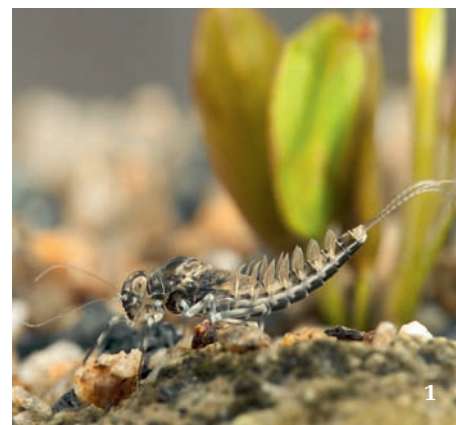


# Dopad klimatických změn na společenstva bezobratlých v našich tocích

Dopady měnícího se klimatu v současnosti pozorujeme již ve většině biologických systémů. Liší se pouze intenzita, s jakou globální klimatické změny na daná společenstva působí. Dobře zdokumentovány jsou především změny společenstev dané pokračujícím vysycháním v aridních oblastech a posuny výskytu chladnomilných druhů do větších nadmořských výšek nebo hranic areálů teplomilných druhů na sever. Změny v terestrických systémech lze oproti těm ve vodním prostředí obecně považovat za dynamičtější. Tepelná kapacita vody totiž může změny vzdušné teploty do jisté míry tlumit a společenstva, zejména v tekoucích vodách, proto reagují s jistým zpožděním. Jelikož však souběžně probíhá i mnoho dalších procesů s různým, ať už negativním, nebo pozitivním účinkem, nelze všechny současné změny ve společenstvech připsat pouze na vrub měnícího se klimatu. V tekoucích vodách se takových změn udála a stále děje celá řada. I když od sametové revoluce v r. 1989 došlo k nápadnému zlepšení kvality vody z hlediska obsahu živin a organických látek, naopak znečištění novými látkami, jako jsou různá léčiva, pesticidy a produkty osobní péče, roste. Co přetrvává, nebo se dále ještě prohlubuje, jsou technické úpravy koryt, narušení přirozeného průtokového režimu a také rozsáhlé změny ve využívání krajiny v povodí. Pro pochopení dopadů změn klimatu je proto zásadní oddělit nebo spíše upozadit vliv těchto ostatních faktorů. Jako vhodný model se nabízejí zachovalé toky, s co nejmenší možnou mírou antropického vlivu. Jejich opakovaným sledováním v čase lze změny ve společenstvech dát do souvislosti s termálními změnami prostředí.

Teplota je jedním ze základních ekologických faktorů, který ovlivňuje vývoj a život organismů na všech úrovních. Zvyšující se teplota může omezit výskyt chladnomilných druhů s úzkou teplotní valencí (stenotermní druhy) a naopak podpořit druhy s širší valencí (eurytermní), a tím způsobit obměnu druhů mezi lokalitami. Výsledkem může být i ochuzení druhové boha-

losti na větší geografické škále, pokud některý z druhů vymizí z většiny nebo všech lokalit. Přestože víme, že se teplota vzduchu i vody za posledních 30 let trvale zvyšuje, odehrávají se v našich tocích také mnohé další změny, které mohou být nepoměrně většího významu než nárůst teploty. I když ekologie nyní disponuje bohatým arzenálem statistických metod, je

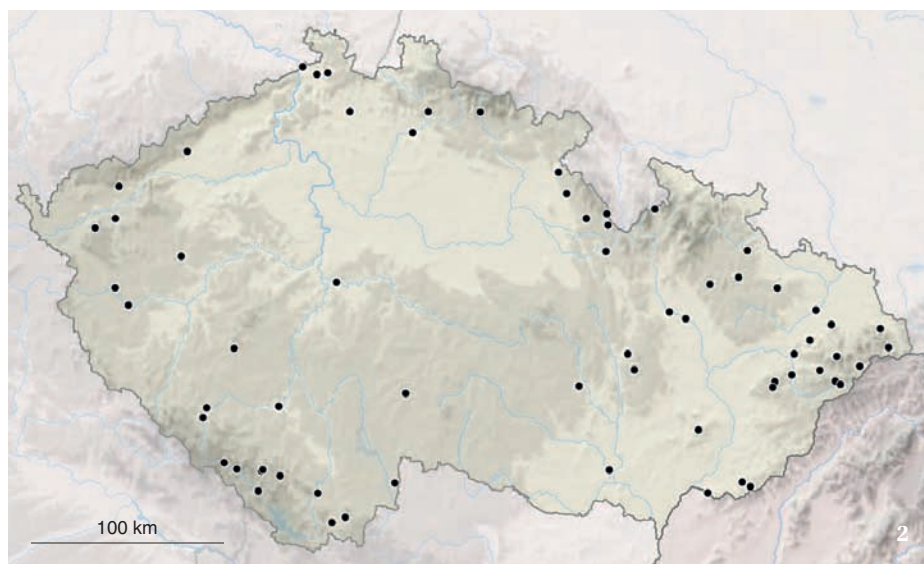


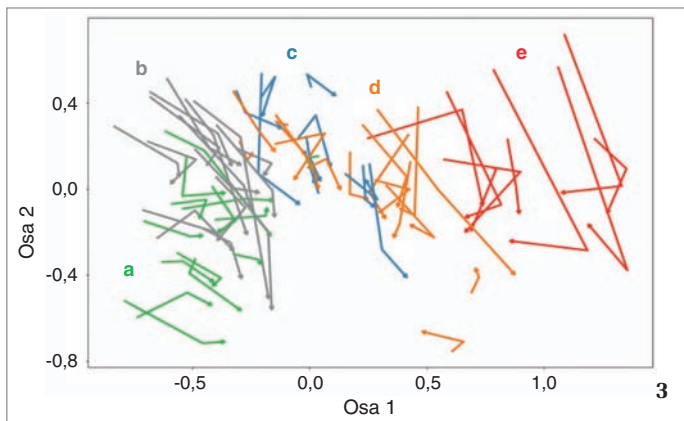
oddělení vlivů, které působí souběžně, ať už v čase, nebo prostoru, jen těžko řešitelným rébusem. Nejlepší a často jedinou možností zůstává tomuto souběhu předejít hned při plánování výzkumu a pro účely vzorkování vědomě vybrat pouze lokality, kde je spolupůsobení více faktorů minimální. V případě studia vlivu klimatických změn na společenstva to znamená omezit ostatní antropogenní vlivy. Pokud máme navíc ambice detekovat zhoršení či zlepšení podmínek, nevyhnutelně potřebujeme standard neboli referenční stav, se kterým můžeme současné společenstvo porovnat.

V souladu s touto myšlenkou byla v 90. letech v rámci projektu PERLA vytvořena reprezentativní síť referenčních úseků toků, představující obraz optimálního, nebo alespoň nejlepšího dosažitelného stavu v daném typu toku, na nichž byl (mimo jiné) studován v letech 1996–2000 makrozoobentos (tedy živočichové žijící u dna a pozorovatelní okem). V projektu PERLA šlo o vývoj metody hodnocení stavu toků pomocí makrozoobentosu, a to porovnáním zjištěného stavu vůči očekávanému (referenčnímu), což bylo v souladu s tehdy připravovanou evropskou Směrnicí 2000/60/ES pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Výběr podléhal přísným kritériím, která musel daný úsek toku splnit, aby mohl být považován za referenční. V první řadě to byla kritéria kvality vody, morfologického stavu koryta a dna a dále využití krajiny v povodí. Referenční úseky také nesměly mít narušený průtokový režim příčným přehrazením, přehradami ani vysycháním. Pro některé typy toků na našem území v dané době však referenční podmínky buď již dávno neexistovaly, jak je tomu u velkých řek i malých potoků v nížinách, nebo nemohly být s jistotou stanoveny. To se týkalo horských toků, protože u nich nebylo známo, zda a jak moc mohly být v předchozím období ovlivněny acidifikací, a také proto, že pro

1 Larva jepice *Centropetium luteolum*. Tento poměrně nenáročný druh se od počátku 21. století šíří prakticky ve všech typech toků, což je zřejmě také z porovnání s jeho výskytem v letech 1955–60 (viz např. Živa 2014, 5: 215–218). Foto J. Hamrský

2 Pozice 65 monitorovaných lokalit na území České republiky na referenčních tocích. Lokality reprezentují různé typy toků podél říčního kontinua. Orig. V. Horsáková



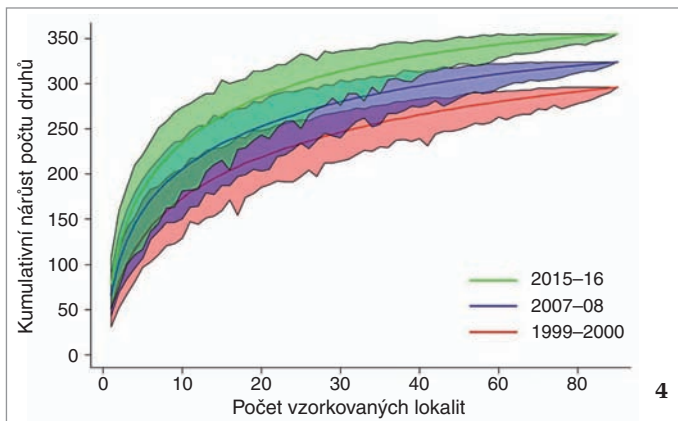


**3** Zobrazení výsledku ordinační analýzy (NMDS – nemetrické mnohorozměrné škálování), která převádí do dvojrozměrného prostoru vzájemnou podobnost vzorků na základě celého druhového složení makrozoobentosu jednotlivých vzorkovaných úseků toků ve třech sledovaných časových etapách, tedy 1996–2000, 2006–08 a 2015–16. Šipka spojuje jednotlivé odběry na daném toku a směřuje od nejstaršího k nejmladšímu odběru. Povšimněte si, že většina šipek směřuje do středu diagramu, což již naznačuje vzájemné připodobňování společenstev v čase. Barevně je vyznačena klasifikace toků na základě jejich nadmořské výšky a vzdálenosti od pramene: potoky středních poloh (a), podhorské potoky (b), podhorské řeky (c), řeky středních poloh (d) a nížinné řeky (e). Orig. V. Sýrovátka

**4** Nárůst počtu druhů makrozoobentosu nalezených na studovaných referenčních lokalitách v jednotlivých etapách vzorkování. Porovnání změn druhové bohatosti mezi etapami je provedeno pomocí akumulčních křivek. Ty udávají, jaký je očekávaný průměrný nárůst počtu druhů se zvýšením počtu vzorkovaných lokalit (středové křivky), včetně 95% intervalů spolehlivosti (barevné plochy kolem křivek). Orig. M. Janáč

**5** Homogenizace společenstev byla statisticky významná v podhorských potocích a řekách nižších poloh. Ojedinelým příkladem přirozeného úseku řeky v nížině je Ploučnice u České Lípy. Foto J. Bojková

management vodních zdrojů nebyly tyto toky prioritní. Odběry makrozoobentosu na referenčních profilech byly opakovány ve dvou intervalech, v letech 2006–08 v rámci referenčního monitoringu pro účely plánování v oblasti vod podle požadavků zmíněné Rámcové směrnice o vodách a v letech 2015–16 během projektu RIVERCHANGE, věnovaného dlouhodobým změnám biodiverzity tekoucích vod v období klimatických změn. Jednou z unikátních vlastností získaného datového souboru popisujícího tři uvedené časové období je taxonomická úroveň determinace makrozoobentosu. Zahrnuje systematicky velmi rozmanité skupiny od ploštěnců až po různé řády hmyzu, a pro určení do nejnižší možné taxonomické úrovně, ideálně druhu, byl proto zapotřebí rozsáhlý tým etablovaných specialistů. V případě některých skupin se podařilo, že determinaci



v jednotlivých etapách prováděli stejní odborníci, což významně zredukovalo možná zkreslení vlivem lidského faktoru. Tato jedinečná data, pocházející z celkem 65 lokalit (obr. 2), vzorkovaných stejnou metodikou ve třech časových obdobích, jsme využili k zodpovězení aktuálních otázek týkajících se dopadů (nejen) klimatických změn na bezobratlé tekoucí vod.

#### Biotická homogenizace společenstev

Zjistili jsme, že společenstva za tu dobu prošla značnou změnou a postupně se začínají vzájemně podobat svým druhovým složením (obr. 3). Tento fenomén, označovaný jako biotická homogenizace, máme v ekologii společenstev velmi dobře zdokumentován. Nejtypičtějším případem je homogenizace v důsledku šíření nepůvodních druhů, kdy dochází k záměrným introdukcím, nebo k neúmyslnému zavlečení těchto druhů. Úspěšně nepůvodní druhy jsou méně vyhraněné ve svých ekologických nárocích, obsazují široké spektrum lokalit s různými podmínkami a šíří se (viz příklady dále). Někdy mohou predací nebo kompeticí vytlačovat původní druhy. Nepůvodní organismy svou hojnou přítomností a ochuzováním lokální bioty způsobují, že se společenstva jednotlivých lokalit mezi sebou liší méně než před jejich příchodem. Homogenizace může být dále podpořena nebo primárně způsobena degradací prostředí vyvolanou člověkem. Podobně jako nepůvodní druhy se totiž mohou chovat i některé původní, pokud jsou plastičtější nebo odolnější k probíhající změnám. Citlivé a často geograficky

omezené taxony mizejí a na jejich místo přicházejí druhy odolné, jimž zhoršení lokálních podmínek nevádí, nebo dokonce vyhovuje. Může však probíhat i vlivem faktorů, které se mění méně zřetelně, plíživě a na velkých škálách, jako je průměrná teplota. O homogenizaci společenstev čistě vlivem nárůstu teploty se v poslední době stále častěji spekuluje, ale přesvědčivých dokladů dosud existuje jen naprosté minimum.

Když jsme společenstva referenčních toků podrobili rigoróznímu testování, homogenizace se neukázala jako signifikantní na úrovni kompletního datového souboru. To nebylo až tak překvapivé, jelikož rozmanitost zkoumaných lokalit sahá od podhorských potoků až k řekám nižších poloh, tedy napříč téměř celým říčním kontinuem, takže i druhové složení společenstev se velmi liší. Významnou homogenizaci jsme však pozorovali na obou okrajích gradientu – u řek nižších poloh a podhorských potoků – z příčin, které nám zatím nejsou úplně jasné. Velmi překvapivý byl mechanismus, jak k homogenizaci došlo. Na vině nebyly totiž nepůvodní druhy nebo úbytek vzácných a citlivých druhů, ale přesně naopak. Změnou, která se v našich zachovalých tocích odehrála v posledních 20 letech, je nápadný nárůst lokální diverzity (obr. 4). Navíc neintuitivně šlo o přibývání řady úspěšných původních druhů.

Přítom se v našich ovlivněných tekoucích vodách, především řekách nižších poloh, vyskytují vhodní kandidáti z nepůvodních organismů, které v poslední době





6 Na stupních vítězů. Ukázka druhů, které během období let 1997–2015 výrazně zvýšily své populační hustoty a četnost výskytu ve sledovaných úsecích našich zachovalých toků. Pouze jeden z nich je pro naši faunu nepůvodní. V závorce je uvedena velikost těla v nejdelším rozměru. Pošvatka rohatá (*Leuctra geniculata*, a) se koncem 90. let minulého století začala šířit ze západní Evropy a dál pokračuje směrem na východ, přičemž první nález u nás pochází z r. 2003 (larva, 12 mm). Hrachovka obecná (*Pisidium casertanum*, b) byla vždy naším nejhojnějším druhem rodu, novodobě se stala hojnou i v podhorských potocích (5 mm); na obr. je horní pohled na levou lasturu. Chrostík rodu *Mystacides* (c), zástupce čeledi Leptoceridae, u které jsme pozorovali jen těžko vysvětlitelný nárůst početnosti (larva, 15 mm); na obr. vidíme schránku z kamínků a s podélně přilepeným jehličím. Skvrnitá hlava a hrud' včetně nápadně protaženého páru zadních nohou jsou typické pro larvy této čeledi. Jepice dánská (*Ephemera danica*, d) je příkladem druhu vázaného na jemné sedimenty, jak napovídají přední hrabavé nohy její larvy (30 mm). Larvy střechatky začoudlé (*Sialis fuliginosa*, e) zvýšily svou početnost ve všech typech toků, vyjma nížinných řek (20 mm). Svou kresbou nezaměnitelný potápník *Platambus maculatus* (f) je druh vázaný na tekoucí vody, ve kterých se v poslední době vyskytuje v silných populacích i na lokalitách, kde před 20 lety nežil (8 mm). Foto M. Horský

přibývají (blíže v Živě 2018, 5). Mnoho nepůvodních zástupců známe zvláště mezi korýši a měkkýši. K významným případům patří konkurenceschopný blešivec ježatý (*Dikerogammarus villosus*) nebo slávička mnohotvárná (*Dreissena polymorpha*), oba původem z ponto-kaspické oblasti. Stejně tak jsou dobře známé invaze různých druhů raků přenášejících račí mor (původcem onemocnění je řasovka *Aphanomyces astaci*), např. amerických raků – raka pruhovaného (*Faxonius limosus*) a r. signálního (*Pacifastacus leniusculus*). Mnoho nepůvodních plžů přišlo také ze Severní Ameriky, jako levatka ostrá (*Physa acuta*), která proniká do nížinných toků z okolních stojatých vod, kde je výrazně hojnější v silně znečištěných vodách. Dva druhy mlžů, korbikula asijská (*Corbicula fluminea*) a škeble asijská (*Sinanodonta woodiana*), pocházejí, jak jejich jména napovídají, z jihovýchodu Asie. Ve výčtu bychom mohli dále volně pokračovat, ale o tom tento článek není. Snad jen dodejme jednu zajímavost, že nepůvodních druhů vodního hmyzu, byť představuje naprostou dominantu druhové bohatosti vodních benthických společenstev toků, je málo. Výjimku představuje např. pošvatka rohatá (*Leuctra geniculata*, obr. 6a).

Zajímavé také je, že k homogenizaci v referenčních tocích výrazně nepřispěla ztráta citlivých a vzácných druhů. Takových ztrát jsme pozorovali zanedbatelné minimum. Je nutné si znovu připomenout, že analyzovaná společenstva pocházejí z těch nejzachovalejších úseků toků, které

u nás máme (a platilo to už v 90. letech). Nezaznamenali jsme u nich ani zvýšení obsahu živin – jev typický napříč všemi ekosystémy – ani jinou degradaci stanovišť. Ze všech testovaných faktorů opožděně vycházely v našich analýzách opakovaně jako hlavní a signifikantní právě teplotní proměnné popisující klima v okolí studovaných toků. Je dost dobře možné, že momentálně balancujeme na hraně tzv. extinkčního dluhu, přechodného stavu daného zpožděnou reakcí společenstev na změnu klimatu. Není tedy vyloučeno, že úbytek druhů nás nevyhnutelně čeká s pokračující klimatickou změnou i v těchto neovlivněných tocích. Odpověď snad poskytnou výsledky vzorkování v následujícím časovém období, pokud se na něj podaří zajistit finanční prostředky a pracovní kapacitu.

Proč některé druhy nápadně přibývají vlivem zvyšující se teploty a jiné ne? Skutečně zatím nevíme! Jde přitom o druhy, které se nezdaří ani nijak výjimečně kompetičně zdatné a poměrně rovnoměrně pokrývají spektrum taxonomické rozmanitosti. Jisté společné rysy nicméně alespoň u některých z těchto „vítězů“ vysledovat můžeme. Najdeme mezi nimi např. druhy vázané na jemnější substráty, jako jsou někteří máloštetinatci nebo drobní mlži rodu hrachovka (*Pisidium*, obr. 6b). To je však zcela nedostačující vysvětlení, a proto se chceme kauzalitou nárůstu četnosti mnohých druhů vlivem rostoucí teploty zabývat v dalším výzkumu. Předně nás zajímá, jak „vítězové“ přibývají. Je

možné, že se jejich ekologická nika postupně buď rozšiřuje, nebo jen posouvá, anebo se dokonce vůbec nemění a tyto druhy pouze zaplňují dříve neobsazené lokality? Místa, která jsou ekologicky srovnatelná s těmi, která tyto druhy obývaly i v minulosti. Jejich skutečné teplotní preference a tolerance zůstávají dosud překvapivě velkou neznámou. Obecně totiž vztah k teplotě u vodních druhů pouze nepřímo odvozujeme z jejich výskytu. Sadou laboratorních experimentů, plánovaných ve spolupráci s týmem Davida Boukala z Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, se na některé z těchto otázek pokusíme odpovědět. Naši hypotézou je, že druhy, které boj s klimatickými změnami vyhrávají, jsou vůči teplotním podmínkám méně vyhraněné než ty, jejichž početnost se nemění, nebo dokonce klesá. Předpokládáme, že „vítězové“ tolerují vyšší hodnoty teploty, nebo její výkyvy, což jim dává značné výhody v situaci, kdy teplota v našich vodách trvale roste. O zjištění, zda tomu tak skutečně je, se snad jednou podělíme i se čtenáři Živy.

**Kolektiv spoluautorů: Marie Zhai, Denisa Němejcová a Michal Horský**

*Tento výzkum byl umožněn finanční podporou Grantové agentury ČR (20-173055) a projektem RIVERCHANGE (EHP-CZ02-OV-1-018-2014) financovaným z fondů EHP a Norska.*