
HMOTA, ENERGIA A ENTROPIA

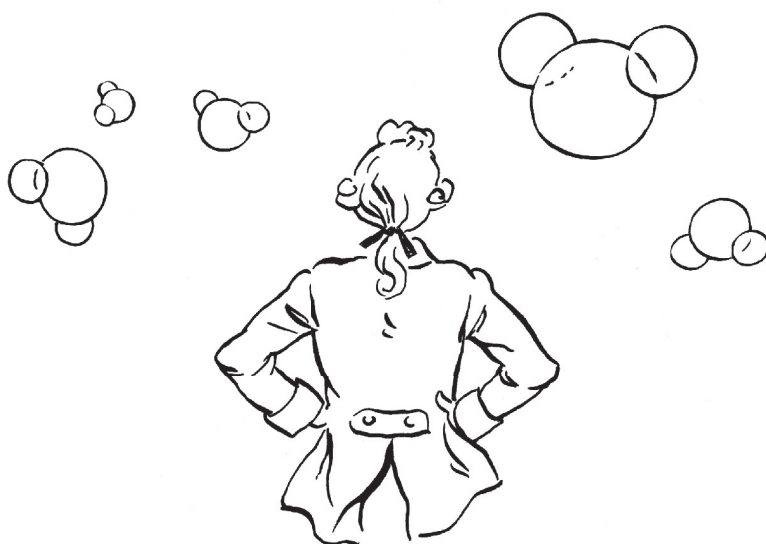
ČO VYRÁSTLO Z ORIEŠKA

Chemik v čase alchymistov

Zovšedneli nám fascinujúce veci. Lietajúcich ľudí berieme ako niečo mýtické, pritom nám v lietadlách preletia nad hlavami stovky ľudí denne. Kúznici v legendách dokážu pozeráť do minulosti. To však vieme aj my, pri pohľade na nočnú oblohu hľadíme tisícročia nazad. V rozprávke *O troch orieškoch pre Popolušku* sú všetci v údive, keď z orieška vyrástli šaty. Nie je oveľa fascinujúcejšie, že z orieška dokáže vyrásť strom? Ja viem, nuda! Čo má byť na tom, že z orieškov, žaluďov a bukvic rastú stromy, na to predsa sú, no nie? Poviem vám teda o jednom geniálnom experimente, ktorý spravil chemik Jan Baptist van Helmont.

Označenie chemik berte, prosím, s rezervou. Van Helmont žil v časocho, keď sa týmto ľuďom hovorilo inak, volali sa alchymisti. Pôsobil totiž v Európe na prelome 16. a 17. storočia. Bol to typ človeka, pri ktorom rozmýšľate, na čo všetko by došiel, keby sa narodil o pár storočí neskôr. Geniálna myseľ, ktorá však pracovala s – už čoskoro – zastaranými predstavami.

Van Helmont bol jedným z prvých experimentátorov vôbec. Zastával názor, že prírodu máme pozorovať a máme sa ju snažiť pochopiť. S takýmto postojom dokázal všelikoho našťvať. Napríklad ľudí, ktorí tvrdili, že veci v skutočnosti fungujú tak, ako vravia oni, a že sa v tom netreba zbytočne špárať. Alchymistov hneval svojím štúdiom kyselín, španielsku inkvizíciu zas snahou vysvetliť liečivé účinky svätých relikvií pomocou magnetizmu.



Van Helmont bol jednoducho typ človeka, ktorému zvedavosť nedovolila držať jazyk za zubami. A to bolo v tom čase nebezpečné.

Asi máloktorý alchymista prispel k rozvoju chémie – a teda aj ku koncu alchýmie – natoľko ako on. Stačí k tomu povedať jednu jedinú vec: vymyslel slovo plyn. V názve sa inšpiroval gréckym slovom *chaos*, čo je podobné anglickému *gas*. Uvedomil si, že vzduch nie je jediný plyn, čo existuje, plynov je veľa, niektoré z nich aj úspešne identifikoval. Za zmienku stojí napríklad oxid uhličitý, pri ktorom ukázal, že vzniká pri horení uhlia či kvasení muštu. To muselo byť prekvapivé, na prvý pohľad predsa ide o dva úplne odlišné javy! Samozrejme, tento plyn nevolal oxid uhličitý, také slová sa vtedy ešte nepoužívali, volal ho *gas sylvestre*. V tom čase ľudia začali premýšľať o existencii jednotlivých chemikálii. Napríklad poľský alchymista Michał Sędziwój opísal istú zložku vzduchu – kyslík – ako „potravu pre život“. O uhlíku zas francúzsky entomológ René Antoine Ferchault de Réaumur zistil, že je to tá vec, ktorú je potrebné pridať do železa, aby sa z neho stala oceľ. O niekoľko desaťročí sa oba tieto prvky, kyslík a uhlík, podarilo jednoznačne identifikovať. Dva atómy kyslíka a jeden atóm uhlíka spolu tvoria molekulu oxidu uhličitého, alebo ako by povedali ľudia v tom čase, tvoria spolu *gas sylvestre*. V podstate hmoty sa začínal rysovať systém!

Van Helmont nemal problém spochybňovať zabehnuté predstavy. Napríklad, panoval názor, že trávenie potravy prebieha vďaka „vnútornému telesnému teplu“. To mu však nesedelo, ako by potom mohli tráviť chlad-

nokrvné živočíchy? Pomocou experimentov s rôznymi tekutinami v ľudskom tele ukázal, že trávime pomocou kyselín, a jeho myšlienky o konkrétnych detailoch tohto procesu nemali ďaleko od dnešných predstáv o fungovaní enzýmov. Vďaka jeho synovi mu posmrtné vyšla publikácia *Ortus Medicinæ*, teda *Pôvod medicíny*. Už je jasné, že šlo o génia a priekopníka najvyššej triedy. A to sme sa ešte nedostali k jeho najslávnejšiemu pokusu.

Čo jedia stromy?

Položili ste si niekedy otázku, z čoho vlastne rastú stromy? Ľudia rastú z jedla. Keď niečo zjeme, časť z toho sa v našom tele zachytí a premení, napríklad na svaly. Čo musí zjesť strom na to, aby vyrástol do svojich majestátnych rozmerov? Skúsme na to ísť vylučovacím spôsobom. Bez čoho strom neprežije? Ak nemáte skúsenosti so stromami, stačia aj bytové rastliny. Na čo nemôžete zabudnúť, ak chcete svoju obyčajnú domácu rastlinku udržať pri živote? Musíte ju do niečoho zasadiť, teda potrebuje pôdu. Zároveň ju musíte umiestniť na svetlé miesto a pravidelne polievať. Okrem pôdy teda potrebuje aj svetlo a vodu. Občas ju treba aj pohnojiť, ale ruku na srdce, väčšina z nás môže dosvedčiť, že bez toho rastlinka chvíľu vydrží.

Máme tri ingrediencie, teda troch podozrivých: voda, pôda a svetlo. Čo z toho jedia stromy? Svetlo samo osebe nič neváži, to asi môžeme zo zoznamu škrtnúť – aj keď nejakú úlohu musí zohrávať, v pivnici nám totiž veľa kvetín nevyrastie. Zostávajú teda dve možnosti. Rastú rastliny z pôdy či z vody? V časoch van Helmonta si zopár ľudí myslelo, že správna odpoveď je voda. Poznali totiž vodné rastliny, ktoré nemusia mať korene zapustené v zemi.

Van Helmost sa však rozhodol overiť, či stromy naozaj nerastú z pôdy. Predsa len, ide o najlogickejšiu možnosť. Ako overil, či rastliny nerastú vstrebávaním pôdy? Už sme si povedali, že Van Helmont bol jedným z prvých experimentátorov. Okrem prvenstva mu však uznanie patrí aj za niečo iné, spravil totiž jeden z najkrajších experimentov vedy vôbec. Čo robí experiment pekným? Elegantný postup, ktorý vedie k nespochybniteľným záverom. A presne taký bol jeho legendárny pokus s vrbou.

Van Helmont zobral nádobu, niečo ako veľký kvetináč, dal do nej zeminu a zasadil malú vrbu. Predtým však veľmi dôkladne samostatne odvážil strom aj vysušenú zeminu. Vrbu potom pravidelne polieval a čakal. Čakal dlho, až päť rokov. Čakať nebolo také ťažké, keďže mu španielska inkvizícia udelila domáce väzenie, okrem iného aj za veci týkajúce sa vý-



skumu rastlín. Že využije domáce väzenie práve na pokusy s rastlinami, to asi nečakala ani španielska inkvizícia! O niekoľko rokov vybral zeminu z kvetináča, vysušil ju a znova presne odvážil. Rovnako odvážil aj značne podrastenú vrbu.

Ak by platilo, že stromy rastú absorbovaním pôdy, tak by jej malo ubudnúť približne toľko, koľko pribudlo vrbu. To sa však nestalo! Vrba pribrala približne 75 kilogramov, kým z pôdy ubudlo len niekoľko gramov! „Tadá,“ mohol nadšene zvolať, „stromy naozaj rastú z vody!“

Bola to krutá irónia osudu. Dobré úvahy, výnimočný experiment a správny záver, že stromy nerastú vstrebávaním pôdy. To všetko však viedlo len k inej nesprávnej odpovedi – stromy totiž nerastú ani z vody, aj keď ju na rast potrebujú. Ani tu sa irónia nekončí, naopak, naberá na obrátkach. Stromy, kríky, byliny, riasy či machy totiž rastú zachytávaním inej zlúčeniny. Presne tej, ktorú objavil práve Jan Baptist van Helmont! Rastú vďaka *gas sylvestre*, teda vďaka oxidu uhličitému.

Jeden cez druhého

Veľké objavy sa nedejú mávnutím čarovného prútika a zväčša nie sú dielom jediného človeka. Bežnejší je presne opačný scenár. Postupne pribúda dielik po dieliku, celkový obraz sa formuje niekedy nie roky či desaťročia, ale celé storočia. Ide o skupinové úsilie, aj keď sa celá skupina nikdy nestretla a jej jedinci sa navzájom často vnímali ako rivali – každý chce byť prvý, kto spraví veľký objav. Podobný scenár malo aj hľadanie odpovede na otázku, z čoho rastú rastliny. A aj keď ide o výsledok práce veľkej skupiny ľudí, dá sa vyzdvihnúť niekoľko výskumníkov, ktorí do mozaiky priložili najväčšie dieliky.

Prvého sme už spomenuli, Jan Baptiste van Helmont ukázal dve dôležité veci. Po prvé, že stromy nerastú z pôdy, po druhé, že nie je plyn ako plyn. Toto je niečo, čo nám v súčasnosti nepripadá nijak zvláštne, vzduch berieme ako zmes rôznych plynov, keď cítime nejaký zápach, povieme, že niečo je vo vzduchu, a nie, že sa so vzduchom niečo stalo. V minulosti však o vzduchu rozmyšľali ľudia trochu inak.

Joseph Priestley bol ďalší multitalentovaný vedec, ktorý publikoval viac ako 150 textov o elektrine, gramatike, teológii, politike či chémii – naozaj pestrá zmes. A akoby nestačilo, náhodou vymyslel aj perlivé nápoje! Super, nie? Priestley tvrdil, že pokrok vo vede je výsledkom kolektívneho úsilia, a nie práce niekoľkých géniov, aj keď on osobne slúžil ako vzorový príklad



opaku. V začiatkoch jeho kariéry boli známe len niektoré plyny, on ich objavil desať – okrem iných aj kyslík. Toľko k jeho skromnému vyjadreniu, že veda nestojí na pleciach niekoľkých gigantov. Keď nič iné, takýto šikovní ľudia jej pokrok výrazne urýchľujú.

Priestley prispel k výskumu rastlín pozorovaním, ktoré by sa ľahko dalo označiť za banálne. Keď zakryjete sviečku nádobou, napríklad hrnčekom, zhasne rýchlejšie. A zhasne dokonca aj napriek tomu, že jej zostáva dosť vosku. Dobre, poviete si, toto má byť taký veľký objav? A ako vlastne súvisí s rastlinami? Priestley používal zvláštny pojem, vravel, že horenie sviečky *poškodzuje* vzduch. A čo je horšie, rovnako *poškodzuje* vzduch aj dýchanie. Ak dáte do malej nádoby okrem sviečky aj malú myšku, sviečka zhasne rýchlejšie. A čo je smutnejšie, vyhasne aj život myšky. Horenie aj dýchanie podľa Priestleyho poškodzovalo vzduch. Ako toto súvisí s rastlinami? Jeho ďalšie experimenty ukázali, že rastliny dokážu poškodený vzduch *opraviť*. Myška prežila, ak bola uzavretá spolu s rastlinami.



Po stretnutí s Priestleyom nadviazal na jeho prácu Jan Ingenhousz, ktorý bežne diskutoval s vedcami kalibru Benjamina Franklina či Johna Michella. Prvého z nich budeme ešte spomínať viackrát, ten druhý napríklad vymyslel možnosť existencie hviezdy, ktorá zachytáva svetlo – ide približne o to, čo dnes voláme čierna diera. Ingenhousz zistil, že rastliny vzduch *čistia* iba za prítomnosti svetla, a to bol ďalší dôležitý diel skladačky. Zároveň dospel k správnejmu záveru, že rastliny plyn neopravujú, ale obohacujú kyslíkom. No a ako ukázal o niekoľko rokov neskôr švajčiarsky botanik Jean Senebier, rastliny pri tomto procese spotrebúvajú oxid uhličitý – teda van Helmontov *gas sylvestre*.

Tento príbeh sa nám začal komplikovať! Vo vede to bolo divoké obdobie. Nečudo, šlo o časy, keď bola ešte v plienkach. Jej hlavná metóda – pozorovať prírodu, experimentovať s ňou a snažiť sa ju pochopiť – prinášala svoje ovocie, a tak sa veľa chytrých ľudí snažilo naskočiť na rozliehajúci sa vlak. Pesimista by povedal, že takmer nič nebolo objavené, no optimista by povedal, že takmer všetko na objavenie čakalo. Na metaforickom strome poznania rástlo veľa plodov tesne pri zemi, preto šikovní vedátori brali všetko, na čo dočiahli. Dnes sa vedci zameriavajú na jednu špecifickú oblasť, trávia celý život tým, aby v nej vyjasnili nejaký špecifický detail. Vtedy

mali vedci rozpracovaný výskum aj v piatich oblastiach naraz. Nemyslím si, že by odvtedy vedci zleniveli, alebo nebodaj ohlúpli, akurát sa už podarilo objaviť väčšinu ľahko objaviteľných vecí. Každý ďalší krok je náročnejší. Je to ako stúpanie do čoraz strmšieho kopca. Sedemnásť a osemnásť storočia však predstavovali klondike objavov.

Zrekapitulujme si, čo sa zatiaľ ľudia dozvedeli. Stromy síce rastú v pôde, na rast ju však nespotrebujú, zoberú si z nej len malé množstvo živín a minerálov. Pomocou slnečného svetla spotrebúvajú oxid uhličitý a tvoria pritom kyslík. Je najvyšší čas, aby sme sa vrátili do súčasnosti, rád by som totiž použil dva pojmy, ktoré v danom čase ľudia ešte nepoužívali, no dnes sú bežné: atómy a molekuly. Rozdiel medzi jednou molekulou oxidu uhličitého a jednou molekulou kyslíka, teda medzi tým, čo do rastlín vchádza a čo z nich vychádza, je jeden atóm uhlíka. A práve z tohto uhlíka, ktorý sa nachádza vo vzduchu, rastú rastliny.

Potrebná dávka chémie

Chémia je krásna veda. Zároveň je aj veľmi zložitá. Obsahuje veľa pojmov a mechanizmov, ktoré v bežnom živote nepoznáme, preto sú vysvetlenia chemikov pre ľudí často ťažko pochopiteľné. Alchýmia síce nebola správna, ale bola aspoň jednoduchšia! Mala len štyri základné prvky: vzduch, zem, oheň a vodu. Chemici ich majú v tabuľke vyše sto, z toho väčšina existuje aj vo voľnej prírode a je súčasťou myriád chemických zlúčenín, reakcií a kaskád. Myslím si, že pre bežného človeka, ktorý sa chémii nevenuje, je nereálne mať prehľad o väčšine týchto prvkov. Ak by sme však mali poznať tri, tak tieto: vodík, kyslík a uhlík.

Vodík je najdôležitejší a najľahší prvok, taký malý Janko Hraško. Keď máte v chemikálii voľné miesto, rád ho zaberie práve vodík, pričom vodík bežne nie je problém zohnať – ide o najrozšírenejší prvok vo vesmíre. Jeho názov napovedá, kde ho nájdeme v hojnom množstve: vo vode, ktorej molekuly tvoria dva vodíky a jeden kyslík.

Kyslík je ako samotný atóm prudko reaktívny, veľmi rád a silno formuje chemické väzby – určite ste už počuli o oxide uhličitom, peroxide vodíka či dihydrogéne monoxidu, teda spomínanej vode. Anglický názov pre kyslík, *oxygen* (latinsky *oxygenium*), požičal svoje meno celému radu chemických reakcií, voláme ich oxidácia, aj keď nemusia kyslík vôbec obsahovať. To je pocta!

Uhlík je dokonalý dielik chemických skladačiek. Vie vytvoriť až štyri chemické väzby, pričom veľmi presne drží ich tvar. Viem, že je to trochu nesprávne, ale ja si ho predstavujem ako taký dielik, z ktorého trčia naťa-

hujúce sa ruky. Najjednoduchšia možnosť je, že každá zo štyroch rúk chytí jeden vodík a, *voilà*, máme hotovú spokojnú chemikáliu – metán. Iná možnosť je, že uhlík chytí za ruku ďalší uhlík a ten chytí ďalší uhlík, a ten ďalší ... a spolu vytvoria zložité priestorové usporiadania, napríklad grafit či diamant. Uhlík je tak základným stavebným kameňom komplexných molekúl, teda štruktúr pozostávajúcich z mnohých atómov. Na malé či veľké štruktúry z uhlíkov sa rady pripájajú ďalšie atómy, často práve vodík a kyslík. Tvoria nespočetne veľa rôznych tvarov s najrozmanitejšími vlastnosťami, ktoré predstavujú základ našej biológie. Preto používame označenie „život na báze uhlíka“. Ak raz nájdeme život na inej planéte, je pomerne pravdepodobné, že aspoň toto budeme mať spoločné.

Zlúčeniny vodíka, kyslíka a uhlíka spadajú pod oblasť, ktorá nedá spávať študentom chémie, farmácie či medicíny – volá sa organická chémia. Uhlík otvára neuveriteľne rozmanité možnosti, preto je náročné ich systematicky uchopiť. Nebojte sa, nás to nečaká! Len som chcel vysvetliť, ako vznikol náš zoznam troch najdôležitejších prvkov. Vodík – malý a jednoduchý atóm, ktorý ochotne dopĺňa voľné miesta v molekulách. Kyslík – až agresívne reaktívny prvok, ktorý vyvoláva mnohé reakcie. A uhlík – univerzálny spájací dielik, ktorý tvorí základ nespočetného množstva komplexných molekúl.

Z čoho teda rastú stromy? Príjmu oxid uhličitý a vodu a za pomoci slnečného svetla vyrobia glukózu a nejaký odpad. Z čoho sa skladá ten odpad? Podme si to spočítať. Nebojte sa, len tak na prstoch – nanešťastie viac než dvoch rúk. Do reakcie vstúpi 6 molekúl oxidu uhličitého a 6 molekúl vody, dokopy teda 18 atómov kyslíka, 12 atómov vodíka a 6 uhlíkov. Glukóza sa skladá zo 6 kyslíkov, 12 vodíkov a 6 uhlíkov. Všetky uhlíky, ktoré vošli do reakcie, sa stali súčasťou glukózy. To isté platí pre vodíky, žiaden nezostal. Kyslíka však zostalo veľa, dokopy presne 6 dvojatómových molekúl. Čo s nimi spraví strom? Nepotrebuje ich, a tak ich vypustí do atmosféry. Dnu vošiel oxid uhličitý, von vychádza čistý kyslík. Ten „odpad“ reakcie je v skutočnosti pre nás nevyhnutný kyslík. Toto je mechanizmus, ktorým rastliny *liečia* vzduch. Presne na to prišli prvé generácie vedcov, ktorí vystriedali alchymistov.

Glukóza je príklad sacharidu, rastlina s ňou môže narábať rôzne – napríklad z nej môže vytvoriť celulózu, ktorá tvorí veľkú časť dreva v stromoch. Alebo ju použije ako zdroj energie pre ďalšie reakcie. Detaily týchto procesov sú pomerne komplexné. Nám postačí jednoduché ponaučenie: rastliny rastú zo vzduchu, zachytávajú uhlík z oxidu uhličitého a vypúšťajú kyslík.

Všetky tie farby

Rastliny sú rôznorodé, od malej d'ateliny až po veľké sekvoje. Rôznia sa vo všeličom, jednu vec však má väčšina z nich spoločnú – obsahujú zelenú farbu, minimálne v listoch. Čo je na zelenej farbe také významné, že ňou nepohrdne tulipán ani borovica?

Niektoré chemické reakcie potrebujú, aby sa do nich vložila energia, inak neprebehnú. Vo fľaške minerálky sa nachádzajú molekuly vody aj oxidu uhličitého, no aj tak sa z nej strom nestane. Potrebná reakcia totiž neprebehne len tak, aj keď sú nevyhnutné zložky k dispozícii. Chýba na to energia, ktorú bežne dodávajú slnečné lúče. Preto sa táto reakcia volá fotosyntéza, ide o zloženie gréckych slov *fós* (svetlo) a *synthesis* (skladanie). Zachytiť slnečnú energiu v použiteľnej forme však vôbec nie je jednoduché, skvele to však zvláda jedna molekula – chlorofyl. A ten je, ako dobre vieme, zelený. Väčšina rastlín má takýto mechanizmus fotosyntézy – ktorý okrem chlorofylu obsahuje celý rad molekúl –, preto sú stromy, byliny či kríky zelené! Teda, presnejšie, stromy sú zelené len časť roka, situácia sa pre ne dramaticky mení na jeseň. Za zelenú môže chlorofyl. Kde sa však berie žltá, oranžová, červená či hnedá?

Za žltú a oranžovú farbu sú zodpovedné karotenoidy a flavonoidy, teda látky, ktoré sfarbiajú aj mrkvu, banány či žltka vo vajíčkach. Ich úlohou je pomáhať fotosyntéze, preto sú v listoch prítomné celý rok. Prečo sa ukážu až na jeseň? Za bežných podmienok sú ukryté pod farbou prevažujúceho chlorofylu. Stromy sú extrémne šetrné, a keď sa blíži zima, začnú minimalizovať možné straty. Chlorofyl sa začne rozkladať a živiny z neho sa ukládajú v strome. Rovnako sa začnú rozpadávať aj karotenoidy a flavonoidy – lenže im to trvá dlhšie. V istom čase, keď sa chlorofyl už rozpadol a oni ešte nie, v listoch dominujú, čo odhalí krásne žlté a oranžové sfarbenie.

Zaujímalo nás, odkiaľ sa berú stromy, a prirodzene sme sa dostali až k ich sfarbeniu. Mimochodom, chlorofyl je nastavený na slnečné žiarenie nášho Slnka. Ak raz nájdeme mimozemský život, je veľmi pravdepodobné, že tiež bude využívať nejakú chemikáliu na zachytenie svetla zo svojej hviezdy, no je dosť možné, že bude mať inú farbu než zelenú. Flóra na takej planéte bude napríklad červená alebo modrá! K tomu sa však ešte vrátíme.

Občas, keď som v lese, pozerám na vysoké buky a snažím sa predstaviť, ako rásť. Niečo ako taký zrýchlený film, ktorý niekto trepezlivo nakrúcal roky a výsledok vtlesnal do niekoľkých sekúnd. Predstavujem si, ako stromy „vdychujú“ vzduch, vďaka svetlu sa v nich časť z neho zachytí a oni

rastú, v mojej predstave rýchlo ako čarovná fazuľa, načahujú sa za svetlom, snažia sa byť bližšie k slnku, aspoň trochu, len aby predčili stromy okolo seba.

Fotosyntéza, ktorá tento proces umožňuje, je jednou z dvoch najdôležitejších reakcií pre pozemský život. Pomocou svetla, vody a oxidu uhličitého vzniká biomasa flóry, ktorá pokrýva ohromnú časť pevniny a vyplňa veľkú časť oceánov. Vďaka fotosyntéze existujú dlhé reťazce uhlíkov, ktoré tvoria základný stavebný kameň komplexného života. Fotosyntéza však nemôže byť celý príbeh – spotrebúva oxid uhličitý, a ak by boli rastliny jediná forma života na planéte, skôr či neskôr by sa oxid uhličitý začal míňať. Niečo ho teda musí produkovať, jedna ruka netlieska. Iba fotosyntézou by sa zároveň hromadil „odpad“ fotosyntézy, teda kyslík. Našťastie existuje proces, ktorý tento „odpad“ prijíma a znova produkuje oxid uhličitý, na ktorý sa rastliny nedočkavo tešia. Tento proces, opak fotosyntézy, voláme respirácia, resp. dýchanie. Lepšie si ho však môžeme predstaviť ako horenie.

