

## Zakuklená doba ledová

Nárůst průměrné globální teploty, empiricky sledovatelný od konce 18. století, je většinou dáván do přímé souvislosti se zvyšujícím se množstvím antropogenně uvolněného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Příčinný vztah je tu na první pohled zcela jasný: CO<sub>2</sub> se s dalšími plyny (metanem, vodní párou atd.) podílí na umocňování skleníkového efektu, vztah mezi teplotou a obsahem skleníkových plynů v atmosféře je více či méně lineární. Změny atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub>, nejoblíbenější proměnnou klimatických modelů, pak běžně vnímáme jako centrální faktor klimatické dynamiky a jediný jev zasluhující v kontextu současných klimatických změn vážnou pozornost. Zásadní roli v tomto paradigma-tickém pohledu na současné klimatické změny však hraje fakt, že o mechanismu skleníkového jevu víme od dob Arrheniových nesrovnatelně více než o dalších faktorech, které se na klimatické dynamice bezpochyby podílejí (změny v přísunu sluneční energie, globální úhrny asimilované sluneční energie, role oceánů a oceánického metabolismu v globální tepelné bilanci a produkci skleníkových plynů, funkce oceánických termohalinních výměníků ad.), jejich vliv ovšem dokážeme zatím kvantifikovat jen rámcově, nejsou lineární a projevují se očividně na širších časových škálách než dobře měřitelné proměnné atmosférické dynamiky. O to potřebnější je zahrnout do úvah o povaze klimatických změn poznatky plynoucí z podrobného studia přirozené dynamiky kvartérních klimatických cyklů. S důkladnou znalostí klimatické historie Země lze pak třeba tvrdit, že současný nárůst globální teploty může být i jakousi předehtou příchodu nové doby ledové. Hlavním propagátorem této provokativní hypotézy byl Jiří (George) Kukla (1930–2014, blíže o něm na str. CXLII–CXLIII kulérové přílohy tohoto čísla), jeden z největších paleoklimatologů své doby, vědec, který se spolu-podílel na myšlenkové revoluci v pohledu na nejmladší geologickou minulost.

### Sprašové série a klimatostratigrafie čtvrtohor

Klíčovou roli v utváření Kuklových názorů na dynamiku kvartérních změn sehrálo celoživotní studium sprašových sérií. Spraše jsou jedním z nejrozšířenějších suchozemských sedimentů, který poskytuje nejkompletnější stratigrafické a paleoklimatické informace z kontinentálního prostředí (viz také Živa 2010, 3: 98–101 a 4: 146–149). Vznikají během nejchladnějších fází ledových dob vyvátím jemnozrné (prachové) složky z nepevných říčních a ledovcových sedimentů. V otevřené lesuprosté krajině je prach větrem přemístován na velké vzdálenosti a hromadí se v geomorfologicky vhodných místech. Z akumulace prachu se stává spraš během zesprašnění (lesifikace). Při tomto 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, mimo jiné dokonalého zachování vápnitých fosilí – ulit měkkýšů a kostí obratlovců. Spraše jednoznačně vyznačují srážkově chudé prostředí bezlesí, charakterizující chladné výkyvy čtvrtohorní minulosti, tedy ledové doby (glaciály). Návěje spraší ovšem současně převrstvují ulože-

niny předchozích teplých úseků, meziledových dob (interglaciálů) nebo teplejších úseků uvnitř glaciálů (interstadiálů), jež se vyznačují relativním sedimentačním klidem, zrychlením procesů chemického zvětrávání a zvýšenou intenzitou půdotvorby. V sedimentárně příhodných oblastech mohou tak být zachovány celé sledy po sobě jdoucích glaciálně-interglaciálních cyklů poskytující podrobný záznam specifik jednotlivých úseků. S ohledem na shodný substrát lze z výsledků srovnávacích analýz a odlišností jednotlivých půd pohřbených pod spraší usuzovat na klimatická a vegetační specifika příslušných teplejších období. Intenzitu pedogenních a zvětrávacích procesů lze odhadnout již z pouhých barevných odlišností jednotlivých horizontů, které jsou odrazem rozdílných klimatických podmínek pleistocénu. Půdy mladších úseků kvartéru bývají oranžovohnědé a vznikaly v podmínkách podobných dnešním, zatímco půdy ze starších období, často sytě oranžové až cihlově červené, vykazují znaky rubifikace (pedogenní proces, během kterého dochází k mobilizaci hydroxidů a oxidů železa a jejich navázání na křemenná zrna) a lateritického zvětrávání, k němuž dochází pouze v podmínkách (sub)tropického klimatu.

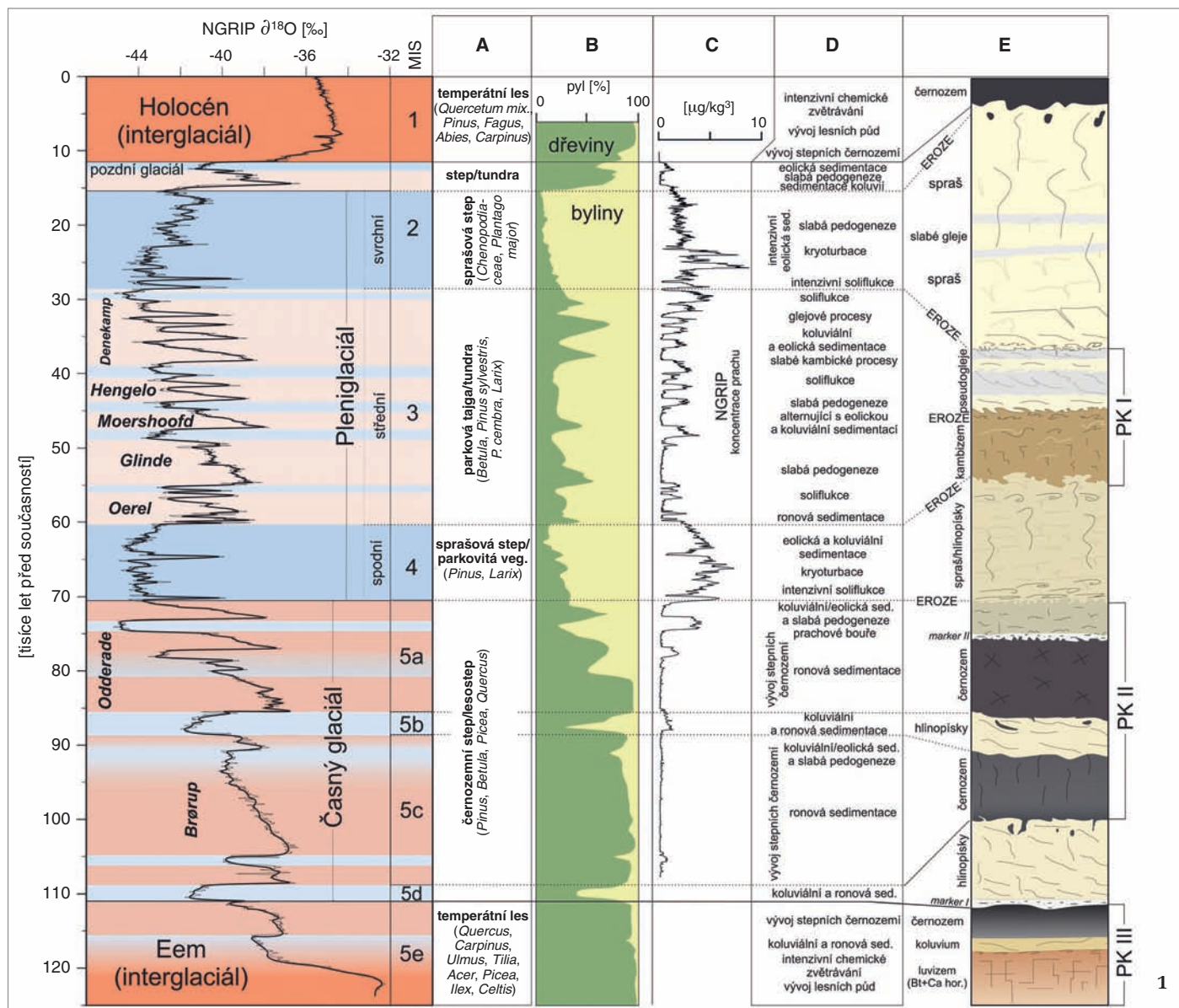
Sled glaciálních spraší a interglaciálních či interstadiálních půd v souvislých sprašových sériích tak může poskytnout ucelenou

škálu pro paleoklimatickou rekonstrukci čtvrtohorní minulosti. Tato úvaha předznamenala ambiciózní koncept sprašové stratigrafie a výzkumný program, na kterém Jiří Kukla společně s Vojenem Ložkem pracovali v průběhu 50. let 20. století.

V té době se stále předpokládalo, že během čtvrtohor proběhly čtyři velké klimatické cykly. Autory tzv. kvadriglacialistického konceptu byli rakouští geologové Albrecht Penck a Eduard Brückner, kteří začátkem století provedli rozsáhlé geomorfologické mapování alpských ledovcových údolí. Zjistili, že ledovcové morény a štěrkové terasy říčních toků vytvářejí čtyři výrazně odlišné výškové úrovně, z čehož usoudili, že rozsáhlá zalednění Alp se opakovala čtyřikrát v různých časových úsecích. Délka a intenzita odpovídajících meziledových dob byla odvozována z výškového rozpětí jednotlivých terasových stupňů. Pozdější výzkumy teras říčních údolí v oblastech mimo vlastní zalednění (na našem území např. pionýrské práce Quido Záruby o terasovém systému údolí Vltavy) nicméně ukázaly, že příslušných stadií bylo více, než odpovídá kvadriglacialistické představě. Rozpor byl řešen předpokladem sekundárních chladných a teplých výkyvů uvnitř jednotlivých glaciálů – chladných stadiálů a teplých interstadiálů (Fink 1956).

Výsledky Kuklový práce (Kukla a kol. 1961) však do kvadriglacialistického obrazu přinesly zásadní průlom. Podrobné srovnání stavby opěrných sprašových profilů střední Evropy (Dolní Věstonice, Modřice, Podbaba, Paudorf, Göttweig aj.) ukázalo, že sprašové série vykazují přes lokální specifika rámcově shodné rysy. Kukla spolu s dalšími badateli formuloval obecné schéma sledu charakteristických půdních komplexů (PK), které odpovídají interstadiálům posledního glaciálu (PK I, PK II) a předposlednímu interglaciálu (PK III, obr. 1 a 2). Následný výzkum nekompletnějších evropských sprašových sérií – Červeného kopce v Brně a rakouských lokalit Krems a Stranzendorf, umožnil rozšířit působnost jejich sprašového modelu téměř na celý průběh kvartéru (obr. 3). Prostým odpočítáním fosilních půd a nadložních spraší na zmíněných sériích bylo zřejmé, že glaciálních cyklů se během kvartéru muselo vystřídat násobně více. Jen pro období středního a svrchního pleistocénu (zhruba posledních 800 tisíc let) bylo na Červeném kopci identifikováno 8 interglaciálních půd. Jako nástroj studia průběhu jednotlivých glaciálních cyklů vypracoval Kukla postupy podrobné paleopedologické analýzy fosilních půd kvantifikující intenzitu zvětrávacích procesů a jejich změny v průběhu formování příslušného půdního komplexu. Pro soubor střeoevropských sprašových sérií sestavil výsledky do podoby kvantitativního paleoklimatického záznamu, který postupně srovnává s paleoklimatickou výpovědí různých fosilí i s modelovými výpočty insolační křivky Miljutina Milanoviče (viz článek na str. CXLII kuléru).

Realita polyglacialistického konceptu byla jednoznačně potvrzena koncem 60. let díky převratným instrumentálním inovacím. V r. 1968 byla na hladinu oceánu spuštěna výzkumná loď Glomar Challenger vybavená sofistikovaným zařízením



umožňujícím studium kontinuálních sledů hlubokomořských sedimentů. Do laboratoří vědců se dostává nejucelenější záznam kvartérní minulosti. K jeho analýze jsou vedle mikrostratigrafického zhodnocení zahrnuty i nejnovejší geochemické postupy. Zásadním paleoklimatickým indikátorem se ukázal být procentuální podíl těžkého izotopu  $^{18}\text{O}$  v celkovém objemu kyslíku ( $\delta^{18}\text{O}$ ), který je nepřímě úměrný teplotě prostředí. Křivka paleoteplot nalezená ve všech mořských sledech ukazuje opakující sekvenci chladných a teplých úseků, označovanou dnes jako systém marinních či kyslíkových izotopových stupňů (MIS nebo OIS; obr. 3). Jeho jednotky jsou průběžně číslovány (lichými čísly teplé interglaciály či interstadiály, sudými chladné glaciální fáze). Sled těchto jednotek představuje nyní standardní referenční systém globální klimatostratigrafie čtvrtohor, jakýsi geologický etalon, ke kterému se všechno ostatní vztahuje. Pro naše téma je důležité připomenout, že již první kyslíkové křivky sestavené pro mladší úsek kvartéru (Dansgaard a Tauber 1969) poskytly obraz nápadně připomínající situaci ve sprašových sériích na Červeném kopci a Kremsu: ve středním a svrchním pleistocénu se vystřídalo 8 glaciálů (MIS 18 – MIS 4 + 2)

a interglaciálů (MIS 19 – MIS 5) s délkou glaciálního cyklu zhruba 100 tisíc let.

Důkladné stratigrafické zhodnocení desítek střeoevropských sprašových profilů, v němž sehrálo klíčovou roli relativní paleomagnetické a biostratigrafické datování

(Kukla a Kočí 1972, Ložek 1961), se záhy stalo podkladem pro první robustní korelaci vývoje oceánického a terestrického prostředí v kvartéru. Vědecké práce, které Jiří Kukla v průběhu 70. let na toto téma publikoval (1970 – obr. 4, 1975, 1977),



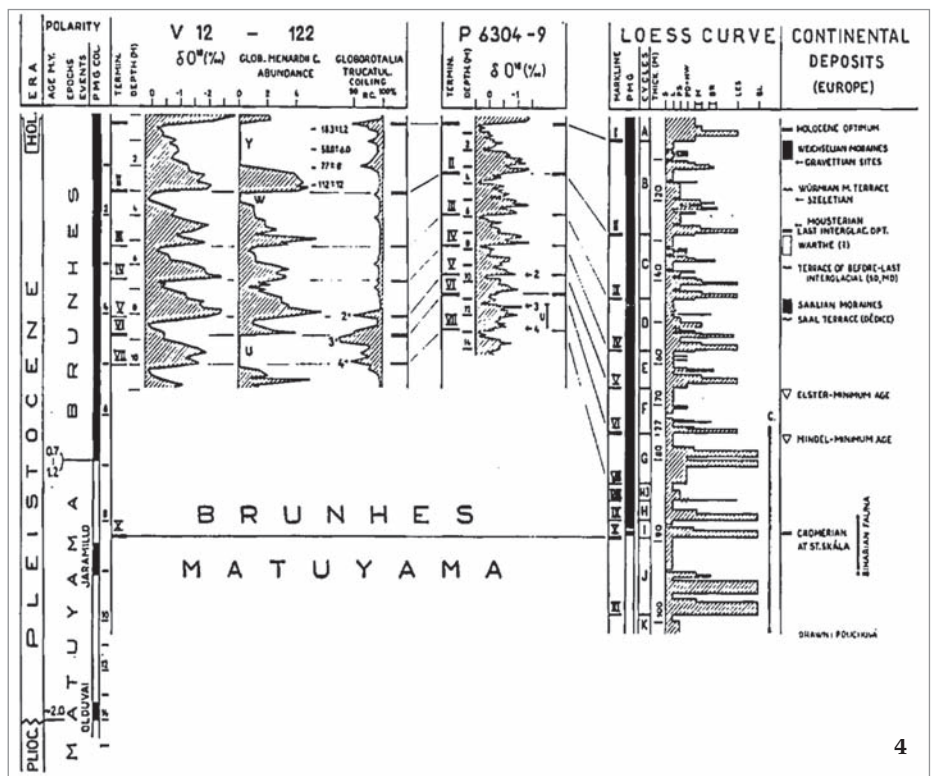
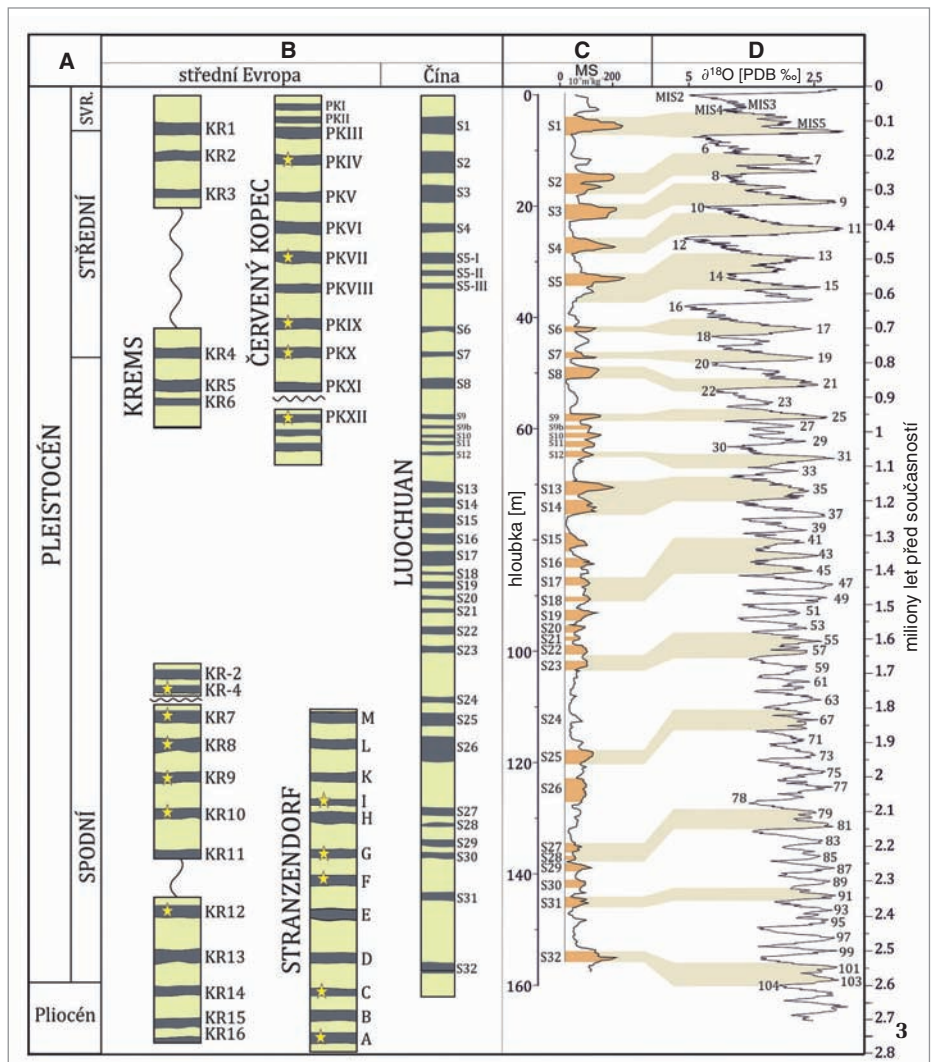
1 Korelace kyslíkového izotopického záznamu z grónského ledovce (NGRIP Members 2004) s půdně-vegetačním a erozně-sedimentačním vývojem střední Evropy pro období posledních 125 tisíc let. A – dominantní biomy středoevropských nížin a pahorkatin (podle V. Ložek 1973 a A. Freuden a kol. 2014), B – poměr pylových zrn dřevin a bylin ze sedimentů jezera La Grande Pile, Vogézy, severovýchodní Francie (podle G. M. Woillard a W. G. Mook 1982), C – dynamika eolické sedimentace (tedy způsobené větrem) v severoatlantské oblasti na základě variací prachových částic v grónském ledovci (Ruth a kol. 2007), D – převažující pedogenetické a erozně-sedimentační procesy středoevropských nížin a pahorkatin, E – idealizovaný sprašový záznam suché sprašové oblasti střední Evropy

2 Drtivá většina sprašových odkryvů, na kterých Jiří Kukla demonstroval zákonitosti pedo-sedimentárního vývoje kvartérního prostředí, je dnes minulostí. Na snímku je stěna ve sprašové roklí v Zeměchách u Kralup – jedna z mála lokalit v Čechách, kde je zachycen úplný sled spraší, paleopůd a svahových sedimentů posledního klimatického cyklu. Ve spodní části profilu zřetelná mnohametrová návěť spraše z předposledního glaciálu, na jejímž povrchu se v období posledního interglaciálu vyvinul půdní komplex sestávající z lesní půdy typu luvizem a stepní černozemě (PK III). V jeho nadloží se nachází sekvence svahovin s dvojicí černozemí (PK II), reprezentující období časného glaciálu. Ta je překrytá svahovinami a spraší z pleniglaciální fáze se slabě vyvinutou hnědozemí (PK I), náležející klimaticky příznivějšímu období tohoto úseku.

Foto S. Meszner

3 Korelace piliřových evropských sprašových sérií s klimatostratigrafickou škálou čtvrtohor. A – standardní stratigrafické členění kvartéru, B – stratigrafické schéma středoevropských a čínských sprašových sérií, s hvězdičkou horizonty s biostratigraficky významnými nálezy fauny (upraveno podle I. Horáček a V. Ložek 1988), C – křivka magnetické susceptibilitě sprašové série Luochuan a její korelace s izotopickou škálou hlubokomořských sedimentů (upraveno podle D. Heslop a kol. 2011), D – křivka změn poměru izotopů  $^{16}\text{O}$  a  $^{18}\text{O}$  z hlubokomořských sedimentů s vyznačenými marinními 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).

4 Jiří Kukla (1970): Nástin korelace sprašové křivky a terestrického záznamu (vpravo) s paleoklimatickou výpovědí prvních hlubokomořských vrtů (uprostřed) a magnetostratigrafických epoch nejmladší geologické minulosti (vlevo) – pionýrské schéma moderní paleoklimatologie.



zásadním způsobem pozměnily tehdejší pohled na dynamiku kvartérního prostředí. Staly se rovněž důležitým podkladem pro navázání systému relativního biostratigrafického datování terestrického záznamu na globální klimatostratigrafickou a chro-

nologickou škálu. To otevřelo cestu k využití informačního potenciálu početných dokladů, pro něž jiné než biostratigrafické datum není k dispozici.

Klimatostratigrafické schéma kvartéru bylo v 80. letech podstatně rozšířeno díky

novým přístrojovým možností. Tou dobou byl již Jiří Kukla klíčovou osobností nejprestižnějšího světového centra bádání o čtvrtohorách – Lamont Doherty Observatory na Kolumbijské univerzitě v New Yorku. Souběžně s dalšími výzkumníky zavedl do studia spraší nový přístup – měření magnetické susceptibilit. Úvaha byla taková, že magnetické minerály vznikají přímo ve spraši během vlhčích a teplejších období činností půdních bakterií a pod vlivem chemického zvětrávání. Magnetický signál takových poloh by měl být ve srovnání s polohami surové spraše výrazně vyšší a sled hodnot naměřených v souvislém sedimentárním profilu by tak měl poskytovat podrobný záznam změn klimatu. Ve spolupráci s čínskými geology pak Kukla předložil souvislý záznam magnetické susceptibilit nejrozsáhlejších a nejkompletnějších sprašových sledů Země – sérií Luochuan a Xifeng (Kukla a kol. 1988, Kukla a An 1989). Předpoklady byly plně potvrzeny dokonalou korelací získaných sprašových záznamů s izotopickou škálou hlubokomořských sedimentů (obr. 3).

### Spraše jako archiv klimatických změn

Studium magnetické stavby spraší se rychle stalo oblíbeným nástrojem klimatostratigrafie kvartéru a později i instrumentální paleoklimatologie. Od tohoto okamžiku se také do určité míry odvíjí současný přístup k problematice spraší. Od stratigrafických otázek, které stály v počátcích jejich výzkumu, dnes směřuje pozornost spíše k využití spraší jako archivu změn prostředí. Nejpodrobnějším zdrojem informací o paleoenvironmentální vývoji na souši jsou jezerní sedimenty. V Evropě jsou však sekvence limnických sedimentů, pokrývající souvisle delší časové úseky, omezeny pouze na několik lokalit, což značně komplikuje detailnější výzkum na nadregionální škále. Oproti tomu distribuce spraší je v evropském prostoru mnohem homogennější – tvoří více méně souvislý pás táhnoucí se napříč celým kontinentem a hodí se proto ideálně k analýzám paleogeografické a paleobiogeografické rozmanitosti glaciálního prostředí. Získání detailních regionálních paleoklimatických informací může být vstupní krok k lepšímu pochopení chodu globálního klimatu.

Využití spraší jako paleoklimatického archivu bylo umožněno především díky posunu metodologického standardu v posledních dvou desetiletích. Kromě metody environmentálního magnetismu jde hlavně o metody geochemické, v užším slova smyslu pak časově a finančně nenáročnou prvkovou analýzu. Interpretace se zde odvíjí od předpokladu, že během diagenetických procesů dochází ve spraši k chemickému zvětrávání minerální složky, k přesunům 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. Souběžně použití magneto-minerální a prvkové analýzy spraší poskytuje levný a rychlý, nicméně dostatečně účinný nástroj pro paleoklimatické interpretace. V posledních letech je tento přístup soustavně doplňován a další po-



stupy, buď zcela nové, nebo dosud používané v jiném kontextu. Vůdčí roli hraje chemie izotopů, jež se orientuje především na kvantifikaci klimatických ukazatelů (izotopy  $\delta^{18}\text{O}$  a  $^{10}\text{Be}$ ) či rekonstrukci vegetace a srážkových úhrnů ( $\delta^{13}\text{C}$  z organických zbytků, karbonátových kongrecí či uhlovodíků). Aplikovatelnost instrumentálních metod v paleoenvironmentálních rekonstrukcích se pak odvíjí od pokroku v možnostech absolutního datování spraší. Zásadní jsou metody luminiscenční (opticky stimulovaná luminiscence – OSL, termoluminiscence – TL a luminiscence stimulovaná infračerveným zářením – IRSL). Současný časový dosah metody se pohybuje okolo 400 tisíc let (tedy zhruba desetkrát více než limit radiouhlíkového datování), což umožňuje poměrně přesné časové zařazení sedimentace a paleopůdního vývoje posledních čtyř klimatických cyklů (MIS 11 – MIS 2). Toto období je v evropském sprašovém záznamu zastoupeno zdaleka nejhojněji, a existují k němu tudíž i nejpodrobnější kontextuální informace. Jejich významným zdrojem je především kyslíkový izotopický záznam z ledovců v Antarktídě a Grónsku, se kterým lze získané výsledky porovnávat na velmi podrobné škále (obr. 1).

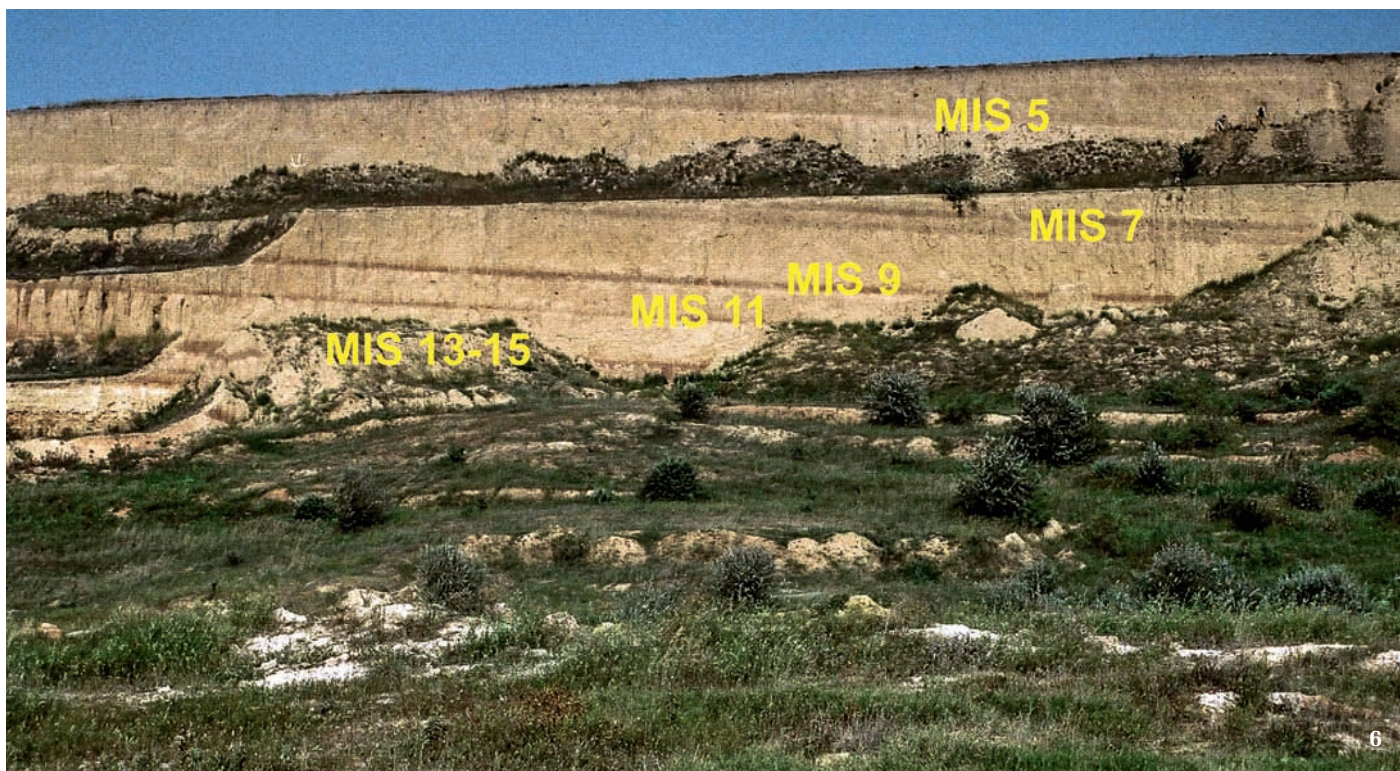
Nutno však připomenout, že nezbytným předpokladem je pečlivé zhodnocení sedimentárních poměrů jednotlivých lokalit. V první řadě je třeba respektovat specifika sprašové sedimentace, jak ostatně ve svých pracích J. Kukla vždy zdůrazňoval. Spraše (větretem navátý prach) na rozdíl např. od jezerních sedimentů neakumulují soustavně, ale spíše epizodicky, během nejchladnějších a nejsušších fází glaciálu (obr. 1 – polohy čistých spraší korespondují s obdobími nejintenzivnější větrné aktivity a minimálního zastoupení dřevinné vegetace). V klasické sprašové oblasti střední Evropy (území bývalého Československa a Horní Rakousko), kde je většina akumulací vázána na úpatí závětrných údolních svahů, je třeba počítat s průběžnou erozí povrchu a četnými přerušeními sedimentace. Nezanedbatelnou část sprašových sérií zde často ve skutečnosti netvoří spraš, ale gravitačně redeponovaný sediment (svahovina neboli koluvium), v němž je obvykle smíšen sprašový mate-

5 Sprašové série jsou z velké části tvořeny gravitačně přemístěnými sedimenty (svahovinami). Specifickým typem svahoviny je sediment, který Jiří Kukla označuje jako hlínopíský – rytmicky zvrstvené agregáty velikosti pískových zrn tvořených prachem a půdními částicemi. Na základě pozorování recentních procesů dospěl Kukla k závěru, že jsou hlínopíský produktom rovnového (plošného dešťového) splachu vysušeného povrchu, a že tedy indikují dlouhodobě suché období následované sezonou příválových dešťů. Ve fosilním záznamu akumulace hlínopísků reprezentuje suché stepní prostředí s vysokou sezonalitou klimatu. Detail vrstev hlínopísků na sprašovém profilu v Bíně nad Hronom. Foto J. Hošek

6 V důsledku omezené eroze povrchu a nízké intenzity periglaciálních procesů jsou na sprašových plató zachovány jedny z nekompletnějších sérií v Evropě, pokrývající souvisle časový úsek posledního milionu let. Profil na lokalitě Mircea Voda v Rumunsku s fosilními půdami interglaciálů MIS 15–5, tedy zhruba posledních 600 tisíc let. Foto U. Hambach

riál s erodovanými paleopůdními horizonty. Interpretace geochemického nebo magnetomineralogického signálu tohoto sedimentu různého původu s proměnlivou akumulací rychlostí je obtížná; nepochopení dynamiky sedimentačních procesů může vést k mylným závěrům. Přesto mají koluviální horizonty ve sprašových sériích velký paleoklimatický význam. Bývají totiž vázány na specifické klimatické a vegetační poměry, obvykle souvisejí s nestabilitou prostředí a vymezují přechod z teplejších úseků do klimaticky nepříznivých období, či naopak. Zvláště důležité jsou v tomto ohledu hlínopíský – pojem zavedený J. Kuklou (viz obr. 5 a text V. Ložka na str. CXLIII). Svahoviny ve sprašových sériích jsou charakteristickým litologickým členem výše zmíněných půdních komplexů, umožňujícím korelaci záznamu mezi jednotlivými lokalitami i regiony. Význam svahových sedimentů spočívá i v tom, že chrání původní povrch před erozí a zároveň oddělují jednotlivé pedogenetické procesy. Díky tomu je pedosedimentární záznam ve sprašových sériích akumulovaných na svazích – úpadový typ – podstatně členitější než v oblastech s plošinovým (subhorizontálním) typem sedimentace, jež charakterizuje mocné sprašové série nížin středního a dolního Podunají nebo rozsáhlých plání ukrajinského Černomoří – sprašová plató (obr. 6). Na rozdíl od plató, kde mají interglaciální a interstadiální půdy polygenetický charakter (znaky jednotlivých horizontů jsou zastřeny nejmladší fází pedogeneze), koluviální sedimenty konzervují jednotlivé fáze půdotvorby a umožňují detailní výzkum proměnlivosti interglaciálního období a jeho přechodu do glaciálních podmínek.

Podrobně je v tomto smyslu zpracován především úsek vymezený marinním izotopickým stupněm 5 (asi 135–70 tisíc let), zahrnujícím předposlední interglaciál eem (MIS 5e) a časný glaciál (MIS 5d–5a; obr. 1). Zásadní úlohu v tomto poznání sehrálo



komplexní zhodnocení globálního sedimentárního záznamu zmíněného úseku, které proběhlo z Kuklovy iniciativy na počátku 90. let. Ukázalo, že pro závěr poslední meziledové doby je typické dramatické střídání úseků klimatické nestability, kdy krátké chladné výkyvy přerušované zřetelným oteplením nabývají postupně na intenzitě. V interglaciálních půdách sprašových sérií dokládají tyto výkyvy tzv. markery (podle Kukly 1961) – vrstvičky jemného vápnatého prachu, které se nacházejí na povrchu fosilních půd a jsou překryty hlínopískem. Kukla tyto polohy interpretuje jako doklad rozsáhlých kontinentálních či hemisférických prachových bouří, přerušujících plynulý půdní vývoj – v těchto úsecích zpravidla již naznačující přechod k polootevřeným stepním formacím.

### Globálním oteplením do nového glaciálu

Jiří Kukla, jeden ze zakladatelů kvantitativní paleoklimatologie čtvrtohor, patřil rovněž k prvním, kdo důrazně ukázal, že holocén – teplé období, v němž žijeme, je pouze jedním ze sledu pleistocenních interglaciálů. Naskýtá se tak otázka, kdy a jak náš interglaciál skončí. S příchodem do svého amerického působiště se Kukla začal zabývat touto problematikou podrobně a vypracoval i členité hypotetické scénáře přechodového období. Chladný globální výkyv na počátku 70. let přinesl sérii skutečností dokonale odpovídajících jeho predikcím. Představa příchodu glaciálu vyvolala záhy mohutnou odezvu v nejvyšších politických a hospodářských kruzích a vynesla klimatologický výzkum do pozice klíčového arbitra společenského dění. Nástup globálního oteplení v následujících dekádách změnil dikci klimatologické komunity a identifikaci zdrojových příčin klimatického vývoje. Operačním nástrojem se staly složité matematické modely a zobecňující vysvětlení jejich

výstupů. Jiří Kukla, zvyklý odvíjet své úvahy od komplexního posouzení co nejširšího spektra zúčastněných faktorů a s specifickými výpovědními hodnoty, zaujímal k tomuto vývoji velmi kritické stanovisko. Zmiňoval účelový výběr modelových proměnných i záměrné zanedbání faktorů, které mohou být pro klimatický režim planety rozhodující. Připomínal zejména klíčový význam atmosférické vody jako nejdůležitější složky skleníkového efektu a oceánickou cirkulaci, jíž se pohlcené teplo slunečního záření dostává do nejnvýznamnějšího tepelného zásobníku planety, globálního oceánu. Právě změna oceánické cirkulace, zpomalení nebo až zastavení přenosu tepla, na živiny a kyslík bohatých povrchových vod do hlubinné cirkulace představuje velmi pravděpodobně nejdůležitější impuls nástupu glaciálního režimu. Krokem, který tuto změnu startuje, může být prudké oteplení vysokých zeměpisných šířek severního Atlantického oceánu. Zásadním momentem oceánické cirkulace je totiž teplotní kontrast na rozhraní sladkých a chladných arktických vod a teplých, solemi nasycených povrchových vod Golského proudu. Prudkým ochlazením na tomto rozhraní se radikálně (v důsledku vysoké salinity) zvýší specifická hmotnost povrchových vod, propadají se na oceánské dno a podél středoatlantského hřbetu v podobě hlubinného atlantského proudu dospívají k extrémně podchlazeným prahům Antarktidy. Odtud jsou hlubinné vody distribuovány do oblastí Indického oceánu a proudů tichomořské cirkulace.

Globální oteplení dnešních dnů pohřchu vykazuje celkem jednoznačně charakteristiky odpovídající Kuklovým předpovědím – nejvyšší teplotní anomálie zaznamenáváme v severovýchodním Atlantiku, vody Golského proudu se přestávají propadat k oceánickému dnu a pronikají stále dál do Severního ledového oceánu a k severním pobřežím Eurasie.

### Epilog: Tož bude ledová doba, nebo ne?

... ptá se asi čtenář, po právu zmatený protichůdnými výpověďmi médií, alarmistů, klimatických panelů, popíračů nejrůznějšího zrna a chmurnými prognózami Jiřího Kukly. Všechny možné odpovědi nesou nemalý díl nejistoty. Skoro s jistotou můžeme tvrdit, že s příchodem ledové doby je nutno počítat v průběhu nastávajícího desetitisíciletí, dosti pravděpodobně již během příštích tisíciletí. Stejně tak lze skoro s jistotou konstatovat, že napřesrok to nenastane. Co přinesou příští desetiletí a staletí, můžeme pouze spekulovat. S pravděpodobností blízkou jistotě lze konstatovat jen jedno: bude to jinak, než sebedokonalejší modely předpovídají. Klimatický režim Země je nesmírně komplikovaný systém s nekonečným množstvím proměnných, o jejichž povaze a vzájemné interakci máme vesměs jen mlhavé tušení. Bohužel k nejistotám je třeba připočítat ještě další. Není totiž příliš jasné, nakolik se můžeme spolehnout na standardní, v jiných případech efektivní opěrný rámec prognostického úsilí – hledání analogií v historii předchozích klimatických cyklů. Nehledě na přítomnost člověka a nezanedbatelné civilizační efekty se totiž průběh poslední ledové doby i současného interglaciálu od předchozích cyklů v řadě ohledů velmi výrazně liší. Naznačují to např. odlišnosti v pozici severského ledovcového štítu nebo radikální změny bioty na přelomu glaciálu a holocénu, provázené mnohačetným vymíráním vývojových linií tvořících tradičně strukturální kostru čtvrtohorních společenstev. Některé z nich můžeme s přimhouřením oka připsat na vrub člověka, řadu dalších nikoli. Kdo ví, třeba opravdu žijeme na počátku věku, kdy se svět bude dít jinak.

*Práce byla podpořena projektem Univerzity Karlovy (UNCE 204069).*

Použitá literatura uvedena na webu Živý.