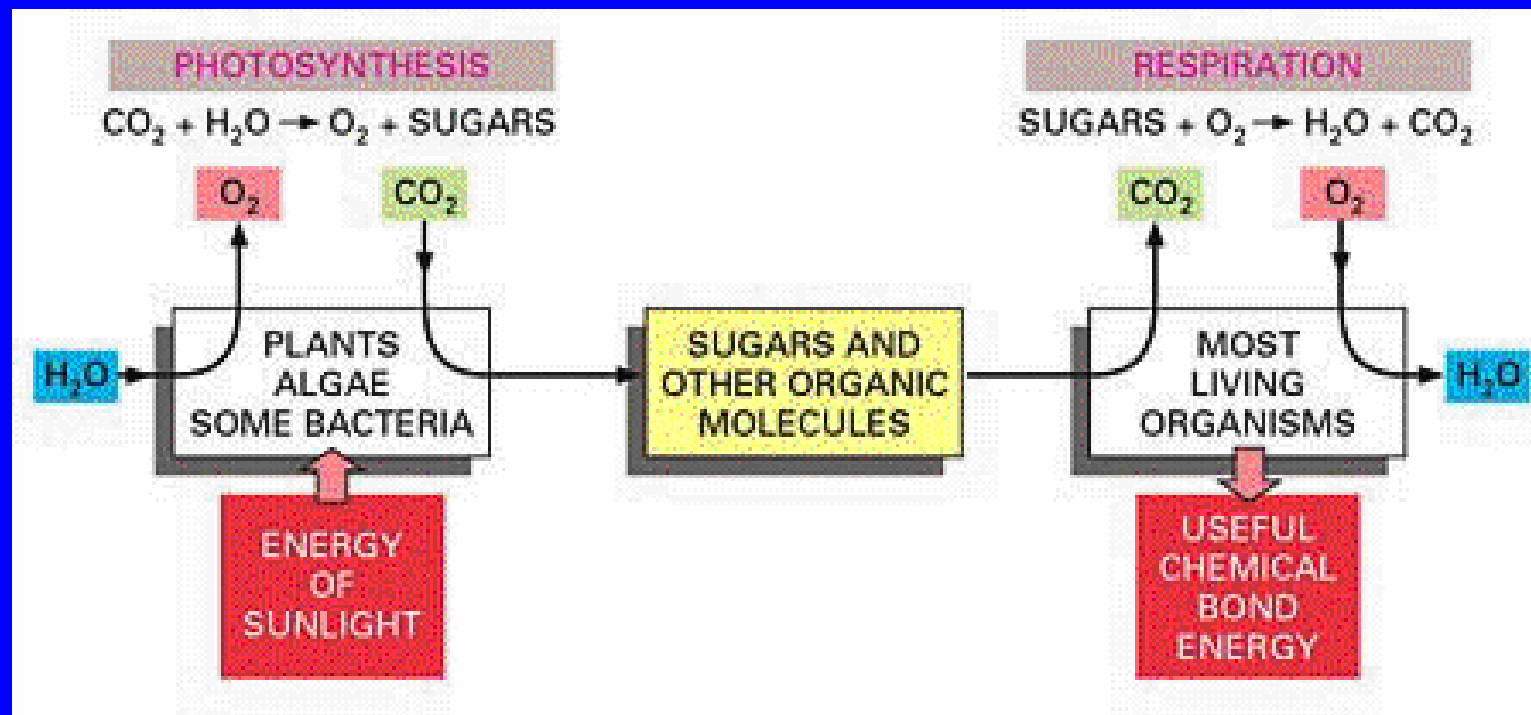
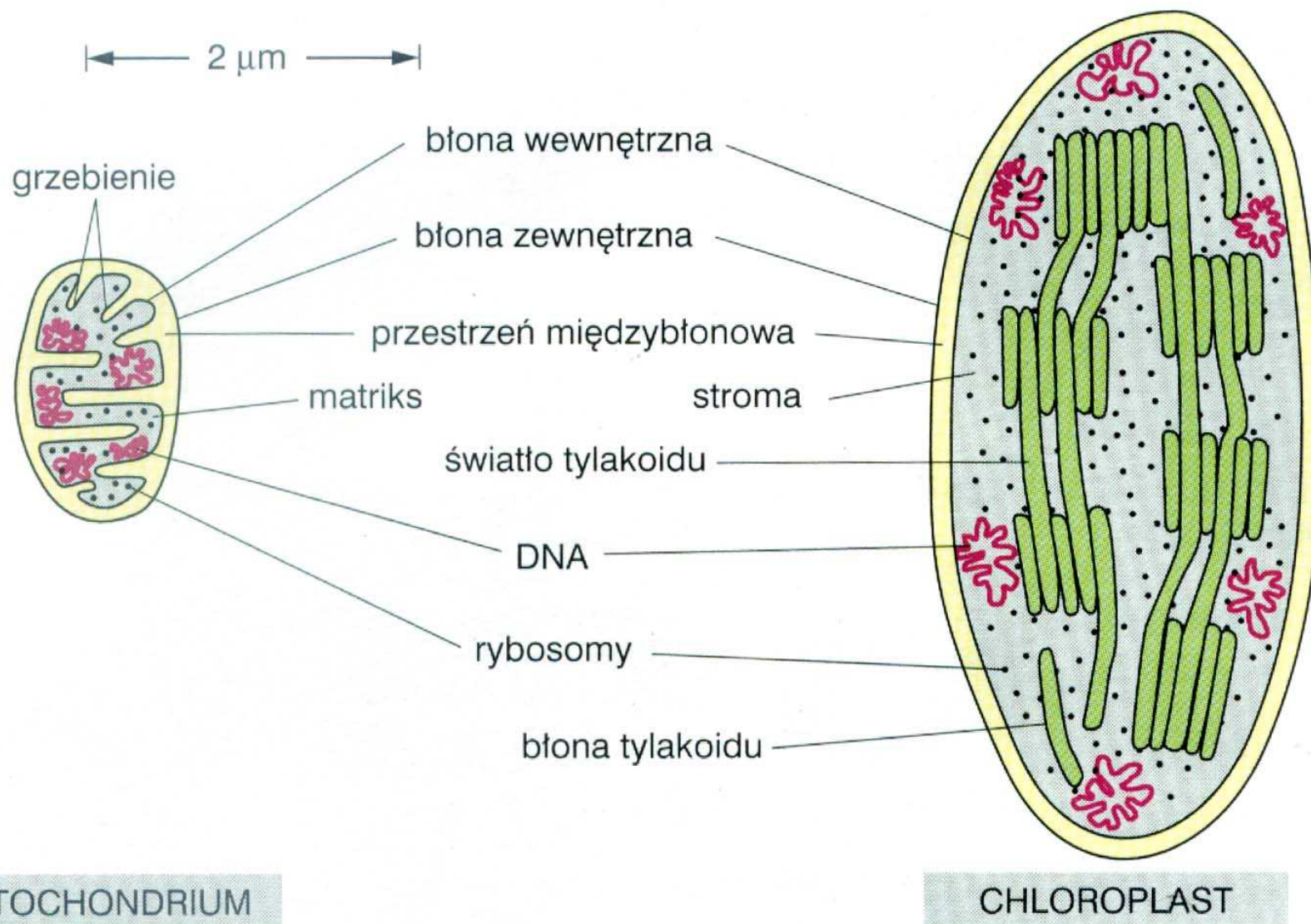
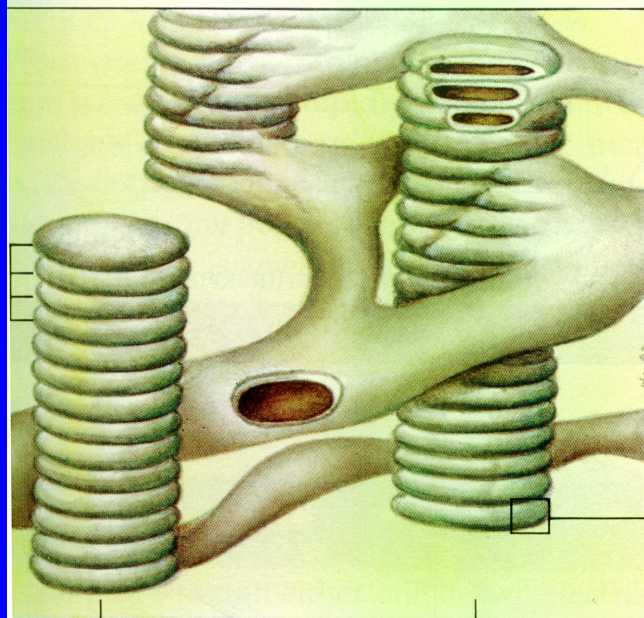


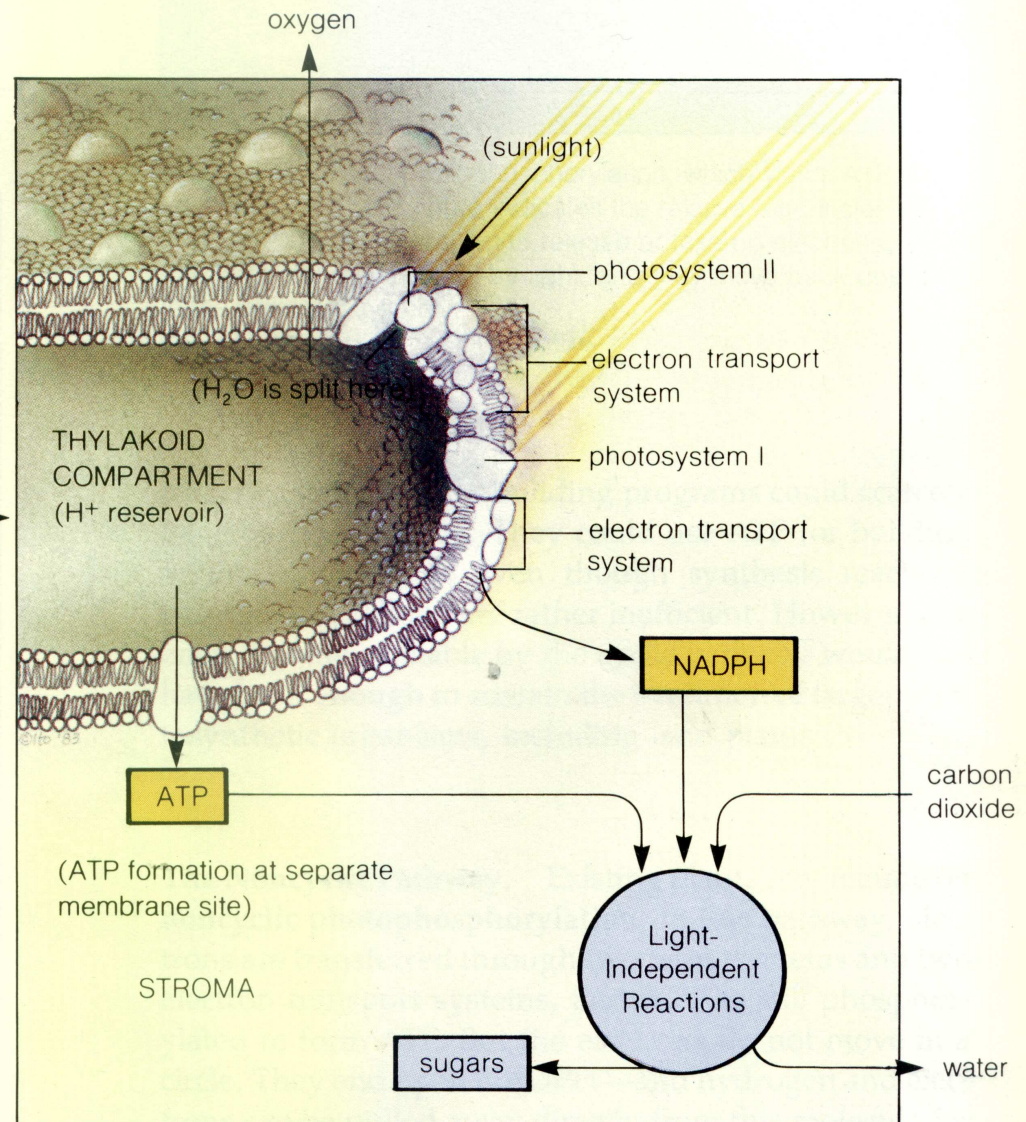
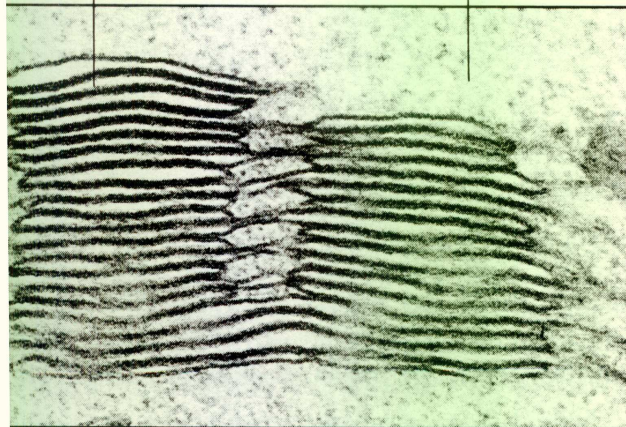


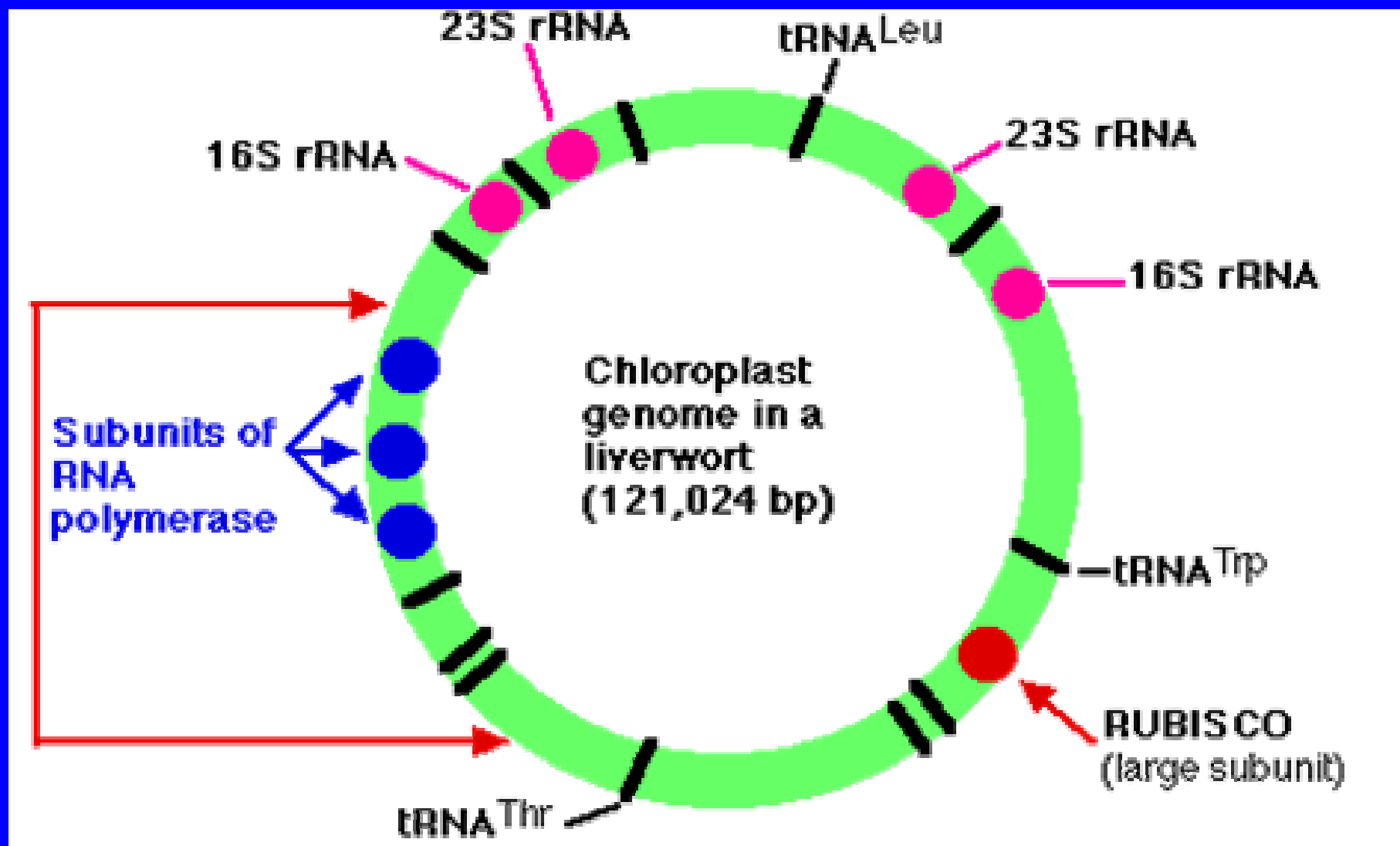




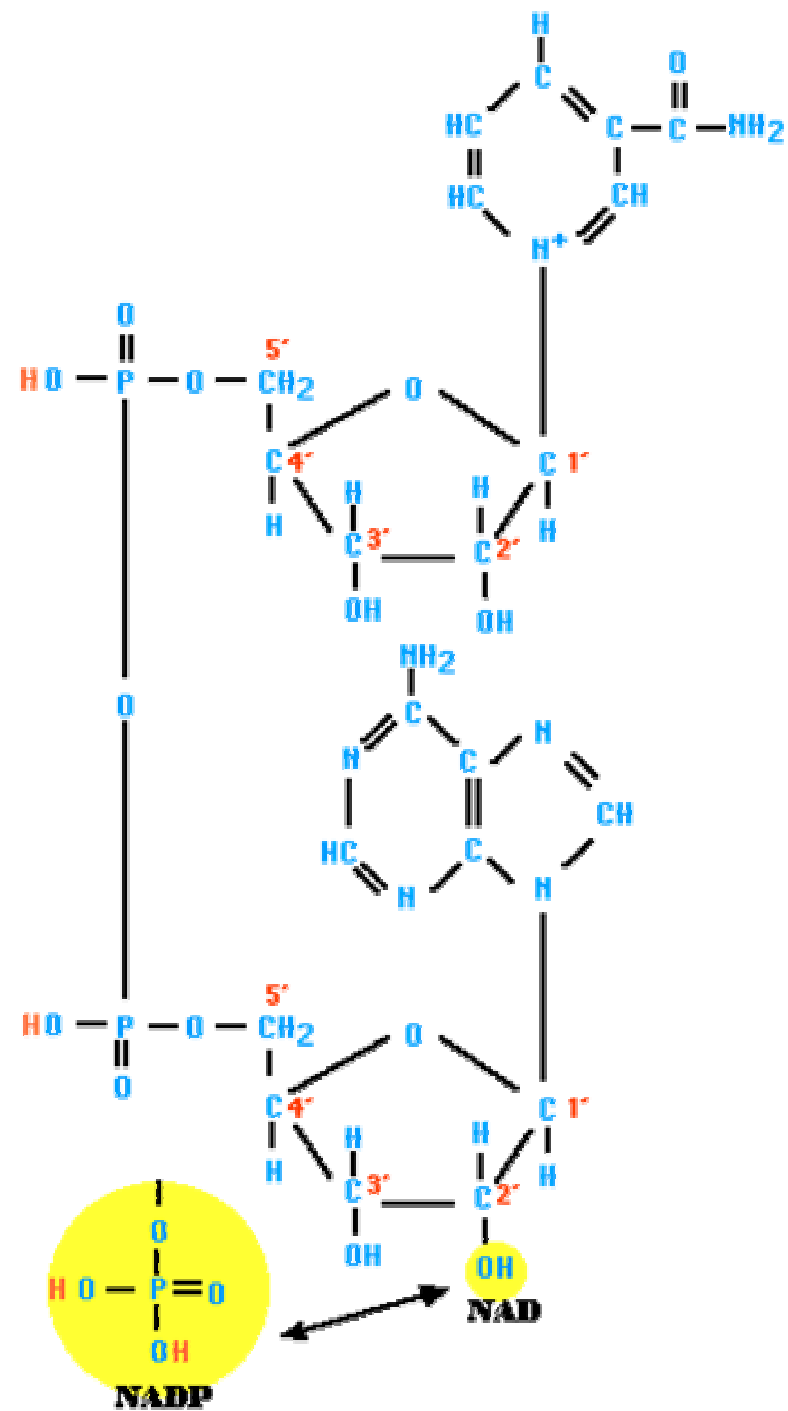
granum

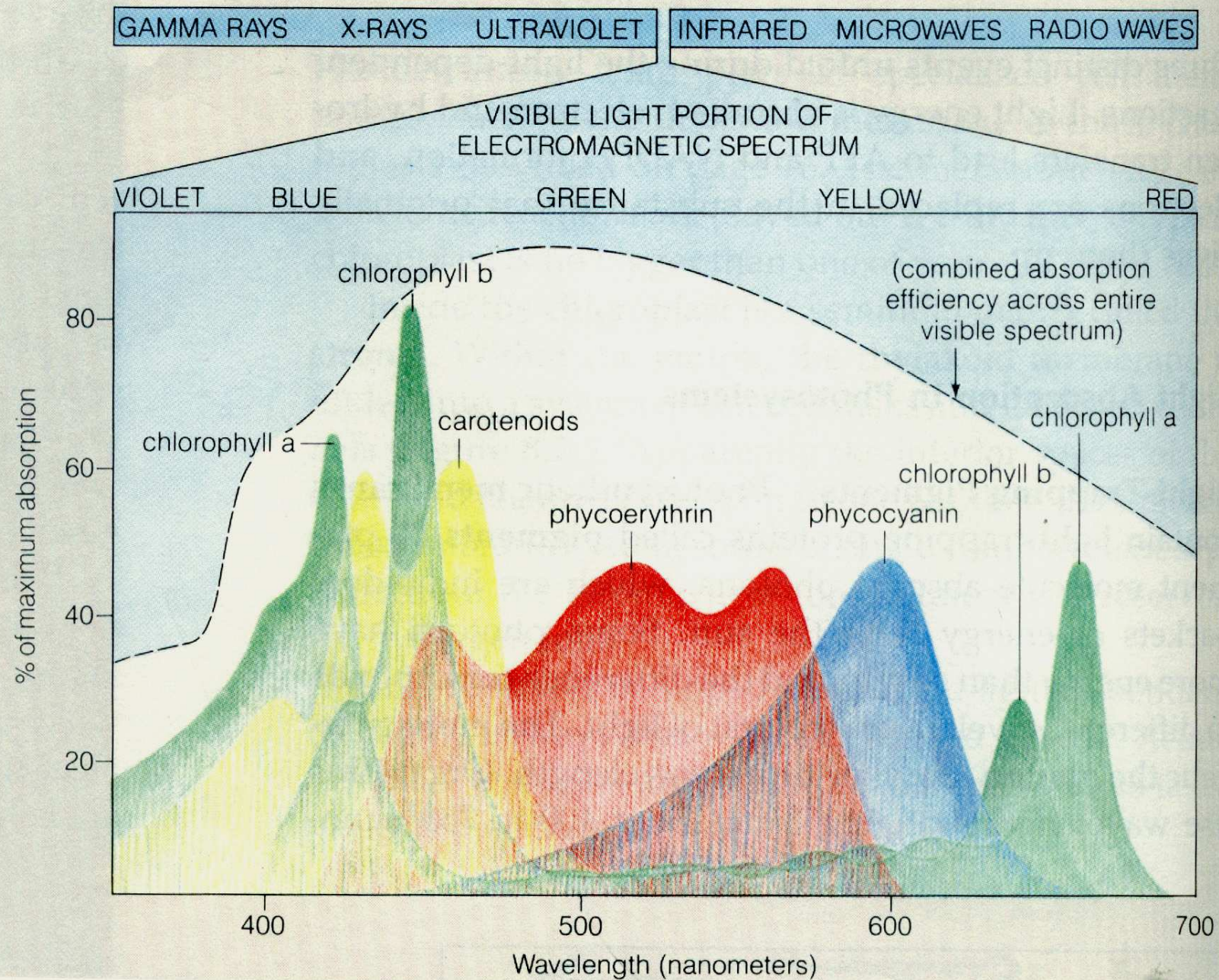
stroma

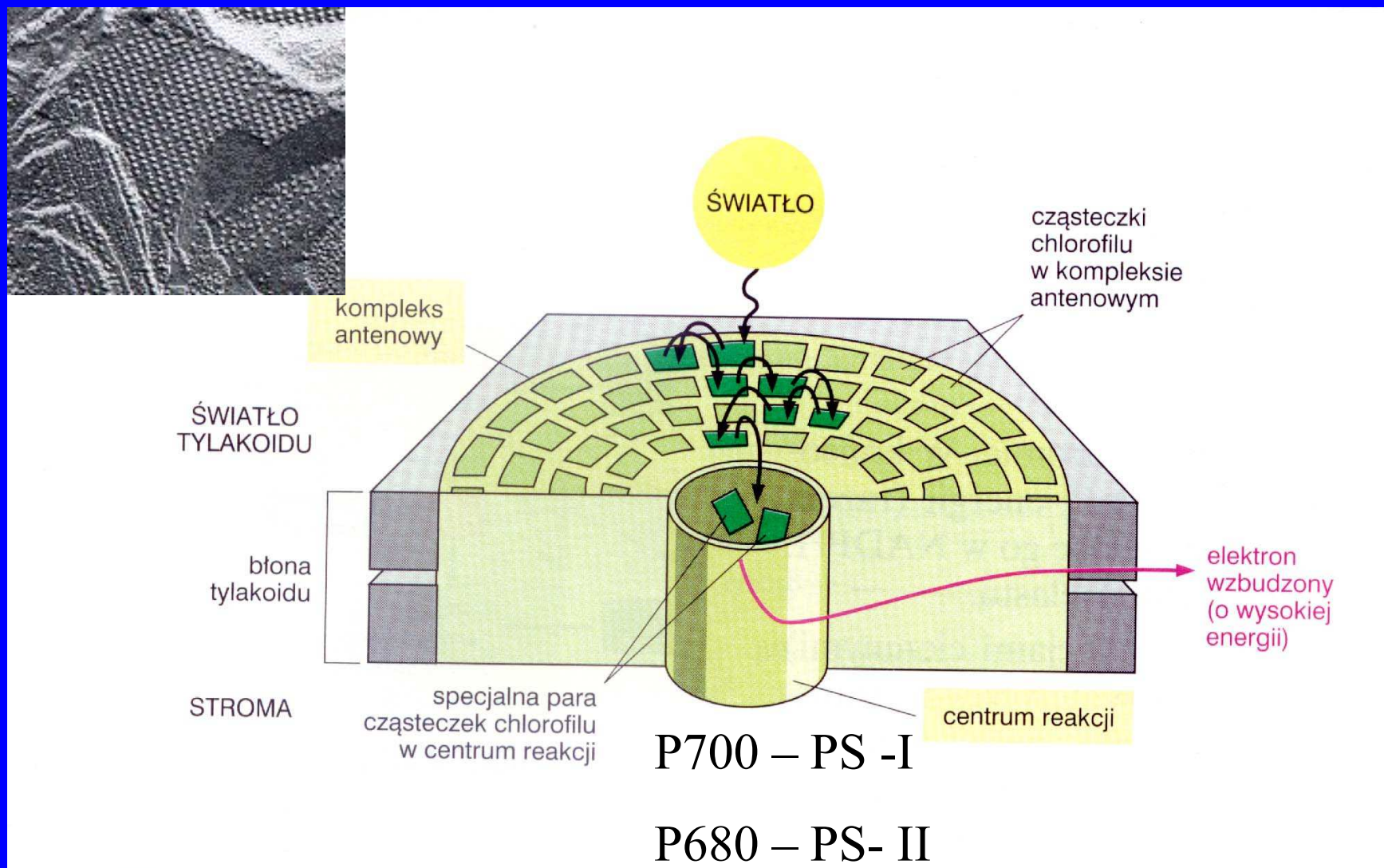




128 genów (rRNA, tRNA, Rubisco, fotos I i II)







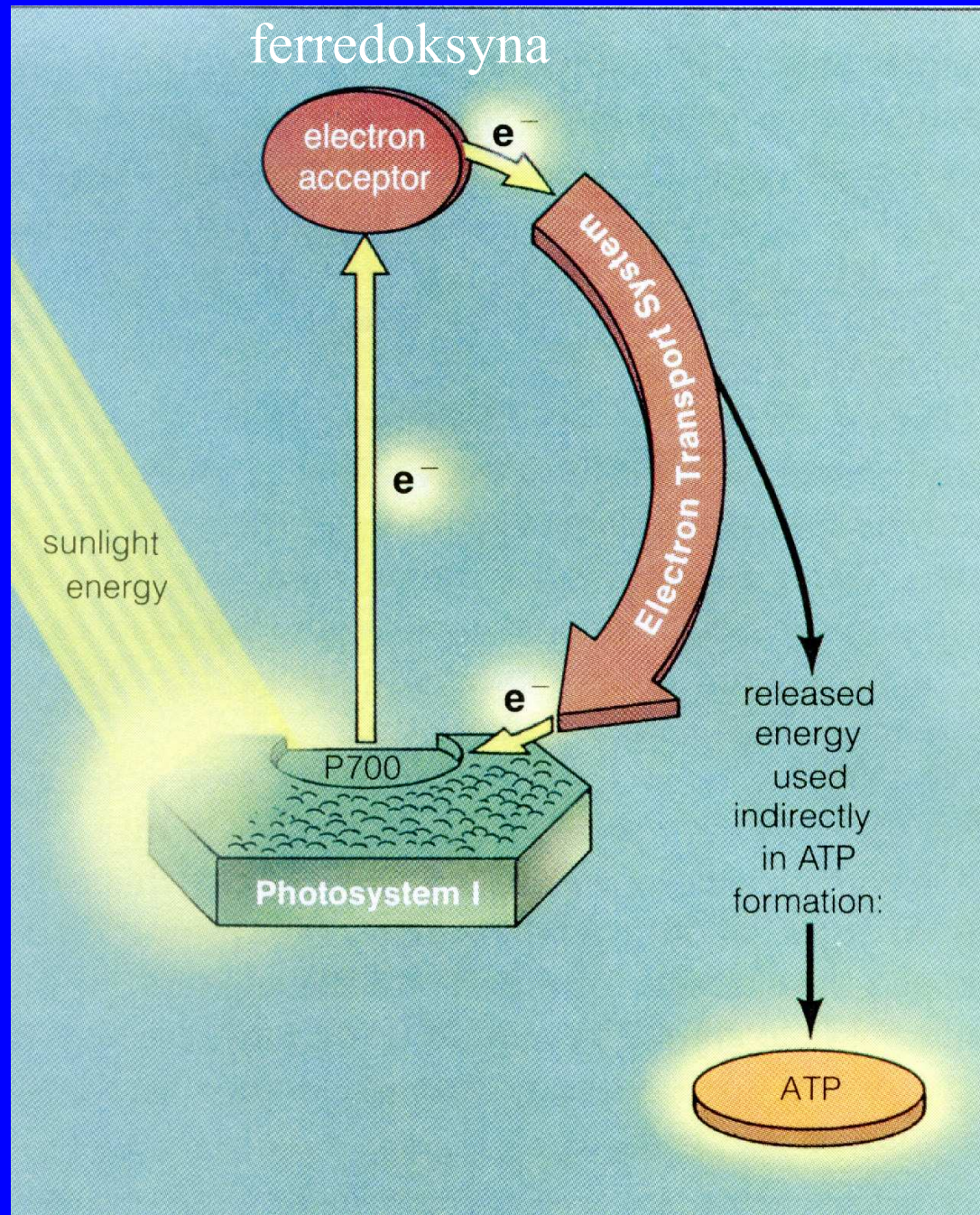
Kwantosom (antena) – kompleks barwników współpracujący w wybijaniu elektronu ze specjalnego chlorofilu w centrum reakcji.



Faza jasna fotosyntezy (reakcji zależnych od światła) –
- wytworzenie siły asymilacyjnej (ATP, NADPH₂)

Fotosystem I

- 12 różnych cząsteczek białka związanych z
- 96 cząsteczkami **chlorofilu a**
 - 2 cząsteczki **chlorofilu P₇₀₀** w centrum reakcji
 - 4 cząsteczki chlorofilu akceptorowego
 - 90 cząsteczek chlorofilu a służącego jak antena
- 22 cząsteczek karotenoidów
- 4 cząsteczki lipidów
- 3 cząsteczki Fe₄S₄
- 2 cząsteczki filochinonów

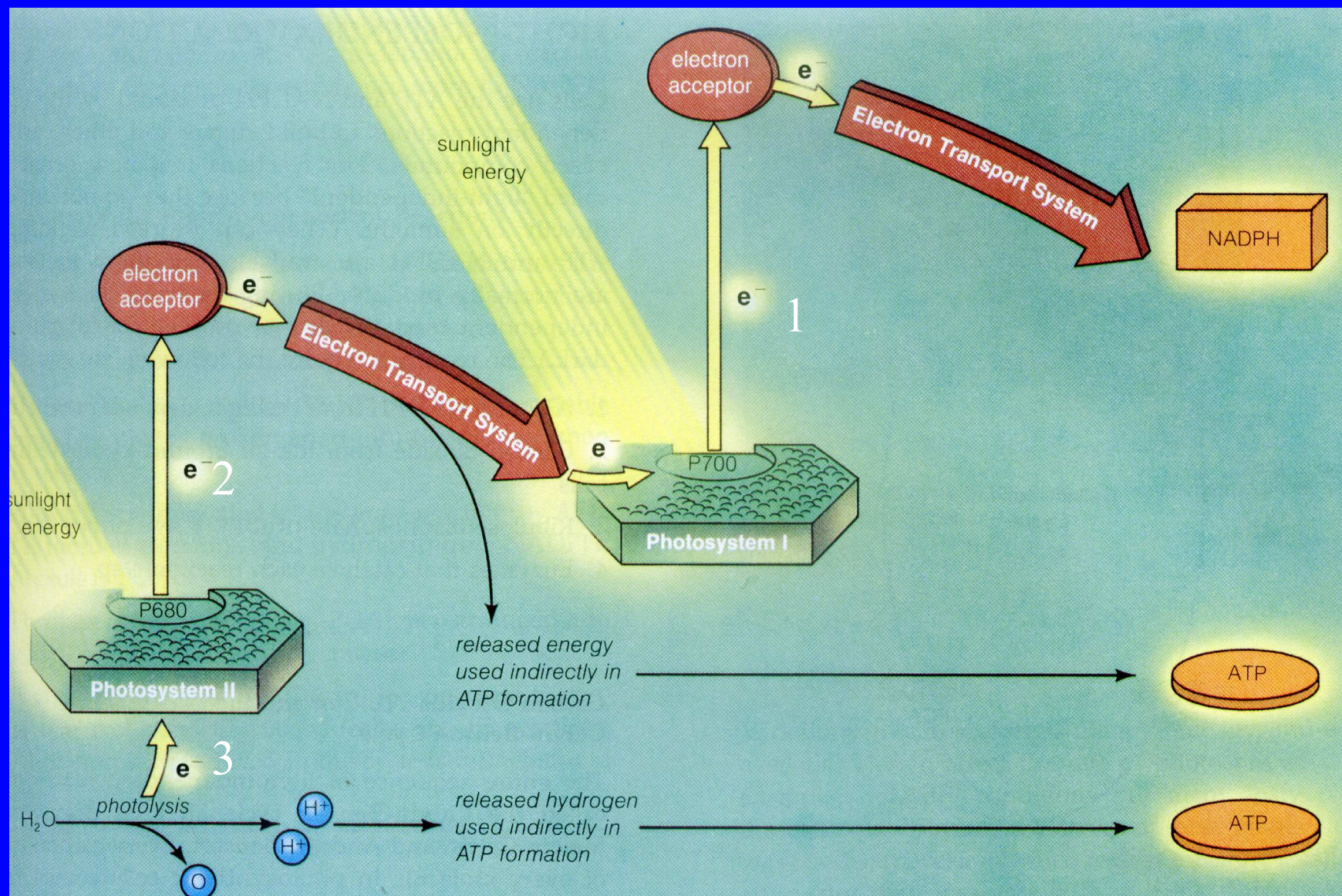


Fosforylacja cykliczna

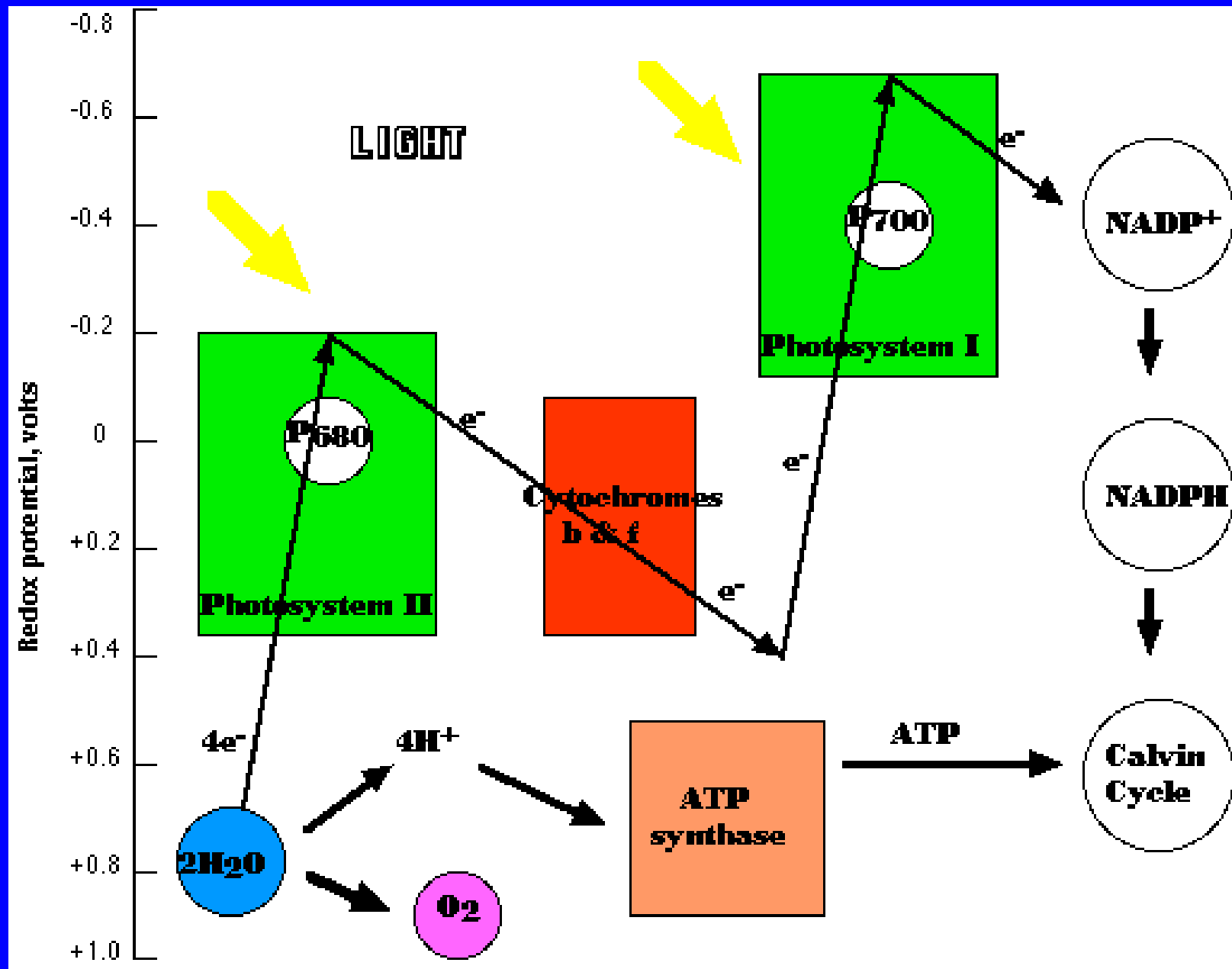
- synteza ATP

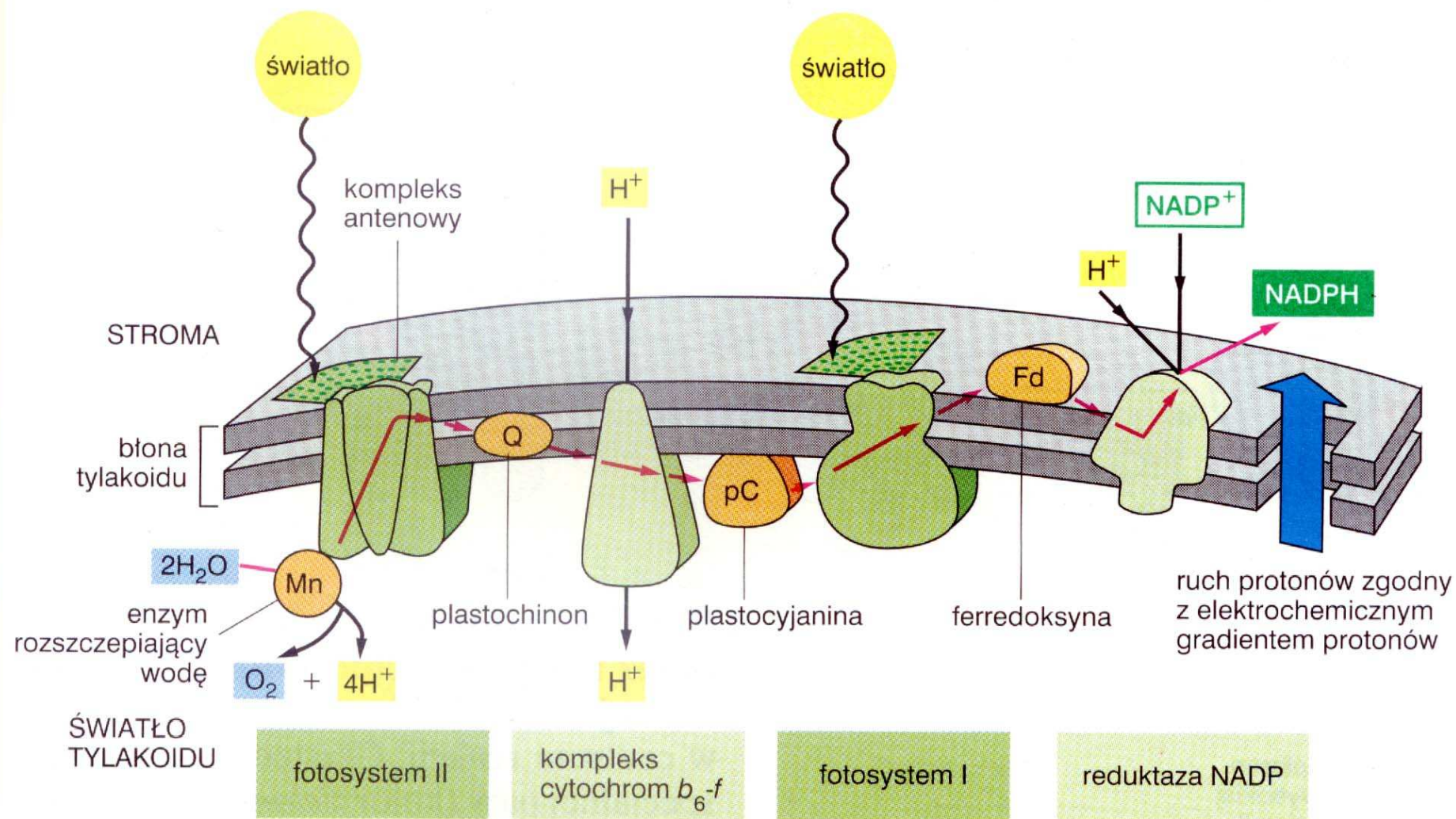
Fotosystem II

- Ponad 20 różnych białek
- 50 cząsteczek **chlorofilu a**
 - 2 cząsteczki w centrum reakcji **chlorofilu P₆₈₀**
 - 2 cząsteczki akceptorowe
 - 2 cząsteczki feofityny (chlorofilu bez Mg^{++})
 - 44 cząsteczki **chlorofilu a** tworzącego antenę
- Karotenoidy wchodzące w skład anteny
- 2 cząsteczki plastochinonu

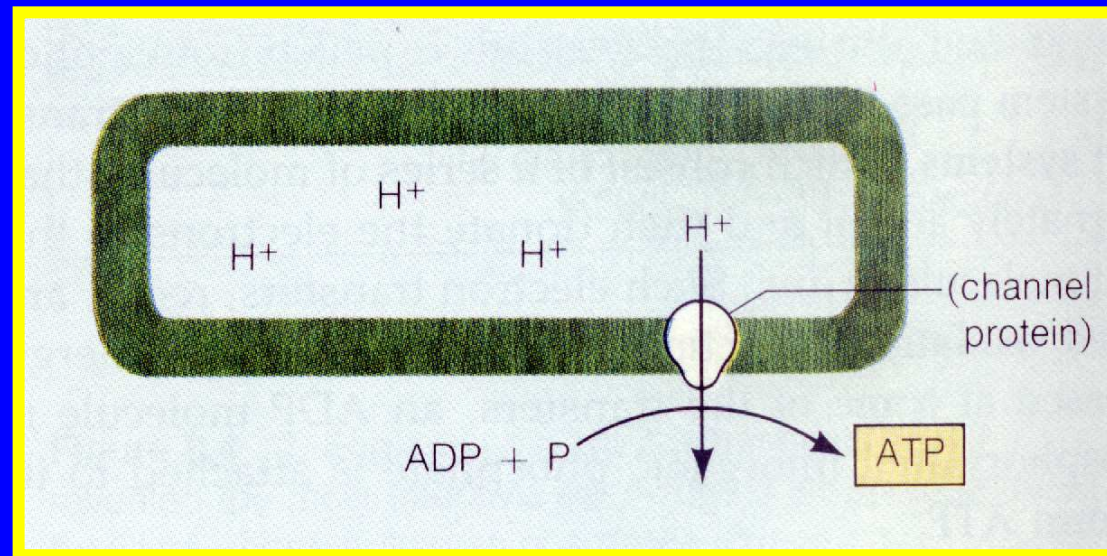
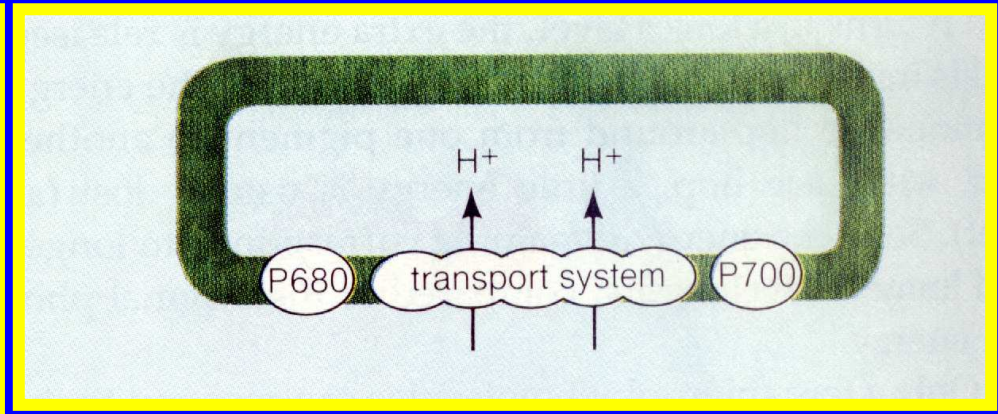
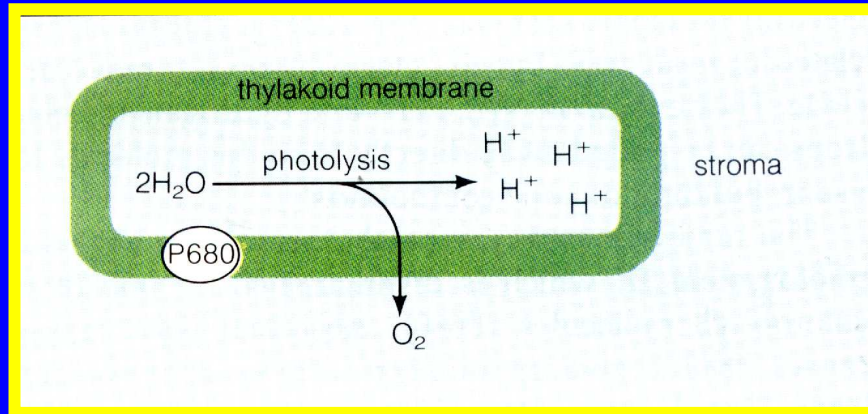


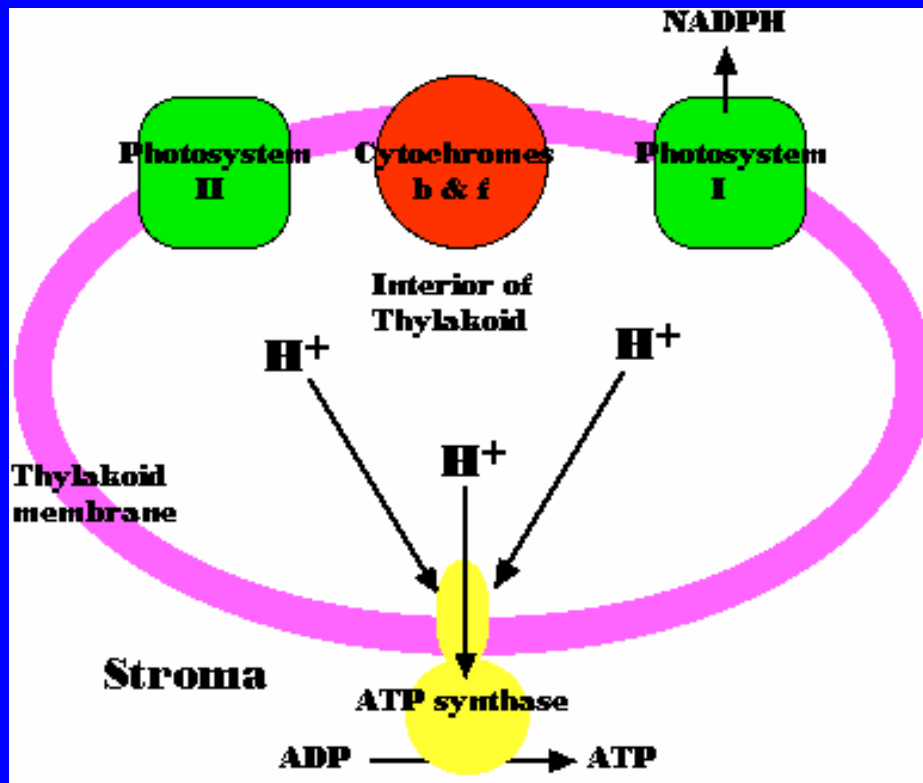
Fosforylacja niecykliczna – powstaje NADPH₂, ATP, fotoliza wody z wytworzeniem tlenu





Teoria chemioosmozy





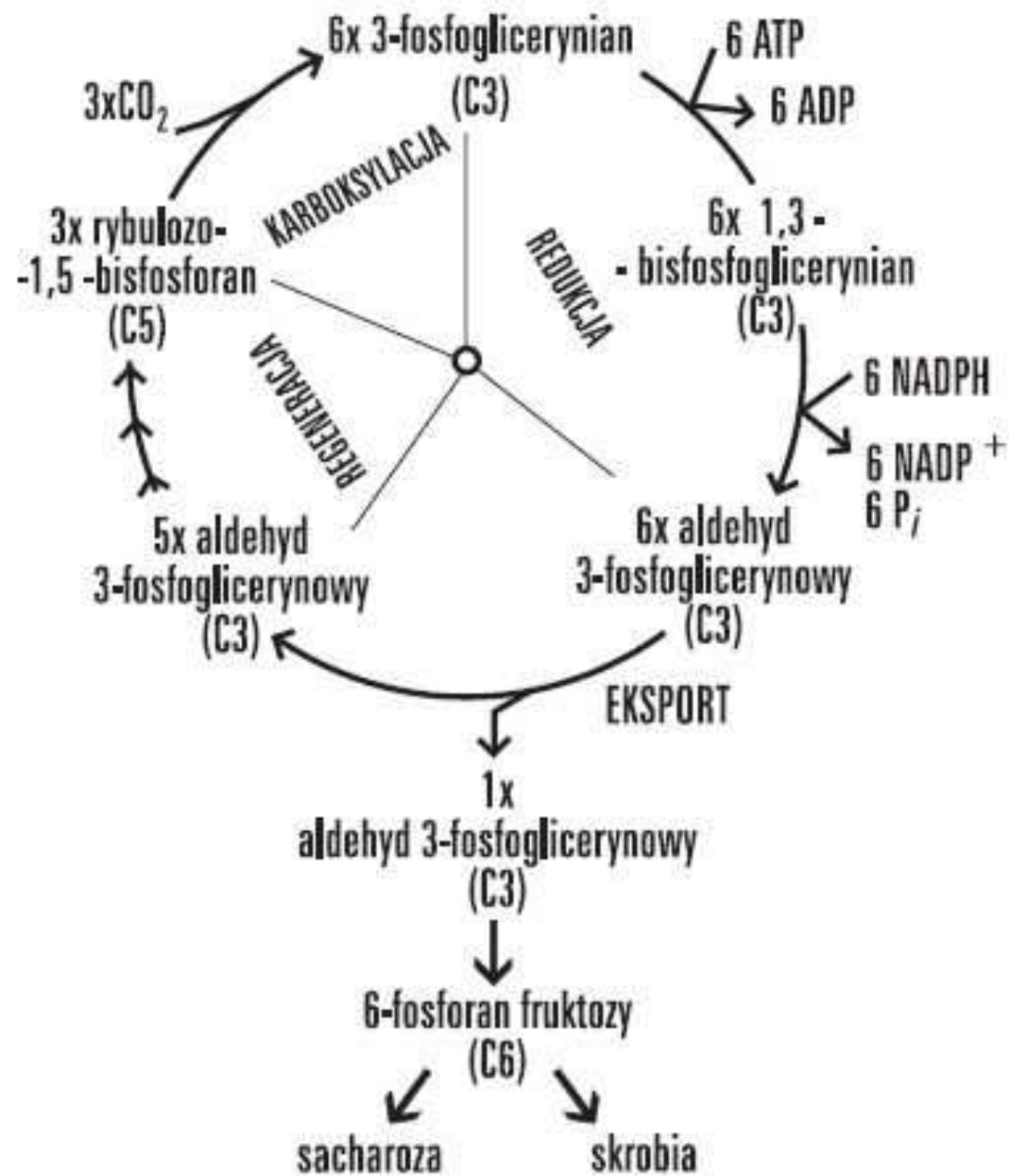
1. Fotosystem I (Chlorofil P700, a, b , karotenoidy)
2. Fotosystem II (chlorofil P680, a i b, karotenoidy, ksantofile)
3. Cytochromy b and f
4. ATP syntetaza

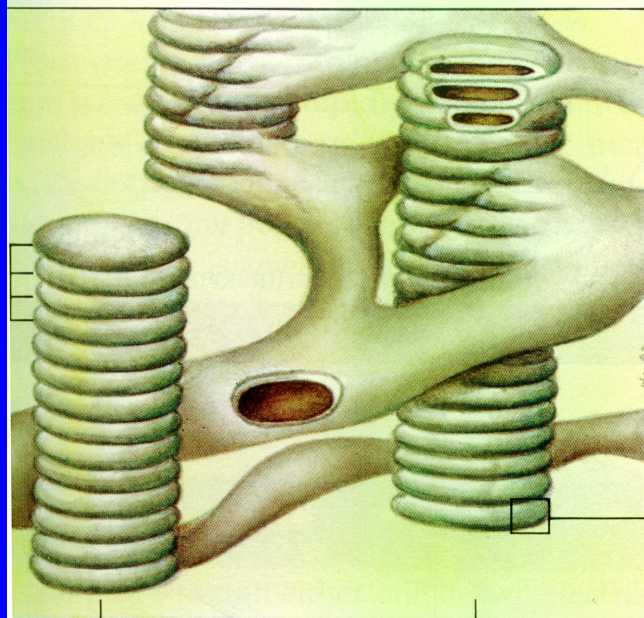


Faza ciemna fotosyntezy
(reakcje niezależne od światła)

= Cykl Calwina

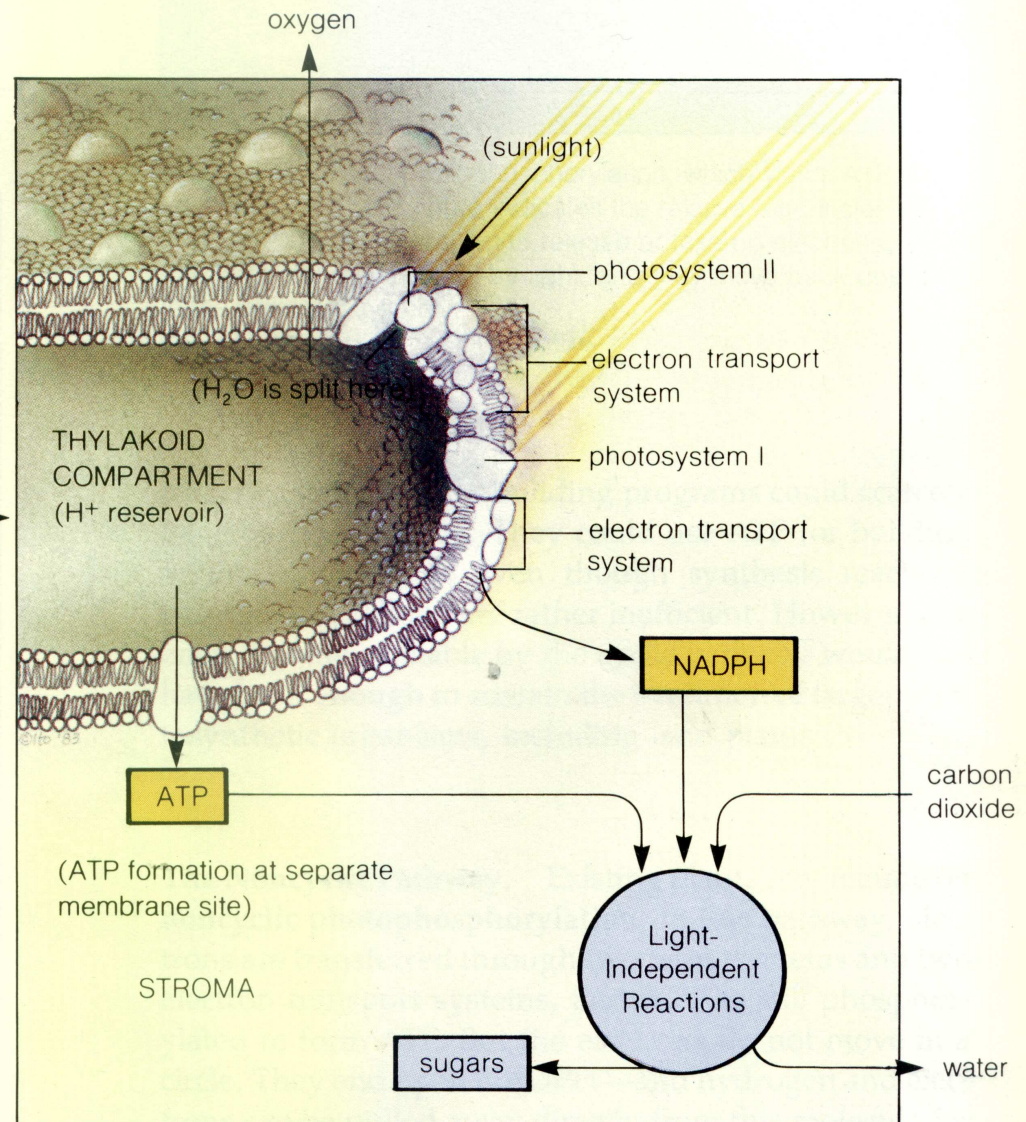
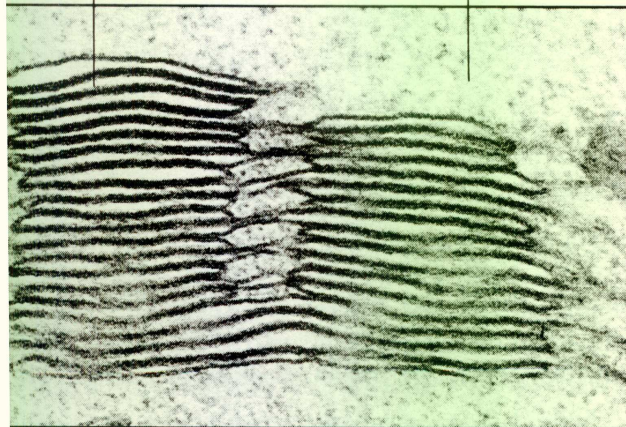
= faza asymilacji CO₂





granum

stroma



Rośliny C3 i C4 mają różne sposoby asymilacji CO₂.

Rośliny C3

pierwszym produktem asymilacji związek 3-węglowy – kwas fosfoglicerynowy (PGA)

-jeden akceptor CO₂ – RUDP

-asymilacja jednoetapowa

Rośliny C4

- pierwszym produktem asymilacji związek 4-węglowy - kwas szczawiooctowy

-dwa akceptory CO₂ -

1. fosfoenolopirogronian (PEP)

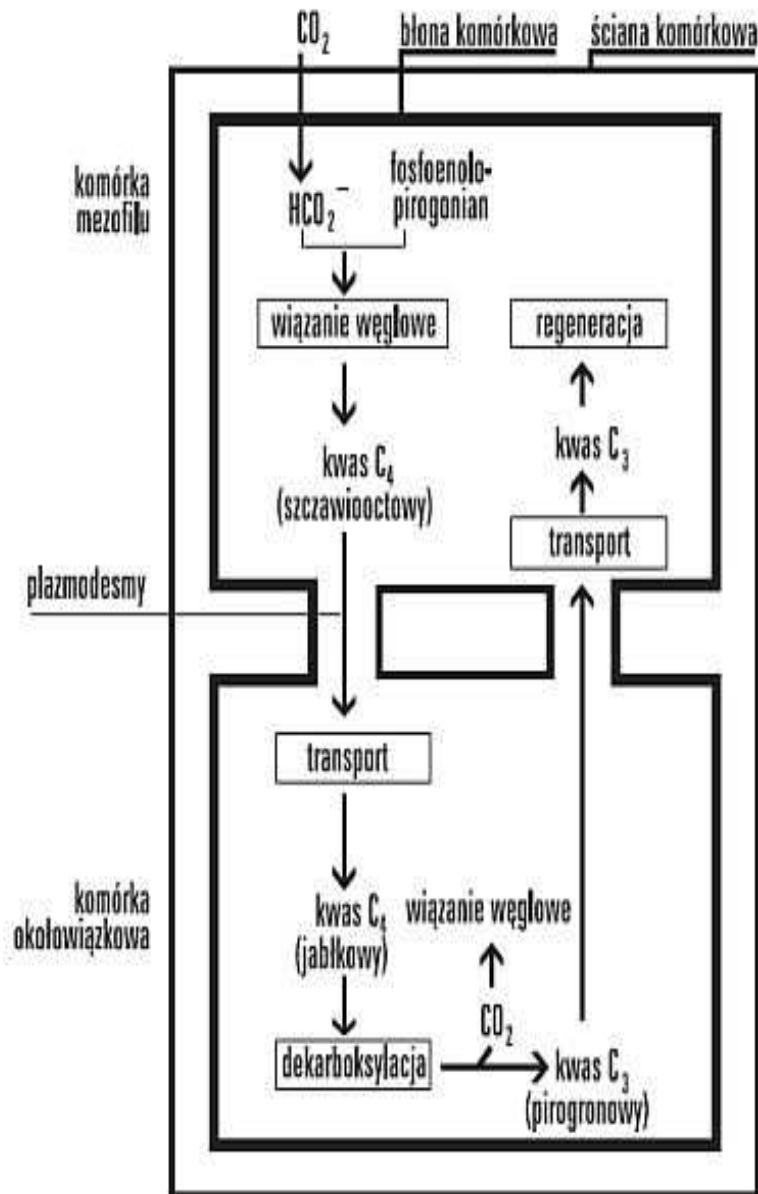
2. RUDP

etap 1 – w mezofilu

-etap 2 - w komórkach pochwy wiązkowej

- Do roślin typu C4 zaliczamy: trawy (np. kukurydzę, trzinę cukrową, sorgo), wilczomlecze, astry, stokrotki, szarłaty i wiele innych.
- Rośliny żyjące w środowiskach suchych dzięki szczególnym szlakom metabolicznym rozwiązały problem **swobodnej dyfuzji CO₂, bez nadmiernej utraty wody**. Ograniczyły konieczność otwierania aparatów szparkowych w ciągu dnia, gdy temperatura jest wysoka. Plony roślin uprawnych typu C4 są 2- lub 3-krotnie większe niż roślin C3; rośliny te szybko rosną i są bardzo ekspansywne.
- Rośliny typu C4 mają inną budowę liścia. Miększ asymilacyjny nie jest zróżnicowany na palisadowy i gąbczasty, lecz tworzą go komórki różnokształtne, luźno ułożone, wypełniające przestrzeń między skórą górną i dolną, **tzw. mezofil C4**, obok nich występują szczególnie zbudowane komórki pochwy wokółwiązkowej (otaczają nerwy liściowe), **tzw. pierścień komórek okołowiazkowych**. W mezofilu C4 zachodzi wiązanie i magazynowanie CO₂ oraz etap wstępny szlaku fotosyntezy roślin C4, natomiast w komórkach pochwy okołowiazkowej zachodzi cykl Calvina.

- W szlaku C₄, zwanym **szlakiem Hatcha/Slacka**, pierwszym produktem wiązania CO₂ jest związek 4-węglowy – **kwas szczawiooctowy** (dwutlenek węgla przyłącza się do akceptora – fosfoenolopirogronianu). Szczawiooctan przekształcany jest w jabłczan. Jabłczan przenika do komórek pochwy okołowiązkowej, gdzie następuje jego dekarboksylacja i powstaje pirogronian (związek trójwęglowy) i CO₂. Dwutlenek węgla jest wiązany w cyklu Calvina, a pirogronian wraca do komórek mezofilu, gdzie następuje jego regeneracja do fosfoenolopirogronianu, i ponownie stanowi pierwotny akceptor dwutlenku węgla.



W szlaku C_4 , zwanym **szlakiem Hatcha/Slacka**,

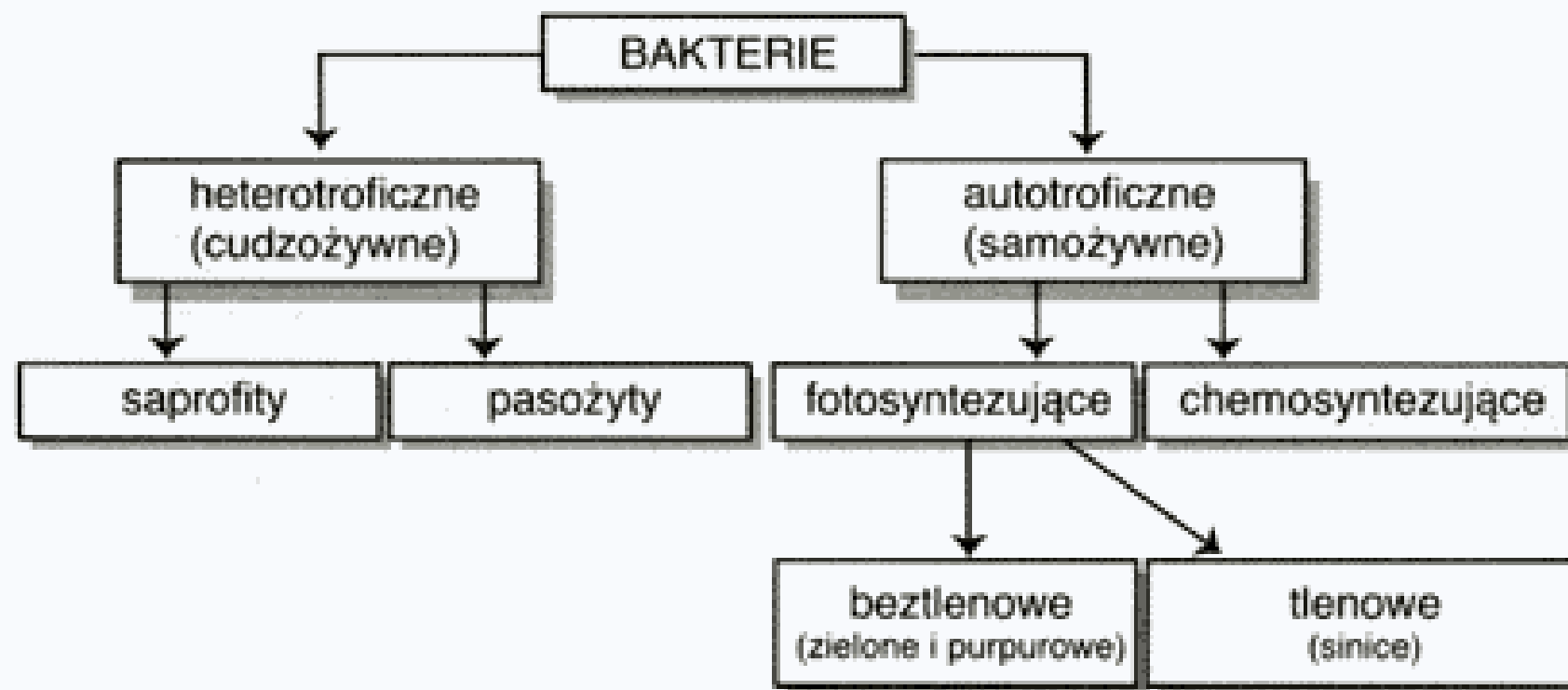
pierwszym produktem wiązania CO_2 jest związek **4-węglowy – kwas szczawiooctowy** (dwutlenek węgla przyłącza się do akceptora – fosfoenolopirogronianu).

Szczawiooctan przekształcany jest w jabłczan. Jabłczan przenika do komórek pochwy okółowiązkowej, gdzie następuje jego dekarboksylacja i powstaje pirogronian (związek trójwęglowy) i CO_2 . Dwutlenek węgla jest wiązany w cyklu Calvina, a pirogronian wraca do komórek mezofilu, gdzie następuje jego regeneracja do fosfoenolopirogronianu, i ponownie stanowi pierwotny akceptor dwutlenku węgla.

FOTOODDYCHANIE, fotorespiracja, proces zachodzący przy udziale światła, polegający na pobieraniu tlenu i wydzielaniu dwutlenku węgla przez komórki niektórych roślin fotosyntetyzujących; fotooddychanie zależy od stężenia tlenu w atmosferze, przebiega w chloroplastach, peroksysomach (specjalne organelle komórkowe) i w mitochondriach; fotooddychanie występuje u roślin wiążących dwutlenek węgla podczas **fotosyntezy** za pośrednictwem cyklu Calvina (tzw. rośliny C-3); u roślin tych rybulozo-1,5-bisfosforan (RuBP) może reagować jednocześnie z dwutlenkiem węgla (fotosynteza) i tlenem (fotooddychanie); między obu procesami ustala się równowaga zw. kompensacyjnym punktem dwutlenku węgla, wartość jego (wyrażona w μl wydzielonego dwutlenku węgla na 1 l tlenu) jest liniową funkcją stężenia tlenu w atmosferze; w wyniku fotooddychania RuBP w chloroplastach ulega utlenieniu i powstaje kwas fosfoglikolowy, który po odszczepieniu nieorg. fosforu (przy udziale odpowiedniej fosfatazy) przekształca się w kwas glikolowy, kwas ten dyfunduje do peroksysomów i w reakcji katalizowanej przez oksydazę glikolanową tworzy glioksalan; glioksalan pod wpływem odpowiedniej aminotransferazy ulega aminacji z wytworzeniem aminokwasu — glicyny, która penetruje do mitochondriów, gdzie na skutek jej dekarboksylacji i deaminacji powstaje seryna oraz wydzielą się dwutlenek węgla i amoniak; seryna w wyniku szeregu enzymatycznych reakcji z udziałem $\text{NADP}\cdot\text{H}$ i ATP zostaje włączona w cykl Calvina; fotooddychanie stanowi jałowy przebieg węgla w przemianach kwasu glikolowego, połączony ze zużyciem siły asymilacyjnej (ATP , $\text{NADP}\cdot\text{H}$) fotosyntezy, co powoduje obniżenie jej wydajności; stwierdzono, że rośliny, u których fotooddychanie nie występuje wykazują wyższe plony (w klimacie umiarkowanym większość roślin uprawnych z wyjątkiem np. kukurydzy i prosa); fotooddychanie może być korzystne dla roślin w warunkach stresowych, tj. przy dużym natężeniu światła i niedoborze wody, gdyż zużywając nadmiar siły redukcyjnej ($\text{NADP}\cdot\text{H}$) zapobiega uszkodzeniu aparatu fotosyntetycznego.



Fotosynteza bakteryjna



Rys. IV.5. Sposoby odżywiania się bakterii

Bakterie fotosyntezujące zawierają chlorofil (sinice) lub bakterio-chlorofil (pozostałe) oraz karotenoidy. Duża liczba tych ostatnich, o zabarwieniu czerwonym i brązowym, może prowadzić do zamaskowania zielonego bakteriochlorofilu, jak dzieje się to u bakterii purpurowych. Sinice przeprowadzają fotosyntezę w sposób podobny do roślin, tzn. z udziałem wody jako źródła atomów wodoru, a co za tym idzie - z wydzielaniem tlenu. U bakterii zielonych i bakterii purpurowych źródłem atomów wodoru mogą być różne związki nieorganiczne lub organiczne. Często związkiem takim jest siarkowodór (nieorganiczny, H_2S), a produktem powstającym po odebraniu wodoru - czysta siarka.

Rożnice pomiędzy fotosynteza bakteryjną i zachodzącą u Eucaryota :

1. U bakterii występuje inny barwnik zielony tzw. **Bakteriochlorofil**
2. U bakterii nie zachodzi proces fotofosforylacji niecyklicznej.
3. Występuje u nich tylko fotofosforylacja cykliczna.
4. Fotosynteza bakteryjna zachodzi w warunkach beztlenowych (anaerobowych)
5. W fotosyntezie bakteryjnej nie zachodzi fotoliza wody, Źródłem (donorem) elektronów redukujących bakteriochlorofil są inne związki takie jak siarkowodór, siarka, tiosiarczany czy wodór.



Wykorzystywanie energii świetlnej do syntezy ATP bez udziału chlorofilu - bakterie halofilne

Istnieją bakterie, które oprócz energii uzyskiwanej z oddychania tlenowego mogą wychwytywać energię słoneczną. Bakterie te nie przeprowadzają fotosyntezy, a uzyskana energia uzupełnia braki w okresach niedoboru tlenu w środowisku.



Halobacterium.

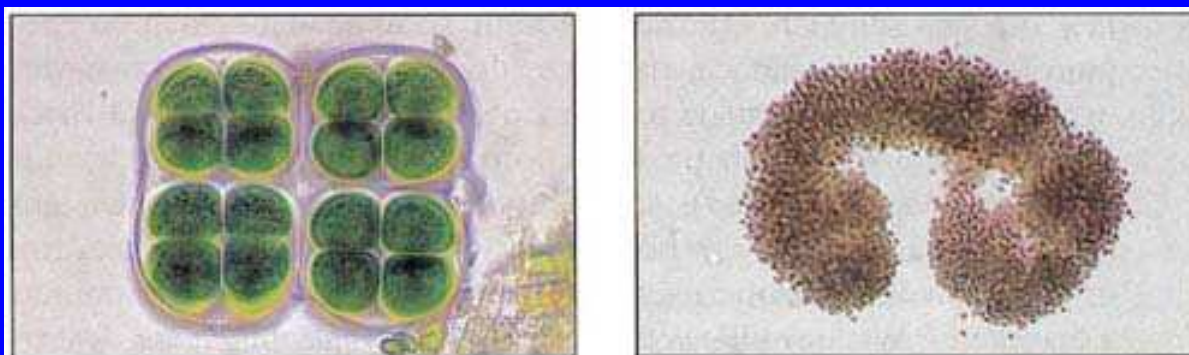
Bakterie te żyją w silnie zasolonych zbiornikach wodnych (halofile). Na powierzchni ich komórek występuje warstwa zbudowana z białka **bakterio-rodopsyny** połączona ze światłoczułym barwnikiem **retinalem**.. Podobna struktura występuje w siatkówce oka człowieka (purpura wzrokowa - rodopsyna). Naświetlenie warstwy **bakteriorodopsyny** powoduje oderwanie od niej protonów i uwolnienie ich na zewnątrz komórki. Powstaje w ten sposób duży potencjał chemoosmotyczny. Protony wracając do komórki przechodzą przez cząsteczkę syntetazy ATP, co powoduje powstawanie ATP.

Fosforylacja zachodząca u halofilnych bakterii może być trzecim, oprócz fosforylacji cyklicznej i niecyklicznej przykładem fosforylacji wykorzystującej światło jako źródło energii.

Sinice – najdoskonalsze autotrofy świata

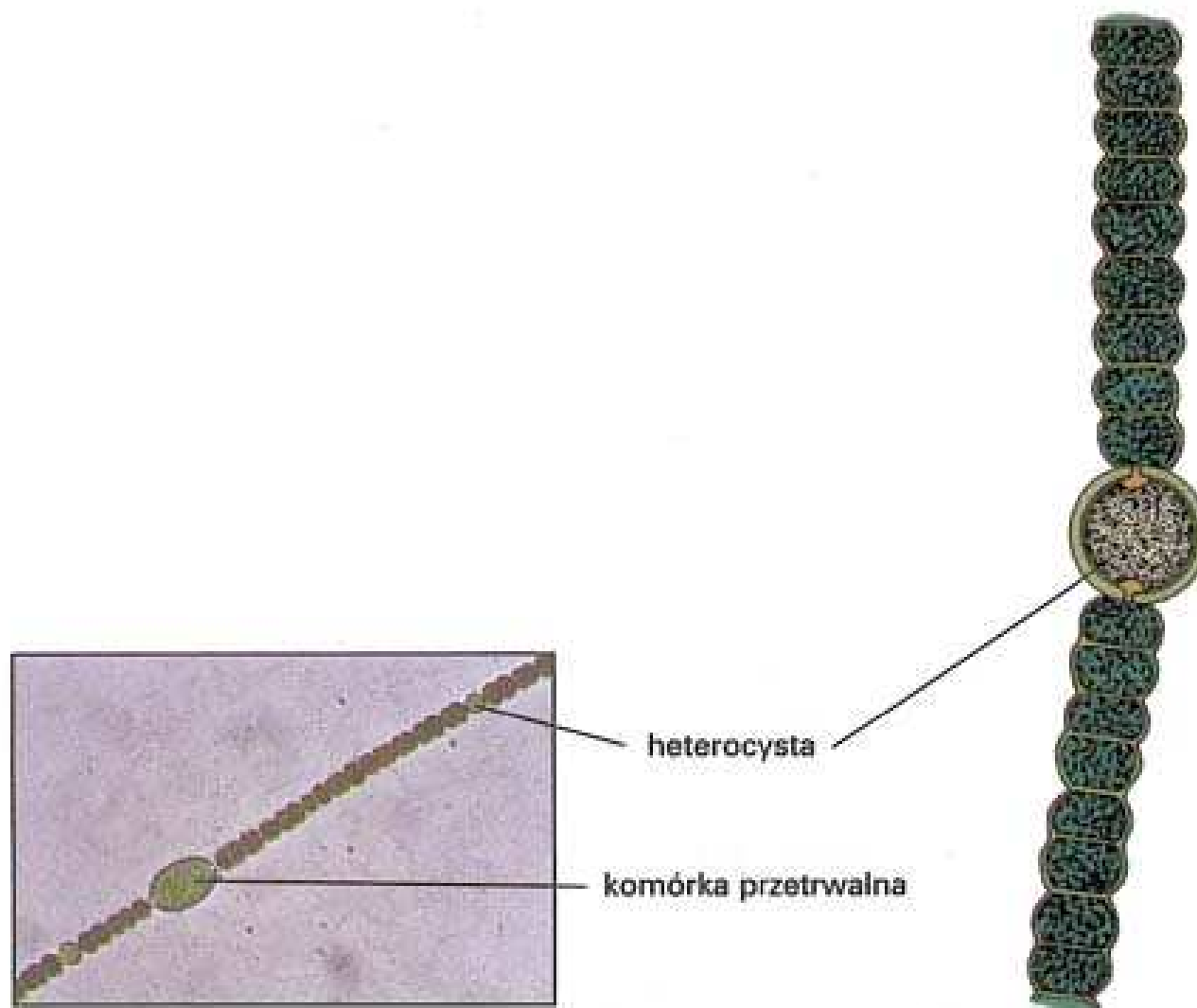


Sinice żyją w postaci jednokomórkowej lub mogą tworzyć kolonie, które powstają w ten sposób, że komórki po podziale nie rozchodzą się, lecz pozostają w skupieniach, połączone wydzielanym śluzem. Niektóre tworzą proste lub rozgałęzione wielokomórkowe nici.



Fot. IV.1. i IV.2. Przykłady kolonii sinic (fot. H. Szymańska)

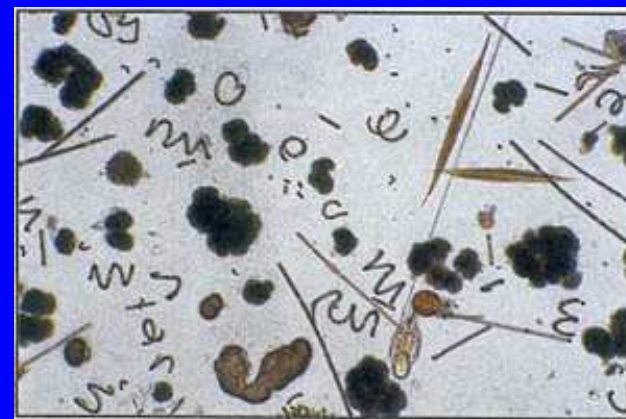
Mogą one poruszać się ruchem ślizgowym po podłożu lub wykonywać wahadłowe ruchy górnym końcem ciała, podczas gdy drugi jest przytwierdzony do podłoża. Wiele sinic potrafi wiązać wolny azot z powietrza; funkcję tę spełniają specjalne komórki zwane **heterocystami**. Zawierają one zestaw enzymów niezbędnych do przeprowadzenia tego procesu. Sinice rozmnażają się wegetatywnie przez podział komórek lub rozerwanie nici. Wiele z nich tworzy specjalne **komórki przetrwalne**, które po okresie spoczynku zaczynają się dzielić, dając początek nowej kolonii. Dotychczas nie stwierdzono u sinic żadnej formy rozmnażania płciowego



Fot. IV.3, rys. IV.9. Nitkowata sinica z heterocystą i komórką przetrwalną
(fot. H. Szymańska)

Sinice są prawdziwymi pionierami świata organicznego. Mogą osiedlać się w najbardziej niegościnnych środowiskach. Najczęściej żyją w wodach słodkich, rzadziej można je spotkać w morzach. Występują w glebie, na skatach, na korze drzew, na lodowcach, a nawet w gorących źródłach, gdzie temperatura może dochodzić do $+70^{\circ}\text{C}$. Niektóre gatunki wchodzą w skład porostów, żyją w symbiozie z wodnymi paprociami (*Azolla*), sagowcami, wątrobowcami i glewikami. Niektóre, w postaci tzw. cyanelli, wnikają do komórek organizmów heterotroficznych, np. współżyją z korzenionózkami lub z orzęskami

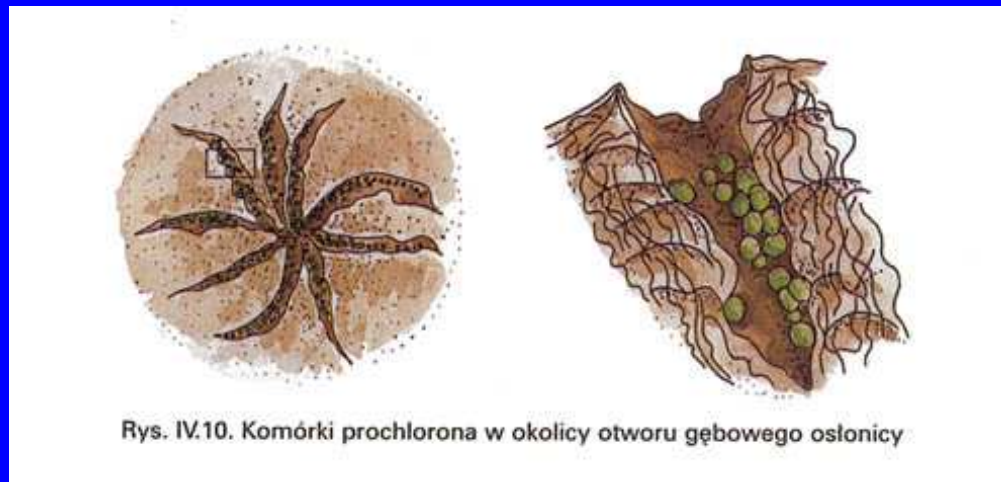
Wiele słodkowodnych sinic, takich jak *Anabaena*, *Microcystis* czy *Aphanizomenon*, pojawia się masowo tworząc tzw. zakwity wody. .
Dzieje się tak, gdy wody, w których żyją, są bardzo bogate w związki pokarmowe, zwłaszcza w fosfor. Typowym czasem zakwitów sinicowych jest późne lato. Miliony kolonii tych bakterii, unosząc się w wodzie, tworzą gęstą sinozieloną zupe; zużywają całkowicie tlen zawarty w wodzie, mogą też wydzielać trujące substancje, powodując nierzadko śmierć ryb, a czasem też ssaków wodnych. Sinice mogą być też pożyteczne. Gatunki, które mają zdolność wiązania wolnego azotu z powietrza, są wprowadzane do gleby jako nawóz. W Indiach udało się dzięki temu podnieść plony ryżu o około 15 - 20%.



Fot. IV.4. Zakwit sinicowy
(fot. H. Szymańska)

W przybrzeżnych wodach ciepłych mórz żyje zwierzę zwane osłonicą (Tunicata). W 1977 roku odkryto w jej ciele drobne kuliste komórki. Okazało się, że jest to bakteria; nazwano ją prochloronem. Ma ona budowę podobną do sinic, z jedną bardzo ważną różnicą - w jego cytoplazmie zawarty jest chlorofil a i b, podobnie jak w chloroplastach roślin lądowych.

To znalezisko potwierdziło istnienie prokariotycznych organizmów, których przodkowie mogli wnikać do bliżej dziś nieznanych cudzożywnych organizmów eukariotycznych i przekształcić się w ich chloroplasty.



Sinice - podsumowanie

- Sinice są organizmami prokariotycznymi.
- Ich komórki zawierają barwniki: chlorofil, fikocjan, fikoerytrynę.
- Fotosyntetyzują i oddychają tlenowo
- Niektóre chemosyntetyzują
- Wiażą wolny azot z powietrza..
- Nie rozmnażają się płciowo.
- Gromadzą materiały zapasowe w postaci skrobi.
- Żyją w postaci jednokomórkowej lub tworzą kolonie.
- Są pospolite we wszelkich wodach słodkich, zwłaszcza zanieczyszczonych.
- Mogą pojawiać się masowo, tworząc tzw. zakwity.

Chemosynteza



CHEMOSYNTENZA [gr.], biochemiczny proces przyswajania analogiczny do **fotosyntezy**, lecz zachodzący bez udziału światła, kosztem energii chemicznej uzyskiwanej z procesu utleniania tlenem atmosferycznym . prostych substancji nieorganicznych, jak wodór, siarka, siarkowodór, amoniak, lub organicznych, jak metan; uzyskana w tych procesach energia pozwala organizmom na związanie dwutlenku węgla i wody, i syntetyzowanie z nich własnych związków organicznych; do chemosyntezy są zdolne nieliczne gat. bakterii, zw. chemoautotrofami, z których najważniejsze to: 1) bakterie wodorowe, utleniające wodór cząsteczkowy do wody, 2) bakterie siarkowe, utleniające siarkowodór, siarkę i tiosiarczany do siarczanów, 3) bakterie nitryfikacyjne, utleniające amoniak, sole amonowe i azotyny do azotanów (**nitryfikacja**), 4) bakterie żelazowe, utleniające jony żelaza Fe^{2+} do jonów Fe^{3+} . Proces chemosyntezy odgrywa ważną rolę w krążeniu pierwiastków w przyrodzie, a także w tworzeniu się niektórych złóż, np. azotanów (saletry), rud żelaza, manganu.

Chemosynteza.

Etap I. Utlenienie związku nieorganicznego i uzyskanie energii.



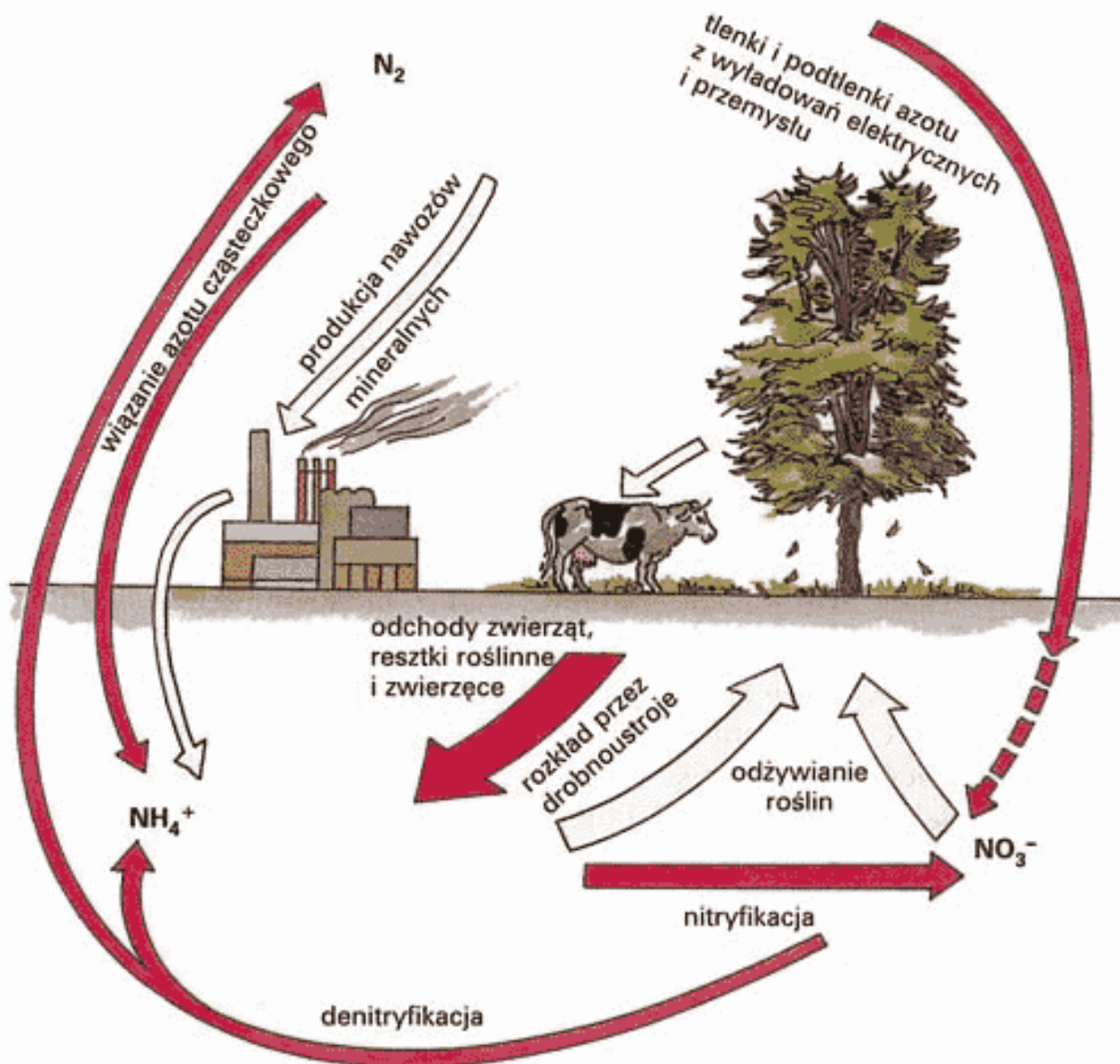
Etap II. Synteza związków organicznych.



Bakterie chemosyntetyzujące

Bakterie chemosyntetyzujące wykorzystują jako źródło energii do syntezy związków organicznych reakcje utleniania związków nieorganicznych, np. amoniaku, azotynów czy siarczynów.

Grupa bakterii	Utleniają	Do
utleniające związki amonowe /np. <i>Nitrosomonas</i> /	NH_4^+	NO_2^-
utleniające azotyny /np. <i>Nitrobacter</i> /	NO_2^-	NO_3^-
siarkowe /np. <i>Thiobacillus</i> /	H_2S , S, SO_3^{-2}	S, SO_3^{-2} , SO_4^{-2}
wodorowe /np. <i>Pseudomonas facilis</i> /	H_2	H_2O



Rys. IV.8. Udział bakterii w obiegu azotu w przyrodzie
(W. J. H. Kunicki-Goldfinger, 1994)

NITRYFIKACJA [łac.], *biochem.* proces utleniania amoniaku oraz soli amonowych (amonifikacja) do azotynu, a następnie do azotanu, dokonywany przez samożywne (**chemolitotroficzne**) bakterie glebowe, które wykorzystują energię wytwarzaną w nitryfikacji do biosyntezy związków org. z dwutlenku węgla i wody; przebiega dwustopniowo: utlenianie amoniaku do azotynów przeprowadzają nitrozobakterie (z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrococcus*), a azotyny do azotanów utleniają nitrobakterie (z rodzaju *Nitrobacter*); jeden z podstawowych procesów obiegu azotu w przyrodzie; wytworzone w glebie azotany mogą być przyswajane przez rośliny, redukowane w procesie denitryfikacji bądź wypłukiwane przez wodę; nitryfikacja w klimacie gorącym i bezdeszczowym prowadzi do powstawania złóż azotanów (saletra chilijska); w XVII i XVIII w. n. była wykorzystywana przy wyrobie prochu strzelniczego.

DENITRYFIKACJA [łac.], redukcja azotanów do amoniaku (denitryfikacja częściowa) lub azotu cząsteczkowego (denitryfikacja całkowita) zachodząca w warunkach beztlenowych pod wpływem niektórych gat. bakterii glebowych i wodnych (zw. denitryfikatorami), np. *Micrococcus denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans*; końcowy etap oddychania beztlenowego, w którym azotany są akceptorem atomów wodoru; denitryfikacja całkowita jest jednym z ogniw obiegu azotu w przyrodzie; nie jest korzystna dla rolnictwa, gdyż zuboża glebę w przyswajalny dla roślin azot; użyteczna przy biol. oczyszczaniu ścieków o dużej zawartości azotanów.