



Př

PŘÍRODOVĚDCI.CZ

TÉMA ČÍSLA

SVĚT MOLEKUL

Magazín Přírodovědecké fakulty
Univerzity Karlovy 04/2025

Buňka – základ života

8

Molekulární řeč, která formuje život

12

Bez jádra i organel

18



Staň se přírodovědcem na Karlovce!



Univerzita
Karlova



Studuj na Přírodovědecké fakultě
Univerzity Karlovy. Podej si přihlášku
do 28. 2. 2026 a staň se přírodovědcem!



Přírodovědecká fakulta
Univerzita Karlova

Český objev na stránkách *Nature*

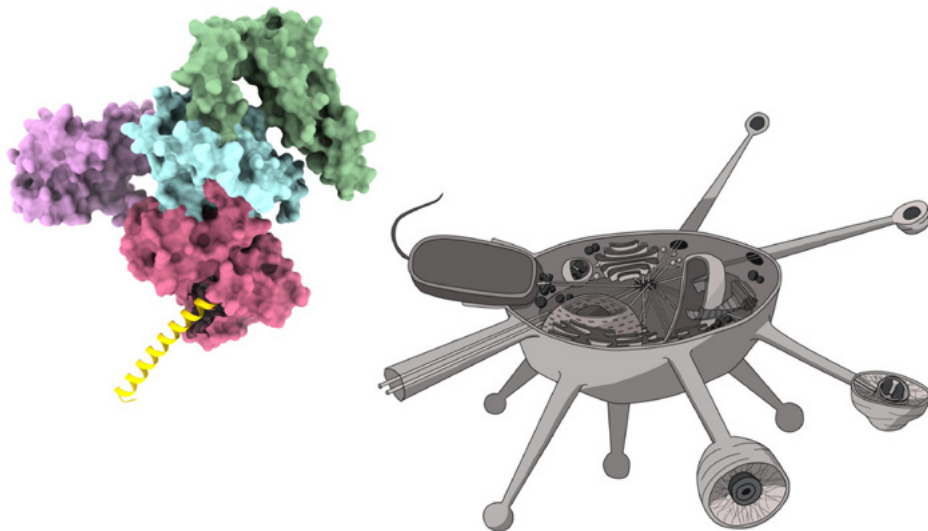
Drobný organismus představuje „okno do historie“ života

MICHAL ANDRLE

Nenápadný mikroskopický prvok, sotva pohyblivý a velký jen několik mikrometrů – to je *Solarion arienae*. Co je na něm tak zajímavého? Jde o vzácný jednobuněčný organismus s unikátní buněčnou stavbou, který spolu s několika dalšími málo známými liniemi prvoků tvoří novou eukaryotickou superskupinu (říší) nazvanou Disparia. Jak zjistil výzkumný tým z Přírodovědecké fakulty UK vedený profesorem Ivanem Čepičkou a jeho doktorským studentem Markem Valtem, uchoval si tento druh znaky, o nichž se dosud předpokládalo, že dávno zanikly. Nabízí tak bezprecedentní pohled do biologie raných eukaryotických buněk. Jde o objev natolik významný, že studii o něm publikoval prestižní vědecký časopis *Nature*.

Solarion byl teprve nedávno nalezen v laboratorní kultuře mořských nálevníků na Katedře zoologie PŘF UK. Kvůli své nepatrné velikosti totiž zůstával nepovšimnut až do okamžiku, kdy větší nálevníci v kultuře vyhynuli. Při výzkumu neznámého prvoka, na němž tým spolupracoval s vědci z USA, bylo za pomoci sekvenování genomu a rozsáhlých fylogenomických analýz zjištěno, že *Solarion* nepatří do žádné již hlavní linie eukaryot. Dosud je znám pouze jediný jeho blízký příbuzný, podivný prvok druhu *Meteora sporadica*. Společně tvoří nový kmen, Caelestes, který spolu s prvky z kmenů Provora a Hemimastigophora, novou eukaryotickou superskupinu (říší) eukaryot nazvanou Disparia. Jde o starobylou evoluční linii, jejíž dnešní zástupci mohou být relikty dávné rozmanitosti.

Solarion se téměř vůbec nevyskytuje v globálních databázích environmentální



▲ Vlevo struktura proteinu SecA prvoka *Solarion arienae*, vpravo průřez jeho buňkou. Zdroj: původní studie

DNA, a to navzdory tomu, že vědci prohledali více než 1,8 petabajtu metagenomických dat. Přesto byl několikrát nalezen v sekvenčních datech získaných ze vzorků mořského sedimentu z různých částí světa. Zdá se tedy, že jde o evoluční linii, která je sice rozšířená po celém světě, ale všude je velmi vzácná.

Nejčastěji se objevuje ve formě nepohyblivých „sluníčkových“ buněk, z nichž na všechny strany trčí stopkaté celestiosomy. Tyto unikátní organely slouží k chytání bakteriální kořisti a jejich struktura byla detailně zobrazena pomocí 3D elektronové mikroskopie. *Solarion* ve svém životním cyklu vytváří i mnohem vzácnější pohyblivé bičíkaté buňky, které mají také unikátní vzhled a nelze si je

splést s žádnými jinými eukaryotickými organismy.

Nejzajímavější na solarionu jsou jeho mitochondrie, buněčné organely zajišťující výrobu energie pro buňku. *Solarion* si uchoval gen *secA*, vzácný pozůstatek dávného systému pro přenos proteinů, který pochází od bakteriálního předka mitochondrií. Tento gen u téměř všech dnešních eukaryot vymizel, takže *Solarion* patří mezi několik málo žijících eukaryotických organismů, kteří tuto původní molekulární výbavu stále mají. Jeho mitochondrie navíc obsahují výjimečnou kombinaci genů, která poskytuje jedinečnou možnost rekonstruovat metabolické schopnosti mitochondrie posledního společného předka eukaryot. ●

Ekologové na mrazivém jihu

Naše fakulta povede nový program monitoringu ekologických změn v Antarktidě



◀ Česká vědecká stanice **Johanna Gregora Mendela**, kterou vlastní **Masarykova univerzita**, se nachází na ostrově **Jamese Rosse**. Foto *Daniel Nývlt*

geologie a paleontologie a katedru ekologie), jejich zapojení bylo ovšem neoficiální. Díky novému partnerství se fakulta stává plnohodnotnou součástí CARP, získává přístup k infrastruktuře i financování programu a může se podílet na jeho strategickém směřování. Česká republika je totiž jednou z 29 tzv. konzultativních stran Antarktické smlouvy, což jí umožňuje podílet se na rozhodování o budoucnosti kontinentu.

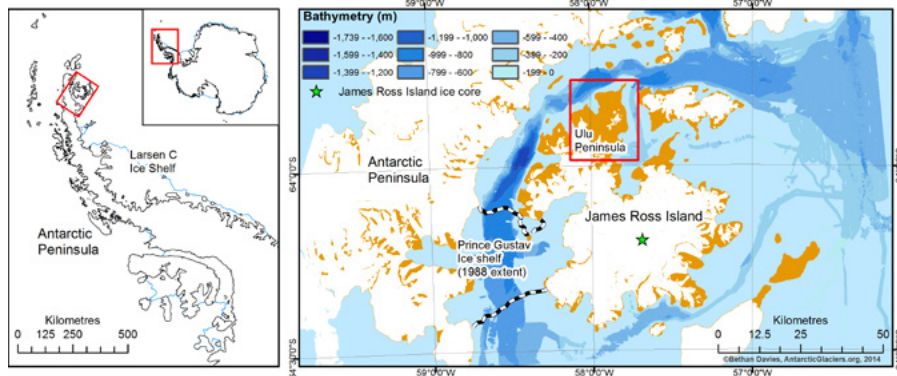
Vedením nového programu LTEM byl pověřen ekolog Tyler J. Kohler z Katedry ekologie PŘF UK, který se dlouhodobě zabývá studiem polárních a horských ekosystémů. Program přinese nejen dlouhodobý monitoring ekologických změn, ale také posílení mezinárodní spolupráce. Otevírá dveře k přímému propojení s významnými zahraničními institucemi, například s americkým programem McMurdo LTER.

Založení LTEM představuje důležitou investici do budoucnosti české vědy, vzdělávání mladých polárníků i ochrany unikátních ekosystémů Antarktidy. Fakulta se tímto krokem zařazuje mezi výrazné aktéry mezinárodního výzkumu rychle se měnících polárních oblastí. ●

Přírodovědecká fakulta UK se stává významným partnerem Českého antarktického výzkumného programu (CARP), který koordinuje Masarykova univerzita. V jeho rámci povede nový dlouhodobý program *Long Term Environmental Monitoring* (LTEM), který se zaměří na sledování ekologických změn v rychle se oteplicí oblasti Antarktického poloostrova. Pro fakultu jde o významný posun, který podtrhuje její dlouhodobé odborné zapojení v polárním výzkumu. Fakultní týmy mají aktuálně na kontě více než 90 publikací v mezinárodních vědeckých časopisech a na fakultě vznikla také celá řada diplomových i doktorských prací zaměřených na Antarktidu.

Díky stanici J. G. Mendela na ostrově Jamese Rosse jsou čeští vědci v unikátní situaci. Stanice se totiž nachází v oblasti poloostrova Ulu, která patří k jedné z nejvíce odledněných a zároveň klimaticky nejcitlivějších oblastí Antarktidy. A na rozdíl od jiných polárních oblastí zde dosud neprobíhal žádný systematický ekologický monitoring, přestože změny prostředí jsou zde rychlé a rozsáhlé. Tuto zásadní mezeru by měl vyplnit vznikající program LTEM.

Jak bylo uvedeno výše, věnují se vědci a studenti PŘF UK výzkumu antarktické oblasti řadu let (jde zejména o katedru fyzické geografie a geoekologie, Ústav



Evropské lesy v ohrožení

Sucho si v příštích desetiletích vybere v lesních porostech krutou daň

VERONIKA RUDOLFOVÁ

Změna klimatu prodlužuje délku vegetačního období v evropských lesích, ale tento efekt nebude stačit k vykompenzování negativních dopadů rostoucí intenzity sucha. K tomuto závěru dospěl mezinárodní tým vedený Janem Tumajerm z Katedry fyzické geografie a geokologie PŘF UK, který analyzoval série šířek letokruhů z více než dvou tisíc lokalit ze střední, východní a jihovýchodní Evropy. Studie právě publikovaná v prestižním časopise *Nature Communications* ukazuje, že do poloviny století může prodloužené vegetační období přírůst stromů podpořit, ale po roce 2050 začnou v suchých oblastech převažovat negativní dopady letního sucha.

Vědci použili model, který umožňuje simulovat přírůst dřeva na základě teploty, srážek a délky dne, a jeho výsledky porovnali s reálnými měřeními šířek letokruhů za posledních 60 let, daty z dendrometrů (přístrojů, které umožňují sledovat růst stromů během vegetačního období) a satelitních dat. Modelování pro čtyři různé scénáře vývoje klimatu do roku 2100 ukázalo, že v chladnějších a vlhčích lesích především ve vyšších nadmořských výškách se může přírůst i nadále zvyšovat, jelikož bude docházet k prodloužení délky vegetačního období. Naopak v suchých oblastech střední Evropy se budou letokruhy ztenčovat. Nejvíce ohrožené jsou nížinné porosty listnatých i jehličnatých druhů, kde se vegetační období sice prodlouží, ale výraznější vliv bude mít stále častější letní sucho, které může přírůst v létě zcela zastavit.



▲ Jan Tumajer při terénním výzkumu. Snímek zachycuje instalaci dendrometru pro záznam změny velikosti kmene borovice v hodinovém časovém rozlišení. Foto dr. Jelena Lange

„Do roku 2040 až 2050 by mohlo prodloužení vegetačního období ještě vyrovnávat ztráty způsobené letními suchy. Ve druhé polovině století se však situace zhorší, zejména ve scénářích předpokládajících vysoké emise skleníkových plynů,“ říká hlavní autor studie Jan Tumajer. V nejpesimističtější scénáři se v klimaticky průměrných letech na konci 21. století očekává až třetinové snížení ročních přírůstků stromů na suchých stanovištích, v případě suchých let budou však průměrné propady přírůstu dosahovat

až 70 %. Naopak vlhké horské lesy by mohly z oteplování krátkodobě těžit díky dřívějšímu začátku přírůstu na jaře a delšímu období aktivy kambia (délivého pletiva rostlin, díky kterému stromy přirůstají).

„Tyto změny mohou mít zásadní dopad nejen na produkci dřeva, ale i na koloběh uhlíku a vodní režim krajiny. Naše výsledky naznačují, že schopnost různých dřevin adaptovat svůj přírůst na sezónní (ne)dostupnost vláhy bude klíčová pro jejich přežití v teplejším klimatu,“ shrnuje Jan Tumajer. Z výsledků také vyplývá, že udržení přírůstu lesů současného druhového složení v suchých oblastech bude možné jen při podstatném omezení emisí skleníkových plynů.

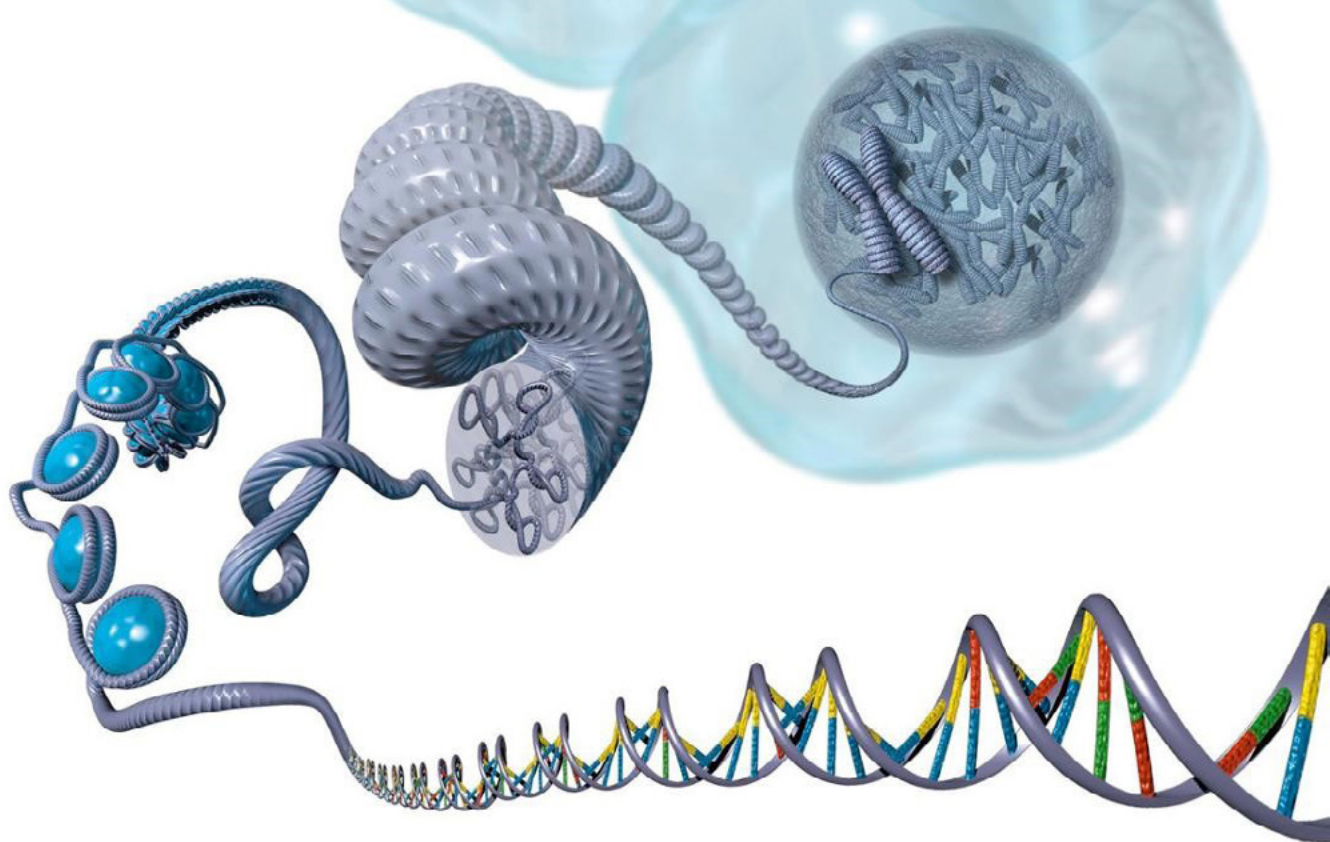
Studie tak přináší důležité varování pro lesní hospodářství i ochránce přírody. Pokud budou pokračovat současné trendy související s globální změnou klimatu, delší vegetační období samo o sobě nedokáže kompenzovat ztráty způsobené letním suchem. Bez zásadních adaptačních opatření – včetně změny druhového složení ve prospěch druhů adaptovaných na sezónní sucho – hrozí, že rozsáhlé části evropských lesů sníží svou schopnost přirůstat a plnit ekologické i hospodářské funkce. ●

Projekt Přírodní a antropogenní rizika (CZ.02.01.01/00/22_008/0004605) je financován z OP Jan Amos Komenský, výzva Špičkový výzkum.



Spolufinancováno
Evropskou unií





Molekulární trpaslíci a obři

Několik zajímavostí a rekordů ze světa molekul

VÁCLAV MARTÍNEK, PAVEL TEPLÝ

Rozhlédněte se kolem sebe. Vše, co vidíte (voda, plasty, sklo, potraviny atd.), a dokonce i to, co nevidíte ale třeba cítíte (vzduch), prostě téměř veškerá hmota na Zemi, je tvořeno atomy a jejich sloučeninami – molekulami. Zatímco struktura atomu jednotlivých prvků je velice podobná, každá molekula je jako skládanka a může proto vypadat velice různě. A může být také různě veliká.

VŠUDYPŘÍTOMNÝ VODÍK

Nejmenší a nejlehčí molekulu ve vesmíru tvoří dva atomy vodíku (H_2). Tato molekula dosahuje pouze poloviny hmotnosti atomu nejlehčího vzácného plynu helia (He). Vodík je ve vesmíru také prvkem nejrozšířenějším (přes 90 % všech atomů), a to navzdory tomu, že ve vakuu moc hmoty

není – často jen několik atomů H na mililitr. V některých mlhovinách a v blízkosti galaxií může být koncentrace vodíku i tisíckrát větší (na pozemské poměry je to ovšem stále vakuum). A v částech vesmíru, kde není příliš vysoká teplota, se mohou atomy H při srážkách slučovat, a tak mezihvězdný plyn pak obsahuje molekuly H_2 . Vzhledem k velikosti vesmíru je, proto je molekula H_2 nejběžnější molekulou ve vesmíru. Vodík (v podobě protonu) je rovněž základní částicí, ze které se ve hvězdách při velmi vysokých teplotách a tlacích vytvářejí těžší prvky. Když pak některé hvězdy na konci svého života vybuchnou jako supernova a odhodí část nově vytvořených prvků do širokého a chladného vesmíru, umožní tím i vznik větších molekul.

OBŘÍ MOLEKULY

Nyní se přesuňme na opačný konec velikostního spektra. Největšími přírodními molekulami jsou... diamanty. Čistý surový diamant Cullinan, nalezený v Jižní Africe v r. 1905, tvořilo téměř 52 molů atomů uhlíku a vážil 621 g. Pro představu – množství atomů uhlíku v tomto krystalu je tak veliké, že kdybychom si atomy tohoto diamantu zvětšili na velikost zrnka rýže a rovnoměrně je rozdělili mezi všechny lidi na Zemi, měl by každý člověk dost zrnků na to, aby si z nich vyskládal „cestičku“ ke Slunci a zpět! Tato největší přírodní molekula však byla šperkaři již před mnoha lety rozřezána na menší části, které posloužily k výrobě šperkových kamenů. V současnosti tak titul největší přírodní

molekuly v rukou člověka drží surový diamant Motswedi, nalezený v roce 2024 v Botswaně. Tento exemplář je o trochu menší, než byl Cullinan, po očištění činí jeho hmotnost necelých 0,5 kg, tj. přes 41 molů uhlíku.

Někteří astronomové dokonce přišli s hypotézou, že by se diamanty mohly nacházet v jádrech starých vyhaslých hvězd (bílých trpaslíků). Zde by měly takřka neomezený přísun stavebního materiálu a jejich krystaly by mohly při chladnutí jádra hvězdy neustále růst až do gigantických rozměrů. Velmi hmotné vychladlé hvězdy se nicméně posléze vlastní gravitací zhroutí do malé neutronové hvězdy, popř. černé díry a během takového kolapsu by samozřejmě diamant v jejich nitru zanikl spolu se všemi atomy a molekulami v jádře této hvězdy při přeměně její hlavní hmoty na neutrony.

S UHLÍKEM I KŘEMÍKEM

Jak taková molekula diamantu vypadá při zvětšení na jednotlivé atomy? Možná znáte molekulu cyklohexanu v židličkové konformaci (na obrázku žlutě). Když jeho vodíky (na obrázku menší bílé kuličky) nahradíte uhlíkem a ten ještě připojíte na uhlík umístěný nad a pod rovinou kruhu a spojíte je kovalentní

vazbou, vznikne molekula nazývaná diamantan (na obrázku uprostřed). Když pak v nahrazování H za C budete ve všech směrech pokračovat, začne rostoucí molekula připomínat malý krystal diamantu, jaký je na obrázku výše.

Je zajímavé, že takřka stejné uspořádání atomů v molekule jako diamant, má i čistý monokrystal křemíku (Si) pěstovaný v laboratoři, např. pro účely výroby polovodičů. Rozdíl je jen v tom, že Si má větší atom než C, takže při vzniku vazby Si–Si je vzdálenost jader také větší (viz obrázek). Křemík se přitom dá mnohem snáze tavit než uhlík (mimo jiné proto, že vazba Si–Si je slabší), jeho teplota tání činí jen 1 414 °C – na rozdíl od grafitu, který v pevném stavu setrvává až do teploty 3 825 °C. Pěstování krystalů křemíku v laboratoři jde tedy mnohem lépe a rekordní kousky křemíkových monokrystalů mají třeba přes 2 m na délku a k tomu hmotnost stovek kilogramů.

BIOMOLEKULY

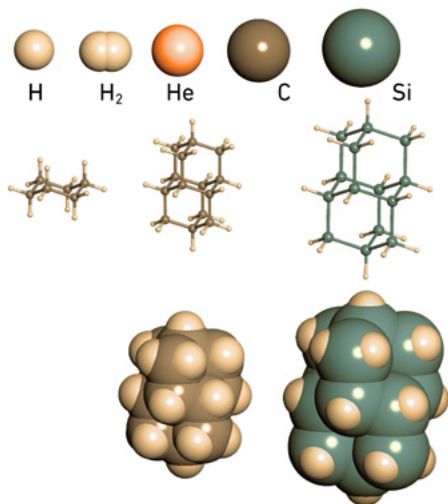
Živá příroda tu neživou v lecčems předčí už proto, že „výroba“ molekul je vlastně to hlavní, co život dělá. A tak ani

zde není nouze o zajímavé „rekordy“. Leckoho možná překvapí, že nejdelší molekulou v živých organismech je molekula DNA a ta je také pravděpodobně nejdelší známou molekulou, o níž s určitostí víme, že existuje. V lidském těle je nejdelší molekulou vlákno DNA tvořící chromozom 1, které by při rozvinutí měřilo na délku zhruba 8,5 cm.

Lidský genom ovšem není v tomto směru nijak výjimečný, jsou organismy, jejichž genomy jsou ještě mnohem větší. Rekordně dlouhou molekulu chromozomální DNA, která je zároveň nejdelší přírodní molekulou, ukrývá ve svých buňkách exotická dvojdyšná ryba (bahňák americký, *Lepidosiren paradoxa*). Velikost této DNA molekuly činí kolem 50 miliard párů bází, což znamená, že by měla mít délku kolem 15 metrů! Protože ale spousta organismů s velkými genomy ještě není dostatečně detailně prozkoumaná a velikosti jejich chromozomů neznáme, není vůbec vyloučeno, že jiný organismus může mít molekulu DNA ještě delší.

A jak se vlastně takto dlouhá molekula do buňky, která je třeba u člověka velká jen kolem 0,02 mm, vejde? Je to možné i díky tomu, že molekula DNA je velmi tenká a v buněčném jádře je s pomocí proteinů namotaná do několika úrovní, takže nakonec vytvoří chromozom veliký jen tisíce milimetru. ●

AUTOŘI PŮSOBÍ NA KATEDŘE UČITELSTVÍ
A DIDAKTIKY CHEMIE





Na lovu molekul

Seznamte se s disciplínou, jejíž uplatnění nemá hranic

KAREL NESMĚRÁK

Svět je neustále v pohybu a skrývá řadu hrozeb a tajemství, které nelze odhalit pouhým okem. Naštěstí je tu analytická chemie – nenápadný, a proto i trochu přehlížený hrdina našich každodenních životů. Přitom „lovci molekul“, analytičtí chemici, dokážou najít i tu nejmenší prchavou stopu a z té složit celý příběh – ať už zkoumají kapku krve, složení léků, vzduch ve městě, nebo třeba starověkou amforu.

V jádru je analytická chemie disciplínou, která zkoumá a vyvíjí metody k získání znalostí o chemickém složení látek kolem nás. A protože náš svět je ve své podstatě chemický, znamená to, že analytičtí chemici zkoumají v jistém smyslu celý svět. Bez analýzy chemického složení není možné pochopit, natož

řídít žádný chemický proces, biologickou funkci či ekologickou rovnováhu. Pojďme se tedy seznámit s oborem, před nímž díky lidskému umu a moderním technologiím nezůstává nic skryté.

KDO HLEDÁ, NAJDE

Práce analytického chemika často připomíná hledání pověstné jehly v kupce sena. Dnešní analytická chemie umožňuje odhalit látky v koncentracích, které si lze jen stěží představit. Konkrétně jde o zředění až 1 : 1 000 000 000 000 000 (1×10^{15}). Je to, jako být schopen přesně určit jednu konkrétní sekundu v časovém úseku 32 milionů let! A nejen to – dnešní analytické přístroje poskytují výsledky téměř okamžitě, v reálném čase. To znamená, že chemici mohou zjišťovat změny v lidském těle,

atmosféře nebo průmyslových procesech doslova v přímém přenosu. Tato extrémně vysoká citlivost a rychlost je jistě vědeckým triumfem, ale s ohledem na zaměření oboru je vlastně nutností. Umožňuje sledovat látky, které představují hrozbu i v minimálních koncentracích, jako jsou perzistentní organické znečišťující látky nebo zbytky pesticidů. Titul „lovci molekul“ tedy analytickým chemikům přísluší plným právem.

PŘEDBĚHNOUT PŘÍZNAKY

Jednou z velmi důležitých oblastí uplatnění analytické chemie je medicína. Analytičtí chemici pomáhají lékařům diagnostikovat nemoci dříve, než se projeví. Dnes lze v krvi (ale i dechu či potu) odhalit stopová množství nádorových markerů, tj. molekul charakteristických

◀ **Plynová chromatografie pomáhá zajišťovat bezpečné a kvalitní potraviny. Jeden přístroj má ve své výbavě i Chemická sekce PČF UK.**

Foto Petr Jan Juračka

pro nádorový proces v těle. A to dávno předtím, než nemoc způsobí první příznaky. Léčba je pak rychlejší i úspěšnější.

Podobně lze díky lovu molekul sledovat účinnost léčby nebo přesně dávkovat léky každému pacientovi individuálně. Tento přístup, nazývaný personalizovaná medicína, umožňuje upravit léčbu na míru danému pacientovi. Například zjištění genetické výbavy konkrétního jedince metodami analytické chemie pomáhá předvídat, zda bude tělo pacienta správně metabolizovat léky a zda bude lék vůbec účinný.

JÍDLA, ODPADY, ...

Lovci molekul jsou také nepostradatelnými strážci našeho jídelníčku. Každé sousto, které sníme, i každý doušek vody, který vypijeme, prošel „přísným výslechem“ analytických laboratoří. Pomocí plynové chromatografie se například sledují zbytky pesticidů v ovoce, herbicidy v pitné vodě nebo nepatrná množství mykotoxinů v obilí. Chemická analýza současně přispívá i k odhalování možných (a bohužel častých) ekonomických podvodů, například záměny drahé rýže basmati za běžnou, dlouhozrnnou či nesprávného označení země původu česneku nebo odrůd jablek.

Moderní analytické přístroje v čistírnách odpadních vod zase hlídají úniky nebezpečných látek v reálném čase, aby chránily řeky a ekosystémy. Analytické

▶ **Analýzou dechu pomáhají analytici chemici ochraňovat naše zdraví. Ilustrace**

Karel Nesměrák

metody jsou klíčové rovněž pro sledování klimatu. Tak měření izotopového složení oxidu uhličitého pomáhá odhalovat zdroje emisí a plánovat účinná opatření. Stejně důležitá je analytická chemie při sledování zcela nových hrozeb, jakými jsou například mikroplasty, kde automatizované metody výrazně urychlují chemickou identifikaci jejich počtu, tvaru a složení.

... SPORT, ZLOČIN I UMĚNÍ

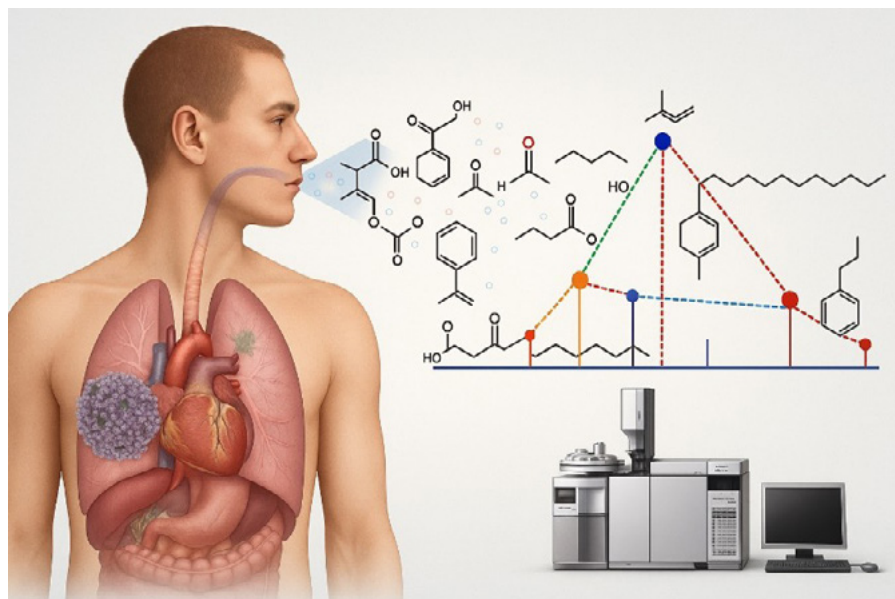
Analytická chemie je i neviditelným rozhodčím ve sportu. Antidopingové laboratoře hledají zakázané látky, které mohou být přítomné v nanogramových množstvích, a dokážou rozhodnout o osudu celé sportovní kariéry. Podobně v kriminalistice pomáhá DNA analýza nebo identifikace stop výbušnin a jedů dopadnout pachatele. A to i po mnoha letech. Lovci molekul pracují se stopovým množstvím látek (vlákna, stopy drog, chemické zbytky) a jsou schopni přinést nezvratné důkazy, které vedou k zajištění spravedlnosti.

Málokdo tuší, že analytická chemie chrání i cenná umělecká díla a kulturní poklady lidstva. Pomocí neinvazivních

metod, jako jsou rentgenová fluorescence nebo infračervená spektroskopie, zkoumají analytici chemici složení barev a pigmentů na obrazech, aniž by je museli poškodit. Díky tomu lze odhalit padělky, sledovat stárnutí materiálů nebo plánovat šetrnou restauraci vzácných děl. Tímto způsobem pomáhají lovci molekul zachovat kulturní dědictví pro budoucí generace.

Analytická chemie je tedy dynamickým oborem, který poskytuje spolehlivé odpovědi na nejrůznější otázky našeho světa. Lovci molekul, analytici chemici, své metody a přístupy neustále vyvíjejí. Konstruují například miniaturní přenosné laboratoře, které dovedou provést složitou analýzu rovnou v terénu, nebo dokonce analyzovat krev přímo v krevním řečišti pacienta. Umělá inteligence jim navíc pomáhá rychleji vyhodnocovat složitá data. Lov molekul tak bude v budoucnu ještě rychlejší, chytřejší a přesnější. Analytická chemie dnes neposkytuje jen data – poskytuje znalosti, které mění svět. ●

AUTOR PŮSOBÍ NA KATEDŘE ANALYTICKÉ CHEMIE





Padouch, nebo hrdina?

Příběh molekuly, která kdysi život brala a nyní ho dává

MARTIN KAMLAR

Svět, který vidíme kolem sebe, je jen zlomkem skutečnosti omezeným na to, co dokážou zachytit naše oči. Jde o pouhou špičku ledovce, pod níž se skrývá fascinující neviditelná říše molekul.

Molekuly jsou základem všeho, co nás obklopuje – od vzduchu, který dýcháme, přes vodu, kterou pijeme, až po materiály, ze kterých je postaven náš domov. A právě zde, na úrovni molekul, atomů a vazeb, někdy vznikají příběhy, které mění životy lidí – někdy tiše a nenápadně, jindy s ničivou silou. Molekula dokáže spustit kaskádu reakcí a způ-

sobit pohromu, nebo naopak zachránit život. Pohled do tohoto skrytého světa nám odhaluje, proč je chemie skutečnou mocí, jež se skrývá v nepatrném, ale zásadním úseku reality.

VRAŽEDNÝ PLYN

Přenesme se nyní o více než sto let zpět, na počátek 20. století, kdy byl svět zachvácen hrůzami první světové války. V červenci 1917 byla na západní frontě, kde se již tři roky bojovalo o každou píď půdy, poprvé použita bojová látka dnes známá jako yperit (dle belgického města

Ypres; něm. Senfgas – hořčičný plyn). Tato látka u vojáků způsobovala na kůži hrozivé puchýře a leptala sliznice, což vedlo k poškození plic a očí a často doživotním následkům.

Používání jedů či otrávených zbraní sice výslovně zakazovaly úmluvy z let 1899 a 1907, ale teprve válečná zkušenost s yperitem (a dalšími látkami) vedla k uzavření tzv. Ženevské konvence neboli Mezinárodní úmluvy o zákazu použití plynů a bakteriologických zbraní ve válce (1925). Zdálo by se tedy, že

yperit navždy zůstane synonymem válečné hrůzy. Jenže věda má zvláštní schopnost – i z poznatků získaných tou nejhorší cestou dokáže někdy vykresat nečekané dobro. A právě to se stalo také s yperitem.

VYUŽÍT SMRT BUNĚK

Molekula yperitu je organický sulfid chemicky nazývaný bis(2-chlorethyl) sulfid, a působí jako alkylační činidlo. V organismu reaguje zejména s DNA a ve svém důsledku ji poškodí a způsobí buněčnou smrt (apoptózu). Už během první světové války bylo zaznamenáno, že u vojáků zasažených yperitem byla pozorována snížená krvetvorba, což naznačovalo potlačení buněčného dělení.

Tato pozorování byla potvrzena v roce 1942, kdy britští a američtí lékaři zjistili, že dusíkaté deriváty odvozené od yperitu poškozuji kostní dřeň a vedou k nízkému počtu bílých krvinek (lymfopenii a leukopenii). Tyto skutečnosti přivedly vědce k myšlence, že schopnost potlačovat množení buněk by bylo možné využít v medicíně. Například leukémie, při níž dochází k přemnožení bílých krvinek, které napadají vlastní organismus, by mohla být léčena látkami, které zastavují buněčné dělení. Na základě těchto zjištění byly vytvořeny dusíkaté deriváty yperitu a tak se zrodila první cytostatická léčiva.

PRŮLOM V ONKOLOGII

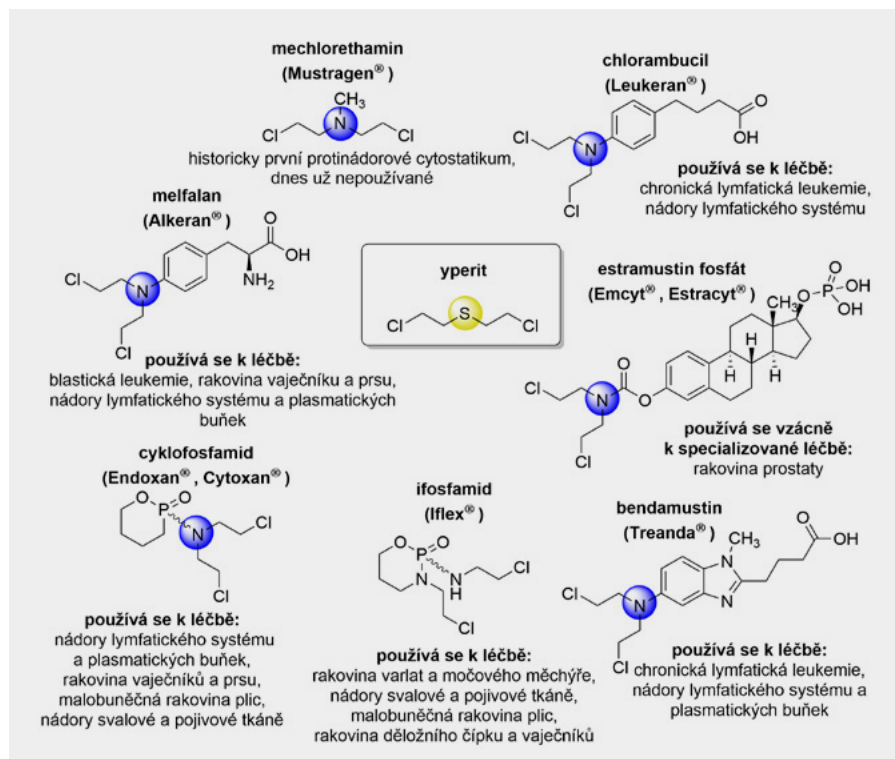
Prvním cytostatikem byl mechlorethamin. V roce 1942 jej farmakologové Louis Goodman a Alfred Gilman podali během klinického testování pacientovi s pokročilým lymfomem. Léčba částečně zafungovala – dočasně snížila růst nádoru a zmenšila jeho velikost. I když nedošlo k úplnému vyléčení, znamenalo to zásadní průlom v onkologii.

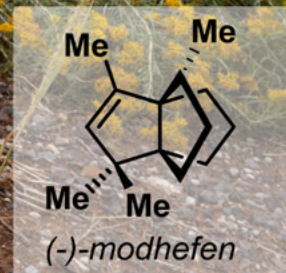
Dusíkaté látky odvozené od yperitu se tak staly prvními využívanými chemoterapeutiky. Mechanismus jejich účinku spočívá v tvorbě kovalentních vazeb v molekule DNA, čímž dochází k blokování buněčného dělení a buněčné smrti proliferujících buněk (např. B-lymfocytů). Od této doby chemici a farmakologové připravili celou paletu alkylačních cytostatik s vylepšeným terapeutickým účinkem. Mezi nimi je chlorambucil, který je v Česku stále registrovaným preparátem. Používá se

ovšem jen málo, zejména u starších pacientů nebo v paliativní terapii. Naopak melfalan, cyklofosfamid, ifosfamid a bendamustin jsou stále aktivně využívanými léčivy a v současné klinické praxi představují hlavní alkylační cytostatika. Podobně jako chlorambucil je i estramustin fosfát dostupný jen v omezených indikacích a jeho použití je spíše specializované.

Jak vidno, historie je plná paradoxů, a tak yperit, původně bojová látka, která přinášela jen bolest a smrt, je dnes díky úsilí vědců nadějí pro pacienty s rakovinou. Studium vlastností molekuly yperitu a jeho derivátů umožnilo vývoj nových tříd cytostatických léčiv. Tento příběh nám připomíná, že i z temných objevů může vzniknout něco dobrého, ovšem za předpokladu, že vědci nezapomenou na své původní poslání. ●

AUTOR PRACUJE NA KATEDŘE ORGANICKÉ CHEMIE





Podivné sloučeniny?

O molekulách, jejichž složitost probouzí zvědavost a podněcuje bádání

MARTIN KOTORA

Příroda neustále udivuje rozmanitostí a bohatstvím živé i neživé říše a je zdrojem nových, překvapujících objevů, které nepřestávají ohromovat odborníky i širokou veřejnost. Chemie je na tomto poli velmi úspěšná, a to zejména pokud jde o objevování molekul se zvláštní strukturou. Ta může být dána buď formou vazeb mezi jednotlivými atomy, nebo jejich celkovým prostorovým uspořádáním. U některých takových molekul by se dokonce mohlo zdát, že jejich struktury z fyzikálního hlediska popírají známá a všeobecně přijímaná pravidla,

ačkoliv při důkladnějším pohledu to samozřejmě není pravda. I proto ovšem bývají označovány jako „podivné, neobvyklé, nepravděpodobné či neočekávané“.

Z PŘÍRODY I LABORATOŘE

Neobvyklé molekuly mají zpravidla dvojí původ. Vznikají jednak izolací a charakterizací nových sloučenin z různých organismů, jednak čistě syntetickou prací v laboratoři. Z organismů se v posledních letech stali bohatým zdrojem různých látek zejména mořští živočichové jako koráli, mořské houby,

plži či mlži a rovněž mořské řasy a rostliny. V případě organismů suchozemských (zejména rostlin) je sice složení jejich těl většinou velmi dobře prozkoumáno, i tak je zde ale možné někdy nalézt nové strukturně zajímavé sloučeniny.

Druhá oblast, tj. syntéza nových molekul, je snad ještě rozmanitější, neboť zde nejsou stanoveny žádné hranice. Záleží pouze na lidském důvtipu při řešení vhodného postupu přípravy teoreticky navržených molekul a jeho uskutečnění v laboratoři.

SLOŽITÉ TVARY

Co dokáže příroda, skvěle ilustruje komplikovaná molekula modhefen, která se vyznačuje trojcyklickým uhlíkovým skeletem, tvarem připomínající třílistou vrtuli. Poprvé byla izolována v roce 1978 z rostliny *Isocoma pluriflora* (dříve *wrightii*) z čeledi hvězdnicovitých, rostoucí v severním Mexiku a jižních státech USA. Následně byly izolovány i další substituční deriváty modhefenu. Ač má poměrně složitou strukturu, jeho první syntéza na sebe nenechala dlouho čekat. Publikována byla v roce 1981 A. B. Smithem III.

Podobně složitou sloučeninou je také pentacykloanammoxová kyselina, jejíž základní skelet je tvořen systémem pěti kondenzovaných cyklobutanových kruhů. Byla izolována z mikrobu *Candidatus Brocadia anammoxidans* v roce 2002. Její estery s glycerinem jsou hlavní složkou membrán organel výše zmíněného mikroorganismu. Ač se může její struktura zdát jednoduchá, vytvoření systému pěti kondenzovaných cyklobutanových kruhů je syntetickým oříškem. Navzdory tomu byla její první syntéza publikována již v roce 2004 E. J. Coreyem (nositelem Nobelovy ceny za syntetickou chemii).

PRUDKÉ JEDY

Rozhodně je vhodné zmínit, že v přírodě se vyskytuje celá řada halogenovaných

sloučenin obsahujících běžně prvky chloru, bromu a jodu. Ale známé jsou dokonce i fluorované látky. Z těch je nejhojněji zastoupenou sloučeninou jednoduchá sůl fluorooctan sodný, který se vyskytuje v řadě afrických, australských a jihoamerických rostlin (např. *Dichapetalum cymosum*). Nutno podotknout, že se jedná o velmi jedovatou látku.

Z celé řady chlorovaných přírodních látek stojí za zmínku sloučenina známá pod kódem KS-504d, obsahující 70 hmotnostních procent chloru, která byla v 80. letech izolována z houby *Mollisia ventosa* (terčenka buková). Rekordmanem, jenž obsahuje hned tři halogenové prvky, je 7-brom-2,3-dichlor-6-jod-1H-indol který byl spolu se svými izomery izolován z červené řasy *Rhodophyllis membranacea*, rostoucí při pobřeží Nového Zélandu. Vykazuje slabou anti-fungální aktivitu.

KOUZLA LABORATORNÍ SYNTÉZY

Nyní se přesuňme do světa čistě syntetických molekul, které nemají své zastoupení v přírodě, resp. zatím nebylo zjištěno, že by je příroda byla schopná připravit. Jednou z takových látek jsou helicity, které patří do rodiny polycyklických aromatických sloučenin a skládají se z ortho-kondenzovaných

benzenových jader. V případě větších helicenů, jež jsou složeny z šesti a více benzenových kruhů, existují ve formě dvou stabilních enantiomerů, tj. látek, které otáčejí rovinu polarizovaného světla doleva nebo doprava. Jako typický příklad může sloužit [7]helicen. Helicity a jejich substituční deriváty či heterohelicity (ty obsahují místo atomu uhlíku nějaký heteroatom jako N nebo P, popřípadě další prvky) jsou potenciálními kandidáty na využití v organické elektronice.

Další pozoruhodnou aromatickou sloučeninou je [2,2]paracyklofan. Ten byl poprvé připraven v roce 1949 pyrolýzou paraxylenu při nízkém tlaku. Od té doby přitahoval pozornost chemiků a dalších vědců kvůli svým fyzikálně-chemickým vlastnostem. Jedná se o sloučeninu tvořenou dvěma benzenovými kruhy, které jsou spolu spojeny v para polohách ethylenovými můstky. [2,2]paracyklofan má celou řadu zajímavých strukturních a chemických vlastností, které nacházejí uplatnění v mnoha směrech chemie, např. v medicíně, organické elektronice atd. Za zmínku stojí, že problematikou syntézy a využití helicenů a [2,2]paracyklofanu se zabývají vědecké skupiny na katedře organické chemie PČF UK.

A za pozornost stojí i skupina látek zvaných polyborany, což jsou sloučeniny, u kterých se snad ani nedá očekávat jejich výskyt v přírodě. Jedná se o látky s klecovou strukturou, která je tvořena atomy boru a vodíku, případně i atomy uhlíku či jiných prvků. Ač se jedná o strukturně velice zajímavé sloučeniny s neobvyklými vlastnostmi, jejich využití je zatím velmi omezené. Některé nacházejí uplatnění při zpracování radioaktivního odpadu, jiné jsou kandidáty na využití v zachytitelné neutronové terapii. ●



AUTOR PŮSOBÍ NA KATEDŘE ORGANICKÉ CHEMIE



Hledání tvaru proteinů

Predikce struktury proteinů jako případová studie využití AI v biologii

MARIAN NOVOTNÝ

Proteiny neboli bílkoviny představují klíčové součásti všech buněk – mohou mít roli strukturní, roli regulační i roli hybatelů buněčných procesů. Detailní pochopení jejich funkce je proto cílem mnoha výzkumných týmů po celém světě. Jak známo, funkce často souvisí s tvarem – někdy stačí vědět, jak předmět vypadá, abychom pochopili, jak funguje. Například tvar lžice docela dobře naznačuje, k čemu může sloužit. Může to ale platit i o proteinech?

TĚŽKO JE ZAHLÉDNOUT

Proteiny jsou ve světě molekul obry (někdy se jim dokonce říká makromolekuly), a přesto neexistuje žádný světelný mikroskop, ve kterém bychom mohli jejich tvary pohodlně pozorovat. Světelnou mikroskopií je možné sledovat v ideálním případě objekty o velikosti stovek nanometrů, proteiny však obvykle mají velikost jednotek nanometrů a velké makromolekulární komplexy mohou dosahovat velikosti

desítek nanometrů. Jsou tedy pořád desetkrát menší než to, co je možné mikroskopem pozorovat. Vědci proto vyvinuli několik metod (např. rentgenovou krystalografii či kryoelektronovou mikroskopii), které umožňují do mikrosvěta proteinů a jejich interakcí s dalšími makromolekulami nahlédnout. Tyto metody přinesly často přelomové poznatky a za jejich vývoj i za určení struktur proteinů bylo až dosud uděleno více než 20 Nobelových cen.

◀ **Experimentální metodou určování struktur proteinů je nukleární magnetická rezonance (NMR). Ta využívá snímání v roztoku a umožňuje sledovat dynamiku proteinů.** Foto Petr Jan Juračka

Experimentální určování struktur je ovšem i přes značný metodický pokrok stále velmi pomalý a finančně náročný proces.

TVAR UKRYTÝ V SEKVENCI

Identita proteinů je definována počtem a pořadím aminokyselin (jednotek, ze kterých se protein skládá). Jakými faktory je však ovlivňována 3D struktura proteinu? Zhruba před 60 lety prováděl Christian Anfinsen a jeho tým pokusy s enzymem ribonukleázou a prokázal, že pořadí aminokyselin v sekvenci proteinu určuje i jeho 3D strukturu, a proto by ji mělo být možné na základě sekvence za pomoci výpočetních metod čistě také predikovat. Sekvencí proteinů známe obrovské množství (řádově stovky milionů), takže levná metoda, která by dovedla předpovědět 3D strukturu proteinů, by měla široké uplatnění a byla by mimořádně přínosná.

OD STAGNACE K PRŮLOMU

Vědci na celém světě se proto pustili do vývoje metod, které by predikci 3D struktury proteinů umožnily. Postupně vyvinuli postupy, které zvládnou kvalitní predikce tvarů na základě sekvenční podobnosti s existujícími experimentálními strukturami, ale po dlouhá dese-

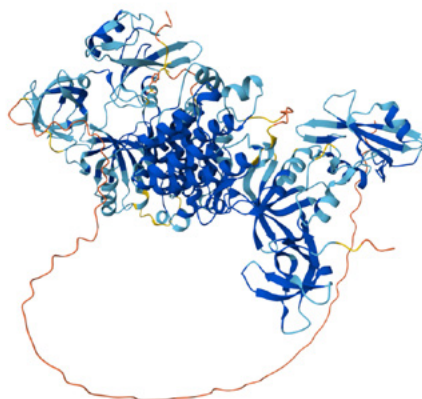
▶ **Predikce interakce Src kinázy s regulačním proteinem Csk programem Alphafold 3. I pokročilé predikce, jako je tato, jsou díky moderním nástrojům dostupné komukoliv a nevyžadují speciální znalosti či vybavení.** Zdroj Deep Mind – Alphafold 3

tiletí nezaznamenávali prakticky žádný pokrok pro velkou část proteinů, jejichž sekvence nebyly podobné proteinům se známou 3D strukturou.

Téma predikce bylo tak důležité, že vznikla dokonce „predikční olympiáda“ (CASP), kde se jednou za dva roky akademické týmy pokoušely předpovídat struktury proteinů, jejichž 3D struktury jsou experimentálně prakticky určeny, ale ještě nejsou ve veřejných databázích – výsledky predikce proto bylo možné po pár měsících konfrontovat s experimentálně určenými strukturami, které v době soutěže nebyly k dispozici. Díky CASP víme, že se metody predikce mezi lety 1992 a 2017 nelepšovaly. CASP nicméně sehrál klíčovou roli v průlomu, ke kterému se v oblasti predikce proteinů začalo pomalu schylovat.

AI VSTUPUJE NA SCÉNU

V roce 2018 se soutěže CASP poprvé zúčastnilo i neakademické pracoviště firma – Deep Mind, tehdy už dobře známá svými úspěchy na poli umělé inteligence. Pro Deep Mind byla soutěž velkou výzvou – existuje totiž kvalitní a dostupný trénovací dataset pro strojové učení ve formě databáze experimentálních struktur (PDB), a CASP navíc vyvinul celou řadu metrik, kterými šlo věrohodně monitorovat, zda vyvinuté metody fungují. Hned při



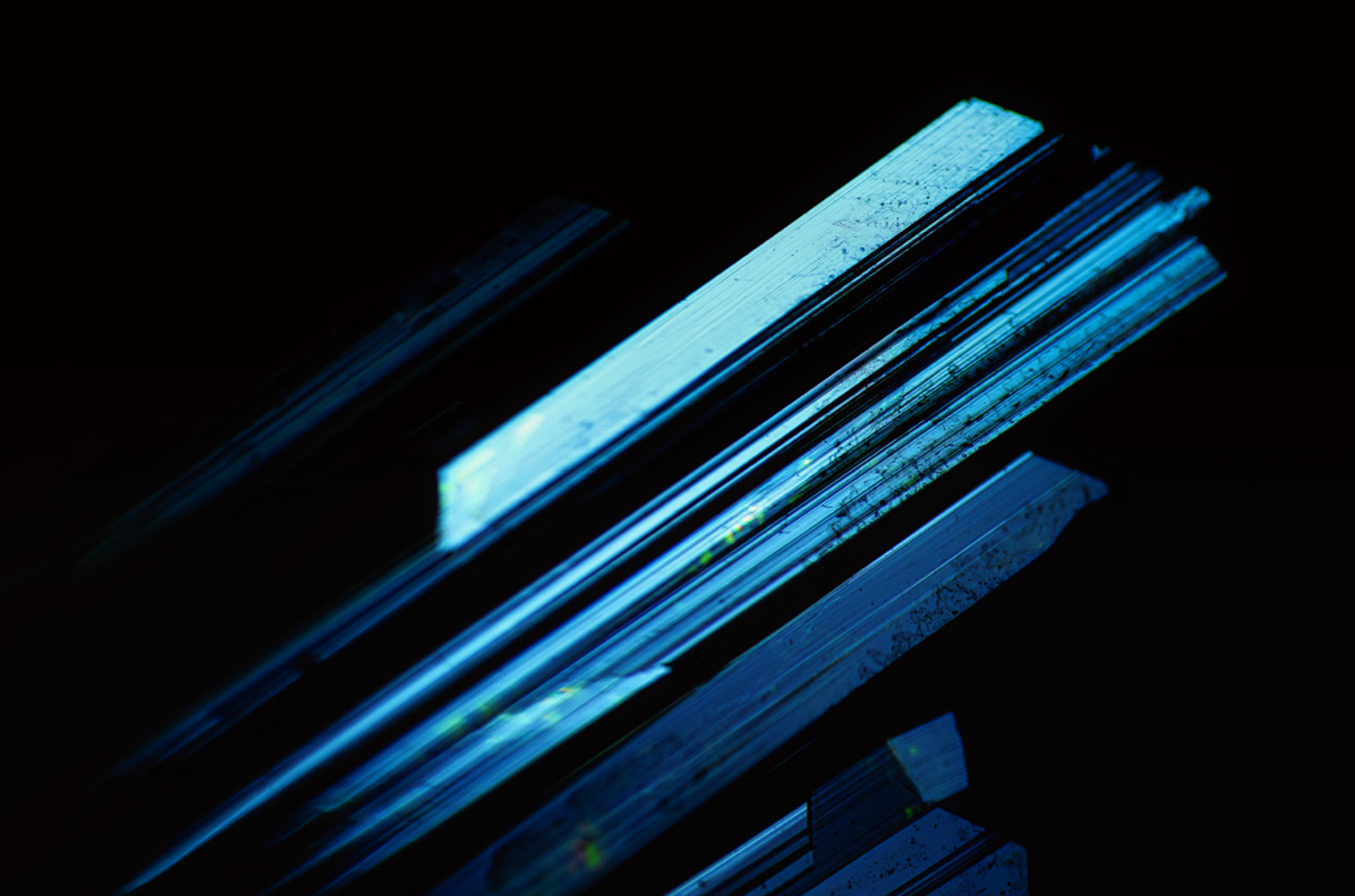
první účasti dosáhl Deep Mind díky svému algoritmu Alphafold významného pokroku v přesnosti predikce, skutečný průlom v predikci 3D struktur ovšem přinesla až jeho druhá verze v roce 2020. Alphafold 2 byl schopen predikovat struktury všech proteinů bez výjimky s přesností velmi podobnou experimentálně určeným strukturám a tím prakticky potvrdil, že k predikci 3D tvaru proteinů skutečně stačí znalost sekvence aminokyselin.

ROZMACH A NOVÉ VÝZVY

Problém byl vyřešen, nicméně nedošlo k útlumu zájmu o predikci proteinů, ale naopak k obrovskému rozvoji v této oblasti – k dispozici jsou nové metody, které dovedou predikovat nejenom 3D strukturu jednotlivých proteinů, ale i interakce mezi nimi, vazbu proteinů na nukleové kyseliny či vazbu proteinů na malé molekuly, jako jsou ionty kovů či jiné malé molekuly, a všechny tyto pokroky jsou klíčové pro vývoj nových léků. Rozvoj AI metod pro predikci struktury proteinů vedl i k novým metodám strojového učení pro design nových proteinů s novými funkcemi odvozenými opět od tvarů takto designovaných proteinů.

V současnosti zažívá studium struktury proteinů díky pokrokům v umělé inteligenci obrovský rozmach, strukturních informací se využívá například i ve fylogenetických analýzách. Zřejmým omezením však je to, že zatímco proteiny jsou dynamické struktury, které mohou zaujmout mnoho různých tvarů, predikční i experimentální metody vedou k jedné nebo několika málo strukturám, které protein popisují sice užitečně, ale jen částečně. Další výzvou proto zůstává naučit se popsat a využít dynamickou povahu proteinů. ●

AUTOR PŮSOBÍ NA KATEDŘE BUNĚČNÉ BIOLOGIE



Silikáty kolem nás

Všudypřítomný prvek nabývá v přírodě nejrozličnějších podob

ONDŘEJ KOPECKÝ (DIDAKTIKA CHEMIE)

Jedním z prvků, které nacházejí hojné využití i v běžném životě, je křemík. Když se teď rozhlédnete okolo sebe, zcela jistě ihned najdete alespoň jeden předmět, který ho obsahuje, ať už je to procesor v mobilním telefonu, nebo třeba jen obyčejné sklo. Jde o prvek, který je doslova všude kolem nás a po kyslíku je druhým nejvíce zastoupeným prvkem v zemské kůře. Kyslík je zároveň jeho nejčastějším vazebným partnerem. Křemík se nachází ve 14. skupině periodické soustavy prvků,

a lze tedy očekávat 4 valenční elektrony a schopnost tvořit 4 vazby. V následujícím textu se zaměříme na konkrétní molekulu, respektive iont: $[\text{SiO}_4]^{4-}$.

KŘEMEN

Asi neznámější sloučeninou křemíku je minerál křemen. Jeho existence je člověku známa odnepaměti – patřil k hlavním minerálům využívaným v době kamenné, a ve vývoji lidské civilizace tudíž sehrál zásadní roli. Křemen patří do trigonální

(romboedrické) soustavy. Ideální krystal vypadá jako šestiboký hranol zakončený šestibokou pyramidou nebo klencem. Základní struktura samotného minerálu je přitom velmi jednoduchá. Jedná se souvislou síť tetraedrů $[\text{SiO}_4]^{4-}$, kdy je každý kyslík sdílen dvěma tetraedry. Díky tomuto sdílení náleží každému křemíku $4 \times \frac{1}{2}$ kyslíku a odtud pochází vzorec, který je s křemenem spjatý – SiO_2 . Teoreticky může tvořit nekonečně velké struktury a spadá do tektosilikátů.

Od základního řetězení křemene se lze odpíchnout a navázat řetězením komplikovanějším. Silikáty zároveň tvoří největší skupinu horninotvorných minerálů z celého systému. Dle stupně polymerizace rozlišujeme několik skupin, počínaje nesosilikáty (nejméně řetězené) až po tektosilikáty (nejvíce řetězené). Každá ze skupin silikátů má mezi minerály své typické zástupce. Pojďme se podívat na to, jakým způsobem se řetězí jednotlivé skupiny silikátů, a na jejich zástupce, se kterými se můžeme běžně setkat.

NESOSILIKÁTY

Nesosilikáty jsou nejméně řetězené; dá se vlastně říci, že nejsou řetězené vůbec, jelikož tetraedry $[\text{SiO}_4]^{4-}$ jsou od sebe izolované a mezi nimi není žádná větší interakce. Ve struktuře se mezi tetraedry nachází nejčastěji dvojmočné kationty (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+}), které tuto strukturu drží pohromadě prostřednictvím elektrostatických sil. Příkladem může být granát s obecným vzorcem $\text{M}_3^{2+}\text{B}_3^{3+}(\text{SiO}_4)_3$. Skupiny s křemíkem jsou vymezeny mezi skupiny s koordinovanými kovy M^{2+} a M^{3+} . Kromě granátu je dalším významným minerálem této skupiny například zirkon $[\text{ZrSiO}_4]$, využívaný pro geologická datování.

SOROSILIKÁTY

Méně významnou skupinou jsou sorosilikáty, u kterých jsou dva tetraedry spojeny dohromady. Sumárně zapsaná opakuje se struktura je tedy $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$. Oproti izolovaným tetraedrům nesosilikátů se sorosilikáty vyskytují v menším počtu krystalografických struktur.

Konkrétně je nalezneme v jednodušné (monoklinické) a kosočtverečné (romboedrické) soustavě. Obě tyto soustavy patří k těm nejméně symetrickým. Méně souměrná už je pouze trojkonná (triklinická) soustava. Asi nejvýznamnějším zástupcem sorosilikátů je epidot – $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$, který se obvykle využívá jako dekorativní kámen. Z chemického vzorce jsou patrné i samostatné křemičité tetraedry, které se ve struktuře vyskytují, což podporuje nižší organizovanost struktury minerálu.

CYKLOSILIKÁTY

V cyklických silikátech tvoří tetraedry uzavřenou strukturu. Nejčastější a nejstabilnější je hexatetraedrický cyklus, tedy cyklus obsahující 6 tetraedrů. Minoritně se vyskytují i tri – (3), tetra – (4), okta – (8), nona – (9) a dodekatetraedrické (12) cykly. Zástupcem cyklosilikátů je například beryl $(\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18})$ nebo turmalín a jemu podobné minerály. Právě beryl je hojně využívaný v průmyslu, jelikož je zdrojem beryllia, které se používá do lehkých a odolných slitin (např. berylliového bronzu – $\text{Be} + \text{Sn} + \text{Cu}$). Mineralogové jej ovšem znají pod jinými názvy – například smaragd nebo akvamarín.

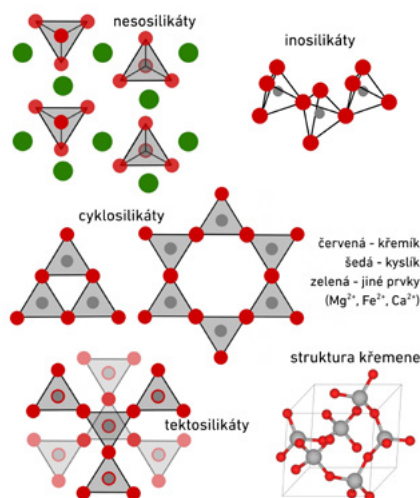
INOSILIKÁTY

Skupina inosilikátů je typická svým dlouhým jednoduchým nebo zdvojeným řetězcem tetraedrů. U jednoduchého řetězce je základní opakuje se jednotkou $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$, u zdvojených inosilikátů se pak opakuje $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$. Mezi jednoduché silikáty patří například pyroxeny, mezi zdvojené pak amfiboly. Oba tyto minerály se často vyskytují v dlouhých krystalech, což jen podtrhuje řetězec, ze kterých se skládají. Najdete je třeba v dekorativních obkladových kamenech, jaké jsou použity například v pražském metru. Do této skupiny ovšem patří také toxický azbest, který se v minulosti využíval jako tepelná izolace.

FYLOSILIKÁTY A TEKTOSILIKÁTY

Poslední dvě skupiny komplexních silikátů jsou specifické svým rozsahem a možností tvořit teoreticky nekonečné velké struktury. Fylosilikáty jsou typické svou vrstevnatostí. Základními opakuje se jednotkami jsou $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$, které jsou mezi sebou vázány v ploše. To následně dává vrstevnatou vlastnost i minerálům, jako je muskovit nebo biotit (slídy). Využití slíd je velmi široké, od elektrotechniky až po kosmetiku. Tektosilikáty jsou o něco komplexnější než fylosilikáty, jelikož jejich struktura je trojdimenzionální. Každý kyslík základního tetraedru je sdílen těmi sousedními.

Silikáty představují mimořádně rozmanitou skupinu minerálů, jejichž struktura vychází z jednoduchého tetraedru $[\text{SiO}_4]^{4-}$, který se v přírodě může řetězit nejrůznějšími způsoby. Zároveň se nejedná jen o základní horninotvorné minerály, ale i materiály s mnoha praktickými využitími v technice, průmyslu i každodenním životě. ●



Alpský ledovec na výstavě

Poznejte přírodní laboratoř krajinných změn

Ledovec Belvedere, jeden z nejdynamičtějších ledovců v Alpách, se stal v posledních letech skutečnou přírodní učebnicí. Jeho rychlé změny totiž poskytují vědcům prostor k pozorování procesů, které jinak probíhají skrytě a v dlouhých časových úsecích. Expozice, která je nyní k vidění v budově děkanátu PŘF UK, zavádí návštěvníky do srdce italských Alp, přímo pod monumentální východní stěnu Monte Rosa a ukazuje jim, jak klimatické proměny přetvářejí alpská horská údolí i samotné chování ledovců. Na jejím vzniku se podíleli katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, katedra fyzické geografie a geoeekologie, Mapová sbírka a Knihovna geografie PŘF UK ve spolupráci s Milánskou univerzitou a Univerzitou v Heidelbergu



Výstava nabízí průřez moderními metodami výzkumu ledovců: od historických fotografií přes letecké a satelitní snímky až po nejnovější průzkumy pomocí dronů. Návštěvníci se seznámí i s modelováním a datováním skalních řícení či dendrochronologickými analýzami stárí sesuvů. Tematické mapy a vizuální rekonstrukce umožňují sledovat vývoj ledovce v čase

a porozumět souvislostem mezi pohybem ledové masy, skalními říceními, lavinami a náhlými povodněmi, které zanechaly výrazné stopy jak v krajině, tak v paměti místních komunit.

Ledovec však není pojat jen jako na objekt vědeckého bádání, ale také jako místo ohrožení i objevů, jako laboratoř

pod širým nebem, kde se rodí nové metody a rozvíjí se mezioborová spolupráce. Mezinárodní tým *Glacier Landscape Analysis and Geohazards Monitoring with Earth Observation* (glam.natur.cuni.cz) zde například dlouhodobě studuje dynamiku pohybu ledovce, přírodní ohrožení související s ledovci či měnící se podobu horského prostředí.

Ledovec Belvedere: přírodní laboratoř krajinných změn

Místo: Přírodovědecká fakulta UK, 2. patro, Albertov 6 (u Mapové sbírky)

Termín:
9. 12. 2025 – 9. 3. 2026,
po–pá 9:00 – 17:00
Vstup volný

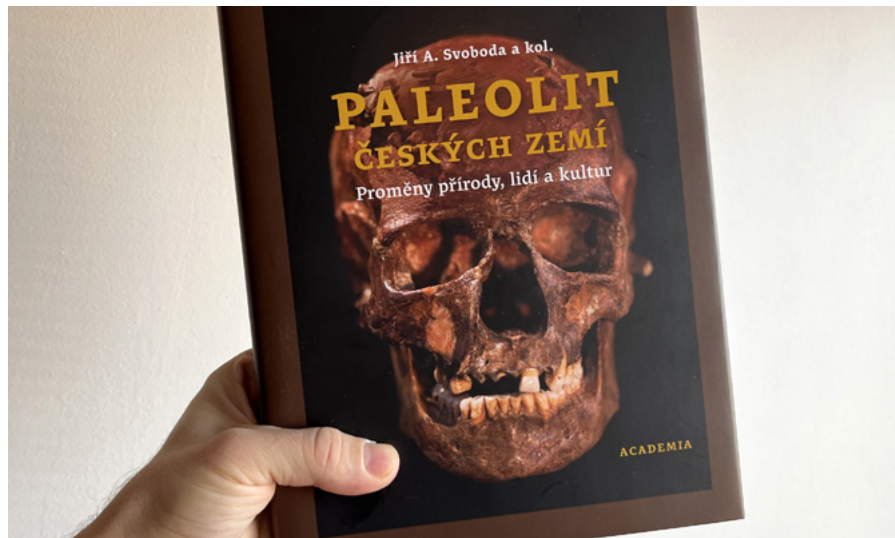
Kontakt na autory výstavy:
prof. Vít Vilímek
a Lukáš Brodský, PhD.

vít.vilimek@natur.cuni.cz
a lukas.brodsky@natur.cuni.cz

Výstupy projektu vznikly v rámci prestižní, mezinárodní Aliance 4EU+. Zvláštní poděkování patří členům týmu GLAM a partnerským institucím, které poskytly unikátní vizuální materiály a výsledky terénního výzkumu. ●

Člověk a příroda v paleolitickém Česku

Změny klimatu v pleistocénu vytvářely značný tlak na lidskou adaptaci



Ve strategickém prostoru uprostřed Evropy se během několika stovek tisíciletí a na pozadí proměnlivého klimatu střetávaly migrace lidských populací, probíhaly závěrečné etapy biologické

evoluce, střídaly se technologické inovace a umělecké styly. Tyto události nemusely být méně dramatické než ty, o nichž se dočítáme v pozdějších kronikách a dokumentech. Kniha

předních odborníků propojuje výsledky badatelské práce z přírodovědných disciplín a české archeologie paleolitu. Oproti knihám V. Ložka Příroda ve čtvrtohorách (1973) a kolektivu J. Svobody Paleolit Moravy a Slezska (1994; 2002; 2009) se údaje z terénu i z laboratoří prohlubují, rozšiřují o další typy organismů a také o progresivní disciplíny, jako je paleogenetika člověka. Kniha vychází nejen ke 100. výročí nálezu Věstonické venuše, ale také v roce objevu nového „mamutiho“ naleziště v Ústí nad Labem. Na dlouho očekávané publikaci se podílela řada odborníků z PŘF UK. ●

Paleolit českých zemí. Proměny přírody, lidí a kultur. Svoboda J. A., Horáček I., Horáčková J., Hošek J., Juříčková L., Macholán M., Pokorný P., Schafstall N. B., Vondrák, D. Academia 2025, 520 stran.

Zahrady, kam se podíváš

Vyšel nový průvodce po našich botanických zahradách

V České republice je více než 40 botanických zahrad a arboret a mezi návštěvníky se těší stále větší oblibě. Již dávno nejsou určeny jen pro odborníky nebo vědce, ale nabízejí bohatý populárně-naučný program a celoroční vyžití i široké veřejnosti a školám. Publikace představuje většinu z veřejnosti přístupných botanických zahrad a arboret. Čtenář získá souhrnné informace o rostlinných sbírkách ve sklenících i na venkovních plochách, o otevírací době a vstupném, pravidelných akcích pro veřejnost i školy a další užitečné

údaje pro spokojenou návštěvu. Fotografie doplňují představu o tom, co zajímavého je zde k vidění. Zahrady jsou v publikaci řazeny abecedně podle názvu obce, v níž se nacházejí, a jejich rozmístění na našem území je zobrazeno v přehledné mapě. Na knize se podíleli i odborníci z Botanické zahrady PŘF UK. ●

Botanické zahrady a arboreta České republiky. Chytrá Magdaléna, Procházková Anna, Sekerka Pavel. Academia 2025, 550 stran.





Vesmírný poklad, nebo jen odpad z pece?

Naučte se rozeznat rozdíl, než oslovíte odborníky

TEXT: JAKUB TRUBAČ
FOTO: PETR JAN JURAČKA

Našel jsi divný, těžký kámen? Srdce ti buší a myslíš na vesmír? Zadrž! Najít ve střední Evropě meteorit je statisticky vzácnější než výhra ve sportce.

Přesto geologické ústavy a muzea denně čelí záplavě zpráv od nálezců, kteří věří, že drží návštěvníka z kosmu. Realita je však neúprosná: drtivá většina nálezů jsou „pseudometeority“ – pozemská struska z pecí nebo železná ruda.

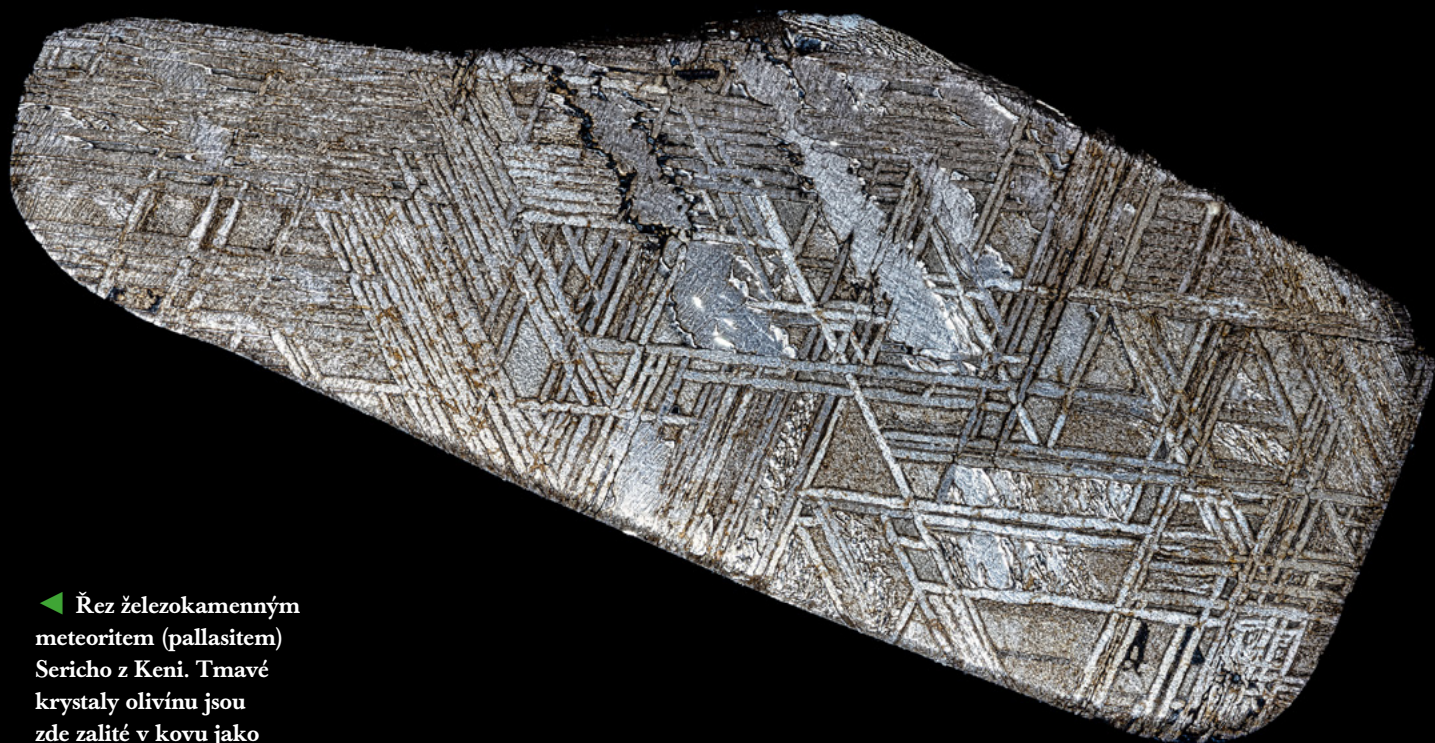
Vědecké instituce nemají kapacity detailně zkoumat každý podezřelý vzorek z pole. Mohou se věnovat jen

těm nálezům, které mají vysokou pravděpodobnost pravosti. A právě proto přichází nová iniciativa ve spolupráci s Explorika.cz a Astronomickým ústavem Akadémie věd.

Naším cílem je udělat z nadšenců kvalifikované průzkumníky. Nechceme brát naději, chceme poskytnout nástroje. Spouštíme projekt osvěty, jehož srdcem je nový web MeteoritScience.cz. Zde najdete odborné podklady, unikátní určovací klíč a také srovnávací fotogalerii. Ta obsahuje nejen snímky pravých meteoritů, ale především přehled

„nemeteoritů“, které lidé do institucí nejčastěji mylně zasílají.

Tento klíč a galerie jsou vaše detektivní sada. Naučí vás aplikovat Occamovu břitvu – rozeznat kůrku tavení, změřit hustotu a pochopit, že pokud má kámen dutiny a bublinky, je to na 99 % odpad, nikoliv meteorit. Pomozte vědět tím, že provedete první filtr sami. Pokud váš nález projde naším klíčem na MeteoritScience.cz, teprve pak má smysl kontaktovat odborníky. Spojením vašeho zápalu a našich nástrojů můžeme společně najít skutečný vesmírný poklad. ●



◀ Řez železokamenným meteoritem (pallasitem) Sericho z Keni. Tmavé krystaly olivínu jsou zde zalité v kovu jako drahokamy v oceli. Jde o jednu z nejvzácnějších skupin meteoritů.

▲ Widmanstättenovy obrazce na železném meteoritu. Tento vzor se objeví po naleptání řezu kyselinou a ukazuje, jak se od sebe oddělovaly různé slitiny železa a niklu v nulové gravitaci. Je to krása, kterou stvořil čas a vakuum.

► Proč se jmenuje chondrit? Právě kvůli těmto kuličkám (řecky chondros = zrno). Jde o prvotní materiál sluneční mlhoviny, který se shlukl dohromady. Pokud v kameni vidíte tyto útvary, díváte se na stavební kameny planet.





Typický příklad
„pseudometeoritu“.
Jde o hutní strusku
– odpad z výroby
železa. I když vypadá
tajemně a může být
těžká, její domov je ve
vysoké peci, nikoliv
v pásu asteroidů.

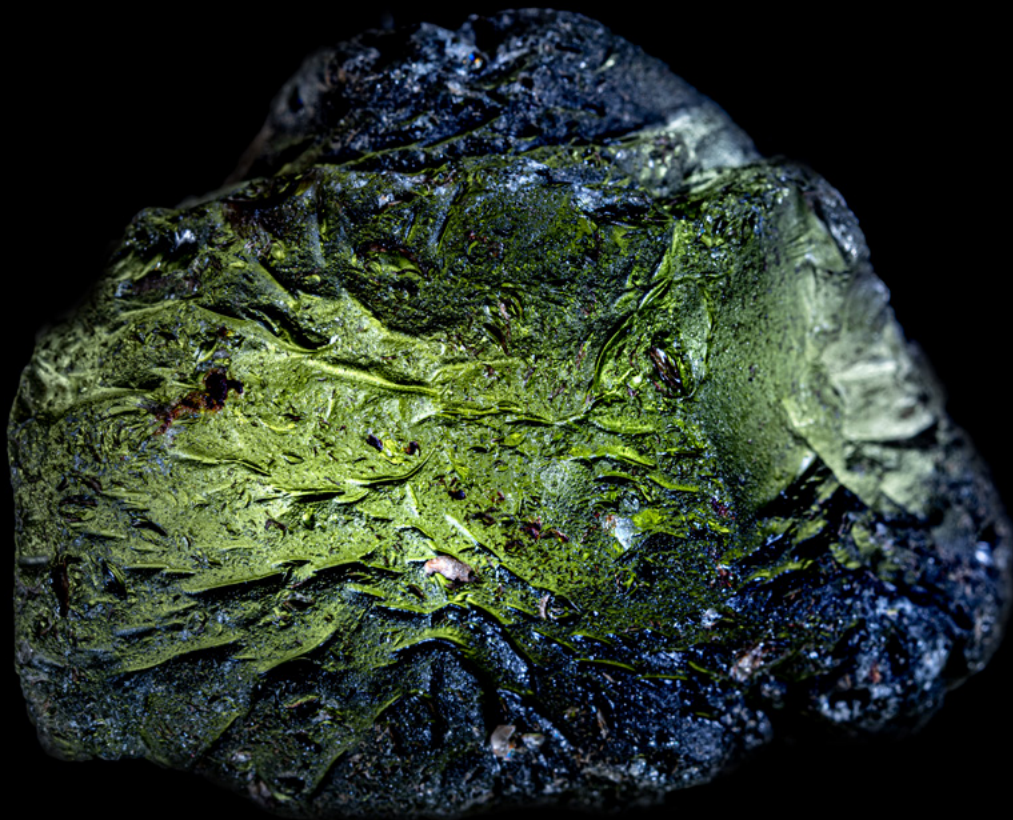


Nejčastější typ kamenného meteoritu-chondritu v celku.
Jeho tmavý povrch je výsledkem pekelného žáru při vstupu
do atmosféry. Uvnitř skrývá silikáty a zrnka kovu, zvenčí
ho chrání kůrka tavení.



Černé přírodní sklo zvané indočínit. Svůj protáhlý tvar
(činka/kapka) získal tento tektit letem vzduchem, když
jako žhavá tavenina chladl po vymrštění z kráteru. Pro
lovce je to cenný nález, ale technicky vzato jde o přetavenou
Zemi, nikoliv o návštěvníka z kosmu.

Kosmický posel, nebo domácí sklo? Vltavín (moldavit) je často mylně považován za kus meteoritu. Ve skutečnosti jde o přetavenou pozemskou horninu – přírodní sklo. Jeho typická vrásčitá struktura (skulptace) nevznikla letem atmosférou, ale miliony let trvajícím leptáním v agresivních půdních vodách.



Tento nález není drahokam z vesmíru, ale kus průmyslového skla. Prozrazuje ho lasturnatý lom (štípe se podobně jako pazourek nebo dno lahve, s ostrými hranami) a sklovitý lesk. Meteority takto nevypadají – jejich povrch bývá spíše matný nebo pokrytý kůrkou.



Tento temný, lesklý kámen připomíná obsidián, ale často jde o průmyslovou strusku. Hlavním znakem, který ho vylučuje z rodiny meteoritů, je sklovitý lom s ostrými hranami (jako když rozbijete lahev). Meteority uvnitř nikdy nejsou ze skla.

Člověku neutečeš!

Lidská schopnost dlouhodobého výkonu není žádná náhoda

VERONIKA RUDOLFOVÁ



Vytrvalostní lov, při níž člověk uštvě kořist pěším pronásledováním, je podle vědců klíčovým faktorem v evoluci lidské termoregulace, energetiky a dlouho trvající fyzické zátěže. Přesto až dosud neměl nikdo přesná data o tom, co se během takového lovu děje s lidským tělem. První přímá fyziologická měření během přinesl nyní výzkum, který provedl Mezinárodní tým vedený antropology z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Jejich studii publikoval časopis *Journal of Human Evolution*.

„Chtěli jsme zjistit, kolik energie vytrvalostní lov člověka stojí, jak je náročný na udržení tělesné teploty, a zda je nutné při pronásledování kořisti běžet,“ říká hlavní autor studie Martin Hora z Katedry antropologie a genetiky člověka PřF UK.

Studie proběhla v poušti Namib, kde čtyři lovci, vedení zkušeným

ultramaratoncem Robim Dattatreya, absolvovali šest lovů přímorožců. Během tří dnů překonali 50 kilometrů při teplotách kolem 40 °C. Dva lovy byly úspěšné, z toho jednou zdravé a jednou zraněné kořisti. Měření ukázala, že člověk zvládá takový výkon bez přehřátí: tělesná teplota lovce nepřekročila 39 °C. „I když se pohyboval v extrémním horku, lovec se nepřehřál a ztratil překvapivě málo vody,“ shrnuje Hora. Denní energetický výdej dosahoval zhruba 5000 kcal, což se nevymyká dennímu výdeji u současných lovců-sběračů či pastevců žijících v horkém klimatu. Lov se přitom ukázal jako mimořádně efektivní – čistý energetický zisk by stačil pokrýt denní potřeby padesáti lidí.

Lov zraněné kořisti byl úspěšný i bez využití běhu, což naznačuje využitelnost této strategie i pro rané lidské druhy,

◀ **Vytrvalostní lov v poušti. Po téměř dvou hodinách pronásledování se vzdálenost mezi lovci a kořistí zkracuje.**

Foto Robi Dattatreya

které ještě neměly tělesné přizpůsobení na dlouhý běh. „Naše data podporují hypotézu, že i hominini bez vyvinutých běžeckých adaptací mohli lovit úspěšně chůzí, pokud sledovali oslabenou nebo zraněnou kořist,“ dodává spoluautor Vladimír Sládek.

Studie tedy ukazuje, že vytrvalostní lov představuje energeticky výhodnou strategii, jež mohla být účinná i u předků člověka, u nichž se tato možnost dosud příliš nezvažovala. ●



▲ **Měření výdeje energie a produkce tepla v terénu.** *Foto Martin Hora*

Hradčany nejsou jen v Praze

Pískovcové věže, chráněné mokřady a stádo zubrů

VERONIKA RUDOLFOVÁ



Malá obec Hradčany leží čtyři kilometry jižně od severočeského města Mimoň a na první pohled na ní není nic pozoruhodného. Její okolí ovšem nabízí hned několik různorodých biotopů, k jejichž důkladnému průzkumu budete rozhodně potřebovat víc než jeden den.

Obec leží na okraji CHKO Kokořínsko-Máchův kraj a v oblasti bývalého vojenského prostoru Ralsko. Její širší okolí se vyznačuje rozsáhlými lesními porosty smíšeného charakteru – běžně zde najdeme buk, dub, borovici a smrk. Novější borové monokultury, které evokují atmosféru Máchova Máje, poukazují na pískovcové podloží. A pískovcové jsou také místní geologické útvary, zejména skalní město Hradčanské stěny. V něm stojí za návštěvu například Psi kostel, Skalní brána, Tvarožník či Žižkův kopec. Z Hradčanské vyhlídky pak spatříte krajinu s hlubokými lesy jako na dlani. S ohledem na ohromnou rozlohu a jedinečný charakter budete mít pocit, že jste spíše ve Skandinávii než v české

kotlině. A to zejména, pokud se v oblasti vyskytnete v zimě, kdy vám zmrzlá tráva křupe pod nohama.

Část zmíněného skalního města je rovněž součástí Národní přírodní rezervace Břehyně-Pecopala, která vznikla již v roce 1933. Tě dominuje čedičový vrch Pecopala a zejména Břehyňský rybník s rozsáhlými rákosinami, rašeliništi a mokřadními loukami, kde hnízdí řada zajímavých ptačích druhů – například bukač velký a jeřáb popelavý. I proto je vhodná k návštěvě spíše v jarních měsících, kdy pulzuje životem.

Mokřady jsou typické také pro nepřilíš vzdálenou přírodní rezervaci Hradčanské rybníky, v jejichž blízkosti je možné narazit na poměrně zajímavé lesní druhy – čapa černého, skřivana lesního nebo lelka lesního. Kdo stále ještě nemá vody a bahna dost, může navštívit i přírodní památku Meandry Ploučnice u Mimoně, kde o mokřady opravdu není nouze. Při přesunu ovšem musí obejít

rozsáhlý pustnoucí areál bývalého vojenského letiště. Armádní historii má tato oblast vůbec velice bohatou a opuštěné vojenské stavby dotváří zdejší lehce ponurou atmosféru.

Pokud jste syti kamenných věží a nechcete si už máčet boty, vydejte se trochu o něco dál východním směrem, kde se nalézá jedna z největších českých obor, Židlov. Název obory byl přejat od zaniklé obce Židlov, místo které vznikla ve vojenském prostoru tanková střelnice. Dnes už zde armáda nepůsobí, a tak je do obory možný vstup pěšky či na kole (vyjma klidového období od začátku března do poloviny dubna). Kromě jelenů, muflonů, daňků, srnců a divokých prasat, zde můžete spatřit, pokud budete mít štěstí, i zubra evropského. Tato majestátní zvířata zde byla vysazena v roce 2011, kdy sem bylo dovezeno pětičlenné stádečko z polského Belověžského pralesa. V roce 2024 bylo nicméně v oboře napočítáno již kolem 40 jedinců. ●

Emulgátory v akci

Experimentální přiblížení interakcí polárních a nepolárních látek

SIMONA PETRŽELOVÁ

Všichni víme, že voda a olej se nemísí. Po promíslení tvoří emulzi. Všichni také víme, téměř celý svůj život, že kuchyňská sůl (Na^+Cl^-) se dobře rozpouští ve vodě. Co možná už nevíme, že sůl se nerozpouští v benzínu. Naopak olej se v benzínu rozpouští a ve vodě se nerozpouští. Ale jak je to ethylacetátem? Ethylacetát je bezbarvá kapalina patřící mezi skupinu látek označovanou jako estery, charakteristického zápachu, používá se jako ředidlo a rozpouštědlo, např. i v některých odtlakovacích na nehty.

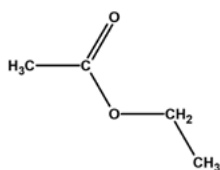
Úkol č. 1: Podle struktury vzorce porovnejte polaritu rozpouštědel – vody, benzínu a ethylacetátu a přiřadte hodnotou 1, 2 a 3 (1 – nejvíce polární).

Úkol č. 2: Směsí potravinářských barviv E133 (brilantní modř) a E100 (žlut; kurkumin) barví výrobci zelené lentilky M&M's či bonbony Skittles. Prohlédněte si vzorce a odvoďte, zda je modré barvivo rozpustné ve vodě či ethylacetátu. A jak to bude se barvivem E100?

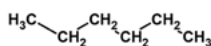
Úkol č. 3: Nyní polaritu rozpouštědel a rozpustnost barviv ověřte experimentálně.

Pomůcky: 2 zelené Skittles bonbóny, malinká kádinka, zkumavka, zátka na zkumavku, odměrný válec

Chemikálie: destilovaná voda, ethylacetát, ethanol



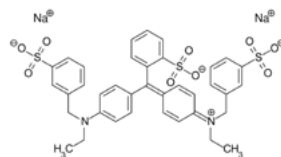
ethylacetát



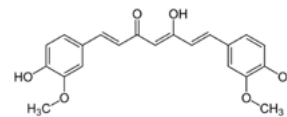
hexan (složka benzínu)



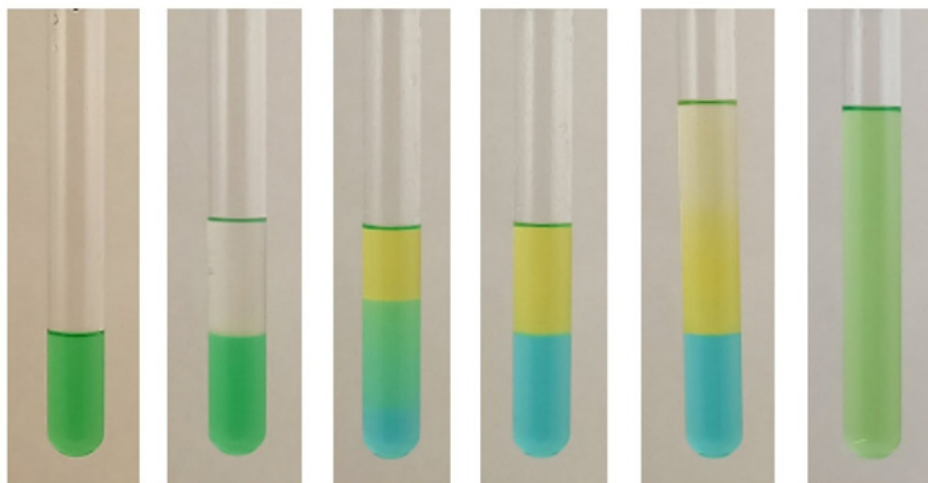
voda



Brilantní modř E133



Kurkumin E100



**vodný extrakt
ze 2 zelených
lentilek (10 ml
dest. vody)**

přilito 10 ml
ethylacetátu k
vodnému
extraktu

**průběh
usazování po
protřepání
(po 10 s)**

oddělené fáze
– vodná
ethylacetátová
(po 30 s)

**přilito 10 ml
denaturované-
ho ethanolu**

po
promíchání
(hned)

Postup: Dejte 2 zelené lentilky M&M do kádinky. Zalijte 10 ml destilované vody. Protřepejte a v okamžiku, kdy se barvivo vyplaví do vody, nalijte obarvenou vodu do zkumavky. Zakreslete. Do zkumavky přidejte 10 ml ethylacetátu. Zkumavku zátkou uzavřete, obsah zkumavky důkladně protřepejte. Poté nechte stát a sledujte. Zkumavku odzátkujte, přidejte 10 ml ethanolu, promíchejte a sledujte výsledek.

Řešení: Nejpolarnějším rozpouštědlem je voda, druhým je ethylacetát. Hexan je nepolární.

Brilantní modř obsahuje ionty, je to iontová látka a podobně jako kuchyňská sůl se dobře rozpouští ve vodě. Kurkumin obsahuje polární i nepolární vazby. Ve vodě je omezeně rozpustný. Strukturou je ale mnohem podobnější ethylacetátu. Ten se s vodou nemísí, ale po protřepání se do něj kurkumin převede. Ethanol pak v pokusu pak hraje roli emulgátoru. Je to látka, která se mísí jak s vodou, tak i s ethylacetátem. Proto je propojí a smísením modré a žluté barvy vzniká zelená. Polaritou je ethanol mezi ethylacetátem a vodou. ●



Seznam bakalářských programů

Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy



Univerzita
Karlova

Biologie

- Bioinformatika
- Biologie
- Biologie se zaměřením na vzdělávání
- Biologie se zaměřením na vzdělávání pro sdružené studium
- Ekologická a evoluční biologie
- Molekulární biologie a biochemie organismů

Chemie

- Biochemie
- Chemie
- Chemie a fyzika materiálů
- Chemie se zaměřením na vzdělávání
- Chemie se zaměřením na vzdělávání pro sdružené studium
- Klinická a toxikologická analýza
- Medicinální chemie

Ochrana prostředí

- Ochrana životního prostředí

Combination of biology, chemistry and physics

- Science (taught in English)

Geografie

- Aplikovaná geografie, specializace:
 - Fyzická geografie a geoinformatika
 - Sociální geografie a geoinformatika
- Demografie, specializace:
 - Demografie se sociální geografii
 - Demografie se sociologií
 - Demografie s historií
- Geografie a kartografie
- Geografie se zaměřením na vzdělávání
- Geografie se zaměřením na vzdělávání pro sdružené studium
- Hydrologie a hydrogeologie
- Vědy o Zemi

Geologie

- Geologie
- Geologie se specializací Geoarcheologie
- Geologie se zaměřením na vzdělávání pro sdružené studium
- Geotechnologie
- Hospodaření s přírodními zdroji
- Hydrologie a hydrogeologie
- Praktická geobiologie
- Vědy o Zemi

Den otevřených dveří: 16. - 17. 1. 2026



Přírodovědecká fakulta
Univerzita Karlova

www.natur.cuni.cz



Univerzita
Karlova

Zajímá tě studium
učitelských programů?
Vše se dozvíš na



**Dnech otevřených
dveří na PřF UK**



Přírodovědecká fakulta
Univerzita Karlova