

Společenstva vodních rostlin, řas a sinic v přehradních nádržích a důlních jezerech

Fototrofní organismy ve vodních ekosystémech zastupují vodní mikrofyty, což jsou mikroskopické řasy a sinice rozptýlené ve vodním sloupci (fytoplankton) nebo přisedlé na ponořených substrátech (perifyton), a vodní makrofyty, které zahrnují vodní cévnaté rostliny, mechorosty, ale i makroskopické řasy s komplexní stélkou (např. parožnatky). Přestože běžně osídlují vodní ekosystém společně, rutinní monitoring často sklouzává ke sledování jen dominantní skupiny fototrofních organismů. Tou je zpravidla fytoplankton vzhledem k hojnému výskytu v našich většinou eutrofních vodách (bohatých na živiny), a příznivejší, i vzhledem k dlouhé tradici jeho sledování. Protože v naší kulturní krajině už převážně využíváme jen umělé vodní ekosystémy významně ovlivněné lidskou činností, je tento přístup opodstatněný, nicméně se vytrácí reálná představa o zastoupení a vzájemných interakcích různých skupin fototrofní a povědomí o jejich vlivu na fungování ekosystému. Proto zde v obecných rysech představíme společenstva fototrofní ve vodním prostředí a na příkladu výrazně odlišných ekosystémů stojatých vod ukážeme význam nejen fytoplanktonu, ale i makrofytů a perifytonu, které často unikají naší pozornosti.



Makrofyty ve vodních ekosystémech
Protože fytoplanktonu, potažmo ekologii mikrofytů, se věnuje jiný článek tohoto čísla (str. 231–234), můžeme se v následující kapitole zaměřit na společenstvo makrofytů a jeho roli ve vodním ekosystému. Existuje nepřeberné množství definic a klasifikací tohoto společenstva.

1 Příklady rostlinných společenstev – vodních makrofytů, fytoplanktonu a perifytonu – osídlujících přehradní nádrže a důlní jezera (viz dále obr. 2–6 na následující dvoustraně). Vynořené rostliny rostoucí v kamenném záhozu na břehu důlního jezera Medard během jejich mapování v trvalém transektu s pomocí pásma

Pojem vodní makrofyty má mnoho ekvivalentů, jako např. vodní nebo mokřadní rostliny. Pro účely tohoto článku se pokusíme důsledně držet pojmu makrofyty kvůli jejich vymezení vůči společenstvům mikrofytů. Pokud je však vžitý pojem „rostliny“, uvedeme ho přinejmenším do závorky a budeme ho používat i dále v textu.

Životní cyklus vodních makrofytů probíhá alespoň částečně ve vodním prostředí. Jde o velmi různorodou skupinu rostlin s pestrými škálami ekologických nároků, adaptací a životních strategií, které umožňují osídlení přibřežní (litorální) zóny od periodicky obnažovaného dna po trvale zatopené pásmo s dostatkem slunečního záření pro fotosyntézu. Vodní makrofyty (rostliny) se nejčastěji člení na vynořené, s plovoucími listy a ponořené (obr. 1–3) vzhledem k osídlování kontinuálního rozhraní voda–souš. Často se však vyznačují vysokou fenotypovou plasticitou, což mimo jiné znamená, že se upřednostňují určitou hloubku vodního sloupce, ale dokážou se morfologicky, anatomicky, případně i fyziologicky přizpůsobit přirozenému kolísání vodní hladiny. Většina druhů tak může vytvářet přechodně ponořenou, plovoucí, vynořenou nebo i suchozemskou formu a reagovat na přirozené změny vodního režimu.

Role vodních rostlin je zásadní a nezapustitelná v přírodních jezerech a tůních i v umělých nádržích. Vodní makrofyty (i mikrofyty) patří mezi primární producenty – fotosyntetizující organismy, které jsou primárním zdrojem energie (potravy) pro ostatní biotu. Produkce energeticky bohatých organických látek v podobě biomasy je přitom zpravidla mnohem vyšší než u suchozemských rostlin. Ve vodním ekosystému je odumřelá biomasa makrofytů rozkládána především drobnými rozkladači z různých skupin bakterií a bezobratlých živočichů, kdežto větší býložravci (ryby, ptáci a savci) je spásají v relativně menší míře.

Vodní makrofyty (i mikrofyty) dokážou zásadně měnit fyzikální a chemické vlastnosti vody i sedimentu. Zatímco fytoplankton nebo i perifyton porůstající málo úživné povrchy (včetně epifytonu na povrchu ponořených rostlin) odčerpávají živiny z vody, perifyton porůstající minerálně bohaté dno dokáže čerpat živiny ze sedimentu. Vodní makrofyty využívají živiny jak z vody, tak ze sedimentu (pokud kořenují) a některé zabudovávají do organických látek, čímž je zpřístupňují široké škále konzumentů. Kromě živin jsou schopny z vody a sedimentu odčerpávat a transformovat i toxické látky, jako jsou těžké kovy, rezidua pesticidů a farmaka, a pomáhají tak v jejich odbourávání. Ponořené makrofyty (rostliny) také významně okysličují vodu, případně i sediment, a jsou důležitým zdrojem kyslíku pro dýchání vodních organismů v obou prostředích. Fotosyntéza vodních makro- i mikrofytů významně ovlivňuje koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě a sedimentu, přičemž oba rozpuštěné plyny mají dále vliv na redox potenciál a pH vody, a jsou tak hybateli chemických procesů a mikrobiálního rozkladu látek.

Na rozdíl od mikrofytů mají makrofyty vysoce strukturovaná těla relativně velkých



2 až 6 Další příklady rostlinných společenstev osídlujících přehradní nádrže a důlní jezera. Lakušník štítnatý (*Ranunculus peltatus*, obr. 2) s plovoucími listy a nápadnými květy na hladině nádrže Žlutice. Stolístek klasnatý (*Myriophyllum spicatum*, 3) v porostu parožňatek (*Chara* spp.) v hloubce 6 m na dně důlního jezera Most. Jarní nárosty perifytonu na písčitém dně nádrže Římov osídlené početnou populací nezmarů hnědých (*Hydra oligactis*, 4). Sinicový vodní květ na hladině nádrže Orlík (5). Epifyton – nárosty perifytonu na povrchu ponořeného stolítku (6), rostoucího na téměř holém dně a v úživné a zakalené (turbidní) vodě u kamenného vlnolamu jezera Most. Foto P. Pejsar (obr. 1 a 2), M. Čtvrtlíková (obr. 3, 4 a 6) a P. Znachor (5)

rozměrů (rozmezí od několika málo centimetrů až po metry), která sama o sobě vytvářejí rozmanitá stanoviště pro ostatní vodní organismy a tím zvyšují celkovou biodiverzitu vodních ekosystémů. Vodní makrofyty poskytují potravu, substrát, případně úkryt pro epifytické mikroorganismy, perifyton a na něj navázané mikroskopické spásáče, makrozoobentos, zooplankton, obojživelníky, ryby, vodní ptáky a savce. Druhové složení makrovegetace přitom do značné míry předurčuje druhové bohatství těchto navázaných organismů. I proto jsou vodní makrofyty považovány za klíčové indikátory pro hodnocení ekologického stavu či potenciálu stojatých vod v Evropě (Rámcová směrnice o vodách – směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES).

Výskyt vodních makrofytů také významně ovlivňuje hydrologický režim a vlastnosti pobřežních sedimentů. Jejich relativně velké a pevné prýty totiž tvoří mechanickou bariéru tlumící proudění vody a vlnobití, snižují dosvit slunečního záření apod. Tím vytvářejí relativně klidné stanovištní podmínky pro navázané organismy, které se v jejich porostech ukrývají, loví, rozmnožují a hnízdí. Samotné rostliny si zpomalením proudění udržují příznivé pod-

mínky pro růst, neboť brání odnosu sedimentů a erozi břehů, které svými kořeny také stabilizují.

Vegetace umělých vodních nádrží – přehrad a důlních jezer

Ve srovnání se zbytkem Evropy máme v České republice jen velmi málo přirozených ekosystémů stojatých vod, a proto byla na našem území vytvořena řada umělých vodních nádrží. Tyto útvary jsou několik desítek i stovek let staré ekosystémy silně ovlivňované lidskou činností. Patří mezi ně přehradní nádrže, vodohospodářsky rekultivované důlní jámy (zatopené a přeměněné v jezera) a rybníky, kterých byly jen na území ČR vybudovány tisíce a v současné kulturní krajině zastupují funkci zaniklých přirozených stojatých vod – poříčních tůň, slepých ramen a mělkých jezerních ekosystémů. V této následující kapitole se budeme zabývat rostlinnými společenstvy přehradních nádrží a zatopených důlních jam, tedy velkých vodních těles s plochou větší než 50 ha, které byly vybudovány člověkem v relativně nedávné době a patří mezi ekosystémy intenzivně využívané pro nejrůznější účely – zadržování vody pro vodárenské účely, protipovodňovou ochranu,

zajištění stálého průtoku, rekreaci, hydroenergetiku atd.

Přehradní nádrže jsou člověkem silně ovlivněné vodní útvary, které vznikly přehrazením říčního údolí jako víceúčelové stavby s mnoha funkcemi (bližší v článku na str. 206–210). U nás bylo vybudováno okolo 160 přehrad. V mnohých je rutinně sledováno společenstvo fytoplanktonu, jehož růst a složení závisejí na množství živin dostupných ve vodě, a které proto citlivě reaguje na změny kvality vody v nádrži (podrobněji na str. 239–242). Zvýšené množství živin přitékajících do nádrže (eutrofizace) podporuje růst fytoplanktonu a může vést i k jeho přemnožení (obr. 5) s potenciálními negativními důsledky (akumulace biomasy u hladiny, nedostatek světla a vyčerpání kyslíku ve vodním sloupci, produkce toxinů), růst kořenujících makrofytů ale přímo neovlivní. Makrofyty totiž nejsou limitovány množstvím živin ve vodě, mohou-li je svými kořeny čerpat i z relativně stálého a vydatného zdroje v sedimentu.

Ponořené a plovoucí makrofyty kořenující ve dně (obr. 2 a 3), nebo i nárosty perifytonu na dně (obr. 4), jsou však příslušné fototrofní organismy a jejich růst je tudíž limitovaný dostupností světla ve vodním



5

sloupci. Přemnožený fytoplankton, zvýšený zákal nebo huminové zabarvení přitékajících vod tak v konečném důsledku dokážou významně zastínit a vytěsnit hlouběji rostoucí rostlinná společenstva. Makrofyty může zastínit také epifyton rostoucí (obr. 6) přímo na jejich povrchu. Tomu makrofyty poskytují strukturované stanoviště na výsluní (nikoli však vydatný zdroj živin). Epifyton je stejně jako volně plovoucí fytoplankton závislý na přísunu živin z vody, a vzhledem ke krátké generační době (typické pro mikrofyty) proto také dovede v důsledku eutrofizace rychle zvětšovat svou biomasu. Coby nárostové (přisedlé) fototrofní společenstvo však omezuje růst rostliny jen v menších hloubkách (do několika metrů), kde samotné nestrádá nedostatkem světla. Růst hlubších porostů makrofytů nebo částí jejich prýtů tak nebývá epifytonem výrazně omežován.

Vodní makrofyty si vyvinuly mnoho mechanismů a adaptací, které jim umožňují vyhnout se v prostoru i čase kompetici s mikrofyty. Rostou sice mnohem pomaleji než mikrofyty, ale prýty si uchovávají po relativně dlouhou dobu (část sezony, celou sezónu, nebo až roky, podle druhu) a dokážou v nich kumulovat živiny i na chudých stanovištích. Výstavba trvalých pletiv je tedy nejen úsporná, ale umožňuje tvorbu zásob na delší období. Např. s pomocí zásob cukrů, anaerobního metabolismu a dlouhivého růstu některé makrofyty rychle vyrostou z anaerobního sedimentu do prokysličené, ohřáté, a hlavně osluněné vody u hladiny (ponořené makrofyty), nebo vynesou listy na/nad hladinu (plovoucí a vynořené makrofyty), kde mohou čerpat prakticky neomezené zdroje pro fotosyntézu (uhlík z atmosféry a světlo). Hustě strukturované prýty makrofytů, prorůstající vodní sloupec, významně omezí dostupnost světla pro fytoplankton i perifyton a také zprostředkují jejich intenzivní vypásání společenstvem „svých“ navázaných organismů (např. zooplanktonem, „prvky“, vířníky, larvami hmyzu nebo mlži).

Kompetiční vztahy v rostlinných společenstvech jsou samozřejmě daleko složi-

tější. Pojďme si ale ukázat, jak se mohou fytoplankton, perifyton a makrofyty vzájemně doplňovat a ve stejné nádrži dosahovat pomyslných stupňů vítězů v rámci různých stanovišť, období nebo situací.

Kaňonovité přehradní nádrže

Pro názornost jsme vybrali hluboké kaňonovité nádrže, jejichž specifické prostředí je vlastně přechodem mezi řekou a jezerem. Z výše uvedeného by se mohlo zdát, že přítok zásobuje nádrž živinami a podporuje tak růst fytoplanktonu v celé nádrži. Pro hluboké kaňonovité nádrže je ale charakteristický výrazný podélný gradient v kvalitě vody od přítoku směrem ke hrázi (blíže na str. 231–234). Při jeho formování se silně uplatňují samočisticí procesy, při nichž dochází k postupnému vyčerpání rozpuštěných živin a jejich zabudování do biomasy fytoplanktonu. Ostatní rostlinná



6

společenstva se mohou více zapojit, teprve až když je voda dostatečně zbavená živin a nižší koncentrace fytoplanktonu propouští dostatek světla vodním sloupcem.

Přehradní nádrž lze v podélném směru rozdělit do tří odlišných zón (viz obr. 8 ve výše zmíněném článku na str. 231). Nejbliže k přítoku, který představuje obvykle hlavní zdroj živin přicházejících do nádrže, se nachází říční zóna. Pro tuto část je charakteristická vysoká rychlost proudění, turbulence a velké množství zákalu. Krátká doba zdržení vody brání rozvoji fytoplanktonu a její nízká průhlednost a abraze dna pak zase omezuje významnější růst perifytonu a ponořených makrofytů. Dále po proudu směrem ke hrázi vzniká přechodná zóna. Přitékající voda se zde zpomaluje a vodní sloupec již bývá teplotně stratifikován – to znamená, že vzniká stabilní situace, kdy jsou během vegetační sezony horní vrstvy vody teplejší než vrstvy spodní, přičemž jsou navzájem odděleny – rozdíl v teplotě může činit i více než 10 °C. Protože doba zdržení vody je v této části nádrže delší než generační doba mikrofytů, dochází zde k významnému rozvoji fytoplanktonu a dočasně i perifytonu.

Výraznější rozvoj perifytonu na dně litorálu je omezen zpravidla na jarní období (obr. 4), případně i pozdější sezonní epizody, kdy nedochází k zastínění fytoplanktonem. Perifyton, coby společenstvo řas a sinic, je schopen na příznivé podmínky (dostatek živin i světla) rychle zareagovat a na dně rozvinout koberce z hustě nahlouchených buněk s velkou biomasou na jednotku plochy. Po přepočtu může být množství perifytonu na dně srovnatelné, i dokonce vyšší než množství fytoplanktonu ve vodním sloupci nad ním. Při intenzivní fotosyntéze perifyton dokáže být zdrojem kyslíku pro celý vodní sloupec. Během období rychlého růstu však také může rychle vyčerpat své zdroje (uhlík, nebo i živiny ve vodě, pokud roste na neúživném substrátu) nebo sám sebe zastínit. Vlivem intenzivní fotosyntézy a zachycení kyslíku ve spleti vláken občas dochází k uvolnění biomasy perifytonu ze dna,



důlních vod, obohacení živinami nelze úplně zabránit. Např. během napouštění jezera Medard (z řeky Ohře) jsme pozorovali nárůst biomasy fytoplanktonu, avšak krátce po dosažení hladiny stálého nadržení nastal prudký pokles spojený se sedimentací buněk. Živiny přinášené přítokovou vodou tedy byly odstraněny z koloběhu a jsou nyní akumulovány v sedimentu. Pokud nedojde k významnému zvýšení přísunu živin např. v souvislosti s napouštěním nevhodnou vodou, zaústěním odpadních vod nebo kvůli nadměrnému rekreačnímu využití, důlní jezera mají dobré předpoklady pro udržení stávajícího oligotrofního stavu. Fytoplankton v jezerech je tvořen převážně rozsivkami a bičíkatými formami řas, jejichž biomasa se celoročně pohybuje na velmi nízkých hodnotách (koncentrace chlorofylu *a* zpravidla nepřesahuje 5 µg/l).

Ačkoli se sinice v horních vrstvách vodního sloupce (0–10 m) prakticky nevyskytují, i v těchto čistých jezerech se skrývá sinicové nebezpečí. Díky své vysoké průhlednosti představují důlní jezera vhodné ekosystémy pro rozvoj metalimnetických populací sinic, tedy sinic vázaných na metalimnion – teplotní rozhraní mezi horní teplou vrstvou (epilimniem) a spodní

chladnou vrstvou (hypolimniem, podrobněji v Živě 2022, 2: XLV–XLVII). Konkrétně jde o druh *Planktothrix rubescens* (obr. 10), potenciálně nebezpečnou sinici, v mnoha aspektech odlišnou od ostatních druhů tvořících běžné vodní květy. Tato vláknitá sinice z řádu Oscillatoriales se hojně vyskytuje v hlubokých jezerech subalpínského pásma. Bylo prokázáno, že produkuje toxické látky (zejména mikrocystiny), které představují vážnou ekologickou hrozbu a mohou toxicky působit na vodní organismy, ale i na člověka. Její vlákna široká okolo 6 µm jsou tvořena až stovkami buněk a dosahují délky až několik milimetrů. Buňky obsahují velké množství červeného pigmentu fykoerytrinu, zvyšujícího účinnost fotosyntézy při nízkém množství světla. Přítomnost fykoerytrinu společně s plynovými měchýřky sloužícími k udržování a změně polohy ve vodním sloupci je zřejmě hlavní příčinou, že maximum výskytu není jako u ostatních sinic u hladiny, ale ve značných hloubkách (10–25 m). Za určitých podmínek může dojít k náhlému vyoření biomasy, což způsobí, že se hladina jezera zbarví červeně. Tato sinice preferuje ekosystémy s nízkou koncentrací rozpuštěných živin a na příkladech subalpínských jezer bylo dokázá-

no, že se často objevuje paradoxně až po snížení přítékajícího živinového znečištění. Ke zvýšené tvorbě vodních květů a šíření této sinice přispívá i globální změna klimatu, která se projevuje nárůstem teplot, prodloužením vegetační sezony a zesílením teplotní stratifikace (podrobněji o ekologii *P. rubescens* viz Posch a kol. 2012). Vzhledem k velké meziroční variabilitě je její výskyt v důlních jezerech obtížně předpověditelný, ale již nyní víme, že tento druh zde může významně snížit kvalitu vody. Je třeba shromáždit dostatek dat, abychom byli schopni toto riziko do budoucna omezit.

Časoprostorová distribuce a vzájemné interakce vodních makrofytů, řas a sinic jsou zatím málo objasněné fenomény a jejich společný vliv na kvalitu vod v našich přehradních nádržích a důlních jezerech lze vzhledem k nedostatku dat jen stěží spolehlivě vyhodnotit. Česká republika se přitom zavázala pravidelně posuzovat ekologický potenciál 73 velkých vodních útvarů v rámci evropského povodí (Rámcová směrnice o vodách) právě s využitím těchto biologických složek ekosystému. Zatímco pro hodnocení fytoplanktonu existují metodiky uplatňované ve vodohospodářské praxi, pro makrofyty a perifyton v tak velkých vodních tělesech tyto metodiky doposud nebyly zavedeny. K jejich vytvoření a implementaci do systému hodnocení má sloužit právě náš výzkum. V některém z příštích čísel Živy bychom rádi představili první konkrétní výsledky o druhovém složení a množství makrofytů ve vybraných nádržích a zatopených důlních jámách, které napovědí, jaký je ekologický potenciál těchto vodních ekosystémů vytvořených člověkem.

Článek vznikl za podpory projektu financovaného z Evropského fondu pro regionální rozvoj a Evropského sociálního fondu (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_025/0007417), programu Voda pro život Strategie AV21 Akademie věd ČR a projektu Technologické agentury ČR (Epsilon TH02030633).

Seznam použité literatury uvádíme na webové stránce Živy.

