

Rysunek 3. Fotofosforylacja cykliczna w roślinach zielonych. Strzałki na diagramie pokazują kolejność, a nie przebieg reakcji fotosyntezy, który opisano w tekście

Fotofosforylacja cykliczna

Kiedy wartość stosunku $\text{NADPH}/\text{NADP}^+$ jest duża, a dostępność NADP^+ dla elektronów mała, zostaje wykorzystany alternatywny szlak transportu elektronów, w skład którego wchodzi tylko PSI i kilka przenośników elektronów (rys. 3). Tutaj elektron o wysokiej energii jest przenoszony przez ferredoksynę do kompleksu cytochromów *bf* zamiast do NADP^+ . Następnie elektron przepływa do plastocyaniny i z powrotem do P700 w PSI. Gradient protonowy wytworzony przez kompleks cytochromów *bf*, który jest pompą H^+ , napędza syntezę ATP. W przebiegu **fotofosforylacji cyklicznej** powstaje więc ATP, ale nie tworzy się NADPH. Co więcej, ponieważ PSII nie bierze w tym udziału, nie zachodzi także wytwarzanie O_2 .

Podsumowując, gdy transport elektronów działa w sposób niecykliczny, to znaczy z udziałem PSI i PSII, syntetyzowany jest ATP i tworzy się NADPH. Natomiast w cyklicznym transporcie elektronów produktem jest wyłącznie ATP.

Fotosynteza u bakterii

Sinice, tak samo jak rośliny zielone, przeprowadzają fotosyntezę, posługując się dwoma fotosystemami. Natomiast inne bakterie fotosyntetyzujące, na przykład

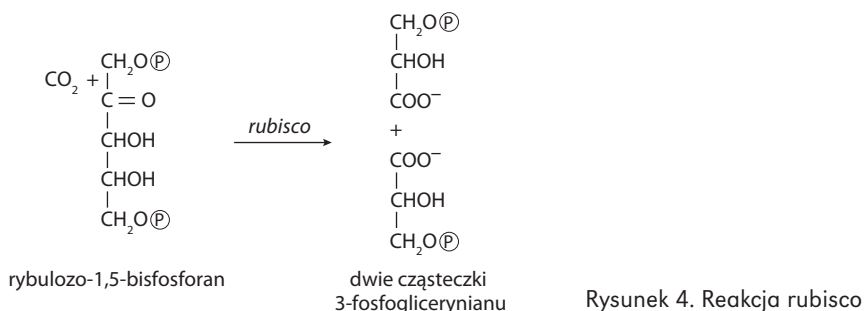
fotosyntetyzujące bakterie purpurowe *Rhodospirillum rubrum*, mają tylko jedno centrum reakcji fotosyntetycznej. Prowadzi ono cykliczny transport elektronów, który generuje gradient protonowy i dlatego bakterie te mogą syntetyzować ATP (fotofosforylacja cykliczna).

Alternatywnie, efektem niecyklicznego transportu elektronów, w którym elektrony z cytochromów przechodzą do NAD^+ (zamiast do NADP^+ jak w roślinach zielonych), jest tworzenie NADH. Dawcą elektronów jest na przykład siarkowodór (H_2S), który dostarcza siarki (S). Niektóre bakterie fotosyntetyzujące również używają jako donorów elektronów wodór w postaci gazu (H_2) oraz różne związki organiczne. Ponieważ woda *nie* jest wtedy wykorzystywana jako donor elektronów, nie dochodzi do wytwarzania tlenu.

Reakcje ciemne

Reakcje ciemne (nazywane również **reakcjami wiązania węgla**) wykorzystują ATP i NADPH, wytwarzane w reakcjach świetlnych, do przekształcania dwutlenku węgla w węglowodany. Końcowymi produktami są sacharoza i skrobia.

Kluczową reakcją wiązania węgla katalizuje duży enzym o nazwie **karboksylaza rybulozo-bisfosforanowa** (często nazywany w skrócie **rubisco**), który jest umiejscowiony w stromie. W reakcji tej zachodzi kondensacja cząsteczki CO_2 z **rybulozo-1,5-bisfosforanem** (cząsteczka pięciowęglowa), w wyniku której tworzy się sześciowęglowy produkt pośredni, szybko hydrolizujący do dwóch cząsteczek 3-fosfoglicerynianu (rys. 4).



Rysunek 4. Reakcja rubisco

Rubisco jest bardzo powolnym enzymem, który w ciągu jednej sekundy wiąże tylko trzy cząsteczki substratu, dlatego też każda roślina potrzebuje dużych ilości tego enzymu. Zazwyczaj ilość rubisco stanowi mniej więcej 50% całkowitej zawartości białek w chloroplastie. Prawdopodobnie jest to najliczniej występujące białko na Ziemi!

Reakcja rubisco stanowi część cyklu reakcji nazwanych **cyklem Calvina**, w których zachodzi regeneracja rybulozo-1,5-bisfosforanu (przygotowanie do wiązania następnego CO_2) i utworzenie netto aldehydu 3-fosfoglicerynowego potrzebnego do syntezy