

## Proč jsou rašeliniště kyselá?

Název článku je trochu zavádějící, neboť ne všechna rašeliniště jsou kyselá. Existují i zásaditá rašeliniště, která hostí vzácná a druhově bohatá společenstva rostlin i živočichů. Jenže mnohá ze zásaditých rašelinišť se postupně přirozeně mění na obvyčejnější, kyselá a druhově chudá. Poslední dobou jsme v celé Evropě svědky zrychlení těchto změn, souvisejícího s působením člověka. Nahlédneme proto do mechanismů, jež kontrolují kyselost či zásaditost rašelinišť, a nastíníme, jakou roli zde hrají ekofyziologické a biochemické zvláštnosti mechorostů, především rašeliničků.

Rašeliniště jsou biotopy, ve kterých se hromadí neúplně rozložená půdní organická hmota – rašelina (viz např. Živa 2012, 4: 183–185; 2013, 5: 220–222; 2018, 1: 6–10). Ta je tvořena částečně rozloženými zbytky podzemních a nadzemních částí přítomných rostlin, nejčastěji ostřic, suchopýrů, vřesovcovitých keříků a jiných dřevin, a zejména mechorostů. Slovo rašeliniště se pojí s mechem rašeliničným (rod *Sphagnum*, obr. 1), ale jsou typy rašelinišť, kde bychom tyto mechy hledali marně. Představují totiž zásadní složku vegetace vrchovišť sycečných pouze srážkovou vodou, tedy ombrotrofních rašelinišť. Proto je u nás najdeme především na horách, kde je srážek dostatek (od šumavských slatí až po hřebeny Jeseníků, nebo blatkový bor Rejvíz v jejich podhůří). Rašeliničky převládají i na tzv. chudých slatiništích (z anglického poor fens; odpovídají českému termínu přechodová rašeliniště, ale nepletme je se zmíněnými šumavskými slatěmi; viz tab. rozdělení rašelinišť podle kyselosti na webové stránce Živy). Povrch slatinišť je hydrologicky v kontaktu s horninovým podložím, proto se označují jako minerotrofní rašeliniště. Pokud je podloží bohatší na zásadité ionty, mohou se vyvinout minerálně bohatá, a v oblastech s hojnými karbonátovými horninami (vápenec, vápenný flyš, opuka, hadec) až zásaditá slatiniště. A protože jen málokteré druhy rašeliničků dokážou tolerovat zvýšené koncentrace vápníku, bývají taková rašeliniště bez rašeliničků. Jejich ekologickou niku nahrazují jiné mechy, které jsou z praktických důvodů označovány souhrnně jako hnědé mechy (brown mosses, obr. na 2. str. obálky).

V zásaditých horninách bývají kationty (hlavně vápník, v menší míře hořčík) vázány jako uhličitany, odkud se srážkami vymývají do podzemních vod, které pak sytí minerotrofní rašeliniště. Uhličitany jsou sice v destilované vodě prakticky nerozpustné, ale srážkovou vodou v půdě obohacují organické kyseliny a oxid uhličitý. Vzniká tak slabá kyselina uhličitá, jež se rozpadá (elektrolyticky disociuje). Uvolněné protony ve vápenném podloží reagují s uhličitánem a tvoří se rozpustný hydrogenuhličitán (bikarbonát). V místě, kde podzemní voda obohacená o vápena-

té a hydrogenuhličitánové ionty vyvěrá, probíhá chemická reakce obráceně. Koncentrace vzdušného oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) je zde nižší než v místě rozpouštění uhličitánů, a tak se  $\text{CO}_2$  uvolňuje z vody do atmosféry. Pokud vyvěrá na povrch uhličitá minerálka (kyselka) s rozpuštěným  $\text{CO}_2$  postvulkanického původu,  $\text{CO}_2$  do atmosféry doslova vyšumí. S ním se však z vody ztrácí i kyselost, pH stoupá a hydrogenuhličitán se mění na nerozpustný uhličitán vápenatý, který pak na nejzásaditějších slatiništích může vytvářet mocné vrstvy vysráženého pěnovce (Živa 2012, 1: 8–9) nebo pevnějšího travertinu (obr. 2). V méně zásaditých slatiništích se sice uhličitán nesráží, ale  $\text{CO}_2$  spolu s (hydrogenuhličitánem fungují jako pufr – jsou schopny tlumit výkyvy pH. Ačkoli rostliny a hromadí se půdní organická hmota mají tendenci prostředí okyselovat, voda protékající slatiništěm poskytuje stálý přebytek hydrogenuhličitánových aniontů, které tuto kyselost neutralizují, a udržují tak neutrální či mírně zásadité prostředí. To je charakteristické nadbytkem vápenatých iontů, a proto se na taková stanoviště vážou kalcikolní rostlinná společenstva (adaptovaná na vápník).



### Vývoj zásaditých rašelinišť

Přestože jsou takové biotopy bohaté na minerály, bývají stále limitovány hlavními živinami – dusíkem a fosforem. Také proto slatiniště nezarůstají neprostupnou a druhově chudou vegetací, jak ji známe např. z okolí dnešních rybníků, ale jde spíše o rozvolněnou podmáčenou louku s velkou diverzitou druhů, forem i barev (obr. 3). Protože však minerálně bohatší zásadité pramenité vody působí jen lokálně, jsou bohatá slatiniště nezdědká omezena na stovky, desítky nebo i pouhé jednotky čtverečních metrů, a vzhledem k obecně nízké četnosti pramenů bývají v krajině rozseta jen ostrůvkovitě. Z biogeografického hlediska jde tedy vlastně o ostrovy obklopené oceány biotopů nehostinných pro druhy zásaditých rašelinišť. Na těchto ostrovech převažuje místní vymírání nad imigrací a druhy vápenných slatinišť jsou do značné míry odkázány na dlouhodobé přežívání (mluvíme o nich často jako o reliktech). Nejen ostrůvkovitost je ale činí jedněmi z nejvzácnějších a nejohroženějších biotopů evropské přírody. Při postupném hromadění slatině rašeliny se její povrch vzdaluje od podloží a od zdroje zásadité vody. Tím také nahromaděná rašelina stále účinněji vodu filtruje – zachytává vápenaté ionty a neutralizuje hydrogenuhličitánové anionty. Prostředí se stává příznivější pro druhy méně tolerantní vůči vápníku, které zato bývají silnějšími a produktivnějšími konkurenty. Jde především o rychle rostoucí druhy rašeliničků. Tento přirozený sukcesní proces trvá stovky až tisíce let. Vápenné slatiniště při něm většinou zanikne, zejména v relativně vlhčí boreální zóně nebo na podloží jen mírně či středně bohatém na vápník.

Ve vnitrokarpatských kotlinách jsme ovšem zaznamenali i vápenná slatiniště,

- 1 Rašelinič Warnstorffův (*Sphagnum warnstorffii*, červené lodyžky) a r. oblý (*S. teres*, žlutohnědé) tolerují zvýšené koncentrace vápníku, a proto se mohou uchytit i na minerálně bohatších slatiništích. Oba druhy mají na vrcholku lodyžky (hlavičce) dobře patrný centrální pupen.
- 2 Travertinové plotny u slovenských Stankovan. Vyvěrající kyselka ztrácí svůj oxid uhličitý a srážející se uhličitán vápenatý blokuje další sukcesí. Částečně odvápněná voda pak sytí vápenné slatiniště v pozadí.





kteřá se na kyselejší rašeliničková rašeliniště nepřeměnila ani za tisíce let existence. Příčinou je jejich sycení dlouhodobě stabilními prameny se silně vápnitou vodou (tzv. hlubinná cirkulace vody), neustále přinášející velké množství hydrogenuhlíčanů. A když hladina vody v suchších obdobích poklesne a přísun hydrogenuhlíčanů se dočasně sníží, kontinentální klima vnitrokarpatkých kotlin neumožní šíření rašeliničků, jež potřebují letní srážky, aby při snížené hladině vody neuschly. Taková dlouhodobě zásaditá rašeliniště jsou ale vzácná a vyskytují se na nich reliktní vápnomilné druhy, přežívající tu tisíce let, někdy i od poslední doby ledové (včetně reliktních bezobratlých, např. Živa 2012, 1: 8–9 nebo 2014, 5: 219–222). Na většině ostatních lokalit vápnomilné druhy postupně mizejí, a i když jsou na místní podmínky adaptovány, musejí být zároveň schopny osídlit nová rašeliniště v mladším vývojovém stadiu. Z hlediska populační ekologie jde o metapopulaci, kdy izolované populace na jednotlivých ostrovech zásaditých rašelinišť musejí být propojeny migrací, aby druh v krajině přetrval. Když lidská činnost (odvodňování, urbanizace, zalesňování, intenzivní zemědělství) snížila četnost zásaditých rašelinišť, narušila i metapopulační strukturu na ně specializovaných druhů a odsoudila je k pomalému vymírání. Na dosud existujících ostrovech sice mohou dlouhodobě přežívat, ale až jednu ostrov zanikne, zmizí spolu s ním. V ekologii říkáme, že takové druhy v dnešní krajině žijí na „extinkční dluh“, podle slova extinkce (vymření).

V současné krajině tedy druhům zásaditých rašelinišť tihá časovaná bomba. Poslední dobou jsme svědky toho, že se stovky a tisíce let přirozené sukcese od zásaditých ke kyselým slatiništím a k vrchovištím zkracují na desítky, ba i jednotky roků. Sukcesi totiž urychlují člověkem vyvolané změny globálního i místního charakteru. Intenzifikace zemědělství si vyžádala velkoplošná odvodnění půdy a rozsáhlejší slatiniště byla „zkulturněna“, zatímco mnohá menší neustála zaklesnutí hladiny podzemní vody. Kyselé deště v druhé polovině 20. stol. přinášely především sírany a kyselinu sírovou, které přímo okyselovaly půdy, zejména ve vyšších polohách. Navíc s průmyslem, dopravou a živočiš-



**3 až 5** Rašeliništní sukcese od bohatých k chudým slatiništím až po vrchoviště je většinou jednosměrná, tedy nevratná. Probíhá v důsledku okyselení a živinového ochuzení rašeliniště během hromadění rašeliny. Na snímcích je zvoleno jako příklad zásadité, živinami bohaté slatiniště u obce Demánová (Nízké Tatry, obr. 3), chudé slatiniště v okrajových partiích Rejvízu (Jeseníky, 4) a vrchoviště Pušcizna Wielka na polské Oravě (5). Snímky T. Hájka, není-li uvedeno jinak

nou zemědělskou výrobou se do ovzduší dostávají značná množství pro rostliny využitelného dusíku (oxidy dusíku a amoniak), jenž doslova hnojí celý kontinent. Desítky let tak „zúrodňuje“ i ta nezapadlejší slatiniště, kde skrytě mění živinové poměry. Stoupá také koncentrace fosforu a draslíku, a to jak z důvodu znečištění splachem z okolních polí, hnojených luk a pastvin a z protékajících vodních toků, tak i kvůli rozkladu rašeliny vyvolanému poklesem hladiny vody a zvýšeným přísunem dusíku. Zvýšená koncentrace živin podporuje druhy pozdějších sukcesních stadií, protože urychluje jejich růst, zvyšuje produktivitu, a dokonce zmírňuje toxický vliv vápníku na prvoklíčky i dospělé rostliny rašeliničků. Urychluje tak sukcesní směr k kyselejšímu, chudým slatiništím. Chudým nejen na hydrogenuhlíčan vápe-

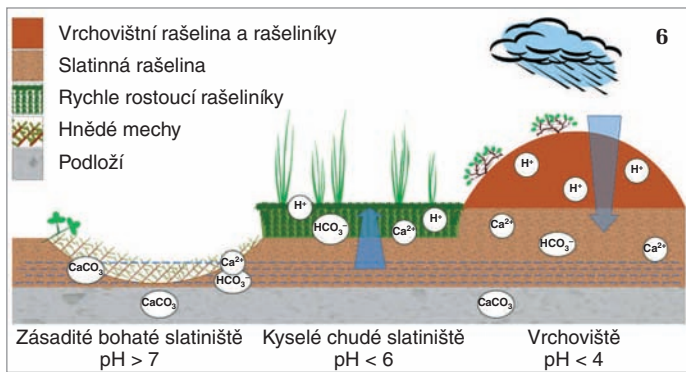
natý, ale i na druhy, formy a barvy (obr. 4). Hnědé mechy jsou proto postupně nahrazovány rašeliničkami. Nejdříve jde o několik málo druhů, které ještě snázejí zvýšené koncentrace vápníku a pH (obr. 1). Ty však připravují půdu (či spíše vodu) pro další, už konkurenčně silnější – čili produktivnější – kyselomilné druhy rašeliničků. Zrychluje se ukládání rašeliny, a tím se zpětnovězobně omezuje vliv podzemní vody (obr. 6). Rašeliničky ale mají oproti jiným mechům několik zvláštností, z nichž tou nejnápadnější je účinné hospodaření s vodou. Většinu objemu stélek rašeliničků nezabírá buněčný obsah, ale duté prostory vytvořené řízeným odumřením buněk během vývoje lístků a lodyžek. Rašeliničkový porost proto pasivně zadržuje srážkovou vodu (obr. 1) a to mu pomáhá stát se méně závislým na vodě podzemní. Tím předchází nejen toxickým účinkům vápenatých iontů, ale i vysušení stélek, které by snížilo rychlost hromadění biomasy.

Zde jsme už jen krůček od skutečně kyselých vrchovišť a zodpovězení titulní otázky. Dalším ukládáním rašeliny se jí navrhí (odtud vrchoviště) tolik, že se povrch rašeliniště zvýší nad okolní terén (obr. 6) a hydrologicky se zcela izoluje od podloží. Znamená to ale, že veškerá voda a minerální látky přicházejí už výhradně z atmosféry a hromadící se kyselost není neutralizována prameny vyvěrajícími z podloží. To vede k další sukcesní obměně vegetace; bylinné patro je nízké, rozvolněné a v mechovém patře naprosto převažují rašeliničky.

### Co je příčinou přirozené kyselosti rašelinišť?

Dodnes se traduje, že příčinou kyselosti vrchovišť je značná kapacita rašeliničků okyselovat prostředí výměnou kationtů. Tedy že se kationty z prostředí vymění za volné protony pocházející z karboxylových skupin kyselých pektinů, významných stavebních polysacharidů buněčných stěn rašeliničků. Tato představa má však hned několik trhlín. Rašeliničky nemají o nic větší kationtovou výměnnou kapacitu než jiné mechy, např. slatiništní hnědé mechy, a ve vrchovištích je díky nízkému pH jejich realizovatelná iontovýměnná kapacita sotva poloviční. Navíc v chudém prostředí vrchoviště není dostatek kationtů, které by výměnou za protony udržely jeho kyselost.



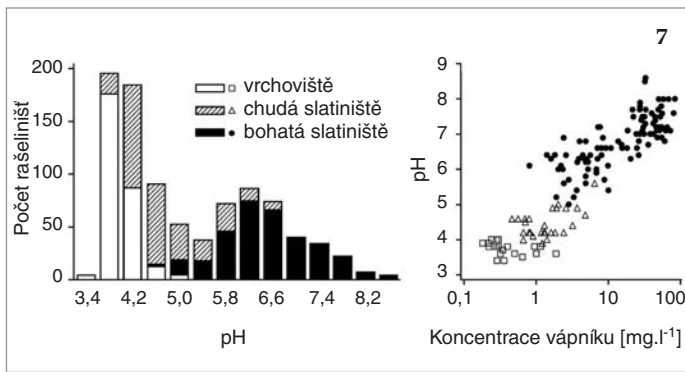


6 Zjednodušené schéma vývoje rašeliníště od zásaditého slatiniště po vrchoviště. Slatiniště vzniklo kolem pramene vyvěrajícího z podloží bohatého na uhličitán vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ). Převládající „hnědé“ mechy, které vápniitou vodu tolerují, postupně nahromadily vrstvu slatinné rašeliny. Tím se povrch slatiniště vzdálil vodní hladině, ochudil o vápenaté a hydrogenuhlíčitanové ionty, a tedy okyselil. To umožnilo rozšíření rychle rostoucích rašeliníků, které povrch rašeliníště ještě více izolovaly od podzemní vody, okyselily a ochudily o živiny i druhovou rozmanitost. V příhodných místech může hromadění rašeliny pokračovat až do té míry, že se vegetace úplně vymaní z vlivu podzemní vody. Vzniká vrchoviště odkázané na vodu z živiny z atmosféry. Orig. T. Hájek

7 Na příkladu švédských rašeliníšť lze ukázat, že pH bývá nejčastěji buď velice nízké, nebo jen mírně snížené – podle toho, zda je regulováno organickými kyselinami, nebo hydrogenuhlíčanem (graf vlevo). Protože jde téměř výhradně o hydrogenuhlíčan vápenatý, je pH přímo úměrné logaritmu koncentrace vápenatých iontů (graf vpravo). Podle: H. Rydín a J. K. Jeglum (2013), upravil T. Hájek

8 Zvěří narušený povrch slatiniště zarostlého rašeliníkem vrací do hry působení podzemní vody obohacené hydrogenuhlíčanem vápenatým a může sukcesí vrátit ke společenstvům bohatších slatinišť s převládajícími hnědými mechy. Slatiniště Švihrová v podhůří Vysokých Tater, kde jsou kaliště jelenů vysokými místy s výskytem ohrožených druhů hnědých mechů, jako je srpnatka fermežová (*Hamatocaulis vernicosus*), poparka třířadá (*Meesia triquetra*) nebo bažinník kostrbatý (*Paludella squarrosa*). Foto P. Hájková

Abychom tedy objasnili, proč jsou vrchoviště kyselá, musíme si vysvětlit fyzikálně-chemickou podstatu toho, co se děje ve zmíněných karboxylových skupinách ( $\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{H}$ ;  $\text{COOH}$ ) uronových kyselin mechových pektinů. Protože je karboxyl slabou kyselinou, vyskytuje se jak ve formě nedisociované neutrální ( $\text{COOH}$ ), tak v disociované kyselé ( $\text{COO}^- + \text{H}^+$ ), která může nabídnout proton k výměně za jiný kation. V neutrálním či mírně zásaditém prostředí, typickém pro nerašeliníkové (hnědé) mechy, všechny karboxylové skupiny disociují. Karboxyly okamžitě vymění protony za vápenatý kation, protony se sloučí s hydrogenuhlíčitanovými anionty a vzniklý  $\text{CO}_2$  uniká do atmosféry. Při velmi nízkém pH kolem 3,5, typickém pro raše-



liníkové bulvy vrchoviště, je ale jen polovina karboxylů disociována a zhruba pouze desetina z nich vymění proton za jiný kation. V roztoku je totiž jiných vyměnitelných kationtů málo, a ty ještě musejí o karboxyly soutěžit s hojnými protony, které mají navíc ke karboxylům větší afinitu (sílu vazby). Kationtová výměna se sice na okyselování rašeliníště podílí, ale v omezené míře. Kyselost je udržována především tím, že přirůstající mechy vytvářejí stále nové disociovatelné karboxyly, připravené při navýšení pH uvolnit proton. Opět tak fungují jako slabé kyseliny, jejichž největší pufrční kapacita nastává právě při pH kolem 3,5.

Kyselost a zásaditost rašeliníšť je tedy řízena dvěma pufrčními systémy – minerálním, zprostředkovaným hydrogenuhlíčitanovými ionty ve vodě z podloží, sytými minerálně bohatší slatiniště, a organickým, jenž ve vrchovištích a minerálně chudých slatiništích zajišťují karboxylové kyseliny v buněčných stěnách rašeliníků a v rašelině. Během sukcesního vývoje rašeliníště se koncentrace hydrogenuhlíčitanu ve vodě postupně snižuje natolik, že už nestačí neutralizovat přibývající volné protony. Při hodnotě pH kolem 5 dochází ke skokovému okyselení, jak ukazuje i histogram, grafické znázornění intervalového rozložení četnosti rašeliníšť podle pH (obr. 7 vlevo). Na příkladu švédských rašeliníšť vidíme, že jsou nejčastěji buď velmi kyselá (pH kolem 4), nebo jen slabě kyselá až neutrální (pH kolem 6), ale málokdy mají pH mezi těmito dvěma póly. Je to dáno právě tím, že při pH kolem 5 žádný z pufrčních systémů nepřevládá a chemismus rašeliníště je proto náchylný k výkyvům.

### Nejistá budoucnost zásaditých slatinišť

Proces okyselování rašeliníšť probíhá přirozeně a ztěžuje ochranu zásaditých typů rašeliníšť. V současné zemědělské krajině Evropy se dostala zásaditá slatiniště a jejich rostlinné druhy na pokraj vyhinutí, jak ukázal i aktuální Červený seznam evropských biotopů z podzimu 2016 založený na přímých datech. V minulých desetiletích byla řada zásaditých slatinišť v Evropě zničena. Ostrovní povaha těchto biotopů se prohloubila natolik, že přestává fungovat metapopulační dynamika na ně specializovaných druhů. Jejich přežívání tak dnes závisí na existenci posledních jednotlivých ostrůvků. Ohrožuje je však dramaticky zrychlená sukcese ke kyselým slatiništím, vyvolaná součinností hydrologických změn v krajině a obohacováním mokřadů o živiny. Narušení původních hydrologických systémů a biogeochemických cyklů v krajině se v současné době spíše prohlubuje. Vymizení druhů zásaditých slatinišť tedy zabráni asi jen místní zásahy do sukcesních pochodů bez přidávání dalších živin, jako jsou zvyšování hladiny podzemní vody (pokud není obohacena o živiny), kosení a odstraňování posečené biomasy, narušování porostů rašeliníků a vytváření sukcesní mozaiky místním stržením nejsvrchnějších vrstev rašeliny (obr. 8).

Nabízí se i otázka, zda by pomohlo vápnění rašeliníšť mletým vápencem, které se doposud provádí ve smrkových lesích na půdách ochuzených o zásadité kationty vlivem někdejších kyselých dešťů. Nepomohlo – vápencem se totiž díky silné pufrční kapacitě rašeliny rychle rozpustí, vápník se z povrchové mechové vrstvy vyplaví a sukcese může zase pokračovat. A navíc, jako v případě lesů a zemědělské půdy, vápnění rašeliníšť by rovněž vedlo k nežádoucímu zrychlení rozkladu humusu (rašeliny) a mineralizace živin. To bychom vyrazili klín klímem.

Chceme-li účinně chránit naše rašeliníště a jejich druhovou rozmanitost, nezapomínejme ani na druhově bohatá neutrální a zásaditá slatiniště, která, na rozdíl od kyselých vrchovišť, nebývají součástí „zavedených“ a mnohdy zpřístupněných rezervací. Příkladem malých, ale cenných slatinišť mohou být přírodní rezervace v Rájích a Žemlička na Třeboňsku, PR Řeka a Rašeliníště Kaliště na Vysočině, nebo přírodní památka Obidová v Moravskoslezských Beskydech. Může nám pomoci i hlubší pochopení fyzikálně-chemických dějů, které rozhodujícím způsobem ovlivňují ekologii rašeliníšť v tom nejširším smyslu.

Použitá literatura uvedena na webu Živý.