

# Algologický a paleoekologický průzkum vybraných minerálních pramenů CHKO Slavkovský les

Markéta Fránková, Markéta Gabriela Soukupová, Přemysl Bobek, Jana Kulichová

Přestože ve vodách minerálních pramenů bývá pouhým okem obtížné postřehnout stopy života, toto jedinečné prostředí osidlují bohatá společenstva mikroskopických fotoautotrofních organismů – prokaryotické sinice a eukaryotické řasy. Pro mnohé z těchto organismů představuje mikrosvět minerálního pramene

jeden z mála biotopů, ve kterém žijí, protože jsou často úzce adaptované na specifické fyzikálně-chemické vlastnosti vody. Můžeme říci, že jak má každý pramen unikátní a neopakovatelné složení své vody, tak stejně jedinečné je i společenstvo mikroorganismů, které se v něm nachází (Fránková et al. 2022a,b).



Vývěry železitých minerálních vod se silně probublávajícími plyny ve slatiništi u Číhané. Zelenavé povlaky na dně jezírka tvoří nárosty vzácné rozsivky *Pinnularia ferrophila*. Foto Přemysl Tájek.



## Slavkovský les – krajina kyselek a mokřadů

V letošním roce slavíme 50 let od založení chráněné krajinné oblasti Slavkovský les, která byla zřízena mimo jiné pro ochranu unikátního fenoménu vývěřů minerálních vod a navazujících mokřadních ekosystémů. Zdejší minerální prameny jsou svou četností a rozsahem ojedinělé nejen v rámci České republiky, ale i Evropy. V Karlovarské vrchovině bylo historicky registrováno více než tisíc vývěřů (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Správa chráněné krajinné oblasti Slavkovský les). Na těch nejvýznamnějších byla vystavena věhlasná lázeňská města západočeského lázeňského trojúhelníku Karlovy Vary, Mariánské Lázně a Františkovy Lázně. Vedle minerálně bohatých pramenů jímaných za účelem lázeňství nebo potravinářství (Magnesia), vyvěrá nespočet dalších ve volné krajině Slavkovského lesa. Přestože jsou od roku 2012 společně s tamními rašeliništi řazeny mezi mezinárodně významné mokřady chráněné Ramsarskou úmluvou (The Ramsar Convention), doposud byly z hlediska bioty jen málo prozkoumány.

### Mikroskopičtí obyvatelé minerálních pramenů – rozsivky

Při monitoringu ekologických změn je kromě chemické analýzy vody potřeba studovat organismy, které tato jedinečná stanoviště osidlují. Za účelem hodnocení dlouhodobých změn v prameništích jsme sledovali společenstva jednobuněčných řas zvaných rozsivky, jejichž unikátním znakem je křemičitá buněčná stěna – schránka. Rozsivky jsou morfologicky a evolučně nejdiferenzifikovanější skupinou řas (počet žijících rodů je několik set) a lze je najít ve sladkých i slaných vodách (Mann *et al.* 2016). Sladkovodní rozsivky vázané na přítomnost substrátu (tzv. bentické) jsou po více než 50 let využívány pro účely biomonitoringu (jednotlivé druhy mají specifické ekologické nároky) i konzervaci habitatů (lze hodnotit hojnost a vzácnost výskytu druhů, tj. jejich ohroženost) (Rimet 2012). Jednotlivé buňky rozsivek dosahují pouze mikroskopických rozměrů, avšak při vysokém počtu jedinců můžeme ve vodním prostředí pozorovat hnědavě či zelenavě zbarvené slizké povlaky pokrývající jemný sediment, kameny nebo ve vodě ponořené rostliny.

Vývěry zdejších minerálních pramenů a jejich okolí bývají navíc často zbarveny vysráženými



Liščí prameny. Foto Markéta Gabriela Soukupová

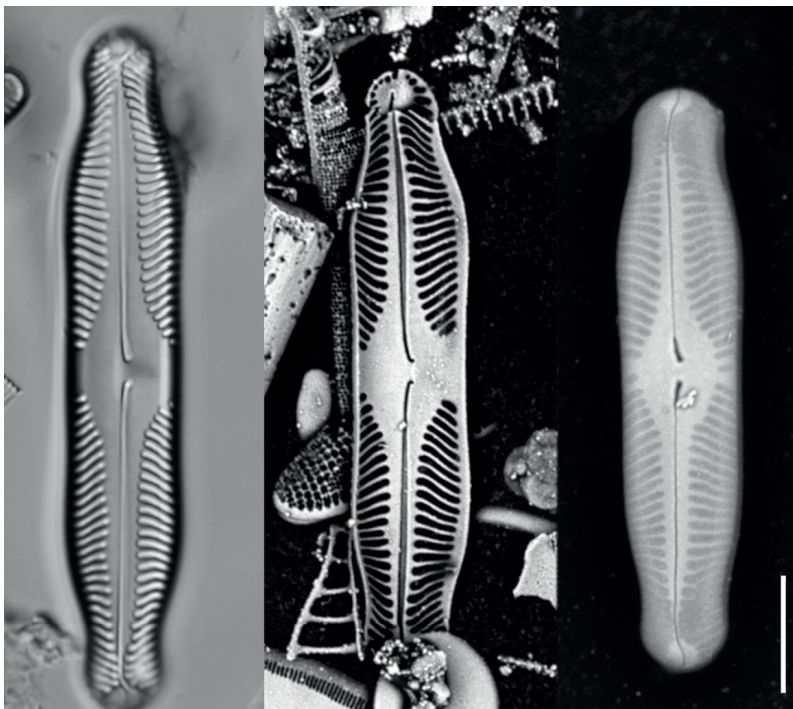
oxidy železa do červenohněda. Voda těchto minerálních vývěřů, kyselek, obsahuje jen malé množství živin, zato koncentrace iontů jsou vysoké. To jsou podmínky, na něž musí být organismy adaptovány (tzv. specialisté), nebo vůči nim být tolerantní (tzv. generalisté). Rozsivkovým specialistou a vlajkovým druhem zdejších železitých kyselek je rozsivka *Pinnularia ferrophila*. Tento druh byl popsán v roce 2000 na základě materiálu, který ve Slavkovském lese („Císařském lese u Františkových Lázní“) odebral neznámý výzkumník už v roce 1917 (Krammer 2000). Díky výzkumu zaměřenému na mikroflóru Slavkovského lesa v roce 2005 zde byl výskyt tohoto druhu potvrzen po téměř 90 letech (Hodač *et al.* 2006) a následné odběry vzorků z dalších vývěřů železitých kyselek vedly k nálezům nových lokalit, kde se tato endemická rozsivka vyskytuje (Tájek *et al.* 2017).

### Algologický průzkum na vybraných lokalitách

Náš tým zkoumal recentní společenstva rozsivek minerálních vývěřů a v roce 2021 (Fránková *et al.* 2022a,b). Odběry proběhly na deseti lokalitách se železými vývěry: Čhanské kyselky, Čiperka, Koňský pramen, Malý Bublák, Babické rosnatkové jezírko, Liščí prameny, Kančí pramen, Jezevčí pramen, Kramolínská kyselka a Soos (NPR mimo CHKO Slavkovský les). Abychom zjistili viabilitu jednotlivých buněk, vzorky byly nejprve mikroskopovány zaživa spolu s celým společenstvem řas a sinic. U vzácných druhů jsou

taková pozorování obzvláště důležitá, protože v další fázi mikroskopické analýzy se detailněji určují už pouze prázdné (tzv. vypálené) rozsivkové schránky, které nesou důležité determináční znaky. Druhovú skladbu rozsivek v jednotlivých prameništích odrážela odlišné podmínky prostředí, přičemž nejdůležitějším faktorem majícím vliv na podobnosti mezi společenstvy byl obsah iontů. Mnohorozměrná analýza rozlišila tři typy společenstev. Společenstva na lokalitách: 1) s velmi vysokou, 2) se zvýšenou, 3) s nízkou koncentrací iontů. První skupinu tvořily unikátní rozsivky na lokalitě Soos preferující vysoké koncentrace minerálů až zasolení. Dominoval zde druh *Navicula cincta*. Druhou skupinu kyselek tvořily vzorky z Číhané a Čiperky. Tyto lokality spojovaly zvýšené abundance druhu *Pinnularia ferrophila*. Třetí skupinou byly Malý Bublák, Kramolínská kyselka a Babické rosnatkové jezírko s nízkou koncentrací rozpuštěných iontů ve vodě (konduktivitou). Diverzifikovaný zde byl rod *Eunotia*, což poukazuje na rašelinné vody s vysokým obsahem huminových kyselin a nízkým obsahem živin (dystrofií). Ve studovaných prameništích byly nalezeny rozsivky se statusem vzácného či ohroženého druhu. Jedná se například o druhy *Cavinula variostrata* (Číhaná, Malý Bublák), *Campylodiscus clypeus* (Soos), *Decussata placenta* (Malý Bublák), *Eunotia arcus* (Číhaná, Babické rosnatkové jezírko), *E. circumborealis* (Malý Bublák), *E. tetraodon* (Jezevčí pramen), *Frustulia weinholdii* (Malý Bublák, Jezevčí pramen), *Navicula angusta* (Malý Bublák), *Neidium hercynicum* (Malý Bublák, Babické rosnatkové jezírko) a *Placoneis*





Schránky vlajkového druhu železitých kyselek – rozsivka *Pinnularia ferrophila* ve světelném (foto vlevo) a rastrovacím elektronovém mikroskopu. Měřítka = 10 µm. Foto ze světelného mikroskopu Jana Kulichová, z elektronového mikroskopu Markéta Fránková.

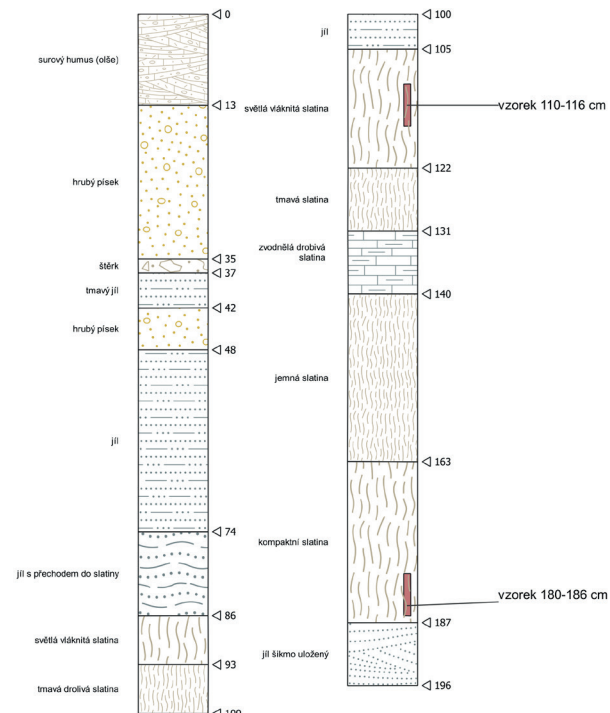
*ignorata* (Malý Bublák, Kramolínská kyselka). Nálezy jsme porovnávali s Červeným listem sladkovodních rozsivek Německa (Lange-Bertalot 1996), protože pro Českou republiku zatím podobný seznam neexistuje a sousední středoevropskou zemi můžeme považovat za relevantní.

## Sedimenty pramenů až do doby ledové

Pro mnohé z námi nalezených druhů rozsivek představuje mikrosvět minerálního pramene jeden z mála biotopů, kde mohou žít. Dlouhodobá prosperita populací těchto vzácných druhů je tedy bytostně spjata s trajektorií historického vývoje tohoto unikátního prostředí. Studium rozsivek má tu výhodu, že jejich schránky se v organických sedimentech prameniště uchovávají i po smrti jedinců, což umožňuje jejich detekci v (ne)dávné minulosti. Vrstvy organického materiálu se ukládají chronologicky, kdy nejhluběji je nejstarší a nahoře nejmladší vrstva, přitom se zde bez přístupu vzduchu konzervují pozůstatky rozsivek, ale i dalších organismů a dohromady tvoří paleoekologický záznam. Jedná se o přírodní archiv, jehož jednotlivé vrstvy lze přesně datovat a určování přítomné bioty v něm „čist“, jak se dané místo a jeho okolí vyvíjelo v čase.

Náš tým prozkoumal minerální prameny také paleoekologickými metodami (Fránková *et al.* 2022a,b). Provedli jsme pilotní průzkumné vrty, které jsme umísťovali do míst, kde jsme předpokládali dlouhodobě stabilní zdroj minerální vody. Jejich přítomnost je často indikována červenohnědými povlaky vysrážených oxidů železa. V blízkém okolí potenciálně zajímavých pramenů se nám skutečně podařilo nalézt organické sedimenty. Byly to tyto lokality: Číperka, Koňský pramen, Liščí prameny, Novoveská kyselka, Babické rosnatkové jezírko, Kramolínská kyselka a Číhaná. Na získaných vrtných jádrech jsme sledovali charakter sedimentů, jejich mocnost a odebírali jsme vzorky pro analýzy zejména z jejich bází. Stáří lokalit jsme následně posuzovali jednak pomocí přesného radiokarbonového datování, jednak biostratigraficky, kdy jsou využity znalosti o hlavních trendech vývoje vegetace v minulosti. Pylové analýzy nám poskytly informace o vegetaci v širším okolí lokalit. Naproti tomu rozsivky, rostlinné makrozbytky (semena, šištičky, jehlice, dřevo, lístky mechorostů apod.) či mikroskopické spory hub a uhlíky vypovídaly přímo o daném místě.

Nejstarší sedimenty jsme našli na lokalitě Novoveská kyselka. Byly datovány do závěru poslední doby ledové (13 000 let). Řadí se tak k dosud nejstarším lokalitám v oblasti

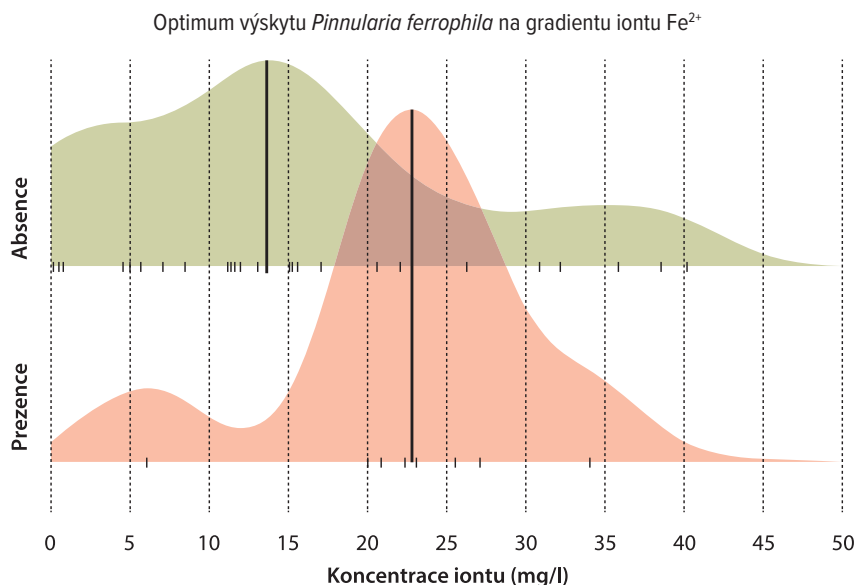


Sedimentologický popis vrtu Číperka – hlavní pramen se zvýrazněnou polohou odebraných vzorků. Autor Přemysl Bobek

Slavkovského lesa, jimiž jsou Číhaná a Tajga (Švarcová 2012, Bobek *et al.* 2019). Krajina tehdy byla mnohem otevřenější a bylinné spektrum bylo pestré, ze stromů byly přítomny jen borovice, břízy, jalovce, modříny a vrby. Relativně vysoké množství spor koprofilních druhů hub ukazuje na přítomnost velkých býložravců (např. divokého koně, prature, zebra). Co se rozsivek týče, Novoveská kyselka i Číhaná obsahovaly čistomilné druhy a značný podíl druhů Červeného seznamu. V mladších vrstvách na obou lokalitách proběhlo odvodnění, které mohlo souviset s rozšířením lesních porostů.

Sedimenty z báze profilu u pramene Číperka pocházely ze středního holocénu z doby před 6 600 lety. Začaly se tedy tvořit v teplejším období středního holocénu, kdy se začal šířit smrk, hojně byly světlé lískové porosty a smíšené lesy s převládající lípou a jilmem. V okolí Číperky bychom našli otevřenější lesní prameniště. Druhovým složením fosilních i recentních společenstev rozsivek se lokalita podobala Číhané, fosilní vzorky dokonce obsahovaly druhově nebohatší společenstva ze všech studovaných lokalit. Byly mezi nimi i některé slanomilné rozsivky, které lze v současnosti najít na Soosu.

Vzorky z profilu u Liščího pramene a Babického rosnatkového jezírka byly z doby železné. Tehdy



Frekvence výskytu druhu *Pinnularia ferrophila* v pramenech s různou koncentrací iontu Fe<sup>2+</sup>. Svislá čára označuje průměrnou koncentraci Fe<sup>2+</sup>. Autor Přemysl Bobek

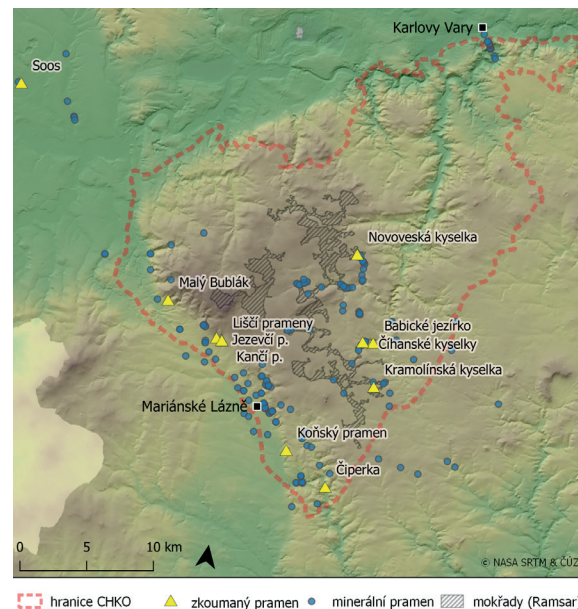
před 2 500 lety dominovaly jedle a buk a lokalita byla porostlá vlhkým smrkovým lesem s kapradinami. Zatímco fosilní vzorky Liščích pramenů byly co se týče rozsivek nadprůměrné co do počtu druhů i jedinců, Babické rosnatkové jezírko hostilo nízký počet (kyselomilných) druhů. Recentní vzorky Babického rosnatkového jezírka byly naopak druhově velmi bohaté včetně druhů vzácných a ohrožených.

Nejmladšími zkoumanými lokalitami (stáří do 500 let) se ukázaly být Kramolínská kyselka a Koňský pramen. Vzorky z první zmíněné lokality byly bohaté na pylová zrna i rozsivky. Pylové spektrum s nízkým podílem dřevin, výskytem obilí, polních plevelů a druhů narušovaných stanovišť již odráží intenzivní lidskou činnost. Vzorek z Kramolínské kyselky byl po Čiperce druhý nejbohatší fosilní vzorek z kyselek Slavkovského lesa. Vyskytovaly se zde indikátory čistých, kyselých vod s nízkým obsahem živin, mechová obyvatelé – druhy rodu *Diploneis*, ale také aerotolerantní druhy. Významné procento opět tvořily druhy Červeného seznamu. Druhově bohaté bylo i recentní rozsivkové společenstvo. Koňský pramen byl na rozsivky celkově chudý.

Ve fosilních vzorcích bylo dohromady determinováno 111 taxonů rozsivek s druhovou bohatostí 1–35 druhů ve vzorku. Asi 12 % nalezených druhů patří do Červeného seznamu. Ve vzorcích recentních byla rozmanitost obdobná. Celkem 103 taxonů s 15–37 druhy na vzorek a 8 % druhů z Červeného seznamu.

## *Pinnularia ferrophila* – vlajkový druh železitých kyselek

Jednou z motivací našeho paleoekologického výzkumu byla otázka, zda se v dávné minulosti ve Slavkovském lese vyskytoval výše zmíněný vlajkový druh *Pinnularia ferrophila*. Tuto otázku jsme zodpověděli, když jsme jej našli v nejstarších sedimentech Číhané a i v dalších 11 mladších vzorcích napříč zdejší rašelinným profilem a vedle Číhané i ve fosilním záznamu Koňského pramene, Kramolínské kyselky a Liščích pramenů. Recentní výskyt druhu *P. ferrophila* se s jeho fosilními nálezy překrýval částečně. Shoda byla v případě Číhané a Kramolínské kyselky, v Liščích pramenech ani Koňském prameni nalezen nebyl, zato byl nalezen na lokalitách Čiperka a Babické rosnatkové jezírko. Hojný výskyt živých buněk byl zaznamenán jen na lokalitách, kde v bezprostřední blízkosti voda ze zdroje kyselky rychle neodtékala (Číhaná, Čiperka). Více schránek druhu *P. ferrophila* bylo zaznamenáno také na lokalitách, kde mohlo jít jen o akumulaci prázdných schránek v sedimentech, jelikož byl tento druh spíše minoritní součástí diverzifikovaných společenstev rozsivek (Kramolínská kyselka, Babické rosnatkové jezírko). Žijící populace druhu *P. ferrophila* byla objevena v mírně kyselých vývěrech na Soosu, i když dříve tento druh na území Soosu v recentních společenstvech nalezen nebyl.



Autor mapky Přemysl Bobek

## Ochrana a revitalizace pramenů

V rámci našeho výzkumu jsme rekonstruovali vývoj vegetace v okolí pramenů a identifikovali změny, ke kterým v čase docházelo. Vyhodnocení fosilních a recentních vzorků rozsivek poukázalo na jedinečnost jednotlivých pramenů. Odhalili jsme přítomnost vzácných, ohrožených a čisto milných druhů rozsivek jak v dávných dobách, tak v současnosti, přičemž některé z nich mají dlouhotrvající kontinuum. Pokud chceme tyto druhy v pramenech Slavkovského lesa nadále uchovat, musíme chránit jejich životní prostředí, tedy biotop, ve kterém se nacházejí. Nezbytnost ochrany se netýká jen lokalit, kde se vzácné druhy vyskytují, ale i těch, kde by druhy mohly být přítomny vzhledem k vhodným podmínkám prostředí určitého typu habitatu. Vzácné druhy totiž mohou migrací v budoucnu osídlit další vhodné lokality a tím se stát méně ohroženými při narušení původních lokalit. Naš výzkum ukazuje, že pro zachování biodiverzity pramenů je nezbytné, aby vývěry mohly tvořit přirozené rozlivy v bezprostřední blízkosti zdroje minerální vody. Citlivé zásahy vedoucí k navrácení pramenných vývěrů do stavu přírodě bližšího – především úpravy stuh, kterými nyní voda odtéká z vývěru příliš rychle – by tedy mikroskopickým společenstvům minerálních pramenů mohly pomoci. ■

Seznam literatury najdete na [www.casopis.ochranaprirody.cz](http://www.casopis.ochranaprirody.cz)