakoidach i cytozolu**.



OGÓLNIE RÓWNANIE REAKCJI FOTOSYNTEZY



$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{światło}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Na podstawie powyższego równania można stwierdzić, że fotosynteza jest reakcją **anaboliczną**, ponieważ:

- z prostych związków nieorganicznych powstaje **złożony** związek organiczny,
- do jej zajścia niezbędny jest nakład energii w postaci energii świetlnej.

JAK ZMIERZYĆ INTENSYWNOŚĆ FOTOSYNTEZY?



Zgodnie z poniższym zapisem:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{\text{światło}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

intensywność fotosyntezy u roślin można mierzyć przez ilości:

- asymilowanego dwutlenku węgla (CO_2),
- produkowanych związków organicznych,
- uwalnianego tlenu (O_2).

RODZAJE FOTOSYNTEZY

Ze względu na środowisko życia organizmów przeprowadzających fotosyntezę wyróżniamy jej dwa rodzaje:

- **Fotosynteza oksygeniczna** (przebiega w środowisku tlenowym np. na lądzie, w każdej strefie zbiornika wodnego z dostępem do tlenu). Przeprowadzają ją rośliny, protisty roślinopodobne i niektóre bakterie, np. sinice. Produktem ubocznym jest tlen.

światło

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

dwutlenek węgla | woda | glukoza | tlen

RODZAJE FOTOSYNTEZY



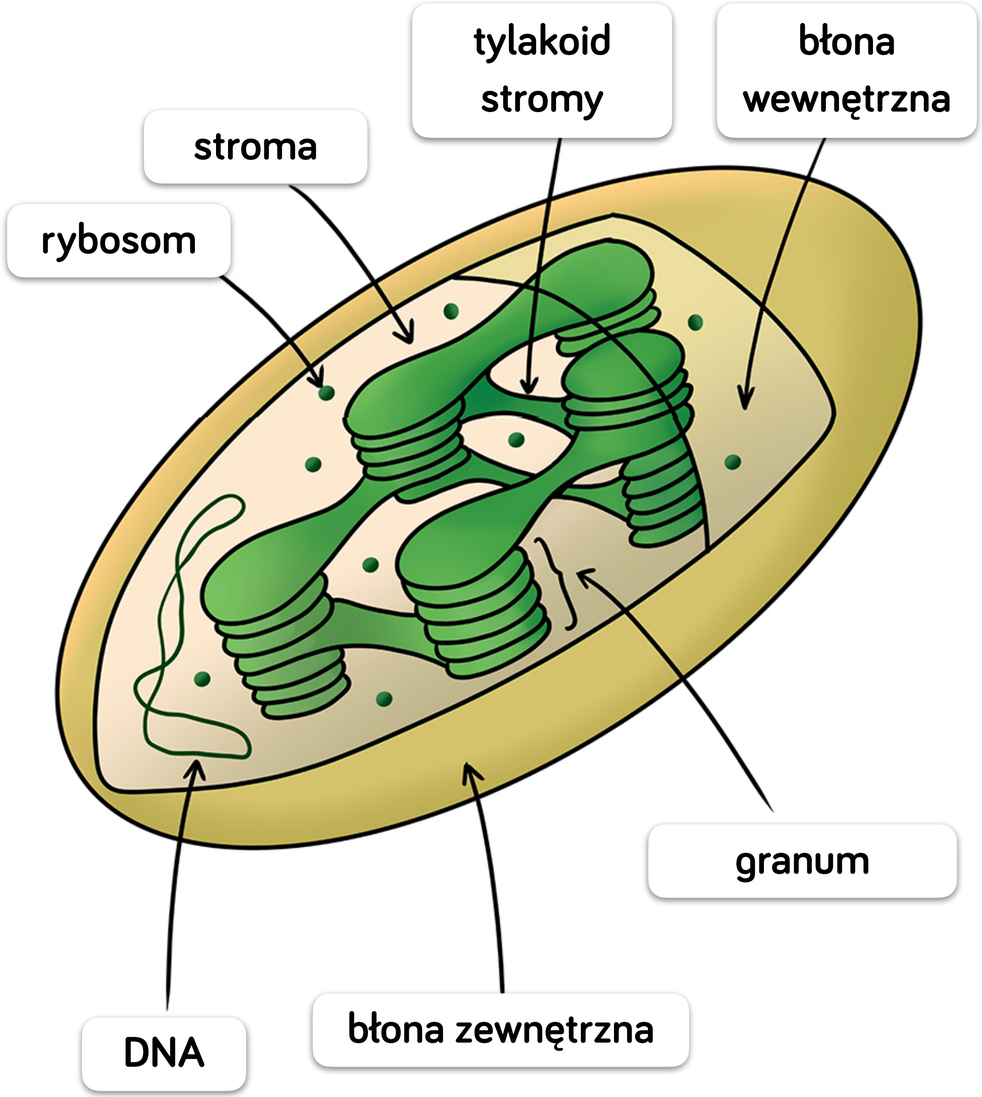
- **Fotosynteza anoksygeniczna** (w środowisku beztlenowym np. w źródłach siarczanowych czy też strefach beztlenowych zbiorników wodnych). Przeprowadzają ją bakterie siarkowe: purpurowe i zielone. Tlen nie powstaje!

Dla bakterii żyjących w środowisku beztlenowym tlen jest silnie toksyczny.

$$6\,CO_2 + 12\,H_2S \xrightarrow{\text{światło}} C_6H_{12}O_6 + 12\,S + 6\,H_2O$$

dwutlenek węgla | siarkowodór | glukoza | siarka | woda

PRZYPOMNIENIE BUDOWY CHLOROPLASTU



Chloroplasty mają soczewkowaty (dyskowaty) kształt.

Chloroplast składa się z dwóch błon:

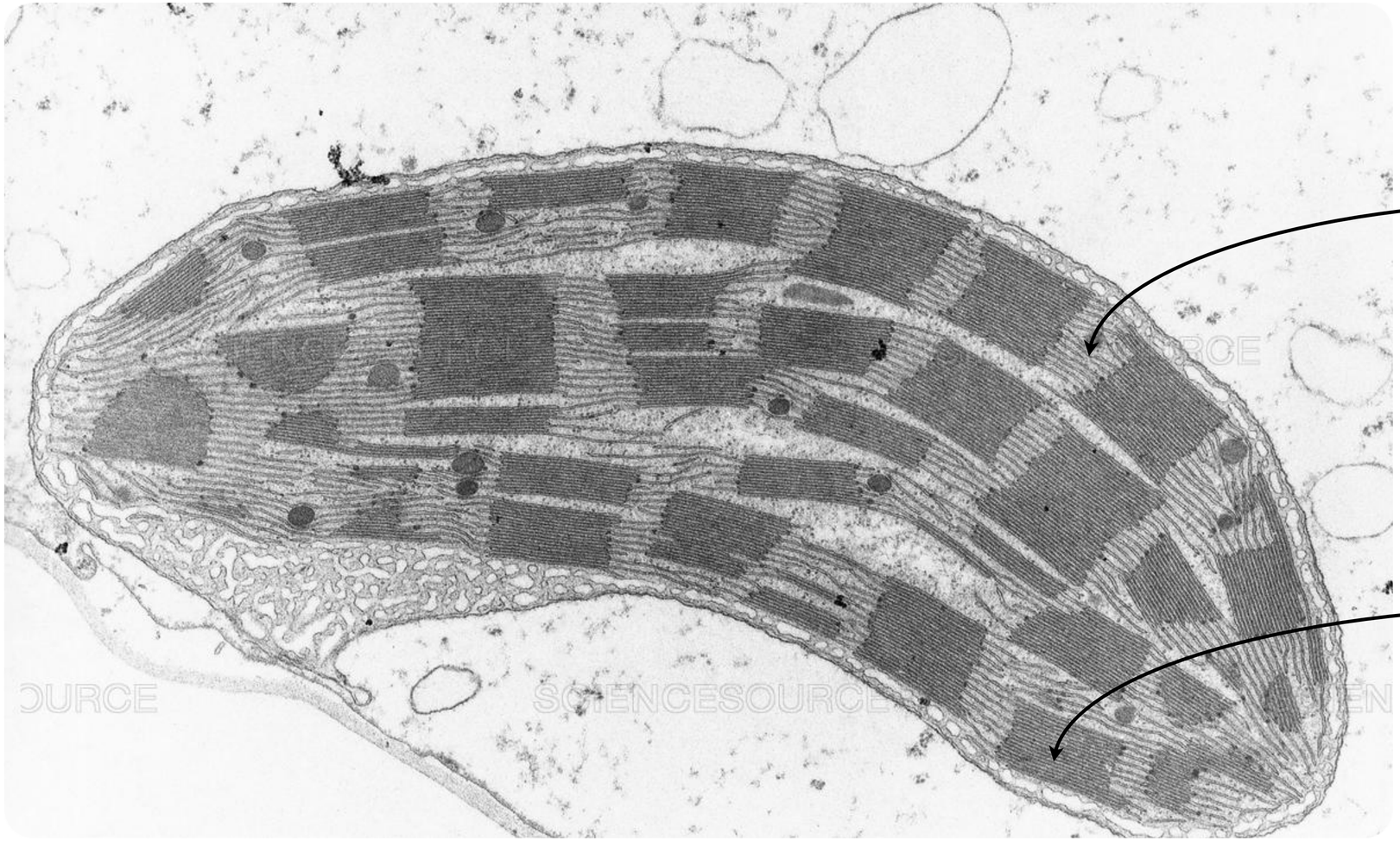
- błony **zewnętrznej**,
- błony **wewnętrznej**, przyjmującej formę silnie rozbudowanych **tylakoidów** .

Wśród tylakoidów wyróżnia się:

- tylakoidy **gran**
- tylakoidy **stromy**

Wnętrze chloroplastu wypełnia **stroma**.

CHLOROPLASTY



tylakoid stromy

tylakoid gran

BARWNIKI FOTOSYNTETYCZNE



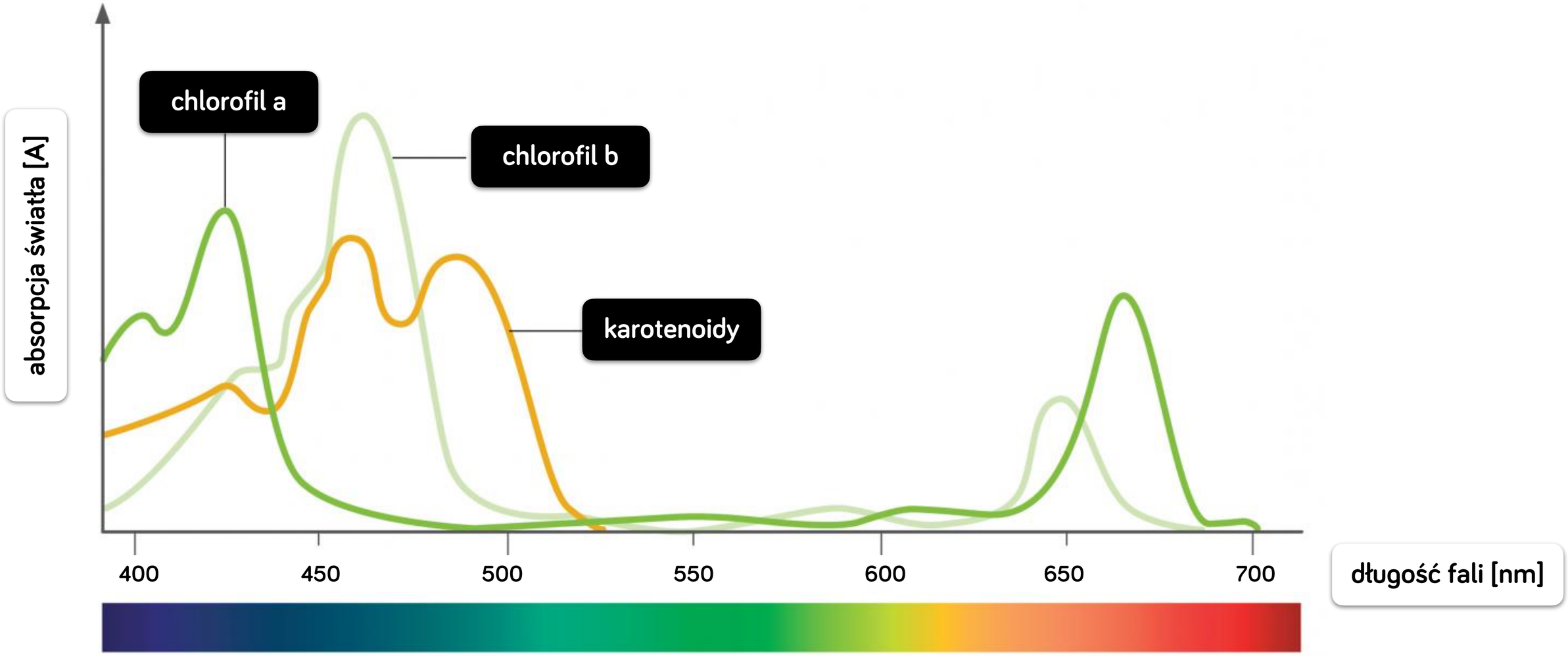
Barwniki fotosyntetyczne są niezbędne do zajścia procesu fotosyntezy.

Wyróżnia się:

- barwniki **główne** - **chlorofile** (chlorofil a, chlorofil b)
- barwniki **pomocnicze** - **karotenoidy** (karoteny i ksantofile)

Chlorofile asymilują głównie światło niebieskie i światło czerwono-pomarańczowe. **Karotenoidy** pochłaniają światło zielone niedostępne dla chlorofili.

WIDMO ABSORPCYJNE BARWNIKÓW FOTOSYNTETYCZNYCH



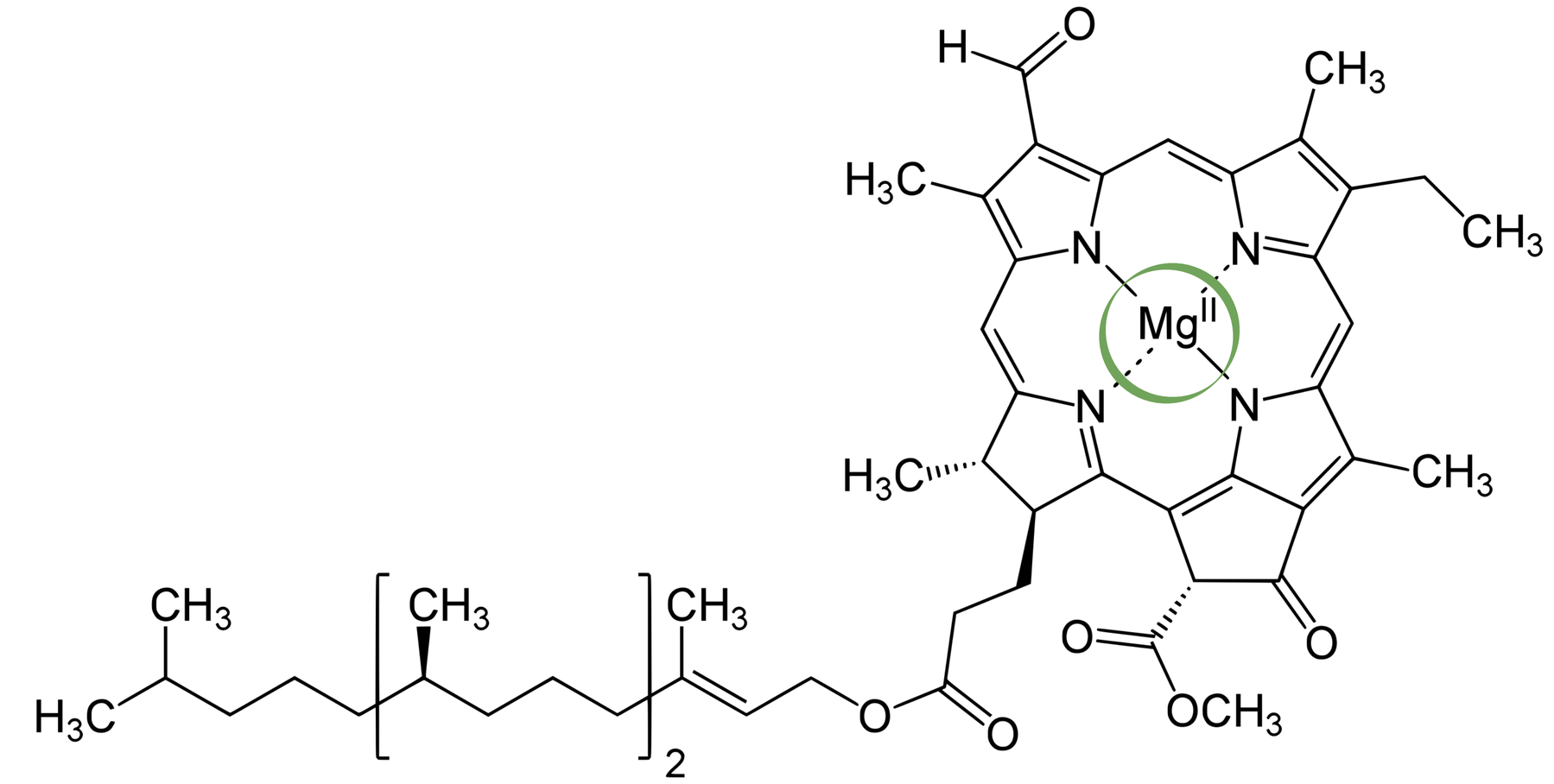
BUDOWA CZĄSTECZKI CHLOROFILU



Cząsteczkę chlorofilu tworzą:

- **Pierścień porfirynowy**, który charakteryzuje się zdolnością absorpcji promieniowania świetlnego - pochłania światło.
- **Łańcuch fitolu**, który umocowuje (zakotwicza) cząsteczkę chlorofilu w błonie tylakoidu, ponieważ tak jak wnętrze dwuwarstwy fosfolipidowej wykazuje **hydrofobowy** charakter.

BUDOWA CZĄSTECZKI CHLOROFILU A



fitol

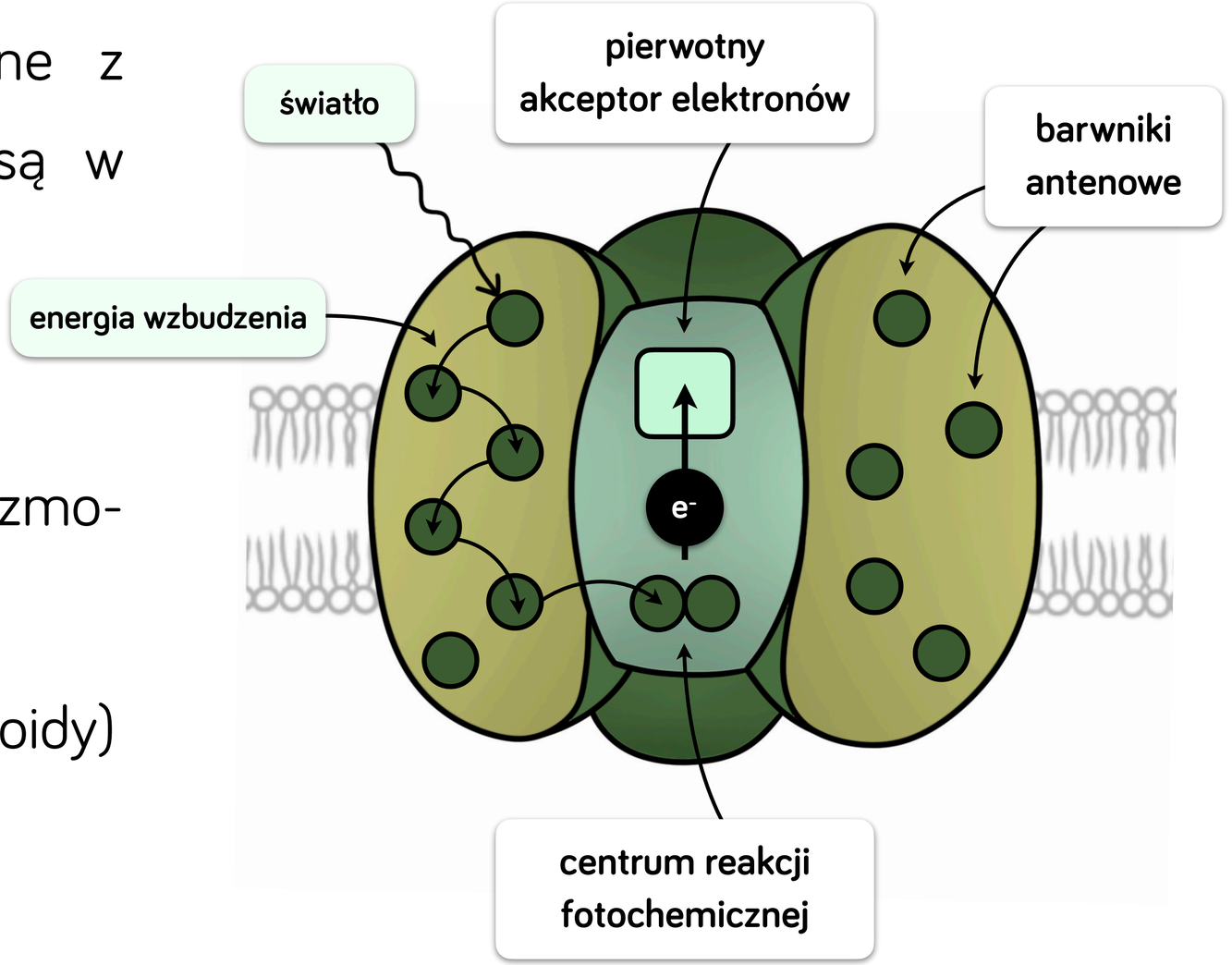
pierścień porfirynowy

FOTOSYSTEMY

Fotosystemy to kompleksy zbudowane z **barwników**, **białek** i **lipidów**. Obecne są w błonach tylakoidów gran.

Każdy fotosystem zawiera:

- **centrum reakcji fotochemicznej** (para zmodyfikowanych cząsteczek chlorofilu a)
- **barwniki antenowe** (chlorofile i karotenoidy)
- **pierwotny akceptor elektronów**



FOTOSYSTEMY



U organizmów prowadzących fotosyntezę oksygeniczną wyróżnia się dwa typy fotosystemów:

- **fotosystem I** (PS I lub P-700) - obecny w nim chlorofil a wykazuje maksimum absorpcji przy 700 nm, a głównym barwnikiem pomocniczym jest **karoten**.
- **fotosystem II** (PS II lub P-680) - obecny w nim chlorofil a wykazuje maksimum absorpcji przy 680 nm, a głównym barwnikiem pomocniczym jest **ksantofil**.

FAZY FOTOSYNTEZY



FAZA JASNA

ZALEŻNA
OD ŚWIATŁA

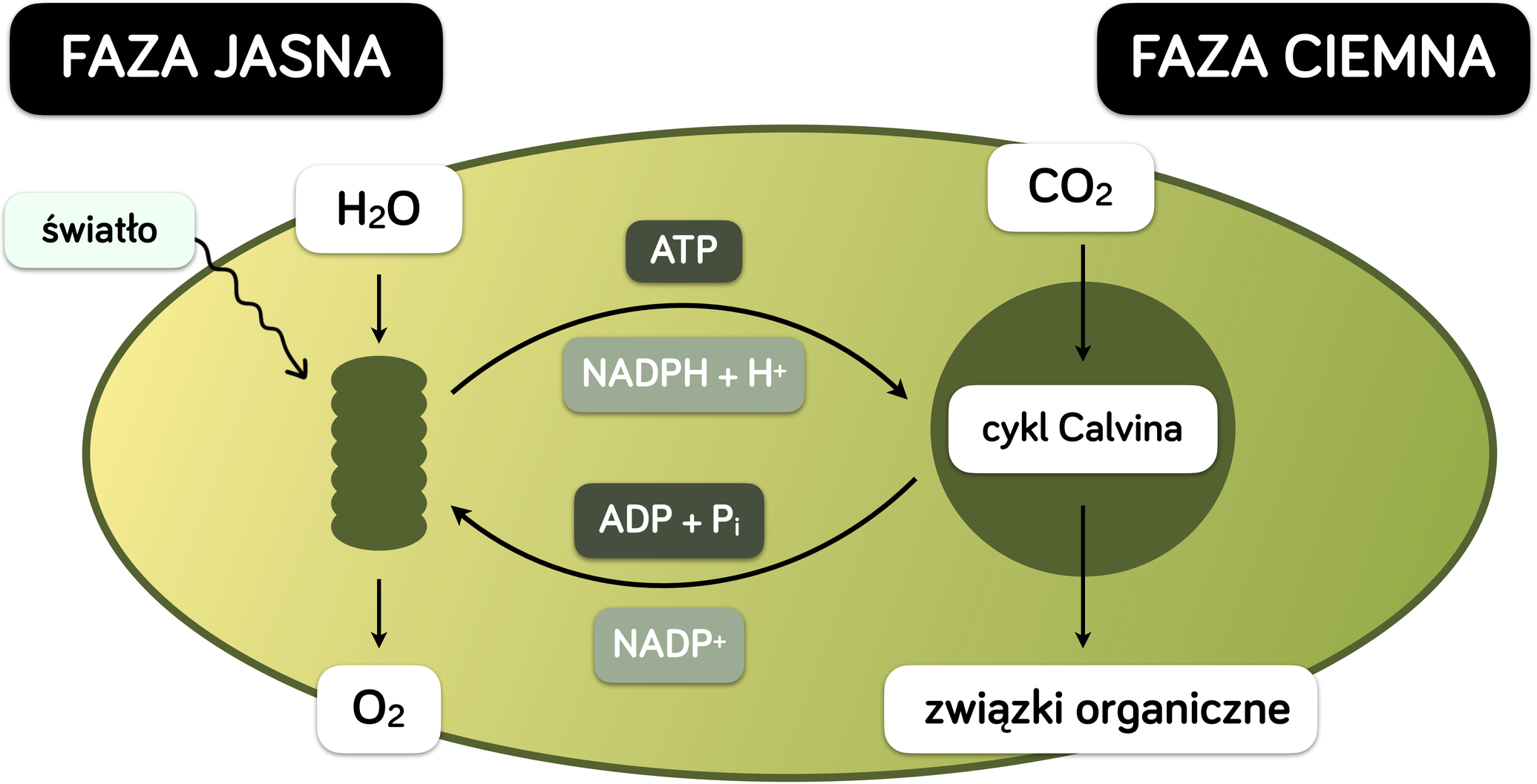
FAZA CIEMNA

NIEZALEŻNA
OD ŚWIATŁA

tylakoidy gran

stroma chloroplastu

FAZY FOTOSYNTEZY



FAZA JASNA

FAZA ZALEŻNA OD ŚWIATŁA



Faza zależna od światła (jasna) zachodzi w **tylakoidach gran** chloroplastów. Istotą tej fazy jest **przekształcenie energii świetlnej w energię chemiczną**, magazynowaną w postaci **siły asymilacyjnej.**

W trakcie fazy jasnej może zachodzić:

- **fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna** (najczęściej u roślin)
- **fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna** (najczęściej u bakterii, rzadko u roślin)

FOSFORYLACJA NIECYKLICZNA

FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA



Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna to całokształt przemian fotochemicznych zachodzących w obu fotosystemach, w wyniku których powstaje **siła asymilacyjna**, na którą składają się:

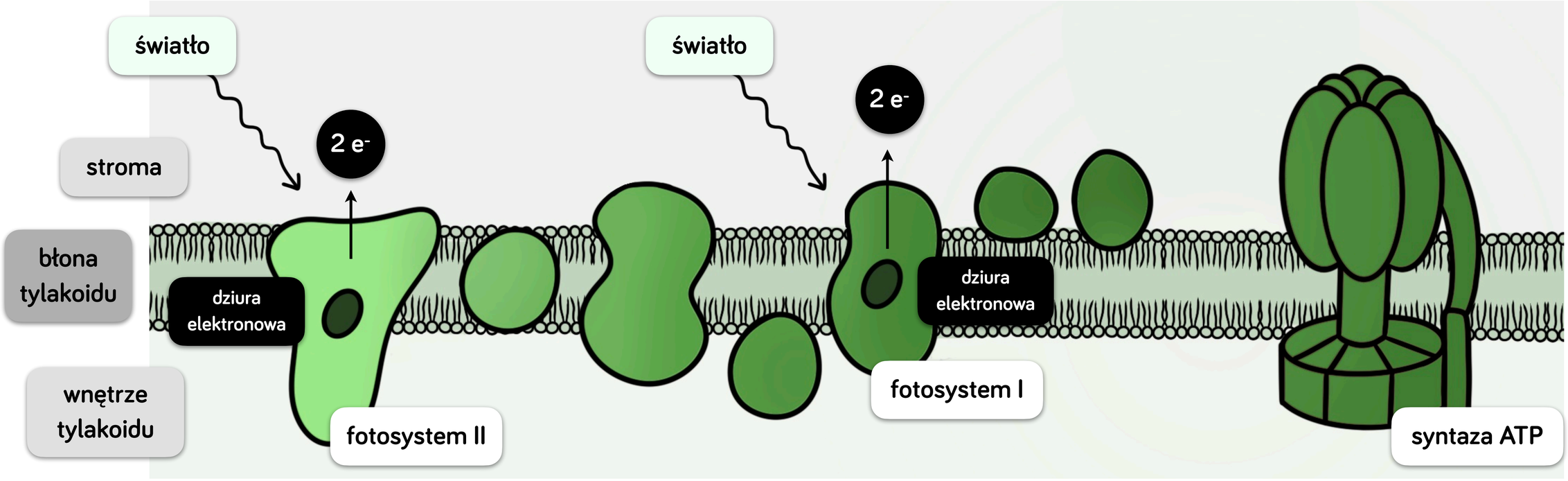
- **ATP**,
- **NADPH + H^+** .

Siła asymilacyjna jest potrzebna do redukcji CO_2 w fazie ciemnej.

W trakcie tej fosforylacji **uwalnia się tlen.**

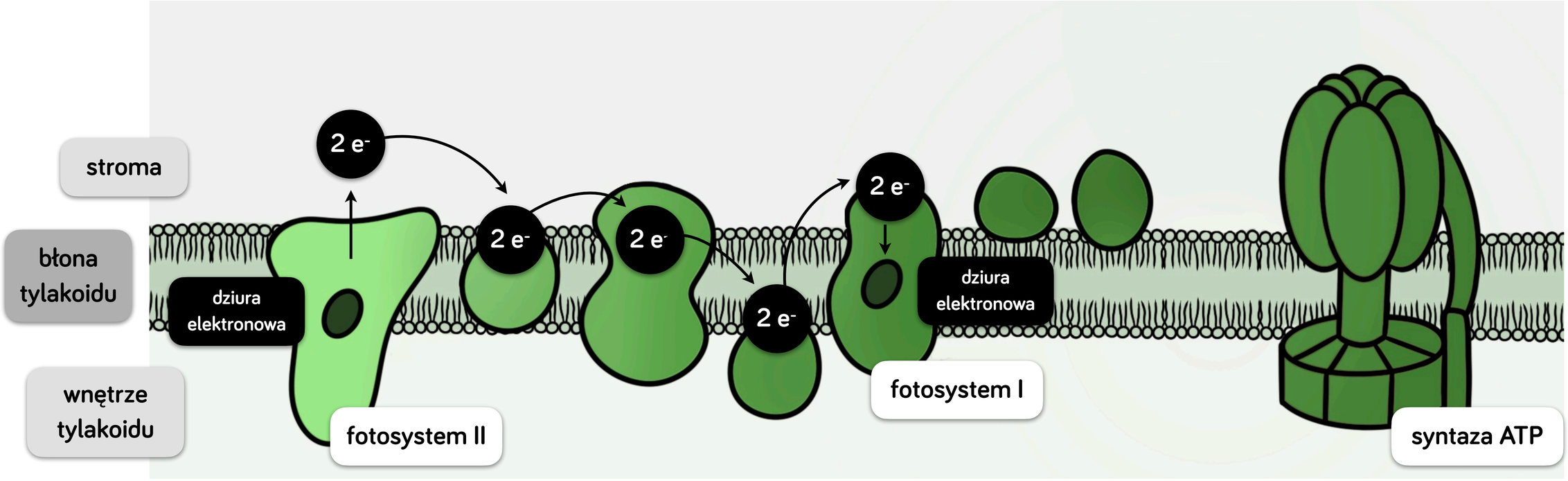
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

Pod wpływem **światła**, z chlorofilu w obu fotosystemach - **PS I**, jak i w **PS II** zostają **wybite** po **dwa elektrony**. W każdym fotosystemie po wybitych elektronach powstaje tzw. „**dziura elektronowa**”.



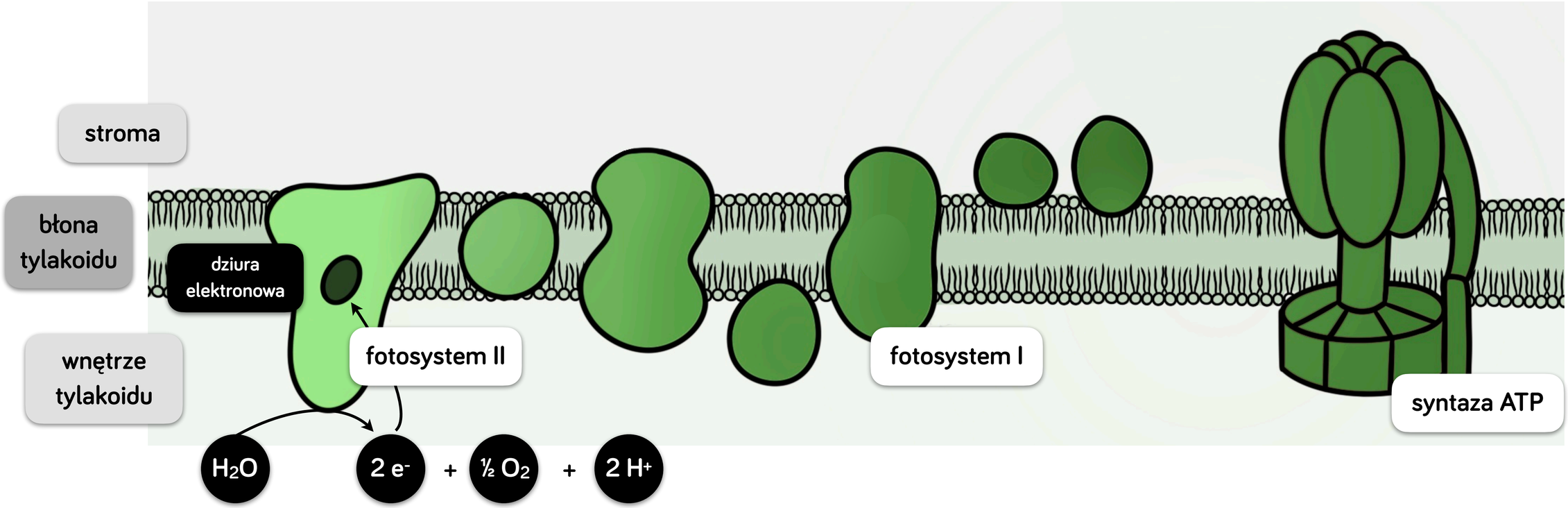
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

Elektrony z PS II zostają wychwycone przez **pierwotny akceptor elektronów** i skierowane na łańcuch przenośników elektronów, gdzie wędrują do fotosystemu I - PS I. Tam zapełniają dziurę elektronową



FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

Dziura elektronowa powstała po wybiciu elektronów z fotosystemu II - PS II zostaje zapełniona **elektronami** pochodzącymi z **fotolizy wody**.



FOTOLIZA WODY



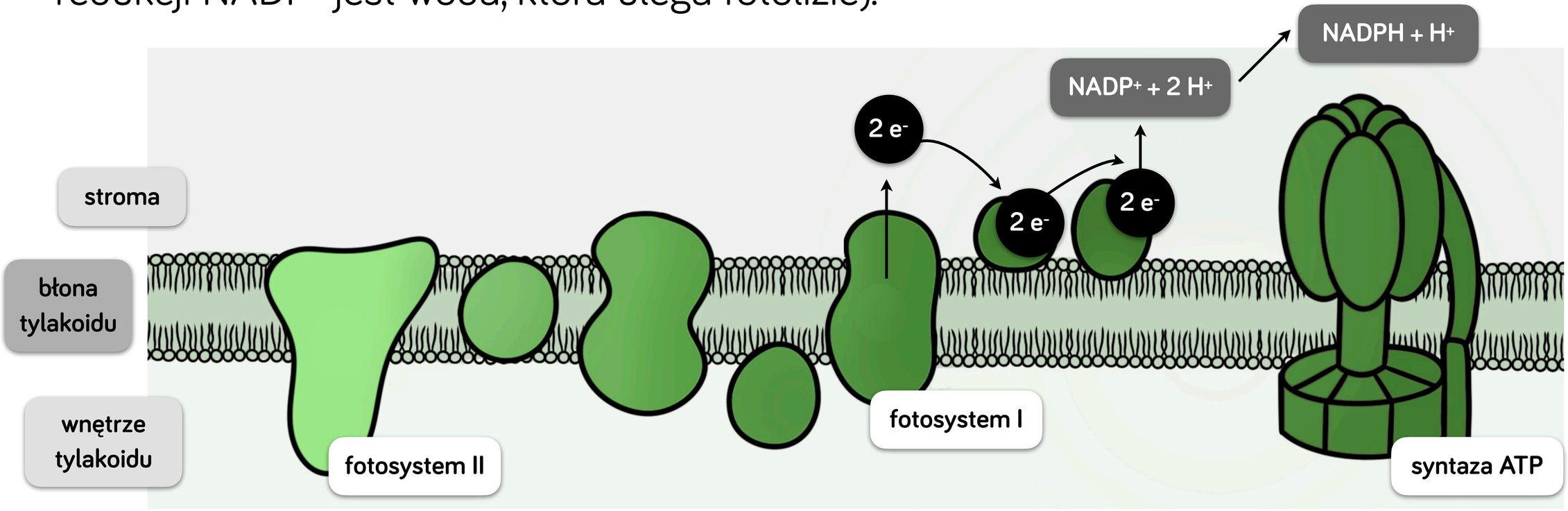
Fotoliza wody to nie jest rozkład wody bezpośrednio pod wpływem światła!!!

Fotoliza wody to rozpad wody spowodowany siłą ssącą chlorofilu z PSII, który jest w stanie wzbudzenia. W wyniku rozpadu H_2O powstają:

- **2 e^-**, które zapełniają dziurę elektronową w PS II,
- **2 H^+**, które trafiają na $NADP^+$ tworząc $NADPH + H^+$,
- **O_2**, który uwalniany jest do atmosfery, jako produkt uboczny.

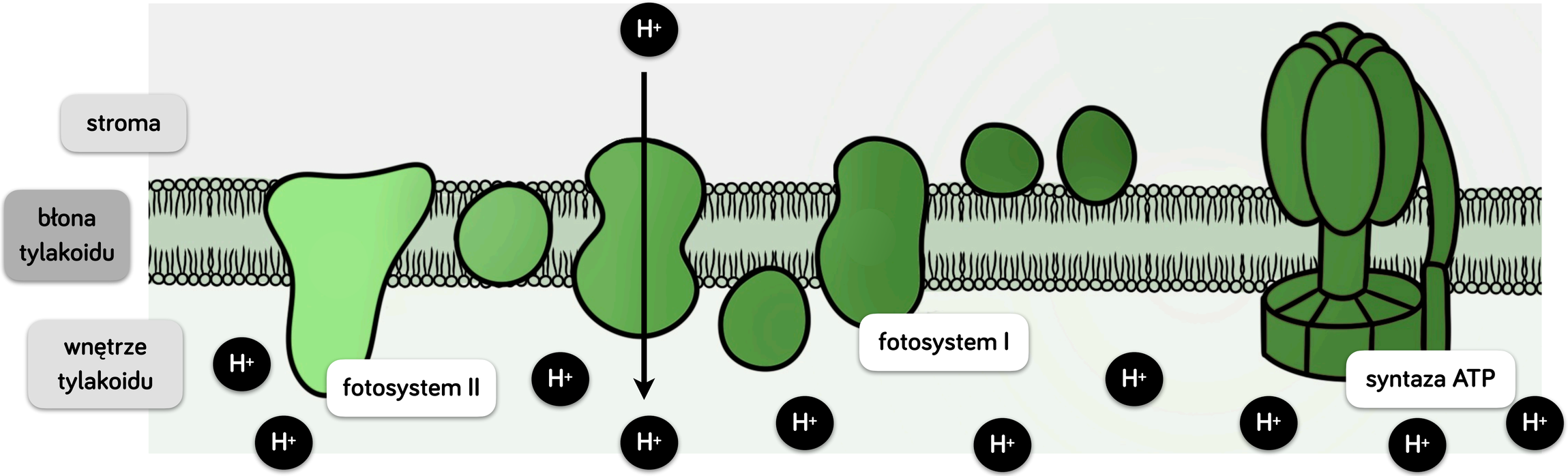
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

Elektrony wybite z fotosystemu I - **PS I** także dostają się na łańcuch przenośnika elektronów i trafiają ostatecznie na **akceptor elektronowy**, jakim jest **$NADP^+$**. Związek ten ulega redukcji przekształcając się w **$NADPH + H^+$** (źródłem protonów wykorzystywanych do redukcji $NADP^+$ jest woda, która ulega fotolizie).



FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

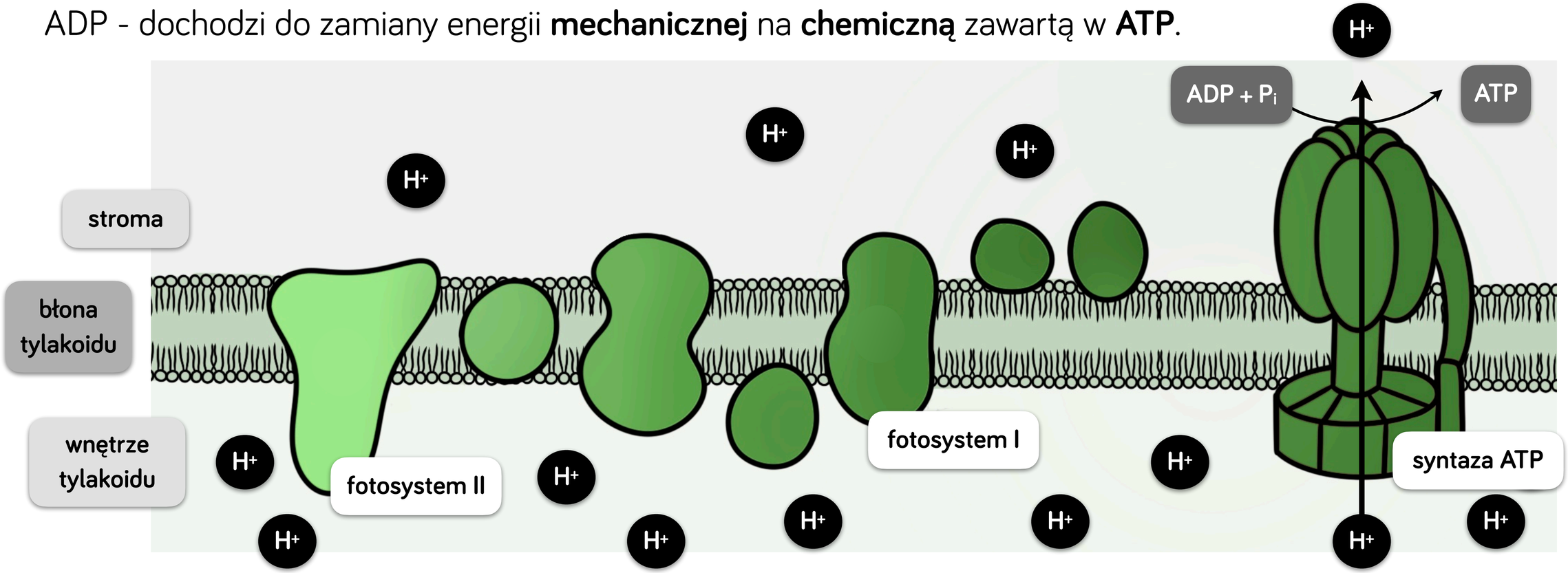
Wędrówka elektronów wybitych z obydwu fotosystemów wiąże się z **uwolnieniem energii**. Energia ta jest wykorzystywana przez **przenośniki protonów** zlokalizowane w **błonie tylakoidu**, które **aktywnie** transportują H^+ **ze stromy do wnętrza tylakoidu**. W wyniku tego transportu powstaje **gradient protonowy**.



FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA

Protony **biernie wracają** z **wnętrza tylakoidu** do **stromy** przez kanał syntazy ATP. Wytworzony wcześniej **gradient protonowy** jest **siłą napędową** dla **syntazy ATP** do **syntezy ATP**.

Przepływ H^+ przez kanał tego białka wprawia w ruch jego rotor, a główka syntazy dołącza reszty fosforanowe do ADP - dochodzi do zamiany energii **mechanicznej** na **chemiczną** zawartą w **ATP**.



FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA NIECYKLICZNA



Dlaczego fosforylacja niecykliczna?

- elektrony wybite z PS I nie wracają do PS I, a elektrony wybite z PS II nie wracają do PS II
- dziura elektronowa w PS II zapełniania jest elektronami z fotolizy wody, a dziura w PS I jest zapełniania elektronami z PS II
- uczestniczą w niej oba fotosystemy,
- powstaje pełna siła asymilacyjna,
- uwalnia się tlen (bo zachodzi fotoliza wody).

TREŚĆ DODATKOWA:

FOSFORYLACJA CYKLICZNA

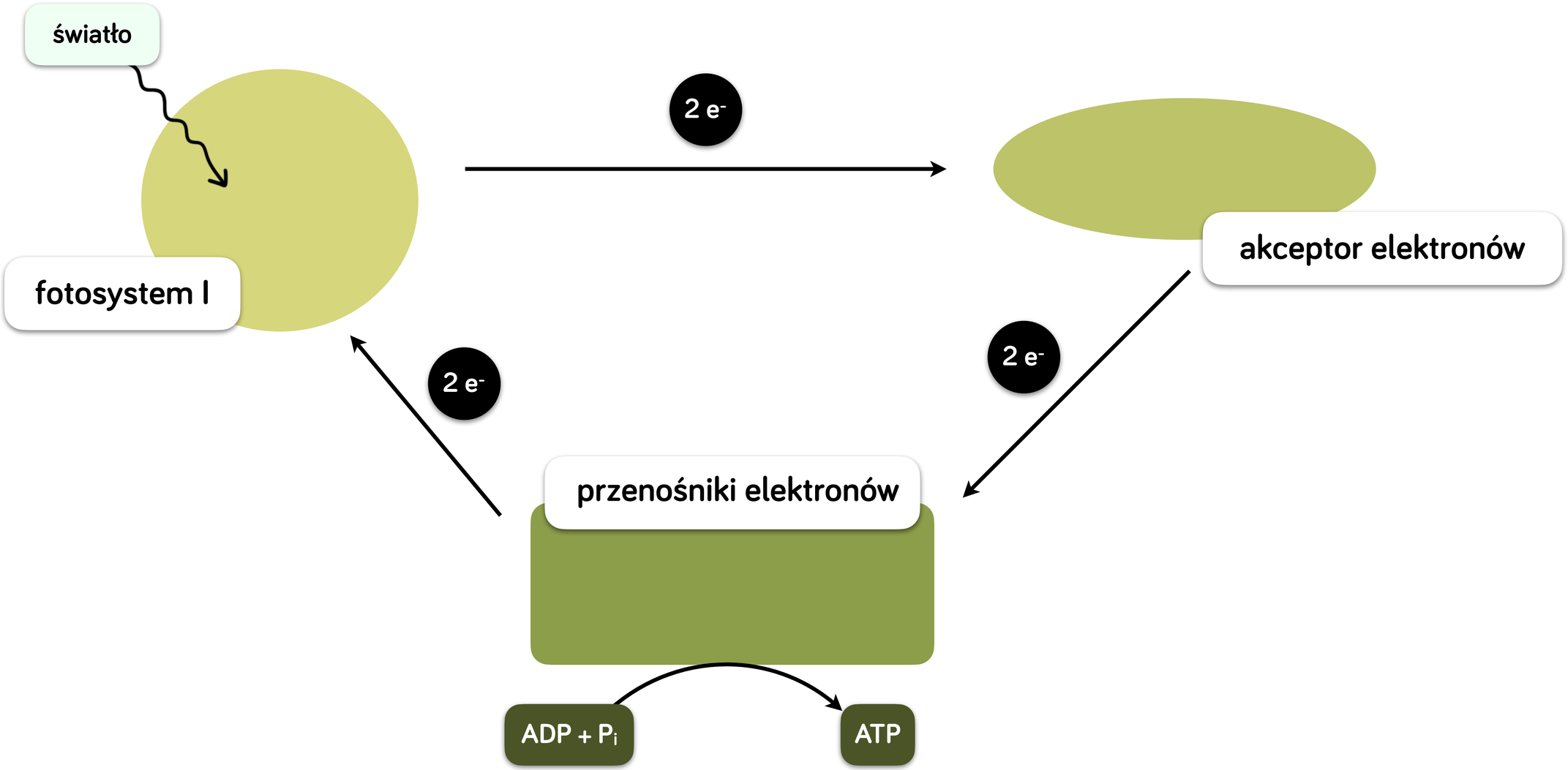
TREŚĆ DODATKOWA:
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA CYKLICZNA



Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna to całokształt przemian fotochemicznych zachodzących tylko w PS I, w wyniku których powstaje tylko część **siły asymilacyjnej**, czyli samo **ATP.**

W trakcie tej fosforylacji **nie uwalnia się tlen** i **nie powstaje NADPH + H^+**.

TREŚĆ DODATKOWA:
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA CYKLICZNA



TREŚĆ DODATKOWA:
FOSFORYLACJA FOTOSYNTETYCZNA CYKLICZNA



Dlaczego fosforylacja cykliczna?

- uczestniczy w niej tylko jeden fotosystem - PS I,
- powstaje niepełna siła asymilacyjna (tylko ATP),
- nie powstaje NADPH + H^+,
- nie uwalnia się tlen (bo nie zachodzi fotoliza wody),
- elektrony wybite z PS I wracają do PS I, gdzie zapełniają dziurę elektronową.

FAZA CIEMNA

FAZA NIEZALEŻNA OD ŚWIATŁA

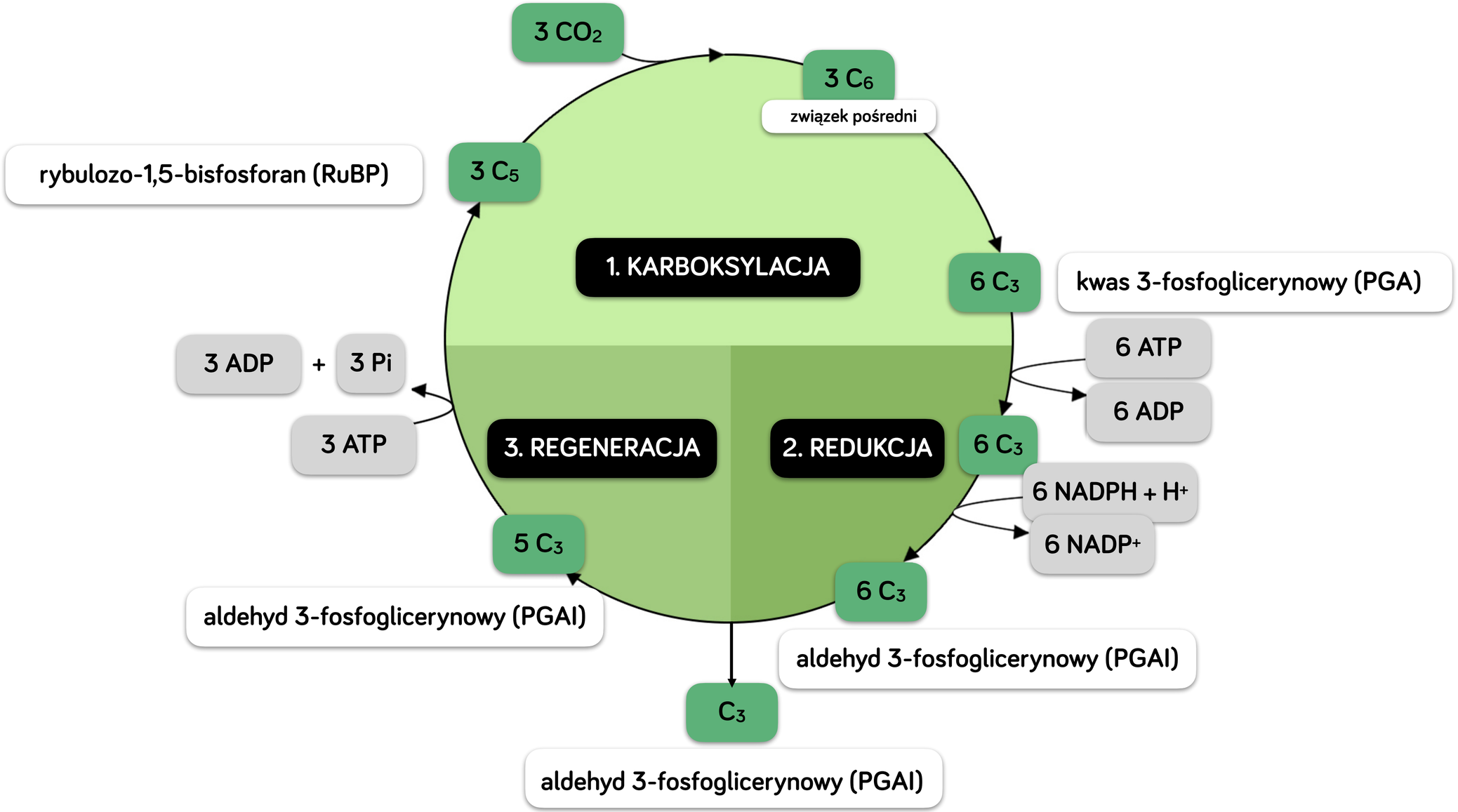


Faza fotosyntezy niezależna od światła to **cykl Calvina**, który polega na wykorzystaniu siły asymilacyjnej, pochodzącej z fazy jasnej, do wytworzenia związków organicznych z CO_2.

Na cykl Calvina składają się 3 etapy:

1. **karboksylacja**
2. **redukcja**
3. **regeneracja**

FAZA NIEZALEŻNA OD ŚWIATŁA



PIERWSZY ETAP - KARBOKSYLACJA



Karboksylacja to przyłączanie **dwutlenku węgla** do pięciowęglowego, dwukrotnie ufosforylowanego cukru - **rybulozo-1,5-bisfosforanu** - **RuBP**.

W rezultacie powstaje nietrwały związek sześciowęglowy, który prawie natychmiast rozpada się na dwie cząsteczki trójwęglowego **3-fosfoglicerynianu** (**PGA**).

Karboksylacja jest katalizowana przez enzym karboksylazę rybulozo-bisfosforanową - **RuBisCO**.

CO_2 + RuBP ⟶ 3-fosfoglicerynian (PGA)

DRUGI ETAP – REDUKCJA



Redukcja obejmuje przekształcanie **3-fosfoglicerynianu** (**PGA**) w **aldehyd 3-fosfoglicerynowy** (**PGAl**) przy udziale **siły asymilacyjnej** (ATP i NADPH + H^+).

Aldehyd 3-fosfoglicerynowy jest trójwęglowym cukrem prostym, który stanowi **pierwotny produkt fotosyntezy**. Jest on jednym z kluczowych związków metabolicznych - **substratem wyjściowym** do syntezy innych cukrów (prostych i złożonych), białek, tłuszczów, a także pozostałych związków organicznych. Wszystkie wymienione związki powstające z aldehydu 3-fosfoglicerynowego są tzw. **wtórnymi produktami fotosyntezy**.

3-fosfoglicerynian (PGA) → (siła asymilacyjna) → aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGAl)

PRODUKTY FOTOSYNTEZY



pierwotny produkt fotosyntezy

wtórne produkty fotosyntezy

aldehyd 3-fosfoglicerynowy

kwasy tłuszczowe

glukoza

ketokwasy

lipidy

inne cukry proste

dwucukry

aminokwasy

cukry złożone

białka

pozostałe związki organiczne

TRZECI ETAP - REGENERACJA



Regeneracja to odtwarzanie **rybulozo-1,5-bisfosforanu** (RuBP) przy wykorzystaniu części cząsteczek powstałego w poprzednim etapie **aldehydu 3-fosfoglicerynowego**.

Z sześciu cząsteczek PGAI powstałych w jednym cyklu przemian zaledwie **jedna cząsteczka stanowi zysk fotosyntezy**, a pozostałych pięć ulega zużyciu w wieloetapowym, wymagającym udziału ATP, procesie regeneracji trzech cząsteczek RuBP, które wchodzą do cyklu.

aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGA) —ATP→ **rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP)**

WSPÓŁZALEŻNOŚĆ OBU FAZ FOTOSYNTEZY



Obie fazy fotosyntezy są bezpośrednio zależne od siebie:

Faza jasna dostarcza siłę asymilacyjną (**ATP i NADPH + H^+**) niezbędną do przebiegu fazy ciemnej (etap redukcji i regeneracji), a podczas cyklu Calvina odtwarzane są **$NADP^+$** oraz **ADP** niezbędne do produkcji siły asymilacyjnej w fazie jasnej.

Siłę asymilacyjną stanowią związki **nietrwałe**, dlatego muszą być one szybko wykorzystane, stąd mimo że do cyklu Calvina bezpośrednio nie potrzeba światła, to przebiega on tylko **za dnia**, czyli wtedy, kiedy **zachodzi faza jasna**.

ZNACZENIE FOTOSYNTEZY



Proces fotosyntezy:

- jest jedynym naturalnym źródłem tlenu na Ziemi,
- zmniejsza zawartość CO_2 w atmosferze,
- prowadzi do produkcji związków organicznych, będących źródłem energii i materiałów budulcowych dla fotoautotrofów oraz wszystkich heterotrofów,
- ma znaczenie w obiegu węgla w przyrodzie.

TREŚĆ DODATKOWA: ROŚLINY C_3 I C_4

TREŚĆ DODATKOWA: ROŚLINY C3 I C4

U zdecydowanej większości roślin pierwszym produktem karboksylacji jest **trójwęglowa** cząsteczka 3-fosfoglicerynianu, dlatego określa się je jako rośliny typu **C_3**.

U niektórych gatunków roślin w okołorównikowej i zwrotnikowej strefie klimatycznej wykształcił się dwuetapowy mechanizm wiązania dwutlenku węgla, w którym pierwotnym produktem karboksylacji jest **czterowęglowa** cząsteczka **szczawiooctanu**.

Z tego powodu nazywa się je roślinami typu **C_4**. Należą do nich m.in. kukurydza i trzcina cukrowa.



TREŚĆ DODATKOWA:
PRZEBIEG FOTOSYNTEZY U ROŚLIN C4



U roślin typu C_4 asymilacja dwutlenku węgla w fazie niezależnej od światła jest związana ze specyficzną budową anatomiczną liści i obejmuje dwa etapy:

- cykl przemian biochemicznych nazywany od nazwisk jego odkrywców **cyklem Hatcha i Slacka**, zachodzący w komórkach **miękiszu asymilacyjnego** liścia
- cykl przemian biochemicznych znanych jako **cykl Calvina**, zachodzący w komórkach **pochwy okołowiązkowej liścia**.

TREŚĆ DODATKOWA: PRZEBIEG FOTOSYNTEZY TYPU C_4

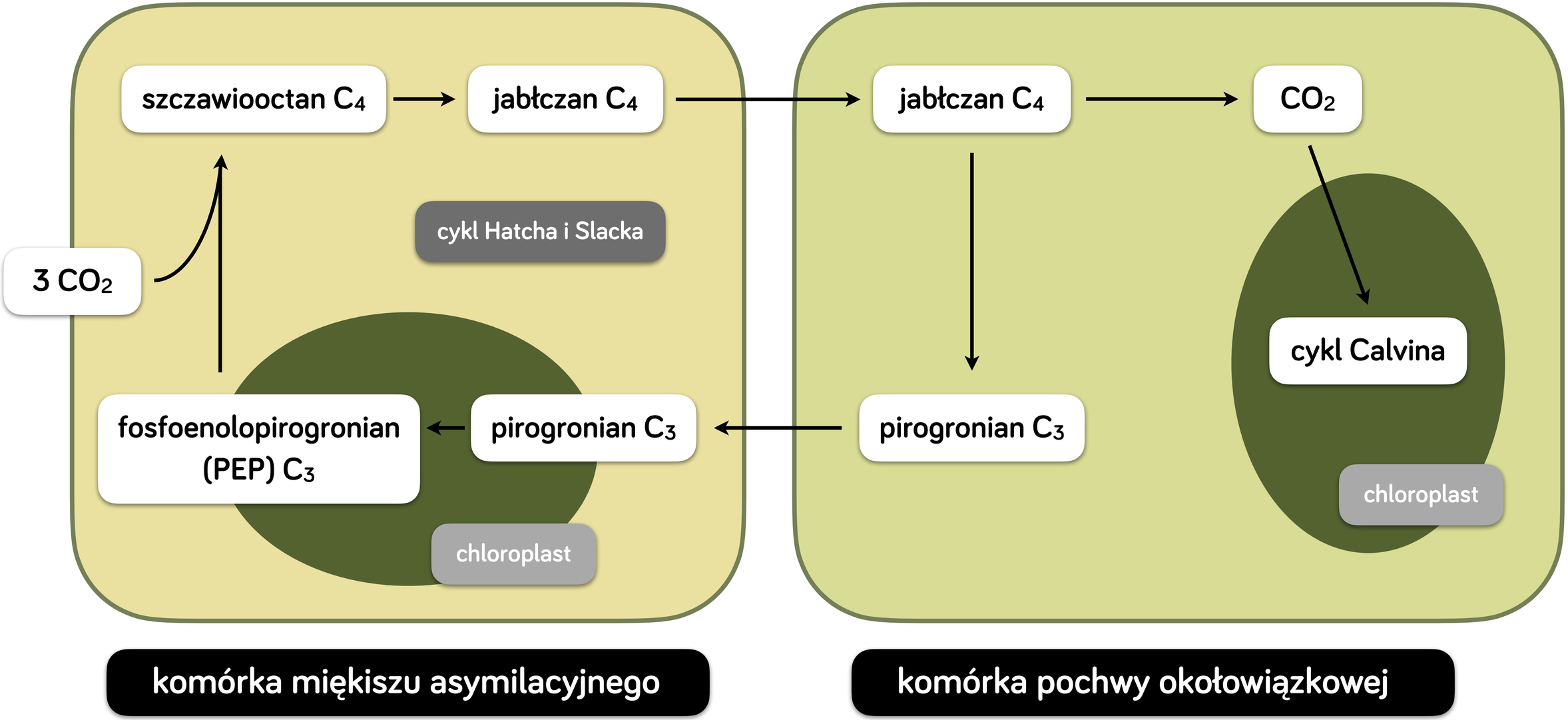


Szlak C_4 rozpoczyna się w **komórkach miękiszu asymilacyjnego**, gdzie następuje **karboksylacja**, czyli przyłączanie cząsteczki **dwutlenku węgla** do trójwęglowej cząsteczki **fosfoenolopirogronianu** (PEP). Reakcja ta jest katalizowana przez enzym **karboksylazę fosfoenolopirogronianową**, który ma znacznie większe powinowactwo do dwutlenku węgla niż RuBisCO.

W wyniku karboksylacji tworzy się cząsteczka czterowęglowego **szczawiooctanu**, który następnie ulega **redukcji** przy udziale **$NADPH+H^+$**. W ten sposób powstaje **jabłczan**, który przez plazmodesmy jest transportowany do **komórek pochwy okołowiązkowej**. W ich chloroplastach następuje **dekarboksylacja** jabłczanu.

Uwolniony **dwutlenek węgla** włącza się w **cykl Calvina**, przyłączając się do **RuBP**, a **pirogronian** powraca do komórek miękiszu asymilacyjnego, gdzie po ufosforylowaniu do fosfoenolopirogronianu może uczestniczyć w następnym cyklu reakcji.

TREŚĆ DODATKOWA:
PRZEBIEG FOTOSYNTEZY TYPU C_4



TREŚĆ DODATKOWA:
PORÓWNANIE LIŚCI ROŚLIN TYPU C3 I C4

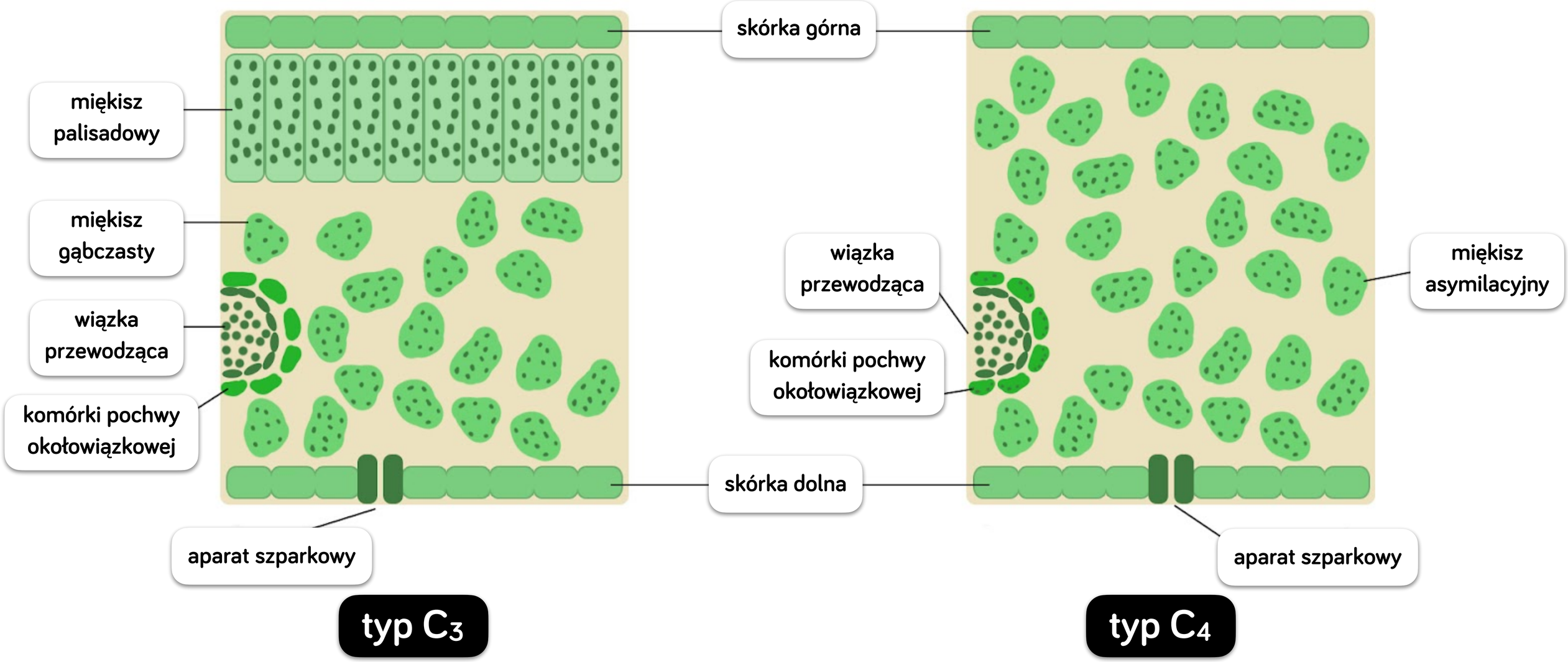


U roślin **typu C_3** miękisz asymilacyjny **jest zróżnicowany** na:

- miękisz palisadowy
- miękisz gąbczasty

U roślin **typu C_4** miękisz asymilacyjny **nie jest zróżnicowany**.

TREŚĆ DODATKOWA:
PORÓWNANIE LIŚCI ROŚLIN TYPU C3 I C4



TREŚĆ DODATKOWA: PORÓWNANIE FOTOSYNTEZY TYPU C_3 I C_4



Cechy	Rośliny typu C_3	Rośliny typu C_4
występowanie	rośliny wszystkich stref klimatycznych	niektóre rośliny strefy klimatów zwrotnikowych
przykłady roślin	pszenica, jęczmień, ryż	kukurydza, trzcina cukrowa
przebieg i lokalizacja fazy fotosyntezy niezależnej od światła	cykl Calvina (miękisz asymilacyjny: palisadowy i gąbczasty)	1. karboksylacja PEP (miękisz asymilacyjny) 2. cykl Calvina (miękisz pochwy okołowiązkowej)
pory doby, w których zachodzi wiązanie CO_2	dzień	dzień
pierwszy produkt karboksylacji	związek 3-węglowy (kwas 3-fosfoglicerynowy)	związek 4-węglowy (szczawiooctan)

TREŚĆ DODATKOWA: PORÓWNANIE FOTOSYNTEZY TYPU C_3 I C_4



Cechy	Rośliny typu C_3	Rośliny typu C_4
pierwszy akceptor CO_2	RuBP (rybulozo-1,5-bisfosforan)	PEP (fosfoenolopirogronian)
optymalna temperatura fotosyntezy	25°C - 35°C (zależnie od gatunku rośliny)	30°C - 45°C (zależnie od gatunku rośliny)
budowa miękiszu asymilacyjnego liścia	miękisz asymilacyjny zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty	miękisz asymilacyjny niezróżnicowany na palisadowy i gąbczasty
budowa komórek pochwy okołowiązkowej	mniejsze komórki	większe komórki

TREŚĆ DODATKOWA: ROŚLINY CAM

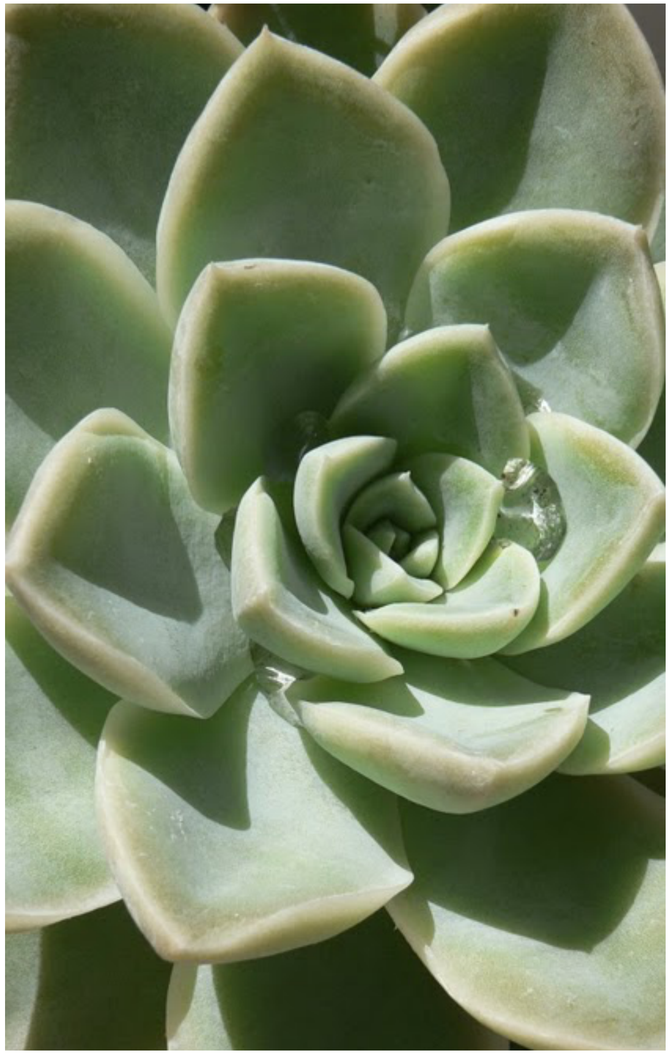
TREŚĆ DODATKOWA: ROŚLINY CAM

Rośliny CAM to rośliny z grupy **gruboszowatych**, nazywanych **kwasowymi**. Przeprowadzają fotosyntezę podobną do C_4.

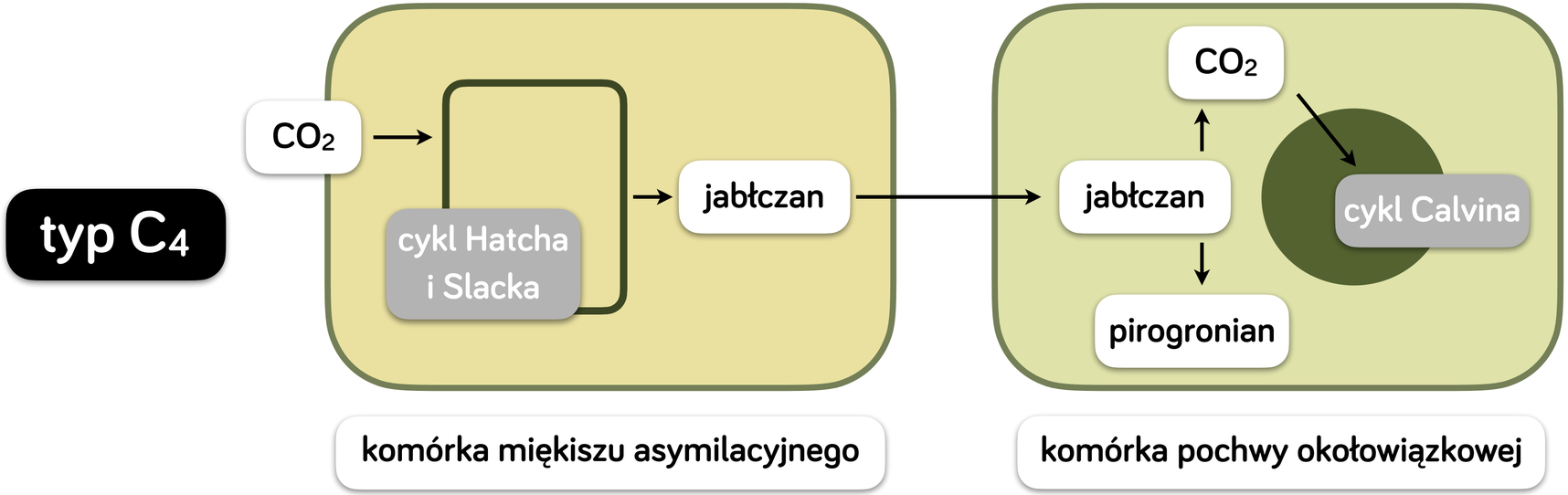
Rośliny te żyją w klimacie **pustynnym** i **półpustynnym**, dlatego mają całkowicie **zamknięte** aparaty szparkowe w ciągu dnia, aby nie tracić wody i **otwierają** je tylko **w nocy**. Wtedy dochodzi do asymilacji dwutlenku węgla.

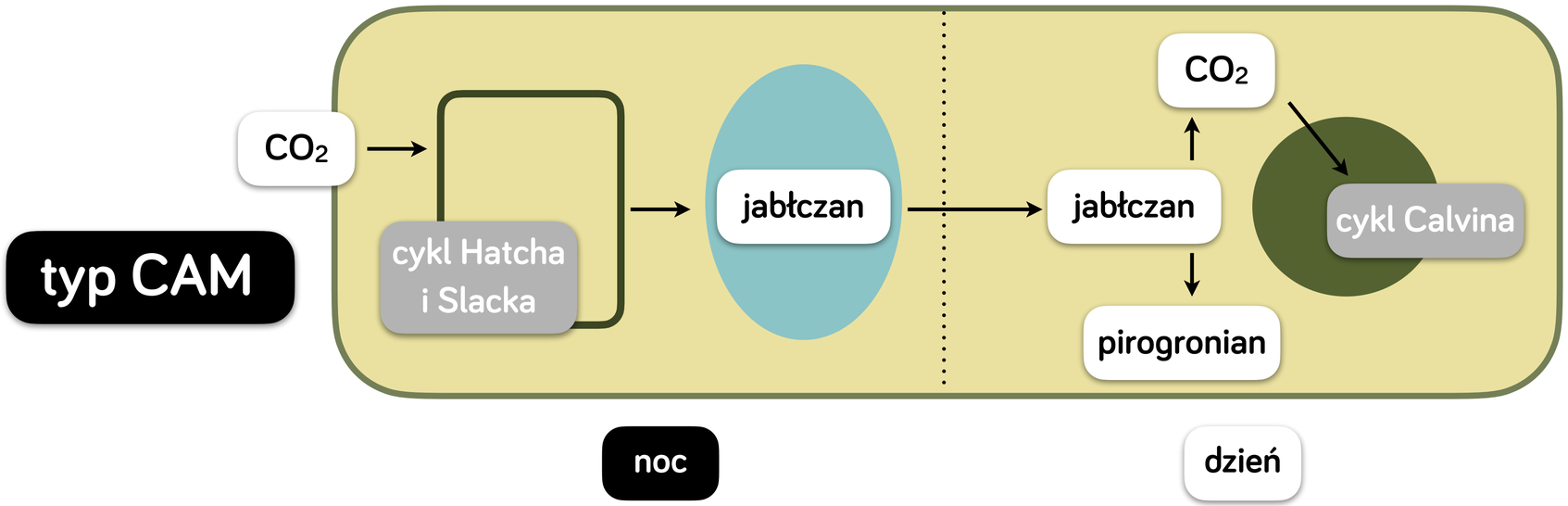
Pobrany CO_2 magazynowany jest w postaci **jabłczanu**. Jabłczan rośliny te gromadzą w swoich **wakuolach**.

Gdy nadejdzie dzień i zachodzić będzie faza jasna, to z jabłczanu w wyniku **dekarboksylacji** powstają: **pirogronian** i **CO_2**, włączany do **cyklu Calvina**.



TREŚĆ DODATKOWA: FOTOSYNTEZA C_4 A CAM





U roślin typu **C_4** obserwuje się **przestrzenne** oddzielenie cyklu Hatcha i Slacka od cyklu Calvina (pierwszy zachodzi w komórkach miękiszu asymilacyjnego, drugi w komórkach pochwy okołowiązkowej).

U roślin typu **CAM** następuje **czasowe** rozdzielenie obu cykli (cykl Hatcha i Slacka przebiega **nocą**, a cykl Calvina w ciągu **dnia**).

komórka miękiszu asymilacyjnego

CHEMOSYNTEZA

CHEMOSYNTEZA



Chemosynteza to sposób **autotroficznego** odżywiania się organizmów.

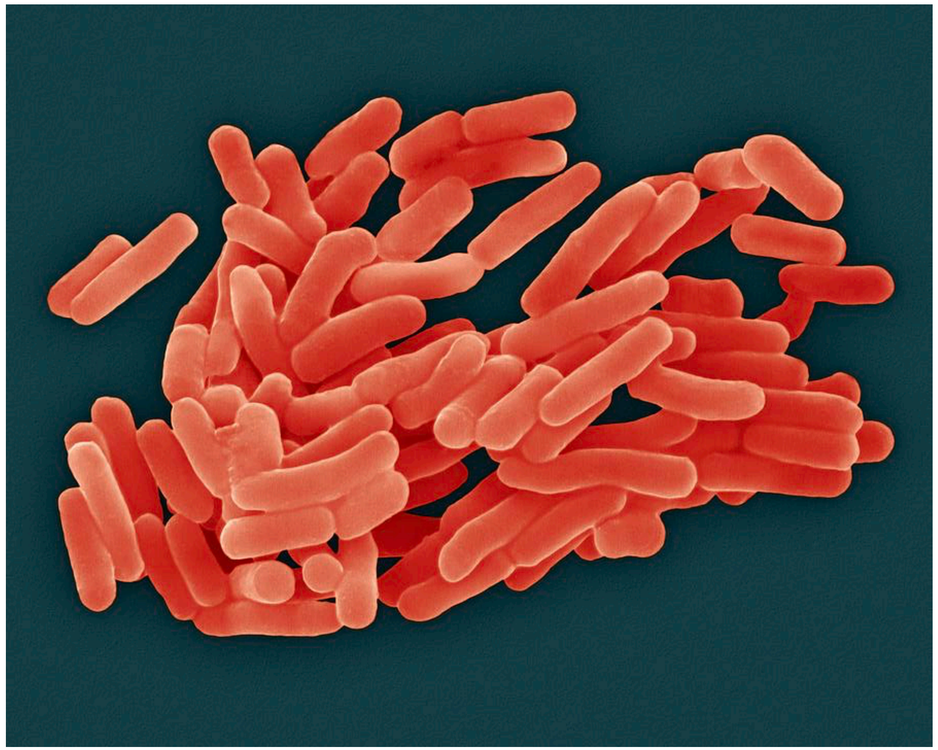
Polega ona na asymilacji dwutlenku węgla z wykorzystaniem **energii chemicznej**. Energia ta pochodzi z **utleniania** prostych substancji nieorganicznych (amoniak, siarkowodór) lub rzadziej jednowęglowych związków organicznych (metan).

Organizmy, które przeprowadzają chemosyntezę to **chemoautotrofy**.

JAKIE ORGANIZMY PRZEPROWADZAJĄ CHEMOSYNTEZĘ?



bakterie nitryfikacyjne Nitrosomonas i Nitrobacter



bakterie siarkowe

PRZEBIEG CHEMOSYNTEZY



Chemosynteza przebiega w dwóch etapach:

1. **utlenianie** prostych związków chemicznych (np. amoniaku), w wyniku czego **uwalnia się energia**, potrzebna do zajścia **etapu drugiego**.

$$2\ NH_3 + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ HNO_2 + 2\ H_2O + \text{energia chemiczna}$$

2. **redukcja** CO_2 do związków organicznych (podobny przebieg do cyklu Calvina) przy udziale energii uwolnionej w pierwszym etapie

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{\text{energia chemiczna}} \text{glukoza} + 6\ O_2$$

PRZYKŁADOWE REAKCJE CHEMOSYNTEZY



1) Bakterie nitryfikacyjne:

- bakterie z rodzaju Nitrosomonas: $2\ NH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ HNO_2 + 2\ H_2O + ENERGIA$
- bakterie z rodzaju Nitrobacter: $2\ HNO_2 + O_2 \rightarrow 2\ HNO_3 + ENERGIA$

Produkowane w tych reakcjach kwasy zakwaszają glebą, ale jednocześnie są jedyną przyswajalną przez rośliny formą azotu.

2) Bakterie siarkowe:

- bakterie z rodzaju Beggiatoa: $2\ H_2S + O_2 \rightarrow 2\ H_2O + 2\ S + ENERGIA$
- bakterie z rodzaju Thiotrix: $2\ S + 2\ H_2O + 3\ O_2 \rightarrow 2\ H_2SO_4 + ENERGIA$

Zakwaszanie gleby przez kwas siarkowy (VI).

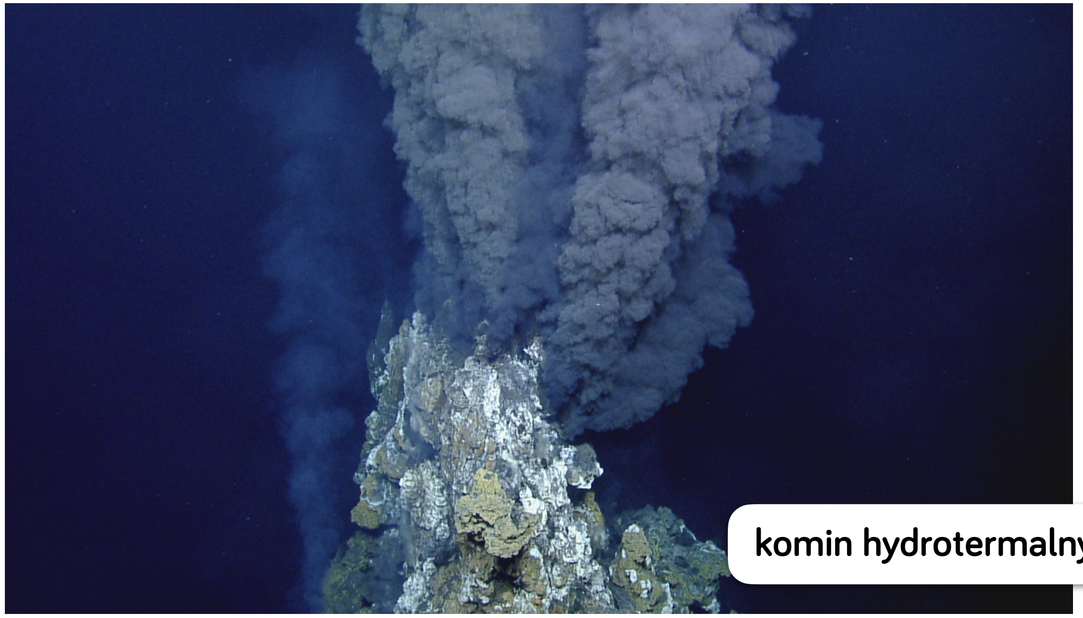
ZNACZENIE CHEMOSYNTEZY



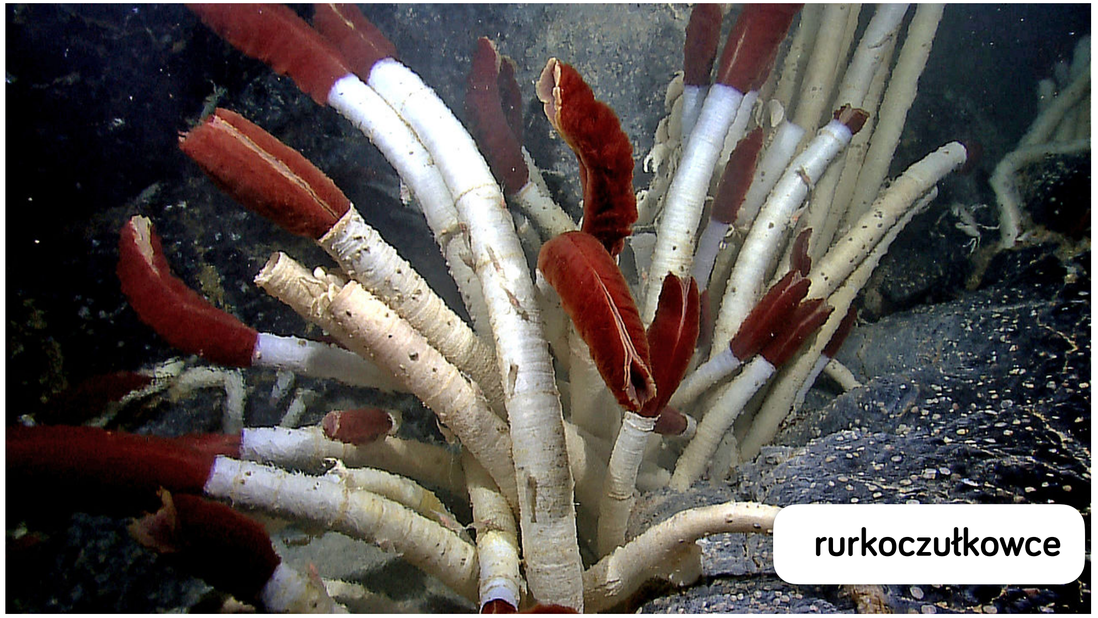
- Chemosynteza ma znaczenie dla **obiegu pierwiastków** w przyrodzie, głównie węgla, azotu, siarki, np:
  - **bakterie nitryfikacyjne** są ważnym ogniwem obiegu **azotu** — przekształcają **amoniak** (NH_3) w łatwo przyswajalne dla roślin **jony azotanowe(V)** (NO_3^-),
  - **bakterie siarkowe** uczestniczą w obiegu **siarki**, ponieważ przekształcają **zredukowane związki siarki** (H_2S) w dostępne dla roślin **jony siarczanowe(VI)** (SO_4^{2-}).
- Chemosynteza umożliwia **usuwanie ze środowiska związków toksycznych** dla innych organizmów, np. amoniaku lub siarkowodoru.
- Chemosynteza ma znaczenie w produkcji materii organicznej dla innych organizmów w **ekosystemach pozbawionych dostępu do światła**, np.: jaskinie czy strefy głębinowe mórz.

ZNACZENIE CHEMOSYNTEZY

W pobliżu kominów hydrotermalnych występują **rurkoczułkowce**. Zwierzęta te żyją w symbiozie z **bakteriami** przeprowadzającymi **chemosyntezę**. Bakterie dostarczają rurkoczułkowcom **glukozę** wytworzoną na drodze **chemosyntezy**, a rurkoczułkowce zapewniają bakteriom miejsce do **bytowania** i **schronienie**.



komin hydrotermalny



rurkoczułkowce

PORÓWNANIE FOTOSYNTEZY Z CHEMOSYNTEZĄ

FOTOSYNTEZA VS CHEMOSYNTEZA



Cechy	FOTOSYNTEZA	CHEMOSYNTEZA
rodzaj energii wykorzystywanej do wytwarzania siły asymilacyjnej	energia świetlna	energia chemiczna
składniki siły asymilacyjnej	ATP i $NADPH + H^+$	ATP i $NADPH + H^+$ **lub** ATP i $NADH + H^+$
organizmy przeprowadzające proces	rośliny, protisty roślinopodobne, niektóre bakterie (sinice, bakterie zielone i purpurowe)	**niektóre bakterie** np. bakterie nitryfikacyjne
znaczenie procesu dla organizmu	wytwarzanie związków organicznych	wytwarzanie związków organicznych