

Spraše včera a dnes

**JAN HOŠEK
IVAN HORÁČEK**

*Autoři věnují článek
k 90. narozeninám
Vojena Ložka.*

Nejvýznamnější charakteristikou současné geologické éry – čtvrtohor – je střídání dob ledových (glaciálů) a dob meziledových (interglaciálů). Zdrojem tohoto poznání se stalo studium jednoho z nejrozsáhlejších suchozemských sedimentů – spraší. Spraše pokrývají zhruba 10 % povrchu Země a jsou významným půdním substrátem nížinných a středních poloh severní polokoule. Jedním z nápadných znaků tohoto sedimentu je dokonalá vytříděnost zrn. Naprostá převaha prachové složky (0,004–0,06 mm) je způsobená dálkovým větrným transportem, který se může uplatnit pouze v rozsáhlých bezlesých oblastech, v podmínkách extrémního sucha a mimořádných denních a sezonních teplotních výkyvů. V takovém klimatu se horniny rozpadají a vznikají rozsáhlé obnažené povrchy sypkých zvětralin, jejichž jemnozrnnou složku vítr přemísťuje. Tyto podmínky dnes v Evropě neznáme. Spraše tedy vznikaly výhradně během dob ledových, především v jejich vrcholných fázích (tzv. pleniglaciálech) a v geologickém záznamu představují jasný doklad těchto období.

Spraše vznikají tzv. zesprašněním.¹ Během tohoto procesu se při chemickém zvětrávání živců uvolňují kationty sodíku, draslíku a vápníku. V podmínkách srážkově chudého glaciálního klimatu se však vápník nevyplaví úplně. Část se nabalí na křemenná zrna a vzniká pelitomorfní karbonát, který je hlavním zdrojem jedinečných vlastností spraše a jejich ekonomických souvislostí. Spraš je mimořádně úživná pro rostliny, díky souvaznosti je skvělou cihlářskou surovinou, má hranolovitou odlučnost, svislé stěny sprašových odkryvů jsou dlouhodobě stabilní a je rovněž ideálním fosilizačním prostředím pro vápnité ulity měkkýšů a kosti obratlovců.

Hlavou a kladivem

Zmíněné specifické vlastnosti spraší vytvářejí jednotný rámec pro vývoj půd během interglaciálů a interstadiálů.² S ohledem na shodný substrát lze z odlišností jednotlivých půd pohřbených pod spraší usuzovat na specifika příslušných teplejších období. Sled glaciálních spraší a interglaciálních či interstadiálních půd v souvislých sprašových sériích tak může poskytnout ucelenou škálu pro paleoklimatickou rekonstrukci čtvrtohorní minulosti. Tato úvaha předznamenala ambiciózní koncept sprašové stratigrafie a výzkumný

program, zformovaný na konci padesátých let Vojenem Ložkem a Jiřím Kuklou. [1] Na jeho počátku stálo podrobné srovnání stavby opěrných sprašových profilů střední Evropy (Dolní Věstonice, Modřice, Podbaba, Paudorf, Göttweig aj.), které ukázalo, že sledy spraší a pohřbených půd vykazují přes různá lokální specifika rámcově shodné rysy.

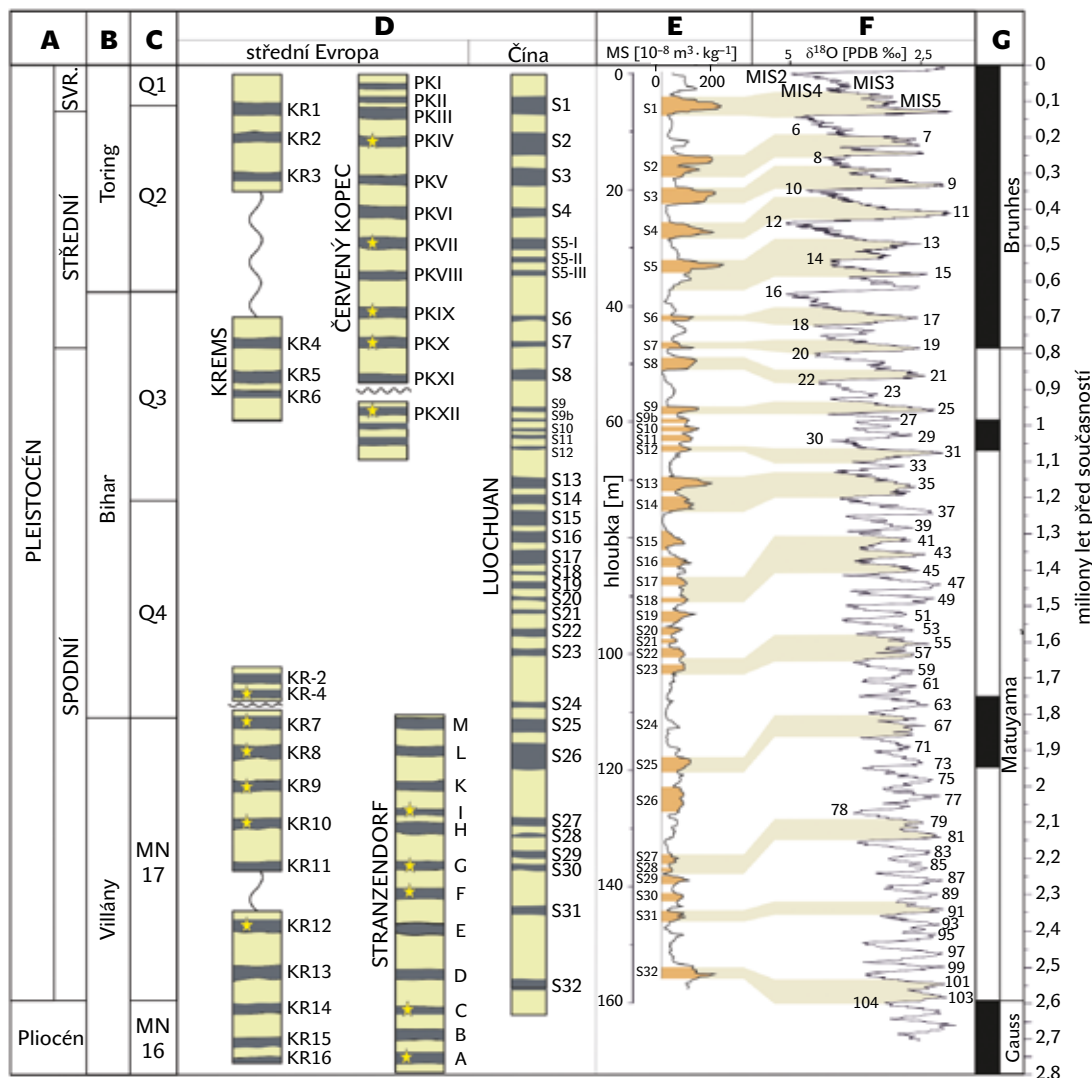
Na počátku šedesátých let předložili oba badatelé obecný model sledu charakteristických půdních komplexů (PK), které odpovídají interstadiálům posledního glaciálu (PK I, PK II) a nejmladším interglaciálům (PK III, PK IV, PK V). Pozdější doplnění záznamu rozsáhlými sériemi na Červeném kopci v Brně a v rakouských lokalitách Krems a Stranzendorf rozšířilo působnost tohoto modelu téměř na celý průběh kvartéru. Důležitým zdrojem poznání byly rovněž nálezy měkkýšů a obratlovců v různých polohách těchto sérií. [2, 3, 4, 5] Umožnily totiž přímé porovnání propracovaných systémů biostratigrafického datování čtvrtohorních uloženin s klimatostratigrafickou³ škálou jednotlivých glaciálních cyklů a následně výrazné zpřesnění jejich využití ve stratigrafické praxi (obr. 1). Dávno před příchodem moderních datovacích metod, za pomoci pouhého geologického kladiva a otevřené myslí, se tak podařilo vytvořit spolehlivé souhrnné schéma stratigrafické korelace nejmladší geologické minulosti.

Za pomoci strojů: Výzkum spraší dnes

Klimatostratigrafické schéma sprašového záznamu bylo koncem osmdesátých let podstatně rozšířeno díky novým přístrojovým možnostem. Nedávno zesnulý Jiří Kukla (viz Vesmír 89, 303, 2010/5) byl tehdy stále klíčovou osobností sprašového výzkumu a členem nejprestižnějšího světového centra bádání o čtvrtohorách – Lamontovy-Dohertyho observatoře Země na Kolumbijské univerzitě v New Yorku. Souběžně s dalšími výzkumníky zavedl do studia spraší nový přístup – měření magnetické susceptibility.⁴ Vstupní úvaha byla taková, že magnetické minerály vznikají přímo ve spraši, a to během vlhčích a teplejších období činností půdních bakterií a pod vlivem chemického zvětrávání. Magnetický signál takovéhoto poloh by pak měl být ve srovnání s polohami surové spraše výrazně vyšší a sled hodnot naměřených v souvislém sedimentárním profilu by měl poskytovat podrobný záznam změn klimatu. Ve

Mgr. Jan Hošek (*1983) absolvoval geologii v Ústavu geologie a paleontologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. V současnosti se zde v rámci své disertační práce zabývá paleoklimatologií posledního glaciálního cyklu. Pracuje v oddělení kvartérní geologie České geologické služby.

Prof. RNDr. Ivan Horáček, CSc., viz Vesmír 94, 435, 2015/7-8.



1. Korelace pilířových sprašových sérií s biostratigrafickou a klimatostratigrafickou škálou čtvrtohor.

A – standardní stratigrafické členění kvartéru; B – stupně klasické biostratigrafické škály střední Evropy; C – savčí biozóny neogénu a kvartéru – nejužívanější vztážná soustava terestrického fosilního záznamu; D – stratigrafické schéma středoevropských a čínských sprašových sérií, s hvězdičkou horizonty s biostratigraficky významnými nálezy fauny, upraveno podle Horáček & Ložek, 1988;

E – křivka magnetické susceptibilitě sprašové série Louchuan a její korelace s izotopickou škálou hlubokomořských sedimentů, upraveno podle Heslop et al., 2011; F – křivka změny poměru izotopů ^{18}O a ^{16}O z hlubokomořských sedimentů s vyznačenými mořskými izotopickými stupni (MIS) – dnes standardní referenční systém globální klimatostratigrafie čtvrtohor, lichými čísly jsou značena teplá období (interglaciály a interstadiály), sudými chladná období (glaciály a stadiály); G – magnetostratigrafické epochy nejmladší geologické minulosti, černě normální (tj. současná) polarita, bíle reverzní polarita.

spolupráci s čínskými kvartérními geology pak Kukla předložil souvislý záznam magnetické susceptibilitě nejrozsáhlejších sprašových sledů Země – čínských sérií Luochuan a Xifeng [6], jež dosahují mocnosti přes 1 km. Později byla doplněna data z další čínské série Nanjing. Vstupní předpoklady byly plně potvrzeny dokonalou korelací získaných sprašových záznamů s izotopickou škálou hlubokomořských sedimentů – sledem kyslíkových či mořských izotopických stupňů (OIS či MIS)⁵ (obr. 1). Tato škála představuje

je dnes standardní referenční systém globální klimatostratigrafie čtvrtohor, jakýsi geologický etalon, ke kterému se všechno ostatní vztahuje.

Později se ukázalo, že tento model je v zásadě platný ve všech regionech severní polokoule. Studium magnetické stavby spraší se tak rázem dostalo do popředí zájmu instrumentální paleoklimatologie kvartéru.

Od tohoto okamžiku se do určité míry odvíjí také současný přístup k problematice spraší. Od stratigrafických otázek, které stály v počátcích sprašového výzkumu, dnes směřuje pozornost spíše k možnosti využít spraší jako podrobného archivu změn prostředí. Tento pohled byl umožněn především díky posunu metodologického standardu. Mimo zmíněné metody environmentálního magnetismu jsou to především metody geochemické, v užším slova smyslu pak časově a finančně nenáročná prvková analýza. Interpretace se zde odvíjí od předpokladu, že během diagenetických procesů⁶ dochází ve spraši k chemickému zvětvávání minerálních složek, k přesunu rozpustných prvků a vzniku nových minerálů (oxidů železa, jílových minerálů atd.). Protože jsou tyto procesy do značné míry závislé na vlhkosti a teplotě okolního prostředí, lze z naměřených parametrů usuzovat na reálné paleoklimatické podmínky. Příkladem může být poměr

1) Zesprašení nebo také loesifikace je označení pro souhrn velmi specifických postsedimentárních procesů, vedoucích ke zpevnění sedimentu.

2) Interstadiál je klimaticky příznivější období v rámci glaciálu.

3) Klimatostratigrafie využívá pro časové zařazení sedimentárních sledů proměnlivosti klimatu v historii Země. V případě čtvrtohor je možné vztahovat tyto sledy k jednotlivým glaciálům a interglaciálům, popřípadě k drobnějším klimatickým oscilacím. Absolutní stáří těchto klimatických výkyvů je v současnosti dobře známé.

4) Magnetická susceptibilita je schopnost materiálu magnetovat se v indukovaném magnetickém poli. Nejvyšší susceptibilitu mají feromagnetické minerály, především oxidy železa (magnetit, maghemit).

5) Kyslíková či marinní izotopická škála je obecné označení pro průběh změny podílu kyslíkových izotopů ^{18}O a ^{16}O v sedimentu, přičemž podíl těžkého izotopu (^{18}O) je nepřímým úměrným teplotě prostředí. Hlubokomořský záznam ukazuje s mimořádným rozlišením střídání teplejších úseků (stupňů) značených lichými čísly (počínaje současným interglaciálem – holocémem) a úseků chladnějších, značených sudými čísly.

6) Souhrn fyzikálních, chemických a biologických pochodů, které zásadně mění minerální složení, texturu i strukturu nepevněného materiálu.

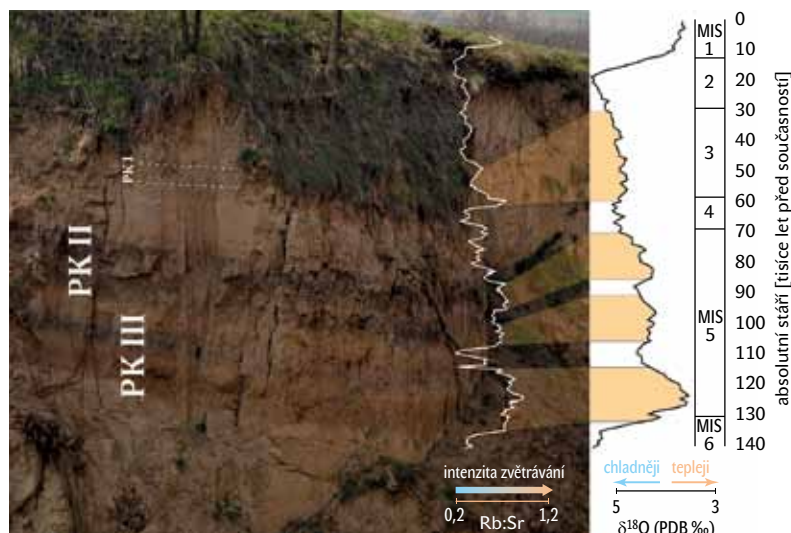


2. Sekvence středopleistocenních spraší a fosilních půd ze srbského sprašového plató Titel. Šipkou je označena zřetelná vrstva sopečného popele (tefra) – významný korelační marker podunajských spraší.

rubidia a stroncia, což je často užívaný indikátor intenzity zvětrávání spraší.

Rubidium je disperzní prvek, který není vázán na žádný konkrétní minerál. Hojně je však přítomen v minerálech bohatých na draslík, tj. slídlách, draselných živcích a z nich odvozených jílových minerálech. Během chemického zvětrávání a půdotvorných procesů dochází především k vyluhování vápníku a mechanické migraci jemnozrnných částic. Chemická změna však nepostihuje jílové minerály. Ty se proto koncentrují v nejzvětralejších částech horizontu. Stroncium se vyskytuje v minerálech bohatých na sodík a vápník (např. kalcitu a živcích). Tyto minerály jsou ve srovnání s draselnými živci mnohem citlivější na zvětrávání; za vlhčích podmínek se rozpouštějí a profil se ochuzuje o stroncium. Poměr Rb: Sr proto ve sprašových profilech velmi citlivě reaguje na diage-

3. Sprašová rokle Zeměchy u Kralup nad Vltavou. Korelace intenzity zvětrávání (Rb: Sr) svrchněpleistocenní sprašové sekvence s kyslíkovou izotopickou škálou a mořskými izotopickými stupni (MIS). PK III a PK II – komplex fosilních půd a svahovin z období posledního interglaciálu a časného glaciálu, PK I – makroskopicky téměř nerozpoznatelná slabě vyvinutá arktická půda teplejšího období (interstadiálu) v rámci pleniglaciálu. Pod půdními komplexy se nachází až 8 m mocná akumulace spraše předposledního glaciálu.



netické procesy řízené klimatem a umožňují zachytit i krátkodobější teplé výkyvy vrcholného glaciálu, jež se ve fosilním biologickém záznamu neprojeví (Vesmír 90, 22, 2011/1).

Souběžné použití magneto-minerální a prvkové analýzy spraší poskytuje levný a rychlý, nicméně dostatečně účinný nástroj pro paleoklimatické interpretace. V posledních 20 letech je tento přístup soustavně doplňován o další netriviální postupy, zcela nové nebo dosud používané v jiném kontextu. Mnohdy jde však o dosti nákladné metody, jejichž aplikace je závislá na finančních možnostech konkrétního výzkumu. Vůdčí roli mezi nimi hraje chemie izotopů, jež se orientuje především na kvantifikaci klimatických ukazatelů (izotopy $\delta^{18}\text{O}$ a ^{10}Be), rekonstrukci vegetace a srážkových úhrnů ($\delta^{13}\text{C}$ z organických zbytků a uhlovodíků), popřípadě na zjišťování původu zdrojového materiálu (^{87}Sr : ^{86}Sr).

Aplikovatelnost instrumentálních metod se pak odvíjí v první řadě od pokroku v možnostech absolutního datování spraší. Zásadní jsou v tomto smyslu metody luminiscenční (opticky stimulovaná luminiscence – OSL, termoluminiscence – TL a luminiscence stimulovaná infračerveným zářením – IRSL). Současný časový dosah metody se pohybuje okolo 300 tisíc let, což zahrnuje poslední dva klimatické cykly (MIS 8 – MIS 2), tedy období, jež je v evropském sprašovém záznamu zastoupeno zdaleka nejhojněji a existují k němu tudíž i nejpodrobnější kontextuální informace.

Chronostratigrafii lze pak dále zpřesnit srovnáním výsledků s ledovcovým záznamem, jezerními sedimenty či speleotémami. V Evropě byla v nedávné době takto zpracována např. západoněmecká lokalita Nussloch [7], kde se podařilo korelovat hrubozrnnější složku vrcholně glaciální spraše s prachovými vrstvičkami grónského ledovce, které představují intervaly v řádu stovek let.

Takové rozlišení, blížíci se podrobným záznamům jezerních uloženin, bylo v dřívějších dobách těžko představitelné. Spraše se proto ideálně hodí k získání detailních regionálních paleoklimatických informací, což může být vstupní krok k pochopení chodu globálního klimatu. Tímto směrem dnes progresivně kráčí především výzkum čínských spraší. V podobném smyslu byly v nedávné době započaty systematické práce v Německu, Polsku, Maďarsku, na Ukrajině a především pak v Srbsku, neboť podél Dunaje a Tisy se zachovaly vůbec nejsouvislejší série umožňující přímou paralelizaci se sprašemi čínskými (obr. 2). [8]

Na tomto místě je třeba zdůraznit, že spraše a v nich vyvinuté paleopůdy jeví v jednotlivých evropských regionech značnou rozmanitost, což přináší problémy při jejich korelaci. Variabilita je patrná zejména podél současného severozápadně-jihovýchodního a severojižního klimatického gradientu, tj. z oceánských oblastí v severozápadní a severní Evropě přes střední Evropu směrem k Středomoří a Černému moři. Mimo vlivů materiálových a geomorfo-

logických je to zjevně způsobeno odlišnou úrovní zvětrávacích a půdotvorných procesů. Podrobné zhodnocení klimatických faktorů, jež se na této variabilitě podílejí, a následná transregionální paleoklimatická rekonstrukce minimálně posledního glaciálního cyklu by měly být hlavní výzvou dnešního sprašového výzkumu. Situaci nicméně poněkud komplikuje fakt, že těžiště současných výzkumů leží mimo klasickou sprašovou oblast střední Evropy. Toto území je však, díky své pozici na rozhraní mezi oceánským a kontinentálním klimatem, pro pochopení dynamiky pleistocenního klimatu na evropském kontinentu zcela zásadní. To ostatně opakovaně zdůrazňovaly již výstupy systematické práce V. Ložka a J. Kukly.

Že hranice mezi dvěma klimatickými systémy mohla být během posledního glaciálu překvapivě ostrá, naznačilo v nedávné době porovnání záznamu geochemické a magne-to-minerální analýzy sprašových sekvencí ve středočeských Zeměchách u Kralup a jihomoravských Dobšic u Znojma. [9] Obě lokality citlivě reagují na obecné trendy vývoje globálního klimatu svrchního pleistocénu. Dokládá to korelace poměru Rb a Sr s globální mořskou izotopickou škálou (obr. 3).

Lokalita Dobšice však vykazuje během glaciální fáze zřetelně nižší úroveň zvětrávacích a půdotvorných pochodů, zjevně v kontextu se suššími podmínkami. To může souviset s její pozicí na severozápadním okraji Panonské pánve, kde se kontinentální klima uplatňovalo bezpochyby výrazněji než v západněji situovaných Zeměchách.

Podobné souvislosti otevírají průzor k podrobným analýzám paleogeografické a paleobiogeografické rozmanitosti glaciálního prostředí a dokládají, že výzkum spraší je i dnes, víc než půl století po pionýrských pracích na našem území, jedním z neaktuálnějších okruhů studia čtvrtohor.

K DALŠÍMU ČTENÍ

- [1] Kukla J. et al.: Quartär 13, 1–29, 1961.
- [2] Ložek V.: Antropozoikum 3, 7–33, 1965; Kukla G.: Trans. Nebraska Acad. Sci. VI, 57–93, 1978.
- [3] Horáček I.: IGCP 24/6, 99–117, 1979.
- [4] Rabeder G.: Beit. Paläont. Österr. 8, 1–373, 1981.
- [5] Horáček I., Ložek V.: Rozpravy Čs. akad. věd 98/4, 1–102, 1988.
- [6] Kukla G. et al.: Geology 16, 811–814, 1988; Kukla G., An Z. S.: Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol. 72, 203–225, 1989.
- [7] Antoine P. et al.: Quarter. Sc. Rev. 28, 955–973, 2009.
- [8] Markovič S. et al.: Jour. Quarter. Sci. 23, 73–84, 2008.
- [9] Hošek J. et al.: Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol. 418, 344–358, 2015.

ANTON MARKOŠ

Buněčné dýchání

Pod kůží zažrané „pravdy“, bezmyšlenkovitě tradované po celá desetiletí, nám brání vidět pestrý svět okolo. Uvítám od čtenářů poukazy na další podobné obraty.

„Buněčné dýchání (buněčná respirace) je základní metabolický děj eukaryot, při kterém se rozkladem glukózy za přítomnosti kyslíku uvolňuje energie (v podobě ATP) využitelná pro buněčné děje.“

Snad nejnesmyslnější definice, která už 100 let (s drobnými odchylkami) úporně a úmorně zapleveluje všechny učebnice a později internet, seminární práce a mozky. Je stažena z internetu, kde se vyskytuje snad ve stovkách drobně se lišících podob.

Dýchání plicemi, vzdušnicemi, nebo jen tak tkáněmi a pletivou bylo už známo dlouho, a tak se první biochemici museli od tohoto pojetí emancipovat – to zní logicky.

Logicky to však nezní dnes, kdy se už nějakých 80 let ví, že:

- Dýchání není věcí eukaryot – téměř všichni obyvatelé biosféry ve sele dýchají – a mezi nemnohými, kteří to neumějí, jsou i eukaryota.
- By bylo zajímavé posoudit, v jakém smyslu je to „základní metabolický děj“.
- Glukóza s tím nemá nic společného – jako jakákoli jiná potrava musí být proměněna na sloučeniny schopné vstoupit do respirace – například i dvojmocné železo nebo mangan, síra, anebo dokonce oxid uhličitý.
- Kyslík u toho být nemusí, dýchá se s řadou dalších oxidantů – vedle běžných nitrátů a sulfátů i takový uranyl či perchlorát se některým hodí.
- Energie se uvolňuje, ale nemá „podobu ATP“, ba ani neslouží k syntéze ATP. Slouží k pumpování protonů přes membránu a vytvoření

Věčná vědecká kliše 5

elektrochemického potenciálu na membráně; tento potenciál slouží k pohonu všeho možného, mimo jiné i syntézy ATP.

Po této dekonstrukci se ptejte, proč vůbec existuje podobná definice. Před 100 lety se zkoumání soustřeďovalo hlavně na živočišné tkáně (lékařský výzkum byl tahounem bádání). Obvykle šlo o tenké řezy, a ty samozřejmě potřebují kyslík (a jeho spotřeba se snadno měří). Tkáně jsou z buněk, a ty nepřijímají zvenku jakýkoli substrát. Glukóza vstupuje do buněk snadno: přidá-li se k takovém řezu glukóza, obvykle zaznamenáme zvýšení spotřeby kyslíku. A máme definici – nikdo tenkrát moc nevěděl o mitochondriích, transportu elektronů, bakteriálním metabolismu ap. A když už se definice dostala do učebnic, bude tam snad navěky. Celá nádherná různorodost, s jakou živákové dobývají energii, zůstává nepovšimnuta; místo toho se další a další generace memorují nesmysl, protože právě toto je v testech „správné“.

Ještě by to chtělo nějak vpašovat do definice flogiston a entelechii.