



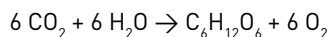
# Nejdůležitější odpad na Zemi

Bez vedlejšího produktu fotosyntézy by se pozemský život jen stěží rozvinul

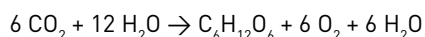
MILADA TEPLÁ

Fotosyntéza je jedním z nejdůležitějších pochodů spojených s existencí života na Zemi. Jde o proces, při kterém vzniká plyn pro organický život zcela zásadní – vzdušný kyslík.

Reakce fotosyntézy by se daly shrnout do sumární reakce, kterou jistě známe již ze základní školy:



Ovšem tak jednoduché a přímočaré to ve skutečnosti není. Poněkud přesněji tento poměrně komplikovaný proces vystihuje sumární reakce:



Tento reakční zápis lépe poukazuje na to, že „zdrojem“ atomů kyslíku použí-

tých pro tvorbu molekulárního kyslíku je pouze voda, a nikoli oxid uhličitý, jak by se mohlo z prvního zápisu sumární reakce zdát. Celkově je tedy na vznik 6 molekul kyslíku zapotřebí 12 molekul vody.

Ovšem i tato sumární rovnice v sobě zahrnuje mnoho dílčích, a jak to u živých organismů často bývá i komplikovaných chemických reakcí. Především z ní není zřejmé, proč během fotosyntézy dochází k tak energeticky nevýhodnému procesu, jakým je rozklad vody za vzniku molekulárního kyslíku.

## SLUNEČNÍ ENERGIE

Každé malé dítě ví, že rostliny potřebují zalévat a mít příjem denního světla. Nutná přítomnost vody je patrná již ze sumární reakce fotosyntézy – z vody

vzniká onen pro život nepostradatelný kyslík. Ale proč slunce?

Paprsek světla obsahuje proud fotonů, které dopadají na rostliny a pronikají až do organel, které se nazývají chloroplasty. V těchto organelách se vyskytují útvary zvané thylakoidy, které jsou tvořeny thylakoidní membránou obsahující fotosystémy. Jaké molekuly se však skrývají pod těmito odbornými názvy?

Jádrům celého fotosystému jsou dvě skupiny barevných organických molekul – chlorofyly (zelené) a karotenoidy (žlutooranžové) –, které jsou zabudovány do proteinové struktury. Tato barviva jsou zodpovědná za zbarvení rostlin. Chlorofyly mají za určitých podmínek i jiné zajímavé vlastnosti, jako je třeba fluorescence, tedy schopnost určité světlo

◀ **Deštný prales je jedním ze zdrojů vzdušného kyslíku. Jeho plocha se však vlivem lidské činnosti neustále zmenšuje.**

Foto Petr Jan Juračka

pohlit a okamžitě jej mírně pozměněné zase vyzářit. Takové vlastnosti má i pro fotosyntézu nejdůležitější z těchto barviv – chlorofyl *a*. Ten totiž v komplexu se speciálním proteiny umí to, co ostatní barviva v rostlinách nedokážou – přeměnit energii světla na energii chemickou.

### CHLOROFYL A FOTON

Zelené rostliny mají v thylakoidních membránách dva typy fotosystémů – PS I a PS II. Jejich číselné označení je dáno historicky – nejprve byl objeven PS I. PS II ovšem do procesu přeměny světelné energie na energii chemickou vstupuje jako první. V reakčním centru tohoto fotosystému jsou molekuly chlorofylu *a*, které jsou schopny pohltit foton a většinu jeho energie použít na svou excitaci (nabuzení) do vyššího energetického stavu.

Takto excitovaná molekula barviva se stává velmi silným redukčním činidlem, které ochotně poskytne jeden ze svých elektronů další molekulám a předává svůj elektron přenašeči za vzniku kationtu (chlorofyl *a* + foton → chlorofyl *a*<sup>+</sup> + e<sup>-</sup>). Chlorofyl pak přijme nový elektron z vody.

Pro lepší představu doporučujeme zhlédnout interaktivní animace dostupné na webové stránce <http://www.studiumbiochemie.cz/fotosynteza.html>.

### VEDLEJŠÍ PRODUKT

Jak už bylo zmíněno, kladně nabitý chlorofyl *a* ve fotosystému II je velmi silným

▶ **Rostlinná buňka a struktura chloroplastu.** Ilustrace M. Těplá

oxidačním činidlem (silnějším než kyslík!) a „touží po elektronu“. Ten mu „ochotně“ poskytne v buňce vždy přítomná molekula vody, která se rozkládá za vzniku elektronů, protonů a kyslíku ( $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ [\text{proton}] + 4\text{e}^- [\text{elektron}] + \text{O}_2$ ). Proces se nazývá fotolýza vody a kyslík, který během tohoto procesu vzniká, je uvolňován z rostlin do atmosféry. Je to vlastně odpadní produkt fotosyntézy.

### ELEKTRON PLNÝ SÍLY

Vraťme se znovu k energeticky bohatému elektronu poskytnutého z chlorofylu *a*. Ten putuje přes několik přenašečů a současně pomáhá celému komplexu přečerpávat protony přes membránu do mezimembránového prostoru thylakoidu a přitom také postupně ztrácí svou energii.

Zvládne přečerpat asi osm protonů, než jeho energie klesne natolik, že bude potřebovat další nabuzení, aby mohl buňce znovu posloužit. K jeho excitaci může dojít, když doputuje na další molekulu chlorofylu *a*, která je tentokrát vázána do PS I. Zachytí-li tento komplex další foton, molekula chlorofylu *a* je schopná se excitovat, čímž zároveň dochází ke zvýšení standardního redoxního potenciálu.

Doputují-li dva elektrony excitované z PS I do ještě jednoho enzymového komplexu

nacházejícího se v chloroplastu, dojde ke vzniku důležité pomocné látky – NADPH (tzv. redukčního kofaktoru). Ta, má-li jí buňka dostatek, pak slouží v dalších krocích, např. k syntéze sacharidů.

### ŽÁDNÉ PLÝTVÁNÍ

Přírodní procesy jsou vždy velmi efektivní a úspěšné. Reakce, ke kterým dochází při přenosu elektronu z jednoho PS na druhý, jsou využity k přenosu protonů z vnějšíku thylakoidu do lumenů thylakoidu, kde se tak snižuje pH (koncentrace protonů se zvyšuje). Z hlediska elektrochemického potenciálu je to, jako by se napouštěla přehrada. Takto vzniklý „elektrochemický gradient“ je pak pomocí membránového enzymu (ATP syntázy), který se díky zpětnému toku protonů z lumenů thylakoidu otáčí podobně jako turbína, využit na tvorbu univerzální energetické měny – makroergické sloučeniny ATP (adenosintrifosfátu).

Produkty primární fáze fotosyntézy (molekuly ATP a NADPH) jsou využity v sekundární fázi fotosyntézy. NADPH působí jako redukční činidlo k redukcí anorganického CO<sub>2</sub> na organické molekuly a ATP působí jako makroergická sloučenina, která svým rozkladem dodává těmto procesům energii. ●

AUTORKA PRACUJE NA KATEDŘE UČITELSTVÍ  
A DIDAKTIKY CHEMIE

