

The background of the cover is a white field densely populated with microscopic illustrations of cyanobacteria and algae. In the upper left, there is a large, green, multi-lobed structure with a central axis and radiating branches, resembling a complex colony. Scattered throughout the upper half are several circular or oval structures, some green and some brown, showing internal cellular details like thylakoids or gas vesicles. The lower half is dominated by a large, dense cluster of brown, circular structures, each with a distinct radial pattern of internal components. The entire scene is peppered with numerous small, yellowish-brown, rod-shaped or oval particles, likely representing individual cells or spores.

Základy ekologie sinic a řas

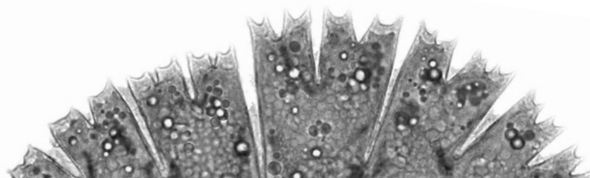
Aloisie
Poulíčková

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta

Základy ekologie sinic a řas

Aloisie
Poulíčková

Olomouc 2025



Oponenti: doc. RNDr. Jiří Neustupa, Ph.D.
prof. RNDr. František Kubíček, CSc.

Finanční podpora: Česká algologická společnost
Interní grantová agentura UP, grant PrF_2011_003



Vydavatelství
Univerzity
Palackého

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

2011 (1. vydání), 2025 (1. elektronické vydání)

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 2025

© Aloisie Pouličková, 2011, 2025

ISBN 978-80-244-6646-0 (online: iPDF)

Jste poctiví, věrní a tvrdě pracujete?
Pak máte jednu velkou jistotu –
nikdo to neocení.

11. února 2011 *Alka Pouličková*

Věnováno Klárce

Obsah:

Předmluva	9
1 Úvod	10
2 Základní charakteristiky prostředí	11
2.1 Voda jako prostředí	11
2.2 Cirkulace vody	11
2.3 Rozpuštěné soli	13
2.4 Koncentrace živin	14
2.5 Organické látky	15
2.6 Rozpuštěné plyny	15
2.7 Sluneční záření a teplota	16
3 Způsoby života sinic a řas	21
3.1 Život ve vodním sloupci	21
3.1.1 Fytoplankton	22
3.1.2 Faktory růstu a ztrát	24
3.1.3 Strategie u řas	26
3.1.4 Fotosyntéza a produkce fytoplanktonu	27
3.1.5 Nadprodukce fytoplanktonu	27
3.1.6 Distribuce a diverzita fytoplanktonu	28
3.2 Život na substrátu	31
3.3 Antropogenní vlivy a bioindikace	33
4 Metody studia sinic a řas	39
4.1 Metody studia fytoplanktonu	39
4.2 Metody studia fyto bentosu	41
4.3 Speciální metody v algologii	42
4.3.1 Preparace a fixace	42
4.3.2 Kultivace řas	44
5 Biotopy s výskytem sinic a řas	48
5.1 Tekoucí vody	48
5.1.1 Základní pojmy a rozdělení	48
5.1.2 Společenstva tekoucích vod	51
5.2 Jezera	52
5.2.1 Společenstva jezer	54
5.3 Ostatní stojaté vody	60
5.4 Mokřady	66

5.5 Moře a oceány	67
5.5.1 Fytoplankton moří	68
5.5.2 Fytobentos moří	69
5.6 Terestrické prostředí a extrémní stanoviště	73
5.6.1 Aerofytické řasy	73
5.6.2 Půdní řasy	74
5.6.3 Vnitrozemská slaniska	75
5.6.4 Horké a minerální prameny	75
5.6.5 Kryovegetace	76
5.7 Řasy a jiné organismy	76
5.8 Řasy a člověk	79
Obrazová příloha	81
Literatura	87

Předmluva

Tato publikace vznikla jako studijní text pro výběrový kurz Ekologie řas na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Kurz byl původně koncipován pro studenty hydrobiologie, kteří již měli základní hydrobiologické znalosti. S rostoucím trendem prostupnosti jednotlivých studijních programů ho začali navštěvovat i budoucí učitelé biologie, kterým tyto základy hydrobiologie chybí. Proto je v textu zařazeno i vysvětlení hlavních hydrobiologických pojmů podle učebnice Lellák & Kubíček (1991). Koncepce vychází zejména z knihy *The ecology of algae* (Round 1981), ale byla inspirována i dalšími zdroji (Allan & Castillo 2007; Brönmark & Hansson 2005, Dodds 2002; Reynolds 1984, 2006; Stevenson et al. 1996, O'Sullivan & Reynolds 2003, Wetzel 2001, Kalf 2002, South & Whittick 1987 a další). Ekologie mořských řas je zmíněna jen okrajově, protože s ní jako vnitrozemský stát máme méně zkušeností a více nás tíží problematika ekologie, čistoty a ochrany vnitrozemských vod.

S výjimkou výše citovaných světových monografií a učebnic jsou přednostně citovány původní práce českých autorů, aby si naši absolventi udělali obrázek o tom, jaká problematika se u nás studuje a kde by se chtěli zapojit do výzkumu v rámci dalšího studia či zaměstnání. Použitá schémata a konkrétní příklady z lokalit v České republice odráží praktické zkušenosti s terénním výzkumem pramenišť, mokřadů a rašelinišť, tekoucích vod, jezer i rybníků. Perokresby jsou původní, schémata převzatá z literatury jsou modifikovaná a v mnoha případech kombinují více literárních pramenů.

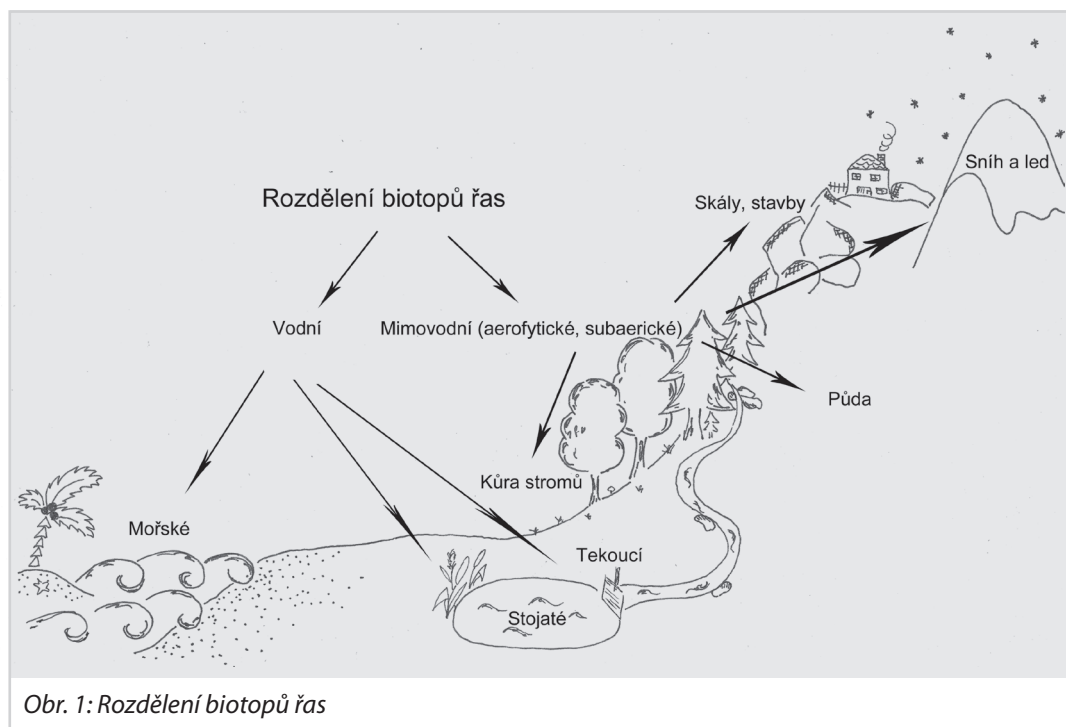
Kolegyni RNDr. J. Komárkové, CSc., děkuji za poskytnutí nepublikovaných výukových materiálů PřF JU České Budějovice, prof. RNDr. F. Kubíčkoví, CSc. (MU Brno), doc. RNDr. J. Neustupovi, Ph.D. (UK Praha), a Mgr. M. Fránkové, Ph.D., za cenné připomínky. Kolegovi RNDr. P. Hašlerovi, Ph.D., děkuji za zapůjčení některých fotografií. Fotografie mořských řas zapůjčili Dr. H. Verbruggen a Prof. Dr. O. de Clerck (Univerzita Ghent, Belgie).

Publikace vznikla díky finanční podpoře České algologické společnosti a projektu Interní grantové agentury Univerzity Palackého PřF_2011_003.

1 Úvod

Sinice a řasy jako celek nelze považovat za „přirozenou skupinu“. Zahrnuje oxyfototrofní mikroorganismy, které spojuje jejich postavení v ekosystému, tedy role primárních producentů. V tomto smyslu se občas používá jen kratší označení „řasy“ včetně prokaryotních sinic.

Většina řas je nerozlučně spjata s vodou, kterou je pokryto více než 70 % povrchu Země. Ekologie řas se vztahuje zejména k současné situaci, avšak v některých aspektech vychází z pochopení subrecentních klimatických změn, pohybů zemských desek atd. Rovněž je třeba mít na zřeteli, že řasy svojí činností ovlivňují geologické a geochemické procesy a podílejí se na tvorbě sedimentů a hornin. Zatímco oceány mají prastaré rysy, jezera a řeky jsou relativně recentní. Většina velkých světových jezer je glaciálního původu a nachází se v mírném až subarktickém pásu. Jezera tropického pásu jsou naopak většinou tektonická. Sladké vody tvoří zhruba jen 1 % vodních ploch na Zemi, avšak značnou plochu zauímají také mokřady, které představují další vhodné biotopy pro rozvoj řas a zásadním způsobem přispívají k jejich celkové diverzitě.



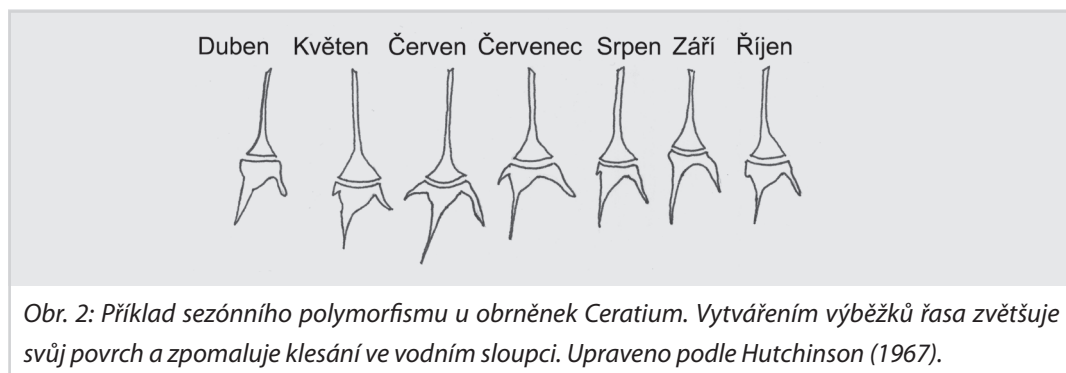
Obr. 1: Rozdělení biotopů řas

Jen relativně málo druhů mechorostů a vyšších rostlin je striktně vázáno na vodní ekosystémy a jsou početné zejména v mělkých vodách. V ostatních vodních masách jsou pak sinice a řasy jedinými fotosyntetizujícími organismy. Jsou závislé na slunečním záření, takže mohou růst jen tam, kam proniká světlo využitelné pro fotosyntézu. Průměrná hloubka oceánu je 3800 m, avšak i v nejprůzračnější vodě je fotosyntéza možná maximálně do hloubky 200 m.

2 Základní charakteristiky prostředí

2.1 Voda jako prostředí

Pomineme-li tekutiny organického původu, jsou voda a rtuť jediné kapaliny přirozeně se vyskytující v teplotách vhodných pro život. Voda má celou řadu unikátních vlastností, jako je velké specifické teplo, skupenské teplo tání, nejvyšší skupenské teplo výparu. Tyto vlastnosti způsobují, že změny teploty probíhají ve vodě pomalu a se zpožděním. Velké nádrže tak působí jako rezervoáry tepla. Voda má nejvyšší hmotnost při teplotě 4 °C, proto hluboké nádrže nezamrzají až do dna. Jednou z nejdůležitějších vlastností vody je, že se v ní rozpouští velké množství anorganických i organických látek, včetně všech živin důležitých pro sinice a řasy. Voda svou pufrací schopností poskytuje vyvážené prostředí pro život organismů a vzhledem k viskozitě jim nabízí i nosné prostředí. Hustotu vody ovlivňuje množství rozpuštěných látek, teplota a tlak. Její **viskozita** (vnitřní tření) je asi 100× větší než v případě vzduchu a je ovlivňována teplotou. Viskozita umožňuje organismům vznášet se ve vodě a její změny v průběhu sezóny (v důsledku měnící se teploty) jsou příčinou sezónního polymorfismu organismů (obr. 2).

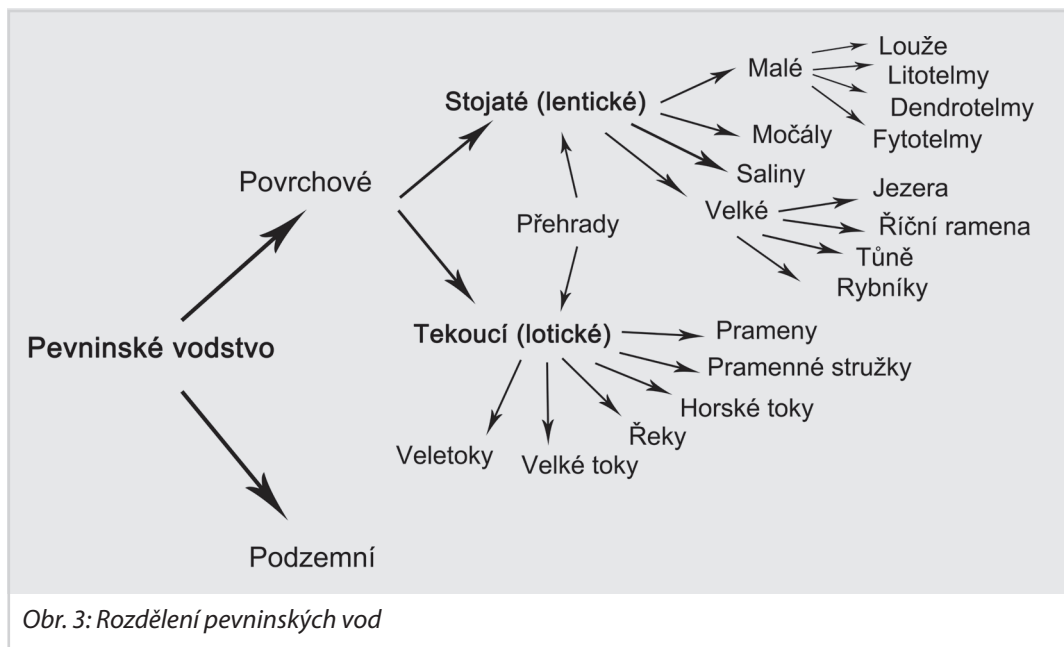


Obr. 2: Příklad sezónního polymorfismu u obrněnek *Ceratium*. Vytvářením výběžků řasa zvětšuje svůj povrch a zpomaluje klesání ve vodním sloupci. Upraveno podle Hutchinson (1967).

Povrchové napětí, které se projevuje na rozhraní voda–vzduch, umožňuje existenci neustonu, tj. organismů žijících na nebo pod povrchovou blankou vody (epineuston, hyponeuston). Sladká voda je vzhledem k hustotě živé plazmy hypotonická, tj. organismy žijící ve sladké vodě musí mít mechanismy, kterými vyrovnávají osmotický tlak vně a uvnitř buňky (pulzující vakuoly, propustnost membrán).

2.2 Cirkulace vody

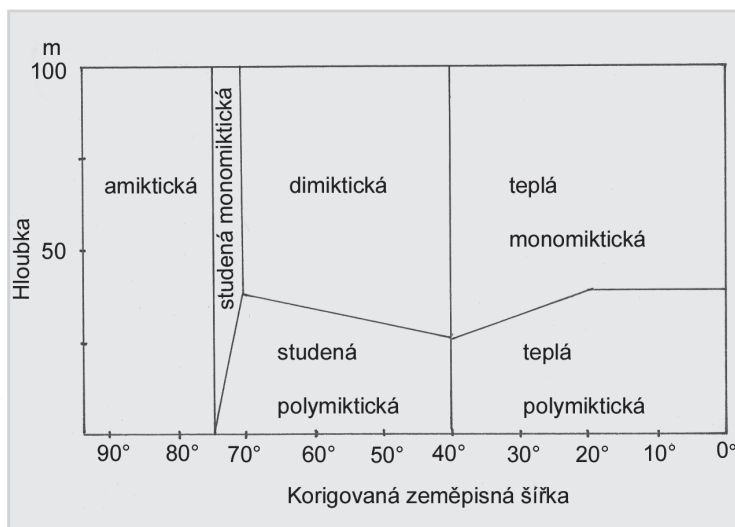
Žádná vodní masa není bez pohybu, takže jsou řasy vystaveny neustálým změnám prostředí. Pohyb a proudění vody mají za následek přísun čerstvého média a odstraňování produktů metabolismu. Jen za speciálních okolností se tento pohyb snižuje na minimum, jako např. v ledu, na povrchu půdy a v dutinkách skal. Dokonce i voda nejmenšího vodního tělesa proudí díky větru či diurnálním změnám teploty. Velká jezera jsou míchána větrem, sezónními změnami teploty, přítokem–odtokem a rotací Země. Podle pohybu dělíme vody na **lotické** (řeky, potoky, prameny) a **lentické** (jezera, tůně, přehrady, rybníky, slepá ramena; obr. 3).



Obr. 3: Rozdělení pevninských vod

Pro stojaté vody jsou důležitými faktory hloubka, tvar a umístění nádrže v krajině. Důležitou charakteristikou je typ a počet cirkulací, které v průběhu roku probíhají. **Cirkulací** rozumíme úplné vertikální promíchání vodního sloupce. Vlivem cirkulace dojde k vyrovnání teplot v celém vodním sloupci a živiny ode dna se dostávají do prosvětlené (eufotické) zóny.

Podle počtu cirkulací dělíme jezera na **dimiktická** (jarní a podzimní cirkulace se střídá se zimní a letní stratifikací, vyskytují se v mírném pásu), **studená monomiktická** (polární jezera s letní cirkulací), **teplá monomiktická** (subtropická jezera se zimní cirkulací), **polymiktická** (mělká jezera míchaná větrem), **oligomiktická** (hluboká tropická jezera) a **meromiktická** (se stálou stratifikací danou vysokou koncentrací chemických látek nade dnem). Pro typ cirkulace je důležitá nejen zeměpisná šířka, ale i nadmořská výška jezera (obr. 4).



Obr. 4:

Odhad výskytu jednotlivých typů jezer v závislosti na hloubce a zeměpisné šířce korigované nadmořskou výškou (každých 200 m přírůstkem nadmořské výšky = korekce o 1° zeměpisné šířky).

Upraveno a zjednodušeno podle Lewis (1983).

Nástup cirkulace je rovněž řízen hloubkou, objemem a plochou nádrže. Obdobou jezer jsou přehrady (údolní nádrže). Liší se však od jezer větší průtočností, odlišným uspořádáním odtoku (spodní výpust, horní přepad) a nárazovým vypouštěním vody. Hluboké, méně průtočné přehrady se chovají jako stratifikovaná jezera, průtočné jako pomalé řeky. Mělké rybníky mohou být polymiktické.

Cirkulace v oceánech je vysoce komplexní, kromě povrchových proudů existují pomalejší pohyby hlubších vrstev, částečně zodpovědné za přísun živin pro růst řas. Vrstvy vody, rozdělené na horní, střední, hlubší a dnové, se liší hustotou (vlivem rozdílných teplot a salinit). Existence vrstev s rozdílnou hustotou může být způsobena přítokem sladké říční vody do moře, výparem v mořích tropického pásu či tvorbou ledu v polárních oblastech. Tyto rozdíly jsou příčinou pohybů oceánických vod. Pomalé pohyby dnových vod mohou transportovat sedimentující řasy na velké vzdálenosti (Round 1981). Některé systémy proudění mění směr v různém období roku a zapříčiňují dramatické změny v produkci planktonu a následnou migraci ryb.

Pohyby vody jsou jedním z nejčastěji přehlížených faktorů, které působí na řasy. Přitom mohou mít vliv např. na délku vláken, buněčné dělení, fragmentaci kolonií atd. Pohyb vody je více patrný v řekách a podél mořských pobřeží vystavených vlnobití, ale i ten méně očividný v hlubších vrstvách a pod hranicí přílivu může způsobit pohyb substrátu a ovlivnit řasová společenstva.

2.3 Rozpuštěné soli

Výskyt řas je určován množstvím rozpuštěných látek ve vodě. V deionizované vodě by se žádné řasy vyskytovat neměly. V destilované vodě je běžná zelená řasa rodu *Pseudococcomyxa*, která je pravděpodobně na živiny velmi nenáročná. Obvykle se ovšem vyskytne v otevřených nádržích, kde destilovaná voda stojí dlouhou dobu a je již znečištěná. V přírodě se živin prostá voda prakticky nevyskytuje. Dokonce i dešťová voda obsahuje celou řadu látek, jejichž zdrojem je atmosféra. Pouze několik nejčistších biotopů světa může mít obsah iontů blízky dešťové vodě. Dešťová voda se dále obohacuje o rozpuštěné látky při průsaku půdními horizonty a dostává se do řek a jezer. Předpokládá se, že koncentrace iontů ve vodě dešťové, půdní a říční či jezerní je ovlivněna pěti základními faktory – klima, geologie, topografie, biota (včetně člověka) a čas. Díky nim je složení vody každého vodního tělesa unikátní a proměnlivější než složení vod oceánů. Navíc výpar ovlivňuje koncentraci solí a je příčinou vysoké salinity uzavřených moří (Rudé moře, Mrtvé moře). Extrémní salinita je typická rovněž pro bezodtoké nádrže (jezera východní Afriky).

Roční fluktuace v koncentraci hlavních iontů jsou malé, a proto může jejich poměr sloužit jako charakteristika biotopu. Na obsah důležitých iontů je vázána schopnost řas kolonizovat daný vodní biotop. Např. ve vodách s nízkým obsahem iontů (soft waters) se vyskytuje centrická rosisivka *Aulacoseira distans*, ve vodách s vyšším obsahem iontů (hard waters) ji nahrazuje *A. granulata*. Mořské řasy tolerují vysokou salinitu, ale takové prostředí nemusí být jejich fyziologickým optimem. V laboratoři jich řada roste lépe v nižších koncentracích, než které byly zjištěny v jejich přirozeném prostředí. Celkové množství některých iontů není shodné s jejich dostupností pro řasy, protože jsou vázané v komplexních sloučeninách. Proto je třeba měřit i tzv. reaktivní formy biologicky důležitých iontů.

Mořskou vodu je třeba chápat jako dynamický chemický systém, jehož rovnováha se tvořila tisíce let. Některé prvky jsou však spojeny s biochemickými cykly řas a dalších organismů. Fosfor či křemík kolují v organismech tak rychle, že je jejich množství v samotné vodě relativně malé. Díky sedimentaci mrtvých organismů se však kumulují ve spodních vrstvách nádrží a v kombinaci s malým množstvím organismů, které by je v afotické zóně spotřebovávaly, je jejich koncentrace v hlubších vrstvách vyšší a relativně stabilní.

Hypersalinní vody jsou méně prozkoumány, ale zdá se, že řasová flóra je zde druhově chudá a některé skupiny řas se zde vůbec nevyskytují. V Mrtvém moři nebyla např. nalezena žádná rozsivka, ale několik euryhalinních druhů se vyskytlo ve vodách se salinitou kolem 140 ‰ (Round 1981). Naopak typickou řasou hypersalinních vod je halobiontní bičíkovec *Dunaliella salina*.

Základní chemické složení kontroluje výskyt řas do té míry, že jen málo sladkovodních řas pronikne do moře a naopak. Daleko vyšší je vzájemná výměna řas mezi řekami a jezery. Fytoplankton moří je relativně stabilní, tvořený několika málo obecně rozšířenými druhy, zejména rozsivkami, vápenatými bičíkovci a obrněnkami, typický je také pikoplankton (*Prochlorococcus*). Sladkovodní plankton je tvořen větším počtem běžných druhů, náležejících mezi sinice, zelené řasy, rozsivky, obrněnky, zlativky, různobrvky a krásnoočka.

2.4 Koncentrace živin

Koncentrace dusičnanů, fosforečnanů a křemíku se v průběhu roku mění, proto je u nich třeba udávat rozsah a roční průměr. Živiny jsou ve vodě obsaženy v relativně nízké koncentraci a většina řas je musí přijímat v rozpustné formě. Naopak mixotrofové (krásnoočka a jiní bičíkovci) mohou osmotrofně přijímat i organické molekuly. Fagotrofové (obrněnky) přijímají částice, které tráví enzymaticky uvnitř buňky. Některé druhy řas mají schopnost ukládat v protoplasmě zásobu živin v období příznivých podmínek („luxury uptake“) a spotřebovávat je v období nedostatku.

Nejdůležitější formou **dusíku** pro striktní autotrofy jsou dusičnany, které jsou řasami přímo využitelné. Některé řasy (*Chlamydomonas*, *Euglena*) však dávají přednost amonným iontům. V posledních desetiletích se používalo v zemědělství velké množství dusíkatých hnojiv, které jsou směs dobře rozpustné ve vodě. Denitrifikační procesy nestačily obnovovat rovnováhu a ve sladkých vodách byl stálý přebytek dusíku (eutrofizace). Naproti tomu v mořích, oceánech a tropických kontinentálních oblastech, kde je povodí složeno ze savan a tropických lesů, je dusík limitujícím prvkem. Dusík může být limitující i v jezerech a nádržích mírného pásma, např. v rybnících hnojených fosforečnými nebo přirozenými hnojivy. Poměr N : P se v takových rybnících snižuje, zejména v letním období (Pouličková et al. 1998).

Fosfor má mezi biogenními prvky výjimečné postavení proto, že jeho poměrné zastoupení v biomase řas je mnohem vyšší než v přírodních vodách. Vzhledem k nedostatku P v podloží je limitace růstu řas fosforem častá, zvláště na žulovém podloží v Evropě a Americe. Z půdy se fosfor většinou nevyplavuje, protože je dobře vázán na půdní částice. V posledních letech se fosfor do povrchových vod dostával hlavně díky detergentům. Prací prášky s fosfáty jsou dnes ve většině zemí západní Evropy zakázány. Fosfor se v nádržích ukládá v sedimentech a litorálu. Pro řasy je nejdůležitější formou reaktivní fosfor (tzv. SRP – soluble reactive phosphorus). Důležitým ukazatelem úživnosti nádrže je celkový fosfor (TP – total phosphorus). Limitujícím

prvkem je fosfor v acidifikovaných vodách, kde je vlivem nízkého pH vázán ve formách pro řasy nedostupných.

Úlohu makroelementu hraje rovněž **křemík**, a to pro rozsivky a zlativky s křemičitými schránkami a šupinami. Rozsivky křemík přijímají jako monomer kyseliny křemičité (reaktivní křemík) a ukládají ho do schránek jako polymer. V hlubokých jezerech může být limitujícím prvkem, mělké rybníky mají křemíku nadbytek (Pouličková 1993).

Nadbytek živin (dusíku a fosforu) označujeme jako **eutrofizaci**. Do určité míry je to proces přirozený: vymývání přirozeného geologického podloží, zvětrávání skal, obohacení z přítoků, z exkrementů (ptačí kolonie). V hustě zalidněných oblastech je však hlavním zdrojem živin lidská činnost – splachy z orné půdy (odlesnění), nevhodné a nadměrné používání umělých hnojiv, změny ve vodním režimu krajiny, vypouštění splašků, nedokonalé čištění odpadních vod (postrádající třetí stupeň čištění, tj. odstranění živin). K eutrofizaci jsou náchylnější mělké tůně a jezera. Pozvolna podléhají přirozené sukcesi (tj. přechodu od primární produkce fytoplanktonu k produkci submerzních rostlin a makrofyt) a zazemňování spojené s nárůstem „tvrdé“ makrovegetace. Vzhledem ke koncentraci živin, využitelnosti jejich forem a příslušné biomase fytoplanktonu dělíme vody na oligotrofní, mezotrofní, eutrofní až hypertrofní.

2.5 Organické látky

Obsah organických látek v přírodních vodách je nízký a značně variabilní. Organické látky vznikají sekrecí a exkrecí organismů a rozkladem uhynulých rostlin a živočichů. Tvoří je cukry, organické kyseliny, mastné kyseliny, aminokyseliny, vitamíny a fytohormony. Mikroorganismy ve vodě přispívají ke shlukování organických látek do vloček. První studie předpokládaly, že řasy potřebují pouze minerální látky. Ukázalo se však, že celá řada druhů vyžaduje organické látky, zvláště vitamíny. Takové řasy nazýváme mixotrofní, respektive auxotrofní. Úzký vztah k mixotrofii mají např. bičíkovci (*Euglena*), vitamíny vyžadují rovněž rozsivky. Zřejmě nejdůležitější jsou pro řasy vitamíny produkované bakteriemi. Některé řasy si biologicky aktivní látky mohou vytvářet samy. Patří sem specifické hormony či feromony zodpovědné za reprodukci řas (rozsivky, chaluhy). Stanovení organických látek ve vodě provádíme jako stanovení uhlíku. Nejčastěji se stanovuje rozpuštěný organický uhlík (DOC – dissolved organic carbon), většinou podíl celkového uhlíku (asi 70 %) je však vázán v organismech a detritu (POC – particulated organic carbon).

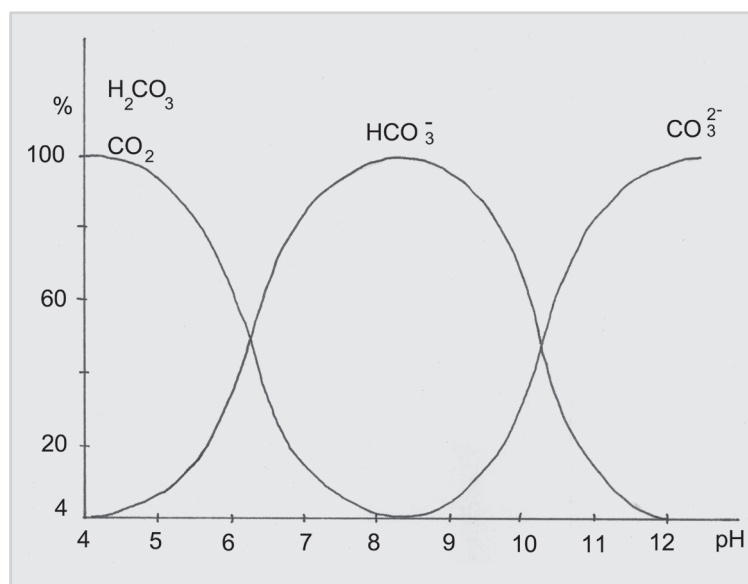
2.6 Rozpuštěné plyny

Rozpustnost **kyslíku** ve vodě závisí na parciálním tlaku, teplotě a salinitě. Se zvyšující se teplotou a salinitou se jeho rozpustnost snižuje. Sladká voda tedy absorbuje více kyslíku než mořská. Kyslík je produkován řasami (fotosyntéza) a spotřebováván organismy při dýchání (respirace). Protože výměna mezi vodou a atmosférou je pomalá, může docházet v eufotické zóně ve dne k přesycení vody kyslíkem (až do 300 %). Naproti tomu v noci může velká biomasa řas (např. vodního květu sinic, metafytonu zelených řas rodů *Cladophora*, *Hydrodictyon*) prodýchat veškerý kyslík a způsobit úhyn ryb. K anoxii dochází rovněž u dna nádrží a v takové situaci se ze dna uvolňují živiny vázané v sedimentech a vracejí se do vodního sloupce. Koncentrace kys-

líku ve vodě je jednou z nejlépe měřitelných veličin a její vertikální rozložení poskytuje cenné informace o stavu a dynamice nádrže (bakteriální aktivita, fotosyntéza, stratifikace, dostupnost živin).

Dusík je plyn, který se zřídka měří, protože jeho biologický význam je malý, s výjimkou přítomnosti dusík fixujících mikroorganismů (sinic). Hodnoty plynného dusíku se v mořské vodě pohybují v rozmezí 94–109 % saturace, přesycení může být způsobeno fixací vzdušného dusíku sinicemi nebo výronem obohacených podzemních vod (v mokřadech či jezerech).

Oxid uhličitý se do vody dostává z ovzduší a rovněž vzniká respirací organismů; ve vodě se rozdělí na jednotlivé formy podle disociační konstanty. CO_2 je ve vodě 200× rozpustnější než kyslík a vytváří rovnovážný systém disociované a nedisociované kyseliny uhličitě a jejich rozpustných solí, bikarbonátů (**uhličitanová rovnováha**). Spotřebovává se při fotosyntéze a hydroxylové ionty uvolňované z vody zvyšují v prostředí pH.



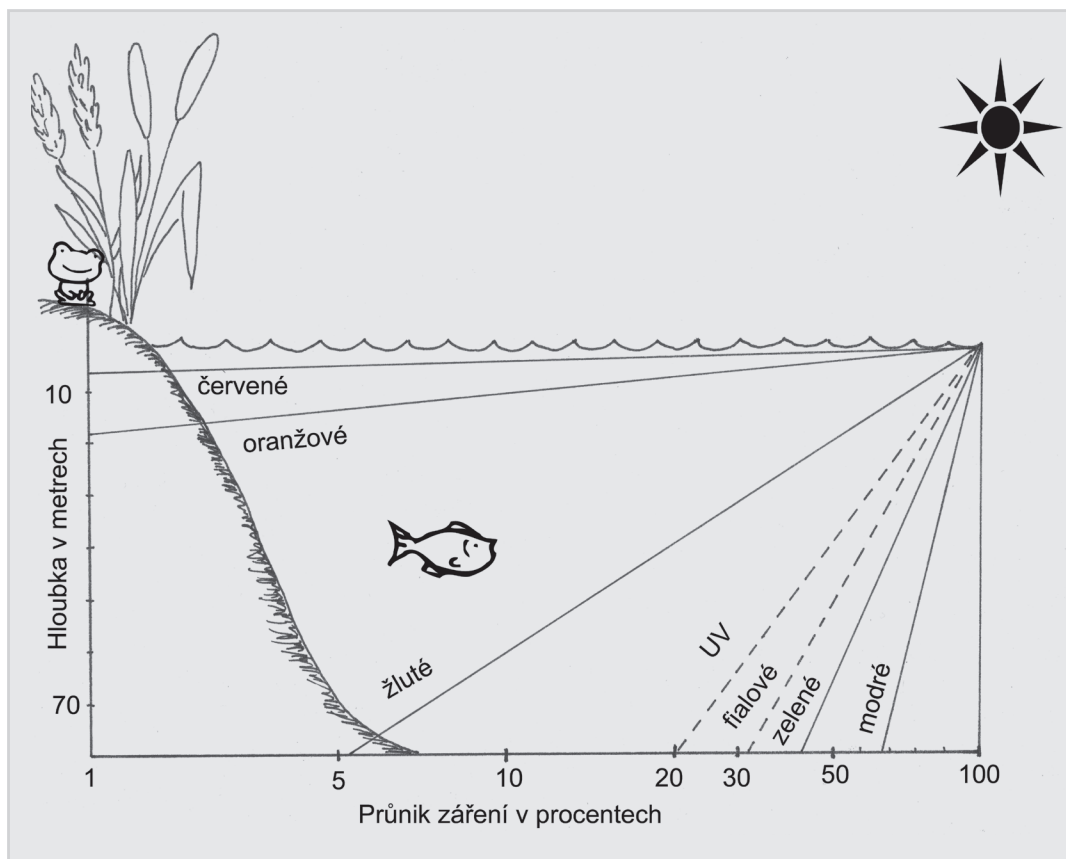
Obr. 5:
Vliv pH na relativní zastoupení anorganických složek uhličitanové rovnováhy.
Upraveno podle Wetzel (2001).

Přijímání volného CO_2 je pro řasy energeticky výhodné, naproti tomu příjem HCO_3^- probíhá aktivním transportem přes buněčnou membránu. Některé řasy (rašelinné druhy) nejsou schopny uhlík ve formě bikarbonátů přijímat, naopak aerofytické řasy na vápencích mají specifický způsob přeměny rozpuštěných bikarbonátů. Nejvyšší potenciál využívat bikarbonátové ionty mají sinice. Následující řada řasových druhů je sestavena podle stoupající tolerance k nedostatku volného oxidu uhličitého: *Aulacoseira italica* – *Asterionella formosa* – *Fragilaria crotonensis* – *Ceratium hirundinella* – *Microcystis aeruginosa* (Talling 1976).

2.7 Sluneční záření a teplota

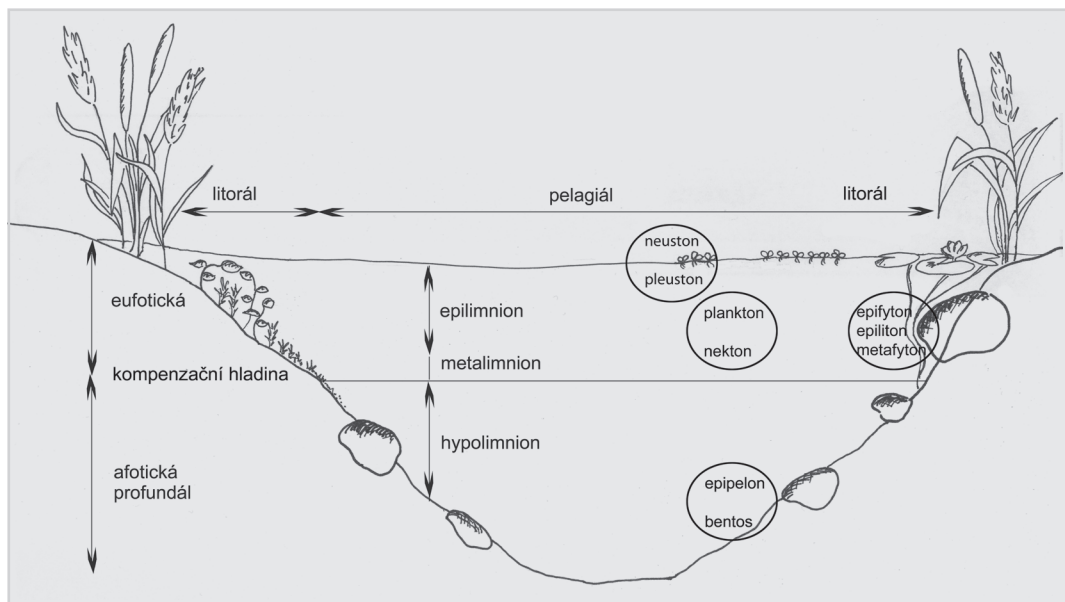
Řasy jsou schopny žít jen tam, kam proniká světlo. Kromě intenzity (ozářenosti) je důležitou vlastností světla rovněž vlnová délka a trvání (fotoperioda). Na povrch atmosféry dopadá globální záření (300–3000 nm) formou přímého a difuzního záření, které je po průchodu atmosférou oslabeno o 67 %. K dalšímu oslabení dochází nad povrchem Země vlivem rozptýlených částic

a vodních par. Záření, dopadající na povrch Země, se skládá z UV záření (300–390 nm), viditelného (390–770 nm) a infračerveného záření (770–3000 nm). Zdrojem energie pro fotosyntézu je světlo v rozmezí 380–720 nm a nazýváme ho **fotosynteticky aktivní radiace** (PhAR). Komplexní působení radiace ve vodním ekosystému je dáno změnami složení spektra s hloubkou (obr. 6) a změnami během dne. Část záření se odráží od vodní hladiny (v závislosti na úhlu dopadu) a pod hladinou světla opět ubývá absorpcí a rozptylem na částicích (např. planktonu). Mění se i jeho spektrální složení.



Obr. 6: Průnik jednotlivých částí světelného spektra do vodního ekosystému v % (log měřítko, zjednodušeno pro případ destilované vody). Upraveno podle Brönmark & Hansson (2005).

Z vlnových délek pohlcují rostliny nejvíce záření v modré a červené, méně v zelené části spektra. Nejhluběji do vody proniká modré světlo, které využívají ruduchy, rostoucí ve větších hloubkách. Prosvětlené zóně říkáme **eufotická** a může dosahovat od několika cm do cca 120 m. Pod ní se nachází **afotická** zóna (obr. 7). Rutinní měření se provádí pomocí Secchiho desky a udává se jako **průhlednost** (transparency) v cm. Průhlednost závisí na množství organických a anorganických částic (případně huminových látek v rašelinistích), rozptýlených ve vodním sloupci. Ve většině případů tak průhlednost odráží množství fytoplanktonu, výjimkou jsou např. těžné lomy s anorganickým zákalem.

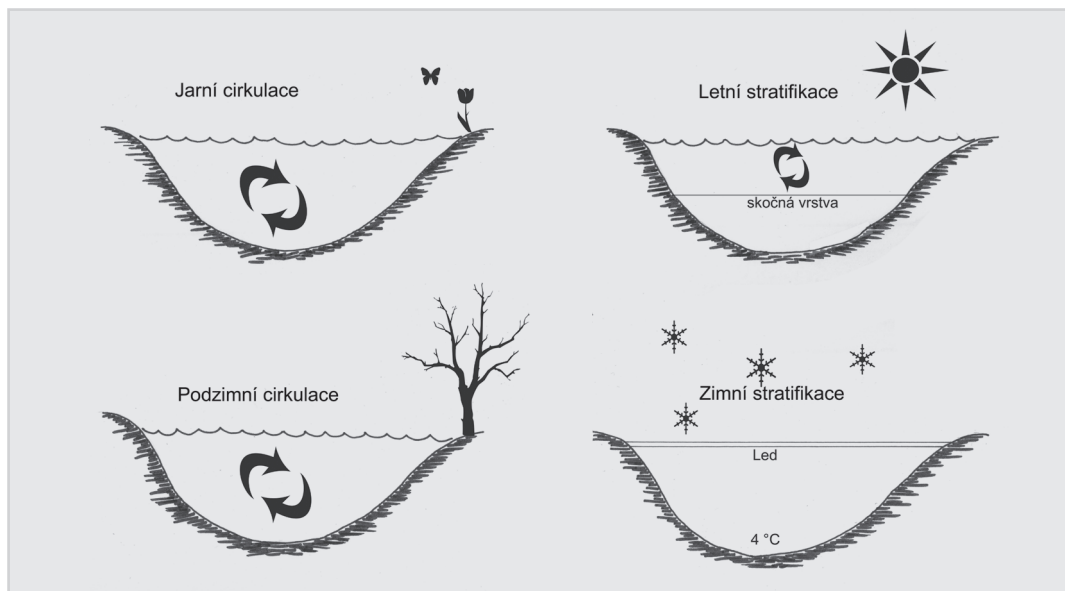


Obr. 7: Hypotetické jezero či rybník mírného pásma v období letní stratifikace – rozdělení mikrobiotopů a bioty: mělkou část, kde světlo proniká až na dno, označujeme litorál, volnou vodu pelagiál. Eufotická zóna (s fotosyntézou) sahá až po kompenzační hladinu, pod ní již fotosyntéza neprobíhá. V období letní stratifikace se u hlubokých nádrží ustaví skočná vrstva (metalimnion), která nádrž rozdělí na míchaný epilimnion s fytoplanktonem a chladnější (živinami bohatší, ale méně produktivní) hypolimnion bez fytoplanktonu. Povrchová vrstvička je oživena neustonem, volná voda planktonem. Nárosty tvoří bentos na kamenech, rostlinách a sedimentu. Volně mezi makrofyty vegetuje metafytion. Upraveno podle více zdrojů (Kalf 2002, Lellák & Kubíček 1991, Pouličková et al. 2008).

Řasy žijí ve větším rozpětí světelného režimu než suchozemské rostliny a vykazují větší variabilitu. Adaptace na světlo spočívá v regulaci koncentrace či složení pigmentů (např. u sinic regulace poměru fykobilinů), regulaci koncentrace enzymů na jednotku objemu změnou velikosti buněk (*Chlorella*), schopnosti chloroplastů měnit polohu v buňce (*Chromulina*, mořské rozsivky) a schopnosti celých organismů měnit polohu v prostoru (bičíkovci, sinice s aerotopy). Řasy adaptované na stín jsou obvykle zároveň přizpůsobeny nižším teplotám než ty, které snesou vysoké osvětlení (rozsivky versus sinice).

Sluneční záření je absorbováno vodou a ohřívá ji. Distribuce tepla ve vodním sloupci patří k základním charakteristikám vodního prostředí. Výrazný teplotní gradient nacházíme ve stratifikovaných nádržích. Horní teplé vrstvě říkáme **epilimnion**, na ni navazuje zóna prudké změny teploty, tzv. **skočná vrstva** (termoklina nebo metalimnion), a pod ní se nachází studená vrstva **hypolimnion** (obr. 7). Obdobně jsou stratifikována i některá moře. Žádnou termoklinu nenajdeme v arktických a antarktických mořích, naopak permanentní termoklina se vyskytuje v tropických oceánech. V jezerech mírného pásu se v průběhu roku vystřídají dvě období míchání a stratifikace (obr. 8). V období letní **stratifikace** je v jezerech větrem míchána pouze vrstva epilimnia; planktonní řasy (s výjimkou bičíkovců a sinic s aerotopy), které v průběhu pozvolné sedimentace klesnou pod skočnou vrstvu, odumírají, případně dokončí rozmnožování a vytvoří klidová stadia.

Živiny ze dna se do horních vrstev dostanou až při podzimní cirkulaci, takže v eufotické zóně se může v období stratifikace některá z živin stát limitující.

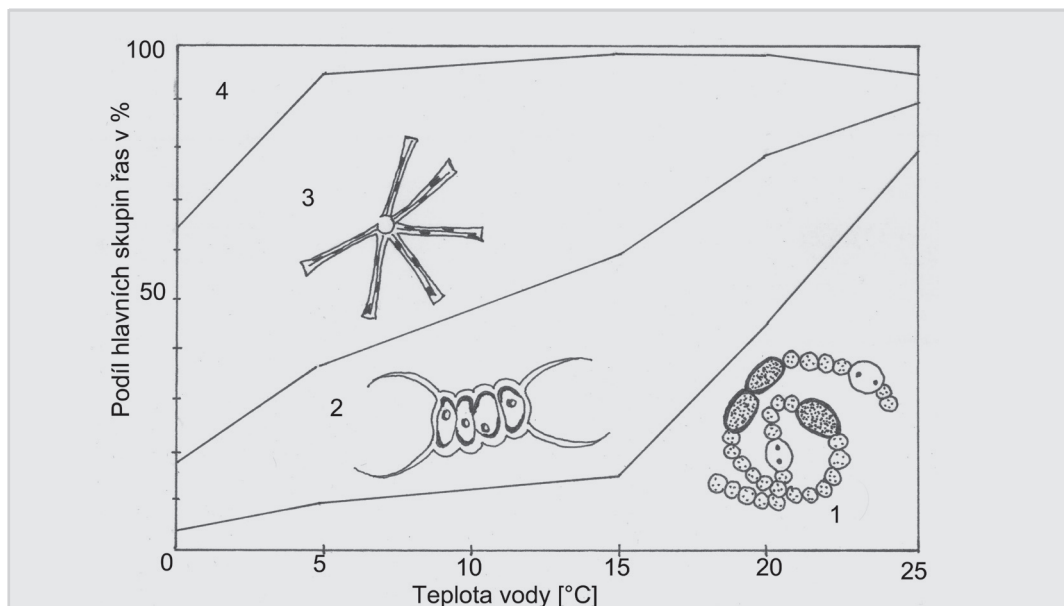


Obr. 8: Sezónní vývoj dimiktických jezer v mírném pásu. Na jaře a na podzim dochází k promíchání (cirkulaci), živiny se dostávají ode dna do vodního sloupce, teplota vody se vyrovnává. V létě se ustavuje skočná vrstva, která rozdělí nádrž na míchaný epilimnion a stagnující hypolimnion. V zimě je na hladině led a u dna 4 °C. Upraveno podle Likens (2009).

Po podzimním promíchání se voda začne v mírném pásu opět ochlazovat; voda chladnější než 4 °C je lehčí, zůstává nahoře a zmrzne (zimní stratifikace). Pod ledem (bez sněhové pokrývky) může být stále dostatek světla pro některý z chladnomilných druhů řas, který může vytvořit značnou biomasu (drobné rozsivky, skrytěnky). K další cirkulaci pak dochází na jaře při tání ledu a ohřívání horních vrstev vody. Jiná stratifikace než teplotní je chemická. U meromiktických jezer dochází k chemické stratifikaci; ustavuje se tzv. **chemoklina** nebo **haloklina**. Vrstvu nad chemoklinou (která se může stratifikovat i teplotně) nazýváme mixolimnion, stabilní vrstva pod chemoklinou je monimolimnion.

Řasy se liší svou tolerancí k teplotě, mají různá fyziologická i ekologická teplotní optima a maxima. Tyto charakteristiky jsou druhově specifické a zobecňování na skupiny, se kterým se setkáme ve starší literatuře, může být poplatné úrovni prozkoumanosti jednotlivých oblastí a klimatických pásem. Navíc do hry vstupují i jiné faktory jako pH a koncentrace živin. Zlativky jsou většinou považovány za chladnomilné, tolerující teploty do 24–27 °C (Round 1981). Vedle k tomu četné údaje o výskytu v severských a horských (alpských) oblastech a relativně menší prozkoumanost tropických sladkovodních biotopů. Poslední výzkumy ukazují, že i zlativky mají své teplomilné zástupce, hojně se vyskytující v tropech (Wujek 2010). Stejně je to i s rozsivkami, v mírném pásu je považujeme za chladnomilné, protože tvoří sezónní maxima v jarním a podzimním období a při teplotách nad 10 °C už nejsou schopny konkurovat nástupu ostatních řas (obr. 9, Pouličková 1999). V teplých oblastech jsou zastoupeny také, jejich druhové složení je však odlišné. Naopak

mnohé sinice můžeme považovat za teplomilné. Vodní květ tvoří až při teplotě nad 20 °C, tedy v našich podmínkách v letním období. V termálních pramenech žijí sinice adaptované na teplotu až 70 °C (*Mastigocladus laminosus*). Naproti tomu zástupci rodu *Chamaesiphon* žijí v prameništích a chladných horských potocích.



Obr. 9: Model vlivu teploty na strukturu fytoplanktonu jezera v mírném pásu. 1 – sinice, 2 – zelené řasy, 3 – rozsivky, 4 – ostatní. Model je založen na konkrétních datech z rybníka Vajgar u Jindřichova Hradce v letech 1987–1988 (Pouličková et al. 1998).

3 Způsoby života sinic a řas

Obecně by se dalo říci, že s řasami se můžeme setkat všude, kam proniká sluneční záření. Ve skutečnosti se však mohou udržet i na místech s extrémně nízkým osvětlením (jeskyně, katakomby, hyporeál), za což některé skupiny řas vděčí alternativním způsobům výživy – mixotrofii a heterotrofii. K těmto alternativám inklinují zejména bičíkovci (krásnoočka, obrněnky, skrytěnky), extrémně tolerantní k nízkému osvětlení jsou rovněž sinice. Kromě vodních biotopů (vod teokoucích, stojatých, mořských) jsou sinice a řasy hojné v mokřadech a terestrických stanovištích; najdeme je na vlhkých skalách, kůře stromů, stavebách, půdě a jejich druhová diverzita stoupá s rostoucí vzdušnou vlhkostí. Nejvyšší diverzita aerofytů je v tropech, kde čekají desítky nových druhů na své objevitele. Řasami jsou kolonizovány i ledovce a vysokohorská sněžná pole. Sinice a řasy rovněž vstupují do symbiózy s houbami, vyššími rostlinami i živočichy.

Většina biotopů je velmi heterogenních a poskytují četné mikrobiotopy, které jsou kolonizovány různými společenstvy řas. Použití termínu společenstvo je v některých případech diskutabilní, protože např. planktonní „společenstvo“ je efemerní a nelze je vymezit ani prostorově. Platí pro ně ono známé „nevstoupíš dvakrát do stejné řeky“. Termín společenstvo, chápáný jako soubor druhů, žijících společně na jednom místě, lze snad aplikovat pouze na nárostové řasy, vázané na substrát. S faktory prostředí, které působí na jednotlivých biotopech, souvisí konkrétní adaptace přítomných sinic a řas. Řasy mohou žít volně ve vodním sloupci (planktonní způsob života) nebo přisedají na rozličné substráty (sedentární, zejména bentický způsob života).

3.1 Život ve vodním sloupci

Slovo řeckého původu „**plankton**“ znamená putovat bez cíle. Podle první definice Hensena z roku 1850 je plankton soubor organismů, které se vznášejí v otevřené vodě a jsou nezávislé na břehu a dně. Moderní definice zahrnuje i dočasné návštěvníky volné vody (pelagiálu): za plankton je považováno společenstvo rostlin a zvířat adaptovaných na život v „suspenzi“ a podléhající pasivním pohybům vody a jejím proudům (Reynolds 1984).

Zvláštní společenstvo bakterií, řas, rostlin a živočichů nacházíme na vodní hladině, tedy na rozhraní voda–vzduch. Toto společenstvo povrchové blanky obecně nazýváme **pleuston**, mikroskopické organismy pak **neuston**. Jako pleuston označujeme vodoměrky, okřehek a vajíčka komárů. Nejznámějším zástupcem epineustonů je *Chromulina rosanoffii*, která se drží na hladině slizovitou stopkou. Její chromatofory se pohybují v závislosti na směru dopadajících slunečních paprsků. Buněčná stěna některých druhů má vychlípeniny připomínající deštník, které rovněž slouží k přichycení na hladině. Neuston vytváří některé zlativky a zelené řasy; vyskytnout se zde mohou i krásnoočka a zřídka rozsivky, tyto organismy však nemají žádné adaptace na život v neustonu. Neuston se nesmí zaměňovat s vodním květem sinic, který je prostou kumulací sinic na hladině, bez specifických adaptací na povrchovou blanku. Ryby se pohybují všemi směry a tvoří tzv. **nekton**. Pro všechny částice, které se ve volné vodě vyskytují, zavedl Kolkwitz pojem **seston** (abioses-ton a bioseston).

Nepohyblivé planktonní organismy se vznášejí, respektive velmi pomalu klesají, ve vodním sloupci v závislosti na viskozitě vody. Jsou to organismy drobné, většinou kulovitého tvaru (*Chlo-*

rella, *Cyclotella*) a dále ty, které zvětšení povrchu dosahují vytvářením výběžků (*Ceratium*). V závislosti na viskozitě vody mohou vytvářet výběžky různě dlouhé a tuto adaptaci nazýváme **sezónní polymorfismus** (obr. 2). Další adaptací je vytváření prostorových kolonií, jako je tomu např. u pevnátních rozsivek (*Asterionella*, obr. 33). Cílem všech těchto velikostních a tvarových adaptací je snížit specifickou hmotnost a zpomalit klesání.

Schopnost vznášení je rovněž ovlivněna fyziologickým stavem a stářím řas; starší a umírající buňky klesají rychleji. Sinice regulují svoji polohu ve vodním sloupci pomocí aerotopů, jiné řasy tvoří sliz (krásivky) nebo lehké metabolity (např. olej; *Botryococcus*, obr. 34). Planktonnímu způsobu života jsou dobře přizpůsobeni bičíkovci a další pohyblivé organismy. Organismy adaptované na život v planktonu jsou jeho stálou součástí a nazýváme je **euplankton** (sinice s aerotopy – *Anabaena*, drobné a kulovité centrické rozsivky – *Cyclotella*, koloniální rozsivky – *Asterionella*, *Fragilaria*, bičíkovci *Chlamydomonas*, obr. 32). Jako **tychoplankton** označujeme řasy, které jsou do volné vody pasivně vyneseny vlivem turbulencí a jsou pravidelnou součástí planktonu mělkých a litorálních vod (*Scenedesmus*, *Pediastrum*, obr. 32).

Plankton dělíme podle několika kritérií. Podle biotopů se dělí na **limnoplankton** (jezera), **heleoplankton** (rybníky, tůňe) a **potamoplankton** (dolní toky řek). Mořský plankton rozdělujeme na **neritický** (při pobřeží) a **oceánický**. Podle rozměrů planktonních organismů (Strickland 1960) rozlišujeme **makroplankton** (> 500 µm), **mikroplankton** nebo také síťový plankton (50–500 µm), **nanoplankton** (10–50 µm), **ultraplankton** (2–10 µm) a **pikoplankton** (< 2 µm). Podle postavení v potravním řetězci rozeznáváme **fytoplankton**, **zooplankton** a **bakterioplankton**.

3.1.1 Fytoplankton

Fytoplanktonem nazýváme sinice a řasy, obývající pelagiál hlubokých i mělkých stojatých vod a pomalu tekoucích úseků řek. Fytoplankton se vyznačuje morfologickou i fyziologickou plasticitou a zahrnuje nepohyblivé řasy i bičíkovce. Fytoplankton není suspendován v čirém roztoku, ale v komplexním médiu anorganických, organických a koloidních látek a částic, jejichž separace od živých organismů je obtížná.

Světový fytoplankton (zejména mořský) produkuje 70 % atmosférického kyslíku. Představuje počátek potravních řetězců všech vodních biotopů, jehož konečným článkem jsou různé skupiny vodních živočichů. Nadprodukce fytoplanktonu působí potíže při úpravě povrchových vod na vodu pitnou a toxické druhy (obrněnky, sinice) jsou nebezpečné při koupání.

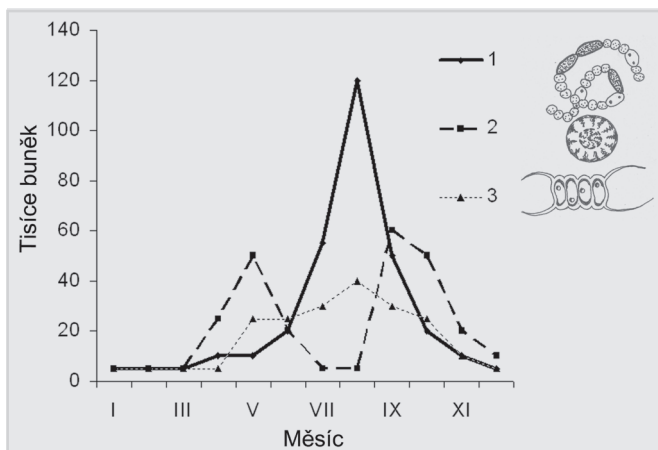
Planktonní druhy dosahují velikostí od 2 do 500 µm; mořské planktonní druhy (s výjimkou pikoplanktonních sinic) jsou (díky větší viskozitě slané vody) větší než sladkovodní zástupci téže skupiny. Rozhodnout, které druhy jsou euplanktonní (žijící v suspenzi po celý život), není jednoduché. Je totiž obtížné ověřit, zda nemají nějaká odpočívající stadia či spory. Snad jen v otevřeném oceánu si můžeme být téměř jisti, že plankton musí neustále cirkulovat ve volné vodě, protože návrat z velkých hloubek do eufotické zóny je nepravděpodobný. Přesto i z hlubokomořských sedimentů byly v laboratoři oživeny některé řasy, např. obrněnky. Předpokládáme, že šlo o „ztracené“ spory, jejichž návrat by byl možný pouze pasivně (na tělech živočichů). Druhy, které část života odpočívají v sedimentech (*Gloeotrichia*, *Microcystis*), nazýváme **meroplankton**. Řasy, které procházejí pohlavním rozmnožováním (krásivky a zlativky), musí být meroplanktonní, pro-

tože zygospory jsou příliš těžké, aby se udržely ve vodním sloupci. Meroplankton je typický pro litorál jezer a neritická společenstva moří. Bývá doprovázen i druhy epipelickými. Některé studie velkých jezer ukazují, že s rostoucí plochou jezera nevzrůstá počet druhů planktonu, jak je tomu u mělkých jezer nebo suchozemských živočichů na ostrovech. To by znamenalo, že meroplanktonních druhů je ve sladkých vodách více, než předpokládáme (Hutchinson 1967). Druhy, které se do planktonu dostanou jen náhodně (s detritem na tělech ryb, po velkých bouřích atd.), označujeme jako **pseudoplankton** nebo **tychoplankton** (krásivky). Několik druhů, které jsou pravidelně přítomny v příbřežním planktonu i epipelonu, je pravděpodobně schopno žít oběma způsoby života (*Scenedesmus*, *Hydrodictyon*, obr. 32).

Fytoplankton v nádržích lze charakterizovat vertikální a horizontální zonací. **Vertikální zonace** je ovlivněna hloubkou nádrže, průnikem světla, přítomností teplotní stratifikace či typem cirkulace a schopností řas migrovat ve vodním sloupci. Výraznou vertikální zonaci vykazuje obvykle fytoplankton hlubokých stratifikovaných nádrží. Nejvíce řas najdeme v epilimniu, pod skočnou vrstvou mohou přežít jen jako odpočívající stadia. Druhy adaptované na zastínění mohou obývat mikroniky v oblasti metalimnia (*Planktothrix*, *Limnothrix*). Vertikální zonace se liší během dne i se zóny. Některé euplanktonní organismy, většinou bičíkovci (Cryptophyta, Dinophyta, obr. 33, 34), vykonávají **diurnální vertikální migrace**. Regulace jejich polohy ve vodním sloupci může mít celou řadu důvodů, jedna z hypotéz předpokládá migraci za světlem (k hladině) ve dne a za živinami (ke dnu) v noci. U obrněnek jsou migrace řízeny i endogenními rytmy.

Horizontální zonace je závislá na ploše a morfologii nádrže, činnosti větru a na přítomnosti přítoků. Přitoky mohou ovlivnit druhové složení přísunem rheofilních druhů z toku, v klidných zátokách se může kumulovat vodní květ sinic.

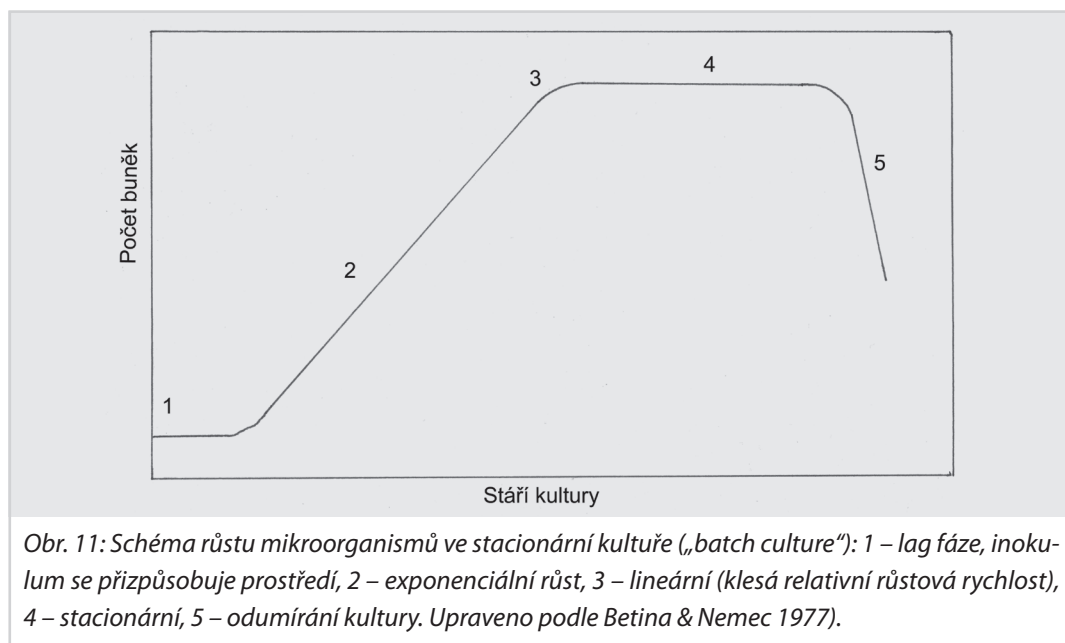
Fytoplankton nádrží v mírném pásu se vyznačuje **sezónní dynamikou** (např. PEG model = plankton ecology group model). V jarním období dochází k ohřívání svrchních vrstev vody, jarní cirkulaci a uvolňování živin ze dna. Voda je bohatá na živiny, ale je studená a méně prosvětlená. Ve fytoplanktonu obvykle dominují skryténky, zlativky nebo rozsivky. Po jarním rozvoji fytoplanktonu může u hlubokých nádrží nastat fáze „clear water“, období několika dnů či týdnů bez rozvoje fytoplanktonu. Tento stav je důsledkem predačního tlaku zooplanktonu a vyčerpání živin. Pro letní období je typická vyšší teplota a osvětlení, dominují zelené řasy a sinice. Druhý vrchol rozsivek nastává na podzim. Zimní plankton je chudý, tvořený rozsivkami nebo skrytěnkami (obr. 10).



Obr. 10:
Zjednodušený model sezónní dynamiky fytoplanktonu v jezeře mírného pásu, založený na datech z rybníka Vajgar u Jindřichova Hradce z roku 1987 (Poulíčková et al. 1998). 1 – sinice, 2 – rozsivky, 3 – zelené řasy.

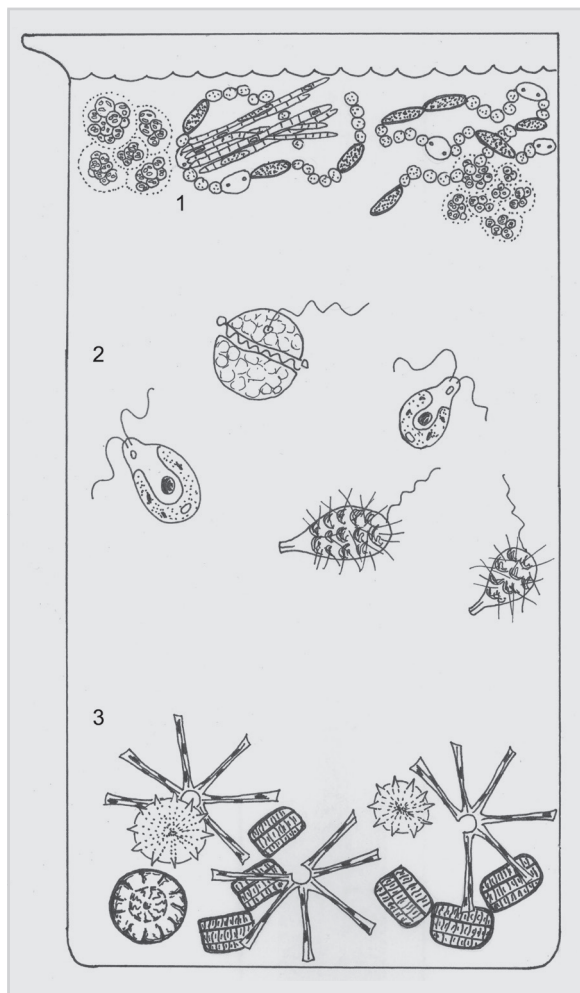
3.1.2 Faktory růstu a ztrát

Na rozdíl od vyšších rostlin jsou planktonní řasy mikroskopických rozměrů, velmi početné a s výjimkou rozsivek nemají podpůrné systémy. Mají rychlý metabolismus a rozmnožování, jsou efektivně konzumovány zooplanktonem a mnohé mají schopnost mixotrofie či heterotrofie. Stejně jako vyšší rostliny jsou řasy primárními producenty, tedy při fotosyntéze produkují organickou hmotu, která se ukládá v buňkách. Růst biomasy probíhá dělením buněk a zjišťuje se jako přírůstek biomasy za časový úsek. V optimálních podmínkách potřebuje populace stejný čas na každé zdvojení biomasy a růst probíhá exponenciálně. Dobu, za kterou se populace zdvojnásobí, nazýváme **generační doba**. Růst populace v uzavřené nádobě (v tzv. stacionární kultuře) probíhá v několika fázích, jak ukazuje graf (obr. 11).



V první fázi je do roztoku živin přidáno řasové inokulum, které se musí „aklimatizovat“ (lag fáze). Poté roste exponenciálně až do doby, kdy některý faktor začne být limitující (živiny, světlo – samozastínění kultury) a po zpomalení růstu kultura přejde do fáze stacionární. Poté následuje fáze odumírání. Obecně může být růst populace limitovaný, satureovaný nebo inhibovaný. V přírodě dochází většinou k limitovanému růstu. **Růstová rychlost** je závislá na velikosti buňky a pohybuje se mezi 0,21 děleními za den u velkých obrněnek po 2,9 dělení za den (*Chlorella*; Reynolds 1984). Protože jednotlivé druhy řas mají rozdílné nároky, dochází v přírodě ke střídání dominant a výměně druhového složení. Na růst populací v přírodě mají vliv jak **faktory růstu** (živiny, světlo, teplota), tak **faktory ztrát** (mortalita, hydraulické vymytí, transport vodními proudy, sedimentace, parazitismus, predace). Nároky řas na koncentraci/poměr živin, světlo (intenzitu záření, fotoperiodu) a teplotu jsou druhově specifické a komplex těchto faktorů je zodpovědný za konkrétní strukturu fytoplanktonu v prostoru a čase. Do hry ovšem vstupují ještě další faktory. V průtočných systémech, jako jsou přehradní nádrže, může dojít k tomu, že doba zdržení v nádrži je kratší, než je průměrná generační doba fytoplanktonu (např. v období vysokých srážek v zimě). Nepohyblivé

řasy, které nejsou zkonsumovány zooplanktonem, pomalu sedimentují. **Sedimentaci** ovlivňuje specifická hmotnost (velikost, tvar, přítomnost schránky) a fyziologický stav buněk. Sedimentaci je možno studovat s použitím pastí, umístěných v hloubce nádrže. Rychlost sedimentace se pohybuje v rozmezí 0,2–3 metry za den; rychlejší je u rozsivek (obr. 12).



Obr. 12: Model vznášení/sedimentace fytoplanktonu. V kádince se po čase těžké a nepohyblivé rozsivky (3) usadí na dně, sinice s aerotopy u hladiny (1) a bičíkovci (2) si volně plavou v celém objemu kádinky. Modifikováno podle Round (1981).

Přesto, že většina řas dá dělením vznik jedincům novým, část řas v populaci přirozeně odumře (**mortalita**), zvláště v limitovaných kulturách, v tocích (drift, plankton z přehrad) atd. V každé populaci je až 10 % inaktivních buněk. Jednoduše to můžeme zjistit ve fluorescenčním mikroskopu z autofluorescence chlorofylu (v živé buňce září chloroplast červeně). Organický uhlík z odumřelých buněk se vrací do trofického řetězce díky bakteriím, které hrají velkou roli zejména v moři (**microbial loop**).

Kromě přirozené mortality odumírají buňky po napadení **patogeny** nebo jsou konzumovány **predátory**. Na řasách mohou parazitovat viry, bakterie a zástupci říše Chromista (Chytridiomycota a Oomycetes; Andersen 2005, Canter-Lund & Lund 1995; Pouličková et al. 2008). Pozorování naznačují, že houboví parazité jsou vázáni na konkrétního hostitele, což bylo prokázáno i na molekulární úrovni. Např. určité kmeny *Zygorhizium planktonicum* parazitují na určitých kmenech *Asterionella formosa* (De Bruin et al. 2004). To svědčí o koevoluci patogena a hostitele (Thomson 2002). Na rozsivkách rodu *Sellaphora* jsme pozorovali, že parazit je zřejmě schopen rozlišit feromony, kterými samičí buňka láká buňku samčí; napadány byly pouze samičí buňky (D. G. Mann & Pouličková,

nepublikováno). Periodicita výskytu patogena sleduje vývoj hustoty populace hostitele, dosud však nebyly odhaleny spouštěcí mechanismy.

Řasami se živí prvoci, vírníci, korýši i ryby (zejména potěr a plevelné rybky jako plotice). Hlavními predátory fytoplanktonu jsou filtrátoři (perloočky). Zooplankton kontroluje biomasu řas a sám je kontrolován rybí obsádkou. Řasy mají různé adaptace na ochranu proti predaci. Patří sem rychlé dělení drobných, snadno konzumovatelných řas, tvorba kolonií (*Aphanizomenon*), vytváření

ostnů a výrůstků. Některé řasy mají mohutné slizové obaly a mohou projít trávicím traktem živočicha bez poškození (*Planktosphaeria*). Většina bičíkovců má vymrštitelná tělíska (trichocysty, diskobolocysty), sloužící k zastrašení predátora, podobně jako světélkování obrněnek. Mořské obrněnky a sladkovodní sinice produkují **extracelulární metabolity** – toxiny, jejichž přesný účel není znám, nicméně „rudé přílivy“ (red tide) obrněnek jsou toxické pro řadu živočichů. Potravní řetězce je možno využívat k biomanipulaci v aquakulturách a účelových nádržích; např. řízený chov ryb ovlivňuje zooplankton, fytoplankton má vliv na koloběh živin a další biotu (makrofyta).

Časové změny fytoplanktonu

U řas můžeme pozorovat několikaleté, roční, sezónní i diurnální změny fytoplanktonu. **Diurnální** změny souvisejí s fotosyntézou, respirací, oscilacemi koncentrace živin. Pravidelným střídáním světla a tmy se populace řas synchronizují, tedy dělení buněk probíhá v určitou dobu. Při jednodenní generační době buňky ve dne rostou, na konci světelné fáze ukládají zásoby a ve druhé polovině temného období se dělí. U špičkových přehrad může být denní režim dán režimem odpouštění. Dobře jsou prozkoumány **roční** změny v planktonu jezer. Již jsme se zmínili o sezónní dynamice (tzv. PEG-modelu): rozvoj jarního fytoplanktonu → rozvoj a predanční tlak zooplanktonu → pokles fytoplanktonu (clear water) → zooplankton hladoví a je konzumován rybami → letní maximum fytoplanktonu (r-strategové, skryténky a zelené řasy) spotřebují fosfor → rozsivky, je-li dost Si → obrněnky → po vyčerpání Si a N → sinice → míchání a obnova živin → podzimní maximum fytoplanktonu → podzimní maximum zooplanktonu → zima – nulová produkce (ne vždy, ale produkci pod ledem se téměř nikdo nezabývá). Roční a **několikaleté cykly** řas mohou souviset např. s životním cyklem populací jednotlivých druhů. Meroplanktonní sinice často přezimují v sedimentech (*Microcystis*, Reynolds et al. 1981; *Planktothrix*, Pouličková et al. 2004). U rozsivek dochází obvykle jednou za tři až čtyři roky k pohlavnímu rozmnožování (Jewson 1992).

3.1.3 Strategie u řas

Různé řasy různě reagují na stresové situace (nedostatek živin, světla, predanční tlak, mechanické disturbance, změny teploty). V průběhu evoluce si vytvořily rezistenční mechanismy, které zahrnují možnosti využívat nízké koncentrace živin, vytvářet zásoby, měnit svoji polohu ve vodním sloupci (diurnální vertikální migrace), vytvářet klidová stadia. Reynolds (1984) rozlišuje tři strategie u řas: R – ruderals, C – colonists, S – specialists.

R – ruderals: velké řasy, využívají krátké dávky světla, ukládají zásobní látky, tolerují disturbance (adaptované na míchání), nebo žijí v metalimniu (*Fragilaria*, *Aulacoseira*, *Planktothrix*, *Limnothrix*).

C – colonists: drobné řasy s rychlými přírůstky; reagují velmi rychle na výhodné podmínky (*Chlamydomonas*, *Synechococcus*).

S – specialists: stres tolerující druhy s malými přírůstky, adaptované na přežívání v nepříznivých podmínkách, ukládají živiny do zásoby, využívají alternativní zdroje živin, migrují za živinami ke dnu a za světlem k hladině (*Ceratium*, sinice).

Strategie se uplatňují v kompetici o zdroje. Díky kompetičním vztahům může v planktonu při různém poměru koncentrací živin koexistovat společně velký počet populací (**Hutchinsonův paradox fytoplanktonu**).

3.1.4 Fotosyntéza a produkce fytoplanktonu

Pod **primární produkcí** rozumíme produkci organické hmoty fotosyntézou u přírodních populací nebo společenstev planktonních řas. Primární produkci ovlivňují světlo, teplota, dostupnost živin, H_2CO_3 systém, proudění, případně biotické vztahy. Produkce je definována jako přírůstek organické hmoty za jednotku času. Odečteme-li od hrubé primární produkce respiraci populace/společenstva, získáme **čistou primární produkci**. Produkci řas můžeme měřit jako spotřebu CO_2 (u subaerických řas), přírůstek stélky, produkci kyslíku, měřit můžeme i značený C a další. Průměrně se čistá produkce pohybuje v rozmezí 50–70 % hrubé produkce. Primární produkci fytoplanktonu stanovujeme metodou světých a tmavých lahví exponovaných v nádrži. Nejpoužívanější je měření změn koncentrace rozpuštěného kyslíku ve světlé a tmavé láhvi (fotosyntéza vs. respirace) oproti stavu před expozicí. Primární produkce byla u nás studována v tůních, na rybnících i přehradách, např. na údolních nádržích Římov, Slapy. Studium přehrad má dlouholetou tradici a je spojeno se jmény P. Javornický, A. Sládečková, P. Marvan, F. Kubíček, M. Zelinka, J. Komárková a desítky dalších.

3.1.5 Nadprodukce fytoplanktonu

Vodní květ, tedy nadprodukce sinic, se objevuje nejčastěji ve sladkovodních jezerech, i když jsou známy i v moři (např. *Nodularia* v Baltickém moři). Projevuje se shromažďováním biomasy sinic na povrchu eutrofních vod. Vodní květ je často tvořen buňkami stárnoucími, limitovanými v růstu a odumírajícími. V mírném pásu jsou vodní květy obvyklé v létě, v tropech to může být permanentní stav (*Arthrospira* dříve *Spirulina*, jezero Čad). Výskyt vodního květu je regulován řadou faktorů. Sinice se obvykle rozvíjí při teplotě nad 20 °C a nízkém poměru N : P. Jsou náročnější na fosfor, protože dusík mohou fixovat ze vzduchu. Fixace se uskutečňuje v heterocytech za anaerobních podmínek a za účasti enzymatického aparátu (nitrogenázový komplex). Fixace dusíku je energeticky náročná, ale představuje výhodu v konkurenci s ostatními řasami v podmínkách nedostatku dusíku. Schopnost fixovat vzdušný dusík mají zejména planktonní nebo meroplanktonní sinice *Gloeotrichia*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* a *Trichodesmium*. Dusík fixují i sinice bez heterocytů (*Lyngbya*), v tomto případě je fixace časově oddělena od fotosyntézy (pro zachování anaerobie).

Přítomnost vodního květu si můžeme orientačně ověřit jednoduchou zkouškou. Naplníme-li průhlednou láhev vodou z nádrže, můžeme po hodině pozorovat, jak se většina řas usadí na dně (rozsivky, zelené kokální řasy), pouze euplanktonní sinice vytvoří modrozelenou vrstvičku na hladině (obr. 12). Koloniální sinice jsou někdy pozorovatelné pouhým okem jako drobné vločky velikosti špendlíkové hlavičky (*Microcystis*).

U nás tradičně rozlišujeme kromě vodního květu sinic ještě **vegetační zákal** tvořený eukaryotickými řasami (zlativky, rozsivky). Terminologie v angličtině však používá pro všechny nadprodukce „water bloom“. Zatímco sinicové vodní květy jsou nebezpečné svými **toxiny** (hepatotoxiny, neurotoxiny, embryotoxiny) a **alergeny**, ostatní řasy působí problémy jinými způsoby (organo-leptické závady u pitné vody, ucpávání filtrů). Např. přemnožené zlativky způsobují zápach po „rybině“.

Likvidace nežádoucích řas se provádí v nejrůznějších provozech (chladicích okruzích, v úpravnách pitné vody, čistírnách odpadních vod), fontánách a kašnách, vřídlech v lázních, bazénech, koupalištích, akváriích i jiných účelových nádržích. Prvním krokem jsou přírodní prostředky. Řasy potřebují světlo, živiny a určitou teplotu či pH. Můžeme-li jejich růst omezit změnou některého z těchto faktorů, aniž bychom ohrozili plnění účelu nádrže, tím lépe. Pokud si můžeme dovolit chemický zákrok, aniž bychom ohrozili životní prostředí (uzavřené systémy), můžeme použít Cu, např. CuSO_4 . V bazénu lze použít chlorování, v domácím bazénku malé dávky SAVA či chlorové tablety. Některé bazény jsou dodávány se systémem založeným na sterilizaci UV zářením nebo na ozonizaci.

„Red tide“ je fenomén pobřežních (eutrofizovaných) moří a není pouhou kumulací organismů, ale jde o rychlé dělení buněk vlivem specifických podmínek. Obvykle jde o obrněnky s červenými pigmenty, *Gymnodinium* nebo *Gonyaulax*, případně zástupce Raphidophyceae. Jev může být častější, ale méně nápadný, pokud je tvořen organismy s jinými pigmenty. Tyto řasy se objevují na mnoha místech, zejména v tropické a subtropické zóně, a mohou dosahovat nebezpečných koncentrací. Nebezpečí spočívá v produkci toxinů smrtelných pro ryby a člověka, v nižších článcích potravního řetězce (např. měkkýších) se kumulují. Případy přemnožení obrněnek ve sladkých vodách jsou vzácné, ale existují (Logo di Tovel v Itálii je známé nadprodukcí obrněnky *Tovelia sanguinea*).

Jako **„white water“** označujeme nadprodukcí mořských vápenatých bičíkovců. Haptophyta (např. *Emiliania huxleyi*) tvoří rozsáhlé shluky, které lze pozorovat na družicových snímcích jako bílé skvrny na moři. Vápenatí bičíkovci zásadním způsobem ovlivňují koloběh vápníku a jejich sedimentované šupiny (kokolity) jsou zásobárnou uhličitánů.

3.1.6 Distribuce a diverzita fytoplanktonu

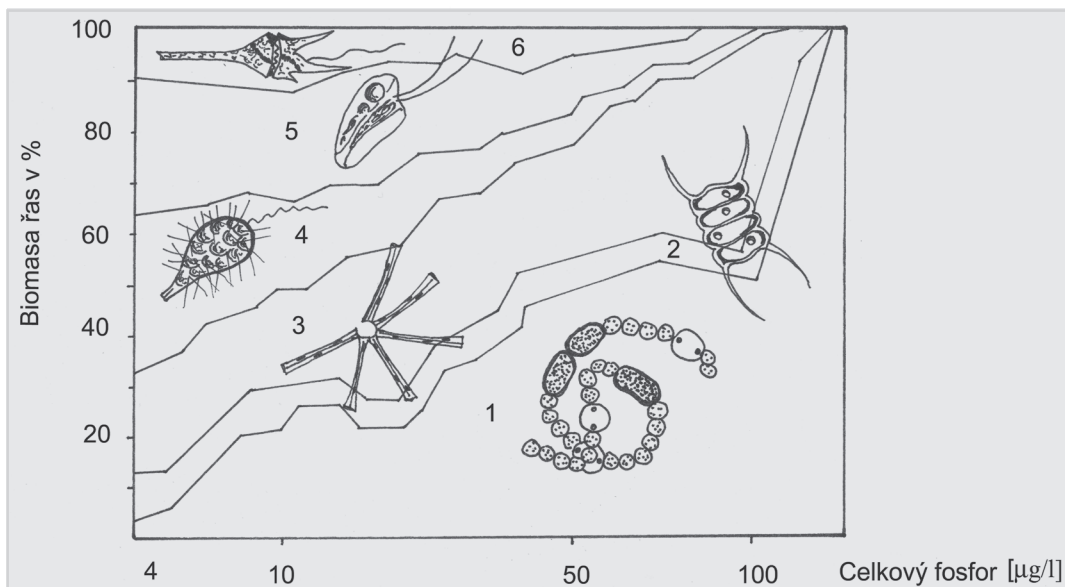
Planktonních řas je velké množství, kromě rozsivek a obrněnek hrají důležitou roli v mořském planktonu Prasinophyceae a ze sinic rod *Trichodesmium*. Nanoplankton je tvořen vápenitými bičíkovci (Haptophyta). Některé skupiny řas v mořském planktonu chybí nebo téměř chybí, jako Chlorophyta, Chrysophyceae, Xanthophyceae, Euglenophyta a Cyanophyta. Phaeophyceae a Rhodophyta jsou na vznášení se v planktonu příliš velké.

Rozlišování společenstev v rámci planktonu je obtížné. Zdá se, že jistá „společenstva“ by bylo možno vymezit s ohledem na geografické zóny. Pouze na několika místech, kde se mísí sladká a slaná voda, je možno pozorovat propojení mořského a sladkovodního planktonu (Baltské moře, delty velkých řek), a obě skupiny jsou pravděpodobně na hranicích svých tolerancí k salinitě.

Pokles druhové bohatosti mořského planktonu od rovníku k pólům je označován jako **„latitudinal diversity gradient“**. Tento gradient v diverzitě se pokouší vysvětlit četné hypotézy. Barton et al. (2011) uvádí, že sezónní variabilita prostředí v subpolárních oceánech vede ke kompetičnímu vyloučení pomalu rostoucích druhů. Naopak relativně malá sezonalita stabilních subtropických a tropických oceánů umožňuje koexistenci mnoha planktonních druhů. Sladkovodní bentické řasy se však tomuto typu rozložení diverzity vymykají. Passy (2010) hodnotila tekoucí vody v USA a zaznamenala polynomičnou distribuci druhové bohatosti rozsivek. Srovnatelná druhová bohatost je podle ní v subtropické a temperátní zóně, tedy křivka

rozložení má U-tvar. Zdá se, že toto rozložení je ovlivněno dostupností zdrojů, protože koreluje s přítomností mokřadů, složením půd a zalesněním.

Ve sladkovodním planktonu nelze zobecňovat a stanovit dominantní skupinu. Je to směs rozsivek, bičíkovců, zelených řas, sinic, zlatívek a různobřevků. Velmi zřídka potkáme zástupce Prasino-phyceae a Haptophyta. Euglenophyta jsou početná jen v malých vodních nádržích. Nejvýraznější odlišností sladkých a slaných vod je zejména četnost zelených řas a sinic ve sladkých vodách a absence bičíkovců s vápenitými šupinami (kokolity). Klasifikace sladkovodních planktonních společenstev by byla možná s ohledem na trofii. V oligotrofních vodách by měly dominovat zlativky a krásivky, v eutrofních sinice a rozsivky. Je to ovšem přílišné zjednodušení situace, neboť existuje celá škála vod mezotrofních, dystrofních, vnitrozemských slanisk atd. Vliv fosforu na strukturu fytoplanktonu je znázorněn na obr. 13.



Obr. 13: Vliv celkového fosforu na strukturu společenstva. Upraveno podle Kalf (2002): 1 – sinice, 2 – zelené řasy, 3 – rozsivky, 4 – zlativky, 5 – skrytěnky, 6 – obrněnky.

Středem zájmu badatelů je **velikostní struktura** „společenstev“ fytoplanktonu, která je ovlivňována celou řadou faktorů, včetně kompetice, predace, vznášení/sedimentace a shlukování. Výzkumy posledních let ukazují, že by mohla být přímo řízena dostupností živin, zejména N a P (Irwin et al. 2006, Finkel et al. 2009). V případě oceánu a velkých stratifikovaných jezer je velikost buněk pozitivně korelována s koncentrací makroživin, zatímco v menších jezerech je situace složitější a velikostní struktura je ovlivněna frekvencí a délkou stratifikace vodního sloupce (Finkel et al. 2009). Pro benthická společenstva toků tato závislost velikostní struktury na dostupnosti živin rovněž neplatí. Snahy o využití velikostní struktury benthických rozsivek pro zjednodušení monitoringu trofie tekoucích vod ztroskotaly (Lavoie et al. 2010).

Řada badatelů se rovněž snaží vyčíslit podíl planktonních a benthických společenstev na celkové primární produkci. Čísla, která jsou k dispozici, jsou poplatná faktu, že bentos je studován jen zřídka. Poměr vědeckých prací věnovaných planktonu a bentosu je totiž 12 : 1.

Vadeboncoeur et al. (2002) publikoval údaje z 29 jezer a dospěl k závěru, že plankton přispívá k primární produkci 55 %, bentos 45 %. Tyto závěry však nelze zobecňovat, protože konkrétní podíl produkce záleží na celém komplexu faktorů.

Ožehavou otázkou stále zůstává **celková diverzita** řas. Některé teorie předpokládají, že řasy jsou tak malé a množí se tak snadno, že je jejich šíření neomezené a vyskytují se kosmopolitně (Finlay 2002, Fenchel & Finlay 2004). Tato teorie vycházela z porovnání floristických údajů ve světových databázích, kde se stejná jména tzv. kosmopolitních druhů objevují ve všech zeměpisných šířkách. V posledních letech se však s rozvojem molekulárních metod ukazuje, že tradičně morfologicky vymezené „druhy“ jsou ve skutečnosti **komplexy druhů**. Obsahují geneticky a obvykle i ekologicky odlišné, morfologicky téměř nerozlišitelné entity, které se vzájemně nekříží (u sexuálně se rozmnožujících řas), a tudíž představují **biologické druhy**. Ačkoliv se koncept biologického druhu nehodí např. na sinice, které nemají pohlavní rozmnožování, existence tzv. **skryté diverzity** byla prokázána i u nich. V minulosti badatelé populace s drobnými odchylkami označovali jako variety, rasy nebo ekomorfy. Studium skryté diverzity je v začátcích a předpokládá se, že množství udávaných druhů mikroorganismů se po prostudování druhových komplexů mnohonásobně zvětší. Diskuse o kosmopolitismu tím však zdaleka není u konce.

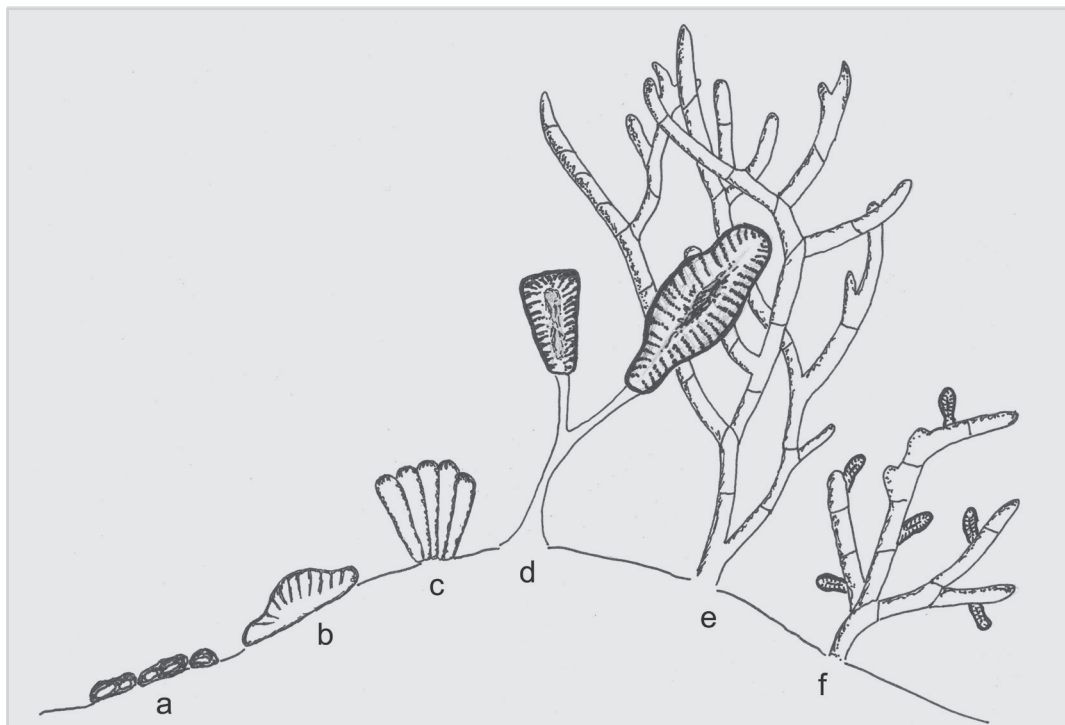
Některé práce se snaží prokázat prostorovou neomezenost mořských rozsivek (Cermeno & Falkowski 2009), jiné však poukazují na heterogenitu populací některých z nich (*Ditylum brightwellii*, *Pseudonitzschia multiseries*, shrnuto v Brodie & Lewis 2007). Skryté druhy s omezeným rozšířením byly např. potvrzeny u rodu *Skeletonema* (Kooistra et al. 2008), *zatímco* u jiných skupin řas převažující kosmopolitismus potvrdila i molekulární data (např. *Pseudonitzschia pungens* a další; Chepurinov et al. 2005, Šlapeta et al. 2006, Pouličková et al. 2010). U sladkovodních druhů je navíc ve hře regionální dostupnost určitých habitatů a ekologických podmínek. Zdá se, že optima rozsivkové diverzity silně korelují s regionálně nejčtetnějšími typy prostředí (Telford et al. 2006). Vliv geografických faktorů na globální diverzitu bentických rozsivek v jezerech však podporuje studie Vyverman et al. (2007).

Studie provedená na vzorcích z jezera Priest Pot ve Velké Británii tvrdí, že lokální diverzita se blíží celkové diverzitě dané skupiny řas, závisí pouze na úsilí věnovaném zkoumání lokality. Jinými slovy řečeno, čím déle materiál pozorujeme (řádově stovky hodin), tím větší množství druhů najdeme, až nakonec najdeme většinu existujících druhů (Finlay & Clarke 1999). Řezáčová & Neustupa (2007) našli v jediné tůni 73 % druhů rodu *Mallomonas* známých z ČR a 47 % známých evropských druhů. Uvádějí ovšem také, že minimálně 5 % druhů vykazuje areálové rozšíření. Rovněž je známo, že někteří endemiti z řad rozsivek nebyli nalezeni mimo Austrálii a Tasmánii, přestože při jejich nápadnosti není pravděpodobné, že by mohli uniknout pozornosti, pokud by se vyskytli i jinde (Vyverman et al. 2007).

Problémy s vymezením druhu zapříčinily nedostatečnou znalost **distribuce a šíření mikroorganismů**. Soinien et al. (2007) navrhuje dva modely distribuce fytoplanktonu. Neutrální model je v souladu s teorií Hubbell (2001) a předpokládá, že druhy jsou prostorově limitované v jejich šíření a nejsou rozdíly ve „fitness“ jedinců ve společenstvu. Druhý model založený na nikách počítá s rozdílnou „fitness“ v různých podmínkách prostředí. Tento model nepovažuje limitace v šíření za podstatné a souhrn druhů („species pool“) na lokalitě je více méně totožný s regionálním.

3.2 Život na substrátu

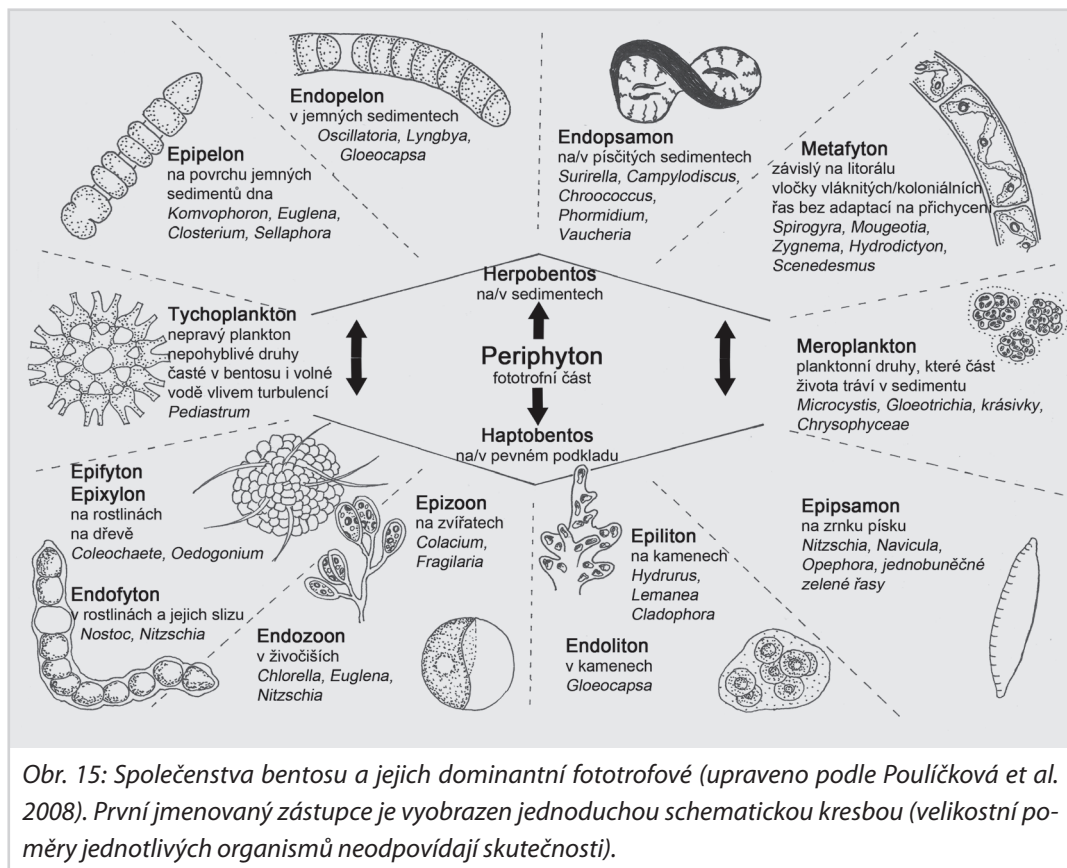
Bentický způsob života zahrnuje přizpůsobení organismů, které porůstají dno či předměty ponořené ve vodě. Některé tvoří na substrátu neodlučitelnou kůru (*Hildenbrandia*), přilepují se slizem (rozsivky, zlativky, sinice) nebo bazální buňkou (*Oedogonium*, *Lemanea*, *Cladophora*).



Obr. 14: Osidlování hypotetického substrátu nárostovými řasami a jejich růstové formy: a – bakterie; b – jednobuněčné řasy přitisklé k podkladu celou buňkou; c – řasy a kolonie přichycené jedním koncem buňky; d – rozsivky na slizových stopkách; e – vláknité řasy; f – epifyti vláknitých řas. Modifikováno podle četných schémat (např. Brönmark & Hansson 2005, Allan & Castillo 2007 a další).

Primárně kolonizují ponořené povrchy bakterie (obr. 14), které vytvoří slizovou základnu na povrchu substrátu, na kterou se přichytí další organismy. Za bakteriemi následují jednobuněčné řasy přitisklé celou plochou (*Cocconeis*), jedním koncem (*Fragilaria*), případně koloniální druhy (*Meridion*). Poté se díky kompetici o světlo začíná vytvářet „druhé patro“ biofilmu. Tvoří je rozsivky na dlouhých slizových stopkách (*Gomphonema*), ve slizových trubicích (*Cymbella*) a vláknité řasy (*Stigeoclonium*, *Lemanea*, *Cladophora*). Vývoj biofilmu dále pokračuje uchyacením epifytů na vláknitých formách (např. *Gomphonema*, *Cocconeis* na žabím vlasu). V nárostu se pohybují volně pohyblivé druhy *Navicula*, *Oscillatoria*, úkryt a potravu zde nacházejí i drobní živočichové. Takto dokonale vyvinutý nárost připomíná klimaxové stadium terestrické vegetace „prales“ s patrovitou strukturou.

Terminologie týkající se klasifikace bentosu je nepřehledná (obr. 15). V oceánografii jsou často používány termíny **fytal** (prosvětlená část dna) a hlubší neosvětlená část **profundál**. V jezerech rozlišujeme **litorál** a **profundál**. Litorál představuje příbřežní mělkou část jezera, kde světlo



proniká až na dno a převažuje fyto-bentos. Podrobnější členění vodních nádrží je znázorněno na schématu (obr. 7). Litorál je obvykle zarostlý makrofyty a převažují řasy epifytické, epipelické a tzv. **metafyton** (volné, nepřichycené vláknité řasy mezi makrofyty). V profundálu naopak převažuje zoobentos.

V mořích je klasifikace prostředí pro bentické organismy komplexní. Jednotlivé zóny (**belty**) jsou charakteristické souborem řídících faktorů a specifickými společenstvy organismů (podrobněji viz kap. Fytobentos moří; obr. 31). Nejvýše je **supralitorální belt**, který je oplachován pouze při bouřích. Následuje oblast mezi hranicí přílivu a odlivu (**eulitorální** = mediolitorální = „inter-tidal“) a pod ním **infralitorální** (sublitorální = „subtidal“) belt. Mediolitorální belt se dělí na horní, střední a dolní. Distribuce organismů v těchto zónách je řízena kromě fenoménu příliv–odliv i typem substrátu, sklonem pobřeží, osvětlením, aktivitou vln a predčním tlakem. Specifickým prostředím jsou rovněž tůňe v přílivové zóně, které jsou odvodňovány pomaleji, nebo dokonce zůstávají stále naplněny vodou.

Fytobentos můžeme dále klasifikovat podle růstových forem. **Rhizobenthos** jsou řasy uchyce-né rhizoidy v substrátu (*Chara* v jezerech, *Halimeda*, *Caulerpa* v moři). **Haptobenthos** přichycený k pevnému podkladu dělíme podle substrátu na **epiliton** (na kamenech), **epifyton** (na makrofytech), **epipelon** (na jemných sedimentech dna), **epipsamon** (na písku). Na kamenitém mořském pobřeží najdeme *Fucus*, zatímco *Rivularia* roste na kamenech potoků a *Stigonema* na vlhkých skálách. Příkladem epifytonu může být *Oedogonium* na stoncích rákosy a *Ectocarpus* na hnědé řase

Fucus. Dále se můžeme setkat s **epizoonem** (na zvířatech). Termín **perifyton** je rovněž hojně užívaný, ale má širší význam. Zahrnuje všechny organismy – producenty, konzumenty i destruenty. V některých biologických disciplínách je používán též pojem biofilm. **Herpobentos** volně migruje vertikálně v substrátu (**endopelon**, **endopsamon**). Do pevného substrátu je schopen proniknout endobentos (**endoliton** – zvláště sinice ve vápencích). Ve slizových obalech řas mohou žít další řasy – **endofyton** (obr. 15). V půdě se setkáváme s **fytoedafonem**, na sněhu a ledu jsou řasy součástí **kryosestonu**.

3.3 Antropogenní vlivy a bioindikace

V důsledku činnosti člověka je většina povrchových vod zatížena organickými látkami (saprobity), živinami (eutrofizace) a v posledních desetiletích toxiny, těžkými kovy a dalšími polutanty. S pojmem saprobní a trofické systémy jsou spojeny osobnosti jako R. Kolkwitz a M. Marsson, u nás pak zejména V. Sládeček, M. Zelinka a P. Marvan (Kubíček 2010). Obecně může být bioindikace založena na druhovém složení společenstva nebo na definovaných autekologických charakteristikách jednotlivých druhů. První přístup využívá indexů diverzity a bohatosti a je postaven na předpokladu, že s rostoucím narušením ekosystému bude klesat diverzita. To ale u řas platit nemusí (Ács et al. 2004). Počet druhů směrem od pramene může stoupat, protože přibývá druhů tolerantních ke znečištění, ale podmínky se ještě nezhoršily natolik, aby vymizely druhy méně odolné. Druhovou bohatost mohou zvýšit i přítoky, mrtvá ramena, přehrady a jiné zdroje v povodí. Dalším způsobem využití bioindikace jsou indexy, vycházející z přesně definovaných ekologických valencí druhů k určitému parametru (živinám, pH). K indexům se vrátíme poté, co si vysvětlíme typy „narušení“ vodních ekosystémů – saprobity, trofie, acidifikace (Lellák, Kubíček 1991).

Saprobity

Saprobity je sumou všech metabolických procesů v rámci bioaktivity vod, které jsou v protikladu k primární produkci a jsou spojeny se ztrátou potenciální energie (Lellák & Kubíček 1991).

Saprobní systémy vycházejí ze změn struktury společenstva toků vlivem organického znečištění. Přítomnost určitých organismů (indikátorů saproby) vypovídá o stupni znečištění daného úseku. Nejčistší vody pramenů a stružek jsou vody xenosaprobní. Charakteristické bioindikátory z řad zoobentosu doprovázejí řasy *Hydrurus*, *Hildenbrandia*, *Lemanea*. Nejméně zatížené vody jsou oligosaprobní, kde trvale převažují oxidační pochody. Oligosaprobní vody zahrnují pstruhové a lipanové pásmo, jako bioindikátory slouží čistobytné rozsivky a *Batrachospermum*. Na tuto fázi navazují mezosaprobní vody. Beta-mezosaprobity představuje přirozené zatížení organickými látkami středních a dolních částí toků. Oxidační pochody ještě převažují, druhová rozmanitost organismů je vysoká. Z řas přibývají rody *Cladophora*, *Phormidium*, *Ulothrix*, *Vaucheria*. V dalším pásmu jsou redukční a oxidační pochody v rovnováze (alfa-mezosaprobní). Z řas jsou zastoupeny rody *Oscillatoria*, *Stigeoclonium*, *Ulothrix*. Polysaprobní fáze představuje nejvyšší zatížení organickými látkami, kyslík je vyčerpán, převládají redukční pochody a bakteriální činnost je intenzivní. Vyskytují se mohutné nárosty bakterií, zejména *Sphaerotilus natans*, z řas se zde můžeme setkat s rody *Euglena*, *Phormidium*, z živočichů s nitěnkami a pakomáry. Druhová bohatost je nízká, biomasa vysoká.

Jedním z ukazatelů stupně znečištění je biologická spotřeba kyslíku (BSK_5), která vyjadřuje spotřebu kyslíku v konstantních podmínkách na rozklad přítomných organických látek (stanovuje se v laboratoři). BSK_5 je v korelaci se saprobitou. Saprobitu lze vypočítat rovněž z vyhodnocení zoobentosu nebo eventuálně z rozsivek. Rozsivky však odrážejí lépe živiny využitelné rostlinami – tedy trofie. Saprobni systémy u nás zdokonalovala a prosazovala v hydrobiologické praxi řada hydrobiologů (např. V. Sládeček, A. Sládečková, M. Zelinka, P. Marvan a další). Šlo o modifikovaný index Pantleho a Bucka (Sládeček et al. 1981, Sládeček & Sládečková 1996). Historický přehled vývoje této hydrobiologické disciplíny shrnul ve sborníku z konference „Říční dno“ Kubiček (2010).

Trofie

Trofie (úživnost) vyjadřuje množství využitelných živin ve vodách. Eutrofizace (zvyšování trofie) představuje zatížení vod živinami (N a P) z plošných i bodových zdrojů znečištění a vyvolává zvýšenou produkci řas a vyšších vodních rostlin. Největším zdrojem dusíku je zemědělství, fosfor pochází hlavně z komunálních odpadních vod. Půda totiž zadržuje fosfor efektivněji než dusík. Zdrojem fosforu jsou mimo jiné detergenty (prací prostředky a saponáty).

Rovněž u trofie rozlišujeme několik stupňů: oligotrofii, mezotrofii, eutrofii a hypertrofii. Pro jednotlivé stupně existují indikátory zejména z řad rozsivek a celá řada systémů pro jejich hodnocení. Aby indikátorový systém v daném ekoregionu odrážel skutečný stav, musí být pro každý ekoregion kalibrován. U nás např. nelze použít systém vytvořený pro alpské toky.

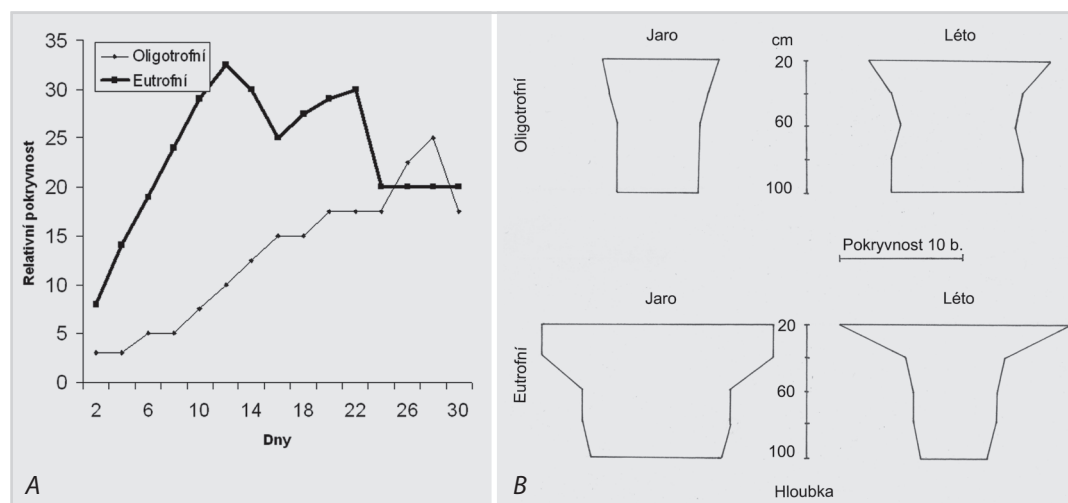
Vliv eutrofizace na ekosystém je v první fázi pozitivní; při mírné eutrofizaci narůstá druhová diverzita, později však dramaticky klesá, až se zvrhne na masový rozvoj několika málo druhů sinic tvořících vodní květ (*Planktothrix*), makroskopických vláknitých řas (*Cladophora*) nebo makrofyt. Sinice dominují v podmínkách dostatku fosforu, protože dusík si mohou fixovat ze vzduchu. Naopak při limitaci fosforem převládá makrofyta nebo metafyton.

Boj proti eutrofizaci zahrnuje omezení externího přísunu živin a kontrolu interních procesů. Kombinace obou je nejúčinnější. Omezení **externích vstupů** znamená odstraňování živin z odpadních vod (terciární čištění), protierozní opatření v povodí, používání detergentů bez fosfátů. Kontrola **interních procesů** zahrnuje: provzdušňování hypolimnia, srážení fosforu a ošetření sedimentů (např. PAX 18 – polyaluminium chlorid, který byl použit na Máchově jezeře, Brněnské přehradě a Plumlově), odstranění dnových sedimentů (rybník Vajgar, Bílá Lhota, Plumlov), regulace makrovegetace (Balaton), využití býložravých ryb (potlačí makrofyta, ale živiny z exkrementů zůstanou v systému a vedou k rozvoji fytoplanktonu nebo vláknitých řas), použití algicidů (CA 350 – směs skalice modré a dusičnanu stříbrného používaná v 60. letech na vodárenských nádržích, např. Fryšták u Zlína), použití cyanofágů atd.

Acidifikace představuje proces okyselování vod vlivem kyselých dešťů způsobených imisí zátěží, ale také např. přirozené okyselení toku protékajícího smrkovými monokulturami. Přirozené procesy, které mají podobné následky (např. sopečná činnost), jsou zanedbatelné v porovnání s antropickými vlivy. Proces acidifikace povrchových vod probíhá postupně ve třech vlnách. V první fázi dochází ještě k neutralizaci vody díky pufrací kapacitě podloží, která se postupně snižuje. První fáze se ještě neprojevuje na biotě. Poklesne-li obsah hydrogenuhličitanů a neutralizace již není dostatečná, pH začíná klesat. Dochází k výkyvům pH, hynutí ryb nebo k poklesu jejich reprodukce.

Druhé stadium acidifikace nastává při pH 5,5. Ve třetí fázi klesá pH na 4,5 a zvyšuje se koncentrace hliníku. Fosfor začíná být limitující, protože je vázaný ve formách nedostupných pro primární produkci. Tím klesá nejen diverzita, ale i produkce fytoplanktonu a zvyšuje se průhlednost, voda je „průzračně čistá“. Rašeliník rychle přerůstá ostatní vegetaci. Z řas se vyskytují zlativky, které si fosfor ukládají do zásoby. Nejvíce byla acidifikací postižena jezera ve Skandinávii. U nás se s ní setkáme na Šumavě, a na Slovensku v Tatrách.

Indikační systémy jsou založeny na hodnocení nárostových společenstev, přičemž je třeba dávat pozor na druh substrátu. Zatímco v eutrofních vodách se bioindikace nárostů na kamelech, rostlinách a sedimentu signifikantně neliší (Kitner et al. 2006), u oligotrofních vod hraje významnou roli (Pouličková et al. 2004). Kameny mohou být zaneseny epipelonom a obsahovat značné množství sedimentovaných schránek planktonních rozsovek. Epipelon trofií nadhodnocuje a epifyton podhodnocuje (Pouličková et al. 2004). Prakticky není možné zvolit jeden přirozený substrát, který by byl přítomen ve všech lokalitách a profilech. V takových případech se doporučuje aplikovat umělé substráty, které exponujeme na lokalitě (dlažební kostky, podložní nebo krycí sklička). I když je umělý substrát selektivní, použijeme-li ho na všech profilech, získáme srovnatelné výsledky. U umělých substrátů dále záleží na hloubce, umístění a době expozice; litorál jezera je úživnější než pelagiál, různá je vertikální distribuce i rychlost sukcese v závislosti na ročním období a eutrofizaci lokality (Kitner et al. 2005, Pouličková et al. 2006; obr. 16).



Obr. 16: Porovnání vývoje a zonace nárostů na umělých substrátech v oligotrofním a eutrofním rybníku. Expozice substrátů *in situ* probíhala na obou lokalitách ve stejném čase a za stejných podmínek: substrát, design experimentu, počasí, teplota, osvětlení a fotoperioda byly stejné.

A. Porovnání vývoje pokryvnosti nárostu v oligotrofních a eutrofních podmínkách.

B. Vertikální zonace řasových nárostů v oligotrofním a eutrofním rybníce. Pokryvnost je udávána v bodech na základě odhadní stupnice. 30 bodů odpovídá komplexně vyvinutému nárostu s třípatrovou strukturou, tj. pokryvnost 300 %. Zatímco na oligotrofní lokalitě jsou nárosty vyvinuty v celém vodním sloupci, na eutrofní lokalitě jsou stíněny fytoplanktonem a jejich rozvoj ve větší hloubce je limitován. Diagram je založen na konkrétních výsledcích z rybníků na střední Moravě (Kitner et al. 2005, Pouličková et al. 2006).

V Evropě byla vyvinuta řada indexů pro hodnocení trofie toků. Komerčně dostupný software OMNIDIA (Lecointe et al. 1993) byl vytvořen pro výpočet těchto indexů (Tab. 1):

Tabulka 1: Přehled nejpoužívanějších indexů pro hodnocení kvality vody v tocích

Index	Země	Autor	Počet taxonů, počet kategorií
SLA „Saprobní index dle Sládečka“	ČR, SR	Sládeček 1986	323
DESCY „Descy’s index“	Francie	Descy 1979–1980	106, 5 tříd
L&M „Leclercq & Maquet index“	Francie, Finsko, Belgie, Luxembursko	Leclercq & Maquet 1987	210, 5 tříd
SHE „Schiefele-Schreiner index“	Německo	Steinberg & Schiefele 1988, modifikovaný Lange- -Bertalot 1979	386, 7 tříd
WAT „Watanabe’s index“		Watanabe et al. 1986	386, 3 třídy
TDI „Trophic Diatom Index“	Velká Británie	Kelly & Whitton 1995 odvozený od Zelinka & Marvan 1961	Většinou na úrovni rodů
GDI „Generic index“	Francie	Rumeau & Coste 1988	Rodová úroveň, 5 tříd
IDAP „Diatom Index Artois-Picardie“	Francie	Prygiel et al. 1996	Zjednodušený IPS, 5 kategorií
IPS „Specific Pollution Sensitivity Index“	Francie	Coste in Cemagref 1982	Většina druhů OMNIDIA, 5 tříd
IBD „Indice Biologique Diatomées“	Francie	Lenoir & Coste 1996	209, 7 tříd
CEE „Descy & Coste index“	Evropa	Descy & Coste 1991	233
SID „Saprobaic index acc. Rott“	Rakousko	Rott et al. 1997	alpské toky
TID „Trophic index acc. Rott“	Rakousko	Rott et al. 1999	alpské toky
EPI-D „Diatom-based Eutrophication/Pollution index“	Itálie	Dell’ Uomo 2004	8 tříd

Databáze programu obsahuje 11 tisíc druhů rozzivek včetně synonymiky a aktualizace jsou dostupné na internetu. Většina indexů je odvozena od původního výpočtu Zelinka & Marvan 1961. Podobně jako OMNIDIA byly vyvinuty i software pro jezera ve Velké Británii (DARLES; Kelly et al. 2006) a v Evropě (DILSTORE; Hajnal et al. 2009).

V bývalém Československu byla vyvinuta unikátní metoda stanovení tzv. **trofického potenciálu** (Marvan et al. 1981). Místo stanovení dostupného nebo celkového množství živin se v testované vodě kultivuje testovací organismus, jehož růstové křivky pro různé kombinace živin jsou

známy. S kalibračními křivkami je pak porovnána růstová křivka v testované vodě a výsledkem je kvalifikovaný odhad potenciální úživnosti dané vody. Z této metody byla J. Lukavským odvozena i minituarizace stanovení v mikrotitračních destičkách (TNV 75 7741).

Ostatní bioindikace

Řasy mohou indikovat celou řadu charakteristik vodního prostředí (Tab. 2). Kromě již zmíněné indikace trofie (*Microcystis*, *Stephanodiscus*) a organického znečištění (*Euglena*) je důležitou charakteristikou vod pH. V kyselých vodách potkáme nejčastěji rozsivky rodu *Eunotia*, *Frustulia*, *Pinnularia*, *Tabellaria* dále zlativky *Synura*, *Dinobryon*, krásivky *Micrasterias*, *Xanthidium*, *Euastrum*

Tabulka 2: Příklady bioindikátorů vybraných charakteristik prostředí

Charakteristika/ Kategorie	Skupina řas	Rod/druh	Poznámka
pH/dystrofie, kyselé vody	rozsivky, krásivky, zlativky, výjimečně některé sinice	<i>Eunotia</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Micrasterias</i> , <i>Xanthidium</i> , <i>Euastrum</i> , <i>Synura sphagnicola</i> , <i>Dinobryon pediforme</i> , <i>Euglena acus</i> , <i>E. mutabilis</i> , <i>Chroococcus</i> <i>turgidus</i>	rašeliniště, „soft waters“
pH/acidifikace	zlativky, rozsivky	<i>Synura</i> , <i>Mallomonas</i> , <i>Eunotia</i>	Skandinávie, tatranská plesa, šumavská jezera
pH/alkalické	sinice	<i>Petalonema</i>	„hard waters“
živiny/oligotrofie	rozsivky, ruduchy, zlativky	<i>Aulacoseira</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Hildenbrandia</i> , <i>Lemanea</i> , <i>Batrachospermum</i> , <i>Mallomonas</i> , <i>Hydrurus</i>	
živiny/mezotrofie	rozsivky, obrněnky, sinice	<i>Asterionella</i> , <i>Ceratium</i> , <i>Peridinium</i> , <i>Aphanizomenon</i>	
živiny/eutrofie	rozsivky, sinice, zelené řasy	<i>Stephanodiscus</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Cladophora</i>	
živiny/hypertrofie	sinice	<i>Planktothrix</i>	
organické znečištění	krásnoočka	<i>Euglena</i> , <i>Phacus</i>	návesní rybníky, ptačí kolonie
železo, mangan	krásnoočka, železité bakterie	<i>Trachelomonas</i> , <i>Galionella</i>	
sirovodík	siřné bakterie, sinice	<i>Thiobacterium</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Oscillatoria</i>	
salinita	sinice, zelené řasy	<i>Nodularia</i> , <i>Enteromorpha</i> , <i>Dunaliella</i>	
teplomilné	sinice	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	invazní?
termální	sinice	<i>Mastigocladus laminosus</i> , <i>Phormidium</i> <i>laminosum</i>	

(obr. 32, 35), z krásnooček *Euglena acus*, *E. mutabilis*. Sinice se kyselému prostředí vyhýbají, kyselo-milných je jen několik málo druhů, např. *Chroococcus turgidus*. V neutrálních a zásaditých vodách je naopak sinic celá škála. K alkalifilním sinicím řadíme např. rod *Petalonema*. Za indikátor globálního oteplování se považuje invazně se šířící teplomilná sinice *Cylindrospermopsis raciborskii*, i když názory na to nejsou jednotné (Kaštovský et al. 2010, Briand et al. 2004). Železo indukují řasy, které inkrustují železem (*Trachelomonas*); ve vodách s obsahem sirovodíku žijí bakterie *Thiobacterium*, *Beggiatoa*. Za indikátor salinity je možno považovat slanomilné sinice a řasy *Nodularia*, *Enteromorpha*, *Dunaliella*.

Samočištění

Přírodní vodní systémy jsou schopny do jisté míry přisun znečištění zvládat. Tomuto procesu říkáme samočištění. Na samočištění se podílí procesy fyzikální, chemické a biologické. Z fyzikálních pochodů je to ředění, míchání, vyluhování, sedimentace, fragmentace, odnos. Z chemických dějů je to oxidace, fotochemický rozklad, neutralizace, koagulace. Biologické děje pak zahrnují aerobní nebo anaerobní rozklad bílkovin, tuků a polysacharidů. Konečné produkty rozkladu vzniklé činností destruentů se stávají součástí sedimentů, unikají do atmosféry nebo se rozpouštějí ve vodě. Živiny (N a P) pak využijí producenti – sinice, řasy a makrofyta. Řasy mají navíc schopnost akumulovat další látky – toxiny a těžké kovy ve svých stélkách. Stejný princip je de facto využíván v čističkách odpadních vod (biofilm) v technologii zkrápěných filtrů a rovněž v terciárním stupni čištění vod (akumulační rybníky, kořenové čistírny).

4 Metody studia sinic a řas

4.1 Metody studia fytoplanktonu

V zásadě existují dvě fáze studia fytoplanktonu, odběr vzorků v přírodě a jejich zpracování v laboratoři.

V terénu můžeme přenosnými přístroji měřit některé důležité faktory jako koncentraci kyslíku, pH, průhlednost, teplotu, konduktivitu. Zejména **kyslík a pH** se mění během dne v důsledku fotosyntézy a nejvyšších hodnot dosahuje obvykle kolem poledne nebo po poledni. Proto je nutné vždy uvádět denní dobu měření a pro srovnatelnost měřit na téže lokalitě vždy ve stejnou dobu. Kyslík se musí měřit přímo v nádrži s použitím elektrody s dlouhým kabelem, nebo odběr na měření provést tak, aby při odběru nedošlo k druhotnému okysličení (bez bublin). Velmi jednoduché je měření **průhlednosti**, a přitom má relativně vysokou vypovídací hodnotu. Udává v podstatě množství fytoplanktonu, protože čím více částic je rozptýleno ve vodním sloupci, tím je průhlednost vody menší. Nelze se na ni spolehnout v těžených lomech nebo po dešti, protože je průhlednost vody snížena anorganickým zákalem. Průhlednost může dosahovat v čistých horských jezerech několika metrů, v hypertrofním rybníku několika cm. Průhlednost měříme Secchiho kotoučem, který si snadno vyrobíme doma. Je to plechový nebo plastový kotouč o průměru 25 cm rozdělený na čtvrtiny střídavě natřené na bílo a na černo. Aby se kotouč ponořoval, musí být zespodu zatížen olůvkem a přichycen na „kalibrovanou“ šňůru. Kalibraci je třeba provést po 10 cm s výraznými značkami po půl metru a po metru. Pro analýzu dalších charakteristik je nutné odebrat vzorek vody a zpracovat ho v laboratoři (**živiny, chlorofyl a**).

Získání fytoplanktonu samotného je komplikováno jeho prostorovou distribucí. V kompletně promíchané suspenzi by každý vzorek byl reprezentativní, taková situace však v přírodě prakticky nemůže nastat. V mělkých vodách můžeme odebrat „výřez“ vodního sloupce pomocí trubky (cca 1 m dlouhé o průměru 5 cm). Ponoříme ji svisle a horní konec utěsníme zátkou. Sloupec vody vytáhneme a vypustíme do nádoby, kde se promíchá a z promíchaného obsahu odebereme do lahvičky reprezentativní vzorek. V hlubších vodách musíme použít sérii odběrů z různé hloubky (např. po půl metru) pomocí **Mayerovy lahve** či některého z řady hloubkových odběráků (Hindák ed. 1978). Mayerovu lahev si můžeme rovněž vyrobit doma. Zazátkovavou, zatíženou lahev spustíme svisle na provaze do patřičné hloubky a tam otevřeme s pomocí druhého provazu, kterým je ovládána zátká. Hloubkové odběráky jsou na výrobu složitější a pracují na opačném principu, otevřený válec se v patřičné hloubce příslušným mechanismem (škrtnutím, závažím) zaklapne a vodu z hloubky vytáhneme.

Pokud nám jde jen o určitou frakci fytoplanktonu, můžeme k odběru použít **planktonní síť**, tak lze odebrat různě velké frakce fytoplanktonu, podle velikosti ok planktonní sítě. V rybníku se silným rozvojem fytoplanktonu používáme sítku s velikostí ok 100 μm , hustší by se hned ucpala. V čistých vodách můžeme použít i sítku 10 μm a získat drobnější druhy. Takový odběr ovšem není vhodný pro studium celkové diverzity (unikají druhy < 10 μm) nebo kvantitativní odběr společenstva planktonu. Může se hodit při zaměření na určitou omezenou skupinu rodů či druhů (dle velikosti).

Většina odběrových technik umožňuje stanovení počtu nebo koncentrace na jednotku objemu. K porovnání suchozemských a vodních ekosystémů by mohlo být užitečné získání dat o biomase na jednotku plochy, tzv. pokrytí, což je u řas problém jak u planktonu, tak u bentosu.

S výjimkou odběru planktonní sítí, kde získáváme zahuštěný vzorek, musíme vzorky vody dodatečně zahustit v laboratoři. Nejlepší metodou je **sedimentace** planktonu fixovaného Lugolovým roztokem v sedimentačních komůrkách o známém objemu a ploše dna (Utermöhlůva metoda). Všechny organismy (i sinice, kterým po fixaci kolabují aerotopy) z daného objemu se rovnoměrně usadí na dně, kde mohou být spočítány v inverzním mikroskopu. **Filtrace** přes membránové filtry může poškodit některé citlivé bičíkovce. Při počítání je třeba filtr projasnit glycerinem. **Centrifugace** při 1500 otáčkách za minutu je jednoduchá, je třeba dávat pozor na bičíkovce, např. skrytěnky (800 otáček za minutu), a v případě přítomnosti sinic s aerotopy vzorek fixovat. Při odebrání podvzorku se vzorek musí vždy promíchat, protože různé planktonní druhy mají různou tendenci sedimentovat. Rozsivky klesají nejdříve, bičíkovci obvykle migrují v lahvi a sinice se usadí na hladině (obr. 12). Živý vzorek uchováváme v chladu a musíme ho zpracovat co nejrychleji po odběru (maximálně do 24–48 hodin podle charakteru vzorku), protože řasy se dělí, predátoři je konzumují a citlivé druhy hynou. Pokud nemůžeme tuto podmínku splnit, raději vzorky fixujeme Lugolovým roztokem.

Kvantitativní charakteristiky fytoplanktonu lze vyjádřit jako **abundanci** (počet), **objem** (biovolume), hmotnost **sušiny**, bezpopelovou sušinu, koncentraci **chlorofylu a**, obsah organického C v biomase a energetický obsah. Počítání buněk je jedna z nejstarších metod kvantifikace fytoplanktonu. Aby bylo možné výsledky porovnávat, je třeba přesně specifikovat, zda byli počítáni jedinci nebo buňky (*Scenedesmus*, *Pediastrum*). U některých řas buňky v kolonii jednoduše spočítat nelze (*Microcystis*), akreditované laboratoře je desintegrují ultrazvukem, protože při kontrole rekreačních vod musí uvádět počty buněk. V ekologických studiích se počty buněk v koloniích a vláknech nezjišťují. Stanoví se tzv. jednotková kolonie/vlákno, např. kolonie 100 μm velká.

Čísla, která získáme počítáním jedinců, neříkají nic o biomase. Podíl 1 krásivky o délce 100 μm bude určitě větší než v případě 10 $\times$ menší rozsivky. Proto se v precizních studiích počítá s objemem (biovolume). U každé řasy se přibližně spočítá průměrný objem, pomocí kombinace geometrických těles jako koule, válec, kužel. Hodnoty průměrných objemů jsou dostupné v literatuře (Hillebrand et al. 1999). Průměrný objem řasy se pak násobí počtem jedinců.

Abundanci fytoplanktonu můžeme počítat v **sedimentační komůrce** (Utermöhlůva metoda). Tato metoda je i přes některé nedostatky uznávaná jako standardní metoda hodnocení kvantity fytoplanktonu (Rott et al. 2007). Principem je sedimentace všech přítomných řas ze známého objemu na známou plochu. Spočítáme jedince na známé ploše a přepočítáme na objem a poté na jednotku objemu (1 ml). Suspenze musí být fixována Lugolovým roztokem a sedimentace musí probíhat rovnoměrně na pevném stole (nejlépe přes noc). K počítání je nutný inverzní mikroskop. Dále lze buňky počítat na **membránovém filtru**, případně v **krevních komůrkách** a jejich modifikacích (Bürkerova, Bürker-Türkova, Cyrusova, Vošahlíkova komůrka). Pro počítání v těchto komůrkách se vzorek zahušťuje centrifugací a chyba metody je větší než v případě obecně uznávané Utermöhlůvy metody. Komůrka je podložní sklo s vyrytou čtvercovou sítí 12 $\times$ 12 čtverců. Počítá se buď celá komůrka, nebo tolik celých pásů, abychom získali požadovaný počet jedinců (N ; obvykle se pro statistické vyhodnocení požaduje 400 jedinců). Zapišeme si počet pásů (p),

na kterých jsme počítali, a poměr zahuštění (z). Počítáme ty jedince, kteří leží celí ve vyznačené zóně, a ty kteří přesahují vlevo. Jedinci, kteří přesahují vpravo, budou započítáni do druhého pásu. Počet organismů v 1 ml pak vypočítáme podle vzorce (platí pro Bürkerovu komůrku)

$$\frac{N \cdot 1000}{0,075 \cdot p \cdot z}$$

Jestliže jsme centrifugovali 10 ml vzorku na 0,2 ml, pak je zahuštění 50x. Výsledek se zaokrouhluje na desítky. Z abundancí je možné vypočítat důležité charakteristiky, jako index diverzity, druhovou bohatost atd. Při rutinních analýzách pitné vody je nutné počítání živých buněk, ty se počítají ve fluorescenčním mikroskopu (chloroplast září červeně).

Velmi malé řasy (ultraplankton či pikoplankton) jsou pro přímé počítání v mikroskopu nevhodné. V takovém případě sáhneme po bakteriologických metodách, vzorek rozetřeme na agarovou půdu a po několikadenní inkubaci spočítáme narostlé kolonie. V oceánografii se místo abundancie používá stanovení specifických látek pro jednotlivé skupiny pikoplanktonu (pigmentů, toxinů), případně průtokové cytometrie.

Pomocným měřením, zejména v kultivacích, je **optická hustota**. Principem je měření „zákalu“, tedy absorbance suspenze při 750 nm. Měření je možné v serologických destičkách na automatickém readeru. Stanovení **sušiny** je rovněž jednoduché, provádí se na filtru nebo v centrifugační zkumavce. Určitý objem vzorku se přefiltruje přes předsušený, předem zvážený filtr, opět se suší v sušárně (105 °C) a opět zváží. Od celkové hmotnosti odečteme hmotnost filtru. Totéž lze provádět ve zkumavce. Pokud předchozí produkt dále spálíme v peci při 400 °C a odečteme váhu sušiny, získáme **bezpopelovou sušinu**. U řas bez schránek se jen málo liší od sušiny, u rozsivek činí popeloviny až 55 %. Lze ji kalibrovat s obsahem organického uhlíku. **Koncentrace chlorofylu a** je jediná metoda, při které si můžeme být jisti, že stanovujeme pouze sinice a řasy (fotoautotrofní organismy). Chlorofyl a obsahují všechny skupiny řas, včetně prokaryotických sinic. Metoda není náročná, vzorek se přefiltruje přes GFC filtr, pigmenty se extrahují ve směsi alkoholů a měření se provádí na spektrofotometru. Výsledek se přepočte a zkoriguje dle přesné metodiky (Vernon 1960). Problematická je tato metoda u nárostů, zejména pro obtížnou homogenizaci vzorku a stanovením plochy, z níž nárost pochází. Obsah **organického uhlíku** se měří spálením vzorku v kyslíkém prostředí a změřením objemu uvolněného CO₂ v analyzátoru. Koloběh uhlíku je těsně svázán s fotosyntézou, tudíž takové údaje vypovídají o produkci.

Řasy, které mají schránky, šupiny či pevné buněčné stěny (rozsivky, zlativky, *Pediastrum*), jsou zachovány v sedimentech jezer a využívají se v **paleolimnologii** pro zjištění subrecentní flóry a vývoje eutrofizace, acidifikace nebo globálního oteplování. V sedimentech lze stanovovat i pigmenty, celkový dusík, celkový fosfor a další parametry.

4.2 Metody studia fyto bentosu

Podobně jako u planktonu jde o odběr a mikroskopické hodnocení vzorků řas. Odběr epiliptonu se provádí seškrabáním nárostů z kamenů skalpelem (ze skalní stěny v jeskyni do malých PE sáček, uchovávat lze v mrazáku) nebo zubním kartáčkem (z kamenů vytažených z potoka do PE lahvičky se širokým hrdlem, fixuje se formaldehydem). Reprezentativní vzorek z toku tvoří směs nárostu z 5 různě velkých kamenů odebraných na příčném profilu toku z míst o různé síle

proudu. Většinou se hodnotí semikvantitativně. Pro kvantitativní odběr by bylo třeba znát přesně plochu, z níž byl nárost seškrábán, což se u hrbolatých kamenů obtížně stanovuje (doporučuje se zabalit kámen do alobalu a pak změřit jeho plochu). Pro kvantitativní účely se však osvědčily spíše umělé nebo polopřirozené substráty exponované v toku. Např. zabroušený kámen, nebo podložní či krycí mikroskopické sklíčko. Tyto typy substrátů však mohou hostit mírně odlišné společenstvo; zejména sklo není pro některé řasy kolonizovatelný substrát. Celkově lze říci, že signifikantní rozdíly mezi substráty je možno očekávat jen v oligotrofních vodách a pokud použijeme při monitoringu vždy stejný substrát, můžeme výsledky porovnávat. Epifyton se obvykle odebírá i s celým substrátem. Makrofyta (ponořené stonky rákosu, celé rostlinky submerzních rostlin) se uloží do mikrotenového sáčku, pomnou v ruce a nárosty uvolněné do vody v sáčku se podrobí mikroskopické semikvantitativní analýze. Stonky rákosu můžeme oškrabat rovněž skalpelem. I zde jde o semikvantitativní hodnocení, protože stanovit plochu rostliny je opět obtížné (např. u *Fontinalis*). Epifytické řasy z mechorostů získáme ždímáním nebo důkladným vypráním v širokohrdlé vzorkovnici. Epipelon se odebírá odsátím vrchní oživené vrstvičky bahna trubičkou opatřenou balónekem, pipetou nebo delší trubicí s využitím kapilárního efektu. Odebrané bahno se nechá usadit v nádobě, nadbytečná voda se odsaje a na povrch bahna se umístí krycí sklíčko. Exponuje se několik hodin na světle, takže pohyblivé „pravé“ epipelické řasy fototaxí migrují na povrch a přichytí se na krycím sklíčku, kde je možné je přímo pozorovat (Pouličková et al. 2008). Pokud je třeba bentos kvantifikovat, přistupuje se obvykle k odhadování pokryvnosti. Příkladem může být následující odhadní stupnice (+ ojedinělý do 0,1 %, 1 velmi řídký do 1 %, 2 řídký 1–5 %, 3 dosti hojný 5–20 %, 4 hojný 20–50 %, 5 velmi hojný 50–90 %, 6 masový 90–100 %; Hindák ed. 1978.)

Studium půdních řas je komplikované a nelze použít přímé pozorování vzorků. Kultivace přináší zkreslené výsledky, závislé na kultivačním médiu a podmínkách. Proto je nutné kombinovat více přístupů. Většina půdních řas jsou malé zelené kuličky, pro jejichž identifikaci je kultivace nezbytná, protože je nutná znalost životního cyklu, rozmnožování a variability. Vhodnější je kultivace na agaru, tekutá média se pro půdní řasy neosvědčila. Metoda krycích skel, podobně jako u epipelonu, je rovněž použitelná, zejména pro rozsivky a sinice.

V bentosu obvykle dominují rozsivky. Z nich se v laboratoři připravují trvalé preparáty. Rozsivky nejdříve mineralizujeme ve směsi koncentrovaných kyselin, nebo v 30 % peroxidu vodíku (Hindák ed. 1978, Houk 2003). Čisté schránky rozsivek zaléváme do pryskyřice Pleurax, nebo Naphrax. V trvalých preparátech pak hodnotíme procentuální zastoupení druhů počítáním 400 jedinců.

Pro monitoring toků se doporučují nárosty na kamenech a existuje několik indikačních systémů na jejich hodnocení (Tabulka 1). Pro naše podmínky lze doporučit Van Dam et al. (1994). Podrobně o problematice pojednává kapitola o trofi.

4.3 Speciální metody v algologii

4.3.1 Preparace a fixace

Obecně lze říci že nejlepší je studovat řasy za živa. Výjimku tvoří řasy, jejichž určení do druhu není v živém vzorku možné. Rozsivky lze spolehlivě identifikovat podle schránek v trvalých preparátech, případně s použitím elektronové mikroskopie. Podobně zlativky identifikujeme podle jejich šupin (*Mallomonas*). V živém vzorku však získáme přehled o jejich zastoupení vzhledem

k ostatním řasám a informaci o jejich vitalitě. Pokud vzorky nemůžeme zpracovat do 24 hodin, je třeba je nafixovat. Řasy fixujeme formaldehydem na výslednou koncentraci cca 2 %. To je vhodné pro nárosty, krásivky, rozsivky. S takto fixovanými vzorky musíme pracovat v digestoři a nesmíme je skladovat v laboratoři, protože formaldehyd škodí lidskému zdraví.

Lugolův roztok je vhodný pro fixaci planktonu, sinic, barví škrob a hodí se pro orientační rozlišení zelených řas a různobrvěk. Fixuje se na barvu čaje, pouze ve skleněných vzorkovnicích. Plastové lahvičky se zbarví do hněda a jod rychletéká. Jeho výpary silně korodují kovové předměty, proto se vzorky s Lugolem nesmí skladovat v místnostech s jemnými přístroji s kovovými součástkami (mikroskopy, fotoaparáty). Líh není vhodnou fixací, v nouzi ho ale lze použít na rozsivky.

Běžně pozorujeme řasy v kapce vody z lokality nebo v kultivačním médiu pod krycím sklíčkem. Destilovaná voda naruší osmotické rovnováhy a zničí buňky. Základem algologické práce je kvalitní preparát. Preparát musí být tenký, vody nesmí být málo ani moc. Voda se z preparátu rychle odpařuje. Trvanlivost nativního preparátu prodloužíme orámováním (vazelinou nebo lakem na nehty), které zabrání odpařování. Pohyblivé řasy (bičíkovce) můžeme omezit v pohybu několika vlákny vaty.

Slizové obaly často nejsou viditelné bez barvení. Nejjednodušší je vizualizace slizu pomocí tuše. V tušovém preparátu mají řasy se slizem „svatozář“ (částičky tuše proniknou v preparátu všude, kromě slizových obalů). Sliz lze obarvit genciánovou violetí nebo methylenovou modří.

Klasické cytologické studie používají barvení jader. Pokud máme fluorescenční mikroskop, můžeme řasy fixovat glutaraldehydem a barvit DAPI. Poté pozorujeme jádra ve fluorescenci. Nemáme-li toto zařízení, můžeme použít starší metodu barvení acetokarmínem. Barvení acetokarmínem předpokládá alkohol-octovou fixaci. Kapku fixovaného vzorku nanese na podložní sklo, odsajeme fixaci a zakápneme acetokarmínem. Zakryjeme krycím sklíčkem a zahříváme nad lihovým kahanem, správnou teplotu hlídáme občasným položením na hřbet ruky (nesmí nás pálit). Po uzavření v Euparalu je možné takový preparát uchovávat desítky let.

Reakce na škrob (barvení jodem) je důležitá při odlišení zelených řas od různobrvěk. Můžeme použít Lugolův roztok, i když výsledek není vždy jednoznačný. Lugolův roztok barví rovněž bičíky.

Tukové krůpěje se barví červeně v etanolickém roztoku Sudanu III. Barvíme fixovaný, osušený vzorek na podložním skle.

Zlativky s křemitými šupinami vysušíme na krycím sklíčku a přilepíme k podložnímu izolepou. Šupiny pozorujeme pod imerzí. Podobně se připravují vzorky pro SEM, ale na speciálních nosičích, kde se ještě pokryjí vrstvou zlata nebo platiny.

Rosivky určujeme v trvalých preparátech. Principem je vyčištění schránek rozsivek od organické hmoty a zalití do pryskyřice s indexem lomu optimálním pro pozorování křemičitých schránek. Dříve hojně používaná pryskyřice Pleurax, jejíž příprava je popsána v literatuře (Hindák ed. 1978), je v poslední době nahrazována komerčně dostupným médiem Naphrax (dodává MANE-KO, s. r. o., Praha). Čisté schránky můžeme získat „suchou“ nebo „mokrou cestou“. Vzorky z vod extrémně bohatých na uhličitany vápenaté je třeba ošetřit 10 % HCl. Poté se zbavíme organických látek. **Suchá cesta** – žíhání na krycím sklíčku v peci nebo na síťce. Výsledný preparát není moc kvalitní, není vidět strie, lze měřit velikost buněk. Přímo **na sklíčku** (podložním nebo krycím) lze použít rovněž metodu oxidace peroxidem vodíku. 30% peroxid vodíku se 3× kápne a odpaří nad

kahanem nebo na sklokeramické desce. Lepší manipulace je s podložním sklem, ale na krycím skle jsou pak rozsivky blíže k pozorovateli a v mikroskopu lépe viditelné. Poté se kápne pryskyřice (Naphrax, Pleurax) a kapka se překryje druhým sklíčkem. Rozsivky po odpaření rozpouštědla zůstanou uzavřeny mezi podložní a krycí sklíčko. **Mokrý cesta** je zdoluhavější, ale preparáty jsou velmi kvalitní, vhodné k fotografování. Jde o oxidaci v kyselinách a probíhá v Erlenmayerově baňce v digestoři. Vaříme vzorek s koncentrovanou kyselinou sírovou a dusičnou. Směs nejdříve zhnědne a produkuje hnědé páry, po hodině varu se opět odbarví. Nechá se zchladnout a pak se pročistí destilovanou vodou. POZOR! Porušujeme tu zásadu „nikdy nelít vodu do kyseliny“. Voda do kyseliny se musí dávkovat stříčkou po stěně baňky a po malých dávkách, mezi dávkami krouživými pohyby promíchávat. Při práci používáme ochranný štít, rukavice a zástěru proti kyselinám. Sedimentace mezi jednotlivými pročistěními (cca 10×) musí být nejméně 12 hodin. Přiměřeně hustá suspenze čistých schránek rozsivek se kápne na krycí sklíčko a zaleje opět do pryskyřice. Rozsivky mineralizované mokrou cestou lze použít i pro SEM (skenovací elektronovou mikroskopii). Stačí kápnout na nosič, vysušit a pokovit platinou nebo zlatem.

Ostatní řasy kromě rozsivek (Američané je nazývají „soft algae“) můžeme preparovat glycerol želatinou (Křisa & Prášil 1994). Kanadský balzám není pro řasy vhodný. Aby byly preparáty kontrastní, řasy se musí barvit. Nejčastěji používáme zelený alizarinviridin, červený safranin, žlutohnědý chrysoidin. Barvitelnost závisí na fixačním médiu, nejlepší jsou fixáže na bázi formaldehydu.

Fixované řasy přeneseme do 1% roztoku barviva. Mírně přebarvené řasy opláchneme 1% vodným roztokem glycerolu a dále prosycujeme v malé Petriho misce v 2,5 % glycerolu (v termostatu při 30 °C). Po dvou dnech kontrolujeme. Je-li glycerol dost hustý, připravíme preparáty. V termostatu nahřejeme podložní skla na 50 °C. Doprostřed dáme kapku materiálu s co nejmenším množstvím glycerolu. Pak přikápneme roztavenou glycerolovou želatinu. Preparační jehlou opravíme rozložení řas a přiklopíme krycím sklem. Vypudíme přebytečnou želatinu a bubliny a necháme v teple. Za 2–3 hod. vyjmeme, necháme ztuhnout a odstraníme vyteklou želatinu. Okraje sklíčka musí být čisté (použijeme špejli s vatovým tamponem namočeným v lihu). Preparát orámujeme např. silikonovým sanitárním tmelem (Pouličková, nepublikováno).

Uchovávat můžeme i makroskopické řasy podobně jako herbářové položky rostlin. Krátkodobě je fixujeme 2% formaldehydem, rozložíme na kvalitní rýsovací karton, uložíme do obálky. Kalcifikované stélky opláchneme ve sladké vodě a sušíme ve stínu. Stélky chaluhy (*Laminaria*, *Fucus*) oplachujeme několikrát ve sladké vodě a do poslední přidáme formaldehyd. Stélky zabalíme do gázy a přeneseme do laboratoře. Tam stélky znovu namočíme, prosytíme směsí: 30 dílů glycerinu, 30 dílů alkoholu, 10 dílů fenolu a 30 dílů vody. Směs nanášíme na stélky houbou (v rukavicích). Necháme uschnout na podložce, ke které se nepřilepí, přes ně položíme voskový papír a mírně zatížíme.

4.3.2 Kultivace řas

Většina kultivačních metod a médií, která dnes používáme, byla vyvinuta koncem 19. a počátkem 20. století. Veškeré techniky i historii kultivace řas shrnuje Andersen (2005). Zakladatelem kultivace mikroorganismů byl L. Pasteur a řasové kultury jsou spojeny se jmény R. Chodat,

E. G. Pringsheim, H. Ch. Bold, S. P. Chu. První, kdo pěstoval řasu v laboratoři, byl bakteriolog německého původu Cohn. Jeho *Haematococcus* nebyl izolován od ostatních řas a nebylo použito kultivační médium, šlo o tzv. „room culture“ (vzorek v průhledné nádobě na okně). První kultivační médium vyvinul fyziolog Famintzin z Petrohradu. Použil jednoduchý roztok několika minerálních solí, z něhož byl později odvozen Knopův roztok používaný u vyšších rostlin. Čisté kultury (axenické) získal poprvé Beijerinck, který kombinoval roztok solí s želatinou. Izoloval z přírody řasy *Scenedesmus*, *Chlorella* a endosymbionta z nezmara (zoochlorellu). Naegeli objevil toxický účinek mědi na řasy a zavedl test toxicity na řase *Spirogyra*. Klebs použil poprvé agar, protože želatinu bakterie rozkládaly.

Zakladatel první české sbírky V. Uhlíř použil jako jeden z prvních půdní dekokt a umělé osvětlení kultur. Padl v 1. světové válce a jeho sbírka zanikla. Současně však na německé části Karlovy Univerzity v Praze založil sbírku řas E. G. Pringsheim. Její části se staly základem mnoha světových sbírek. Pringsheim založil i sbírky v Cambridge a Göttingen. Původní pražská Pringsheimova sbírka byla částečně sloučena s treboňskou sbírkou. Sbírký se sdružují do Světové federace sbírek mikroorganismů (cca 620 sbírek), z našich sbírek jsou členy Federace sbírka na UK Praha (CAUP) a AV ČR v Třeboni (CCALA). Ze světových sbírek jsou nejznámější SAG v Göttingen, UTEX v Texasu, CCAP Cambridge. Sbírka sinic a řas na Katedře botaniky PřF UP v Olomouci je součástí Národní sbírky hospodářsky významných mikroorganismů Ministerstva zemědělství.

Rozlišujeme následující typy kultur: 1. **čistou kulturu – axenickou** – obsahuje jediný druh řasy bez jiných organismů, důležité pro molekulární analýzy. Pro přípravu axenických kultur je často zapotřebí zdlouhavé purifikace a reizolace. K antibiotikům přistupujeme jen v nouzi (mohou způsobit mutace); 2. **„unialgal“ – jednodruhovou** kulturu – obsahuje jediný druh řasy s jinými organismy (bakterie, plísně); 3. **Klonová kultura** – potomstvo jediné řasové buňky.

Rozlišujeme kultivaci na **tekutých, pevných** (agarových) a **bifazických** půdách (u bifázy je pevnou fází sterilní zemina, zrno hrachu, obilka, ementál). Na bifázích rostou dobře mixotrofové (*Euglena*). Většina sinic a řas roste na médiu Zahnder (Z), zelené řasy se pěstují na Bristol-Bold medium (BBM), rozsivky na médiu s křemíkem (WC). Složení médií lze porovnat v Tabulce 3 a můžeme je najít na internetu (CCALA, CAUP) či v literatuře (Andersen 2005). Pokud se snažíme vyizolovat řasu, pro kterou nenajdeme speciální médium, začínáme od vysterilizované vody z lokality. Když ji udržíme, pak můžeme zkoušet jednotlivá média. Pevné půdy se připravují z živného roztoku přidáním 1–2 % agaru. U udržovacích kultur (sbírkových) je žádoucí minimální růst, aby se nemusely pasážovat často. U experimentálních kultivací záleží na účelu kultury.

Stacionární „batch“ kultury jsou takové, kde suspenze roste v uzavřeném prostoru bez výměny média. Uzavřenost systému způsobí postupné vyčerpání živin a nahromadění zplodin. Nárůst abundance řas zapříčiní limitaci světlem (samozastínění buněk). Množení buněk v uzavřeném systému prochází charakteristickými fázemi růstu (obr. 11). Sled fází je vyjádřen růstovou křivkou (lag fáze, fáze exponenciálního růstu, lineárního růstu, stacionární fáze). Rozlišujeme dva tvary růstové křivky „J“ a „S“. Křivka „J“ je charakteristická pro limitované kultury. Populace narůstá exponenciálně až k hranici dané vyčerpáním limitujícího zdroje, potom se růst zastaví. „S“ křivka je kombinací exponenciálního růstu a současně plynule nastupujícího brzdícího faktoru až k dosažení nosné kapacity prostředí, kdy omezující faktor převládá a růst se pozvolna zastaví. Růst kultur můžeme hodnotit počtem buněk, sušinou, optickou hustotou.

Kontinuální kultivace probíhá ve speciálních systémech (chemostatech a turbidostatech), umožňujících kontinuální doplňování média a odvod zplodin a produktu. Semikontinuální kultivace spočívá v dávkování média v pravidelných časových odstupech.

Mezi základní potřeby pro kultivaci řas patří zásobní roztoky minerálních solí připravené z kvalitních chemikálií (p.a.) a kvalitní destilované vody. Média obvykle obsahují makro-, mikroelementy (případně půdní výluh, který ale nelze definovat a reprodukovat) a vitamíny. Z dalších pomůcek jsou potřebné pH metr, sterilní sklo, plast (zkumavky, Petriho misky, kultivační nádoby, pipety atd.), autokláv, agar. Agar se rozpouští se při 80–100 °C, tuhne při 35–50 °C.

Tabulka 3. Příklady složení média pro zelené řasy a sinice (BBM, Z), roztivky a zlativky (WC).

	BBM		WC		Z	
	g/zás. roz.	ml/l media	g/zás. roz.	ml/l media	g/zás. roz.	ml/l media
NaNO ₃	25	10	85,01	1	46,7	10
CaCl · 2H ₂ O	2,5	10	36,76	1	–	–
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	–	–			5,9	10
MgSO ₄ · 7H ₂ O	7,5	10	36,97	1	2,5	10
K ₂ HPO ₄	7,5	10	8,71	1	3,1	10
KH ₂ PO ₄	17,5	10	–	–	–	–
NaCl	2,5	10	–	–	–	–
NaHCO ₃	–	–	12,6	1	–	–
Na ₂ CO ₃	–	–	–	–	2,1	10
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	–	–	28,42	1	–	–
EDTA+KOH	50+31	1	–	–	–	–
FeSO ₄ · 7H ₂ O, v H ₂ SO ₄	4,98	1	–	–	–	–
Fe ³⁺ v EDTA	–	–	–	–		10
H ₃ BO ₃	11,42	1	–	–	–	–
Stopové prvky	*	1	*	1	–	–
Vitamíny	–	–	*	1	*	0,08

* složení viz <http://www.butbn.cas.cz/ccala/index.php>

Roztok namícháme ve velké láhvi a vybalancujeme pH. Pro kultivaci v tekutých médiích naplníme roztokem zkumavky, Erlenmayerovy baňky nebo zásobní lahve, zazátkujeme buničinou (u závitových autoklavovatelných zásobních lahví povolit o 2 závitů a přichytit sterilizační páskou) a sterilizujeme. Vitamíny se přidávají až po sterilizaci, degradovaly by vysokou teplotou. Pro pevné půdy přidáme 1,5–2 % agar do zásobní lahve s roztokem před jeho sterilizací. Rozléváme do Petriho misek v laminárním boxu (zapnout 10 minut před použitím, otřít lihem) ještě

za horka. Zkumavky s pevnou půdou necháme utuhnout v šikmé poloze. Očkovací kličky sterilizujeme nad plamenem (plynový nebo lihový kahan), pro pasážování suspenzí máme připraveny sterilní pipety a hokejky.

Skleněné pomůcky můžeme sterilizovat suchým teplem v sušárně (nejméně 1 hodinu při 160 °C). Není to ale tak účinné jako sterilizace v autoklávu (problémem jsou sporulující bakterie). Pomůcky ze skla (zabalené v alobalu) i média sterilizujeme v autoklávu při teplotě 121 °C a tlaku 150 kPa. Plasty lze sterilizovat v parách persterilu (kyselina peroxiocetová). Látky, které vysoká teplota a tlak rozkládá (vitamíny), můžeme filtrovat přes bakteriální filtr nebo některé (močovina) sterilizovat pasterizací (tyndalizací). Jde o sterilizaci při teplotách do 100 °C, která se opakuje 3x vždy po 24 hodinách. Mezi sterilizací se ponechává v pokojové teplotě, kde sporulující bakterie vyklíčí a jsou zničeny následujícím vařením. Místnosti lze sterilizovat UV zářením. Pozor, řasy by mohly působením UV mutovat, pokud jsou ale ve skle, jsou chráněny.

Sterilní prostředí zaručuje laminární box (tzv. flow box). Existuje několik typů boxů; boxy s horizontálním prouděním chrání materiál, ale vzduch proudí na pracovníka, který není chráněn. Pro práci s řasami, které nejsou zdraví škodlivé, je dostačující. Při práci s nebezpečnými mikroorganismy a patogeny je třeba box s vertikálním prouděním nebo tzv. biohazard boxy. Před zapnutím se otre pracovní plocha 75% ethanolem a box se nechá zapnutý alespoň 10 minut před zahájením práce. Média uchováváme v chladničce, a proto si je vytáhneme půl hodiny před zahájením práce, aby se ohřála na teplotu v místnosti.

V kultivační místnosti musí být zaručeny požadované kultivační podmínky. Teplota závisí na skupině řas. Rozsivky, zlativky a jiné chladnomilné řasy se udržují při teplotě kolem 15 °C, zelené řasy a sinice potřebují vyšší teploty 20–25 °C. Termofilní řasy z horkých pramenů kolem 30 °C. Obvykle se používá bílé světlo (zářivky, úsporné žárovky), rozsivky a zlativky potřebují pološero, musíme je stínit. Zelené řasy dobře prosperují na přímém světle. Řasy, které snesou teplotu v místnosti, lze kultivovat na okně, nejlépe bez přímého slunce (severní okno). V některých případech je důležitá i fotoperioda, profesionální kultivace by měla mít možnost nastavit nejen požadovanou teplotu a osvětlení, ale i fotoperiodu.

Řasové kultury jsou potřebné pro účely pedagogické (střední, vysoké školy), pro biotesty (toxicity, trofický potenciál), pro přesné druhové určení u řas půdních (drobné kokální řasy), vláknitých (Zygnematophyceae) a mnohých sinic, které lze určit pouze podle rozmnožování. Dále jsou nutné pro aplikaci molekulárních metod (izolace DNA, sekvenování, fylogenetické studie, populační genetiky), pro dokumentaci (uchování nově popsanych druhů ve světově uznávané sbírce) a pro další studijní či experimentální účely.

5 Biotopy s výskytem sinic a řas

5.1 Tekoucí vody

5.1.1 Základní pojmy a rozdělení

Počátkem každého toku je pramen. Pramen představuje rozhraní mezi podpovrchovou a povrchovou vodou. Chemismus vody je silně ovlivněn podložím, teplota je stálá a většinou nízká (prameny s vyšší teplotou jsou zařazeny do kapitoly o extrémních biotopech), rovněž koncentrace kyslíku je nízká. Z hlediska bioty dochází oproti vodě podzemní ke změně, která spočívá v nástupu primárních producentů. Z producentů se zde vyskytují běžné druhy tekoucích vod, předpokládá se, že nejde o specializovaná krenobiontní společenstva.

Rozlišujeme tři základní typy pramenů: limnokreny, reokreny a helokreny. **Limnokren** je malá tůňka (studánka) s vývěrem na dně. Dno je většinou tvořeno pískem nebo jemnějším sedimentem a společenstva limnokrenů jsou epipsamická nebo epipelická. Zastíněné studánky osidlují rozsivky *Surirella*, *Campylodiscus*; v nezastíněných najdeme zelené řasy *Draparnaldia*, *Tetraspora*. **Reokreny** jsou klasické prameny typu strouhy, substrátem jsou zde kameny a mechorosty. Řasová společenstva jsou epilittická a epifytická a v závislosti na zastínění jsou tvořena na stinných místech rozsivkami a ruduchami (*Batrachospermum*, obr. 36), na světle zelenými řasami (*Draparnaldia*). O **helokrenech** hovoříme tam, kde voda prosakuje na větší ploše porostlé mechorosty (pramenný mokřad). Hlavním společenstvem jsou epifytické řasy na podmáčených mechorostech, které jsou aerotolerantní, tj. musí tolerovat kolísání vlhkosti i občasné vysušení. Dominantní skupinou jsou rozsivky (*Pinnularia*, *Hantzschia*) a jejich druhová bohatost stoupá s rostoucí vlhkostí. Řádově se na meších nachází miliony buněk na gram sušiny mechorostu. Jejich vertikální zonace na mechové rostlince je ovlivněna zdrojem vlhkosti. V inverzních roklích Adršpachu jsme našli nejvíce rozsivky na vrcholcích rašeliníku, protože je zde hlavním zdrojem vody vzdušná vlhkost. Naopak rašeliníky šlenků jsou nejhustěji osídleny rozsivkami u báze (Pouličková et al. 2005). V letním období se na sušších, stinných místech vyskytují sinice, na dobře osvětlených místech zelené řasy.

Z pramene pokračuje tok pramennou stružkou, bystřinou a dále pokračuje jako potok, říčka, řeka až veletok.

Vodní toky mohou být přirozené (většina) a umělé (Zlatá stoka, Bažův kanál). Základní charakteristikou toku je množství vody, které daným profilem proteče za sekundu, a označuje se jako **průtok**. Pro toky je charakteristickým rysem jednosměrné proudění, obvykle se torentilní úseky střídají s fluviatilními (pomalejšími). Rychlost proudu je ovlivněna tvarem koryta, charakterem dna a břehů, množstvím unášených částic a spádem. Zvyšuje se při povodních a ve vodopádech.

Nejvyšší **rychlost proudu** je v proudnici, a to ne na hladině, ale v určité hloubce pod hladinou. Směrem ke břehům a dnu a také pod ledem se rychlost proudu snižuje. Proudění vody je laminární a turbulentní. V blízkosti ponořených předmětů (několik mm) je proudění zanedbatelné, hovoříme o hraniční vrstvě. Velikost hraniční vrstvy závisí na velikosti obtékaného tělesa. Na konci tělesa dochází ke snížení rychlosti proudění (mrtvá voda) a dochází zde k sedimentaci unášených částic. Proud je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících biotu, proto je v tocích do-

minantní bentický (přisedlý) způsob života. Řasy dělíme podle vztahu k proudu na rheoxenní (nesnáší proud), rheofilní (snáší proudění $15\text{--}70\text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$), rheobiontní ($70\text{--}120\text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) a torentikolní (v peřejích).

Teplota vody v tocích je stálejší než u stojatých vod, její denní a sezónní oscilace nejsou výrazné. Větší výkyvy lze naměřit v mělkých, dobře osvětlených tocích, naproti tomu minimální jsou pod vlivem silného zdroje (ledovec, pramen). Dlouhodobý roční průměr teploty našich toků je $5,4\text{--}11,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozdíly v teplotě jsou i na příčném profilu. Břehové partie se na rozdíl od proudnice v létě rychleji prohřívají a v zimě rychleji promrzají. Teplotní režim toků silně ovlivňuje údolní nádrže a přehrady. Přehrady se spodní výpustí tok ochlazují, přehrady s přepadem ho oteplují.

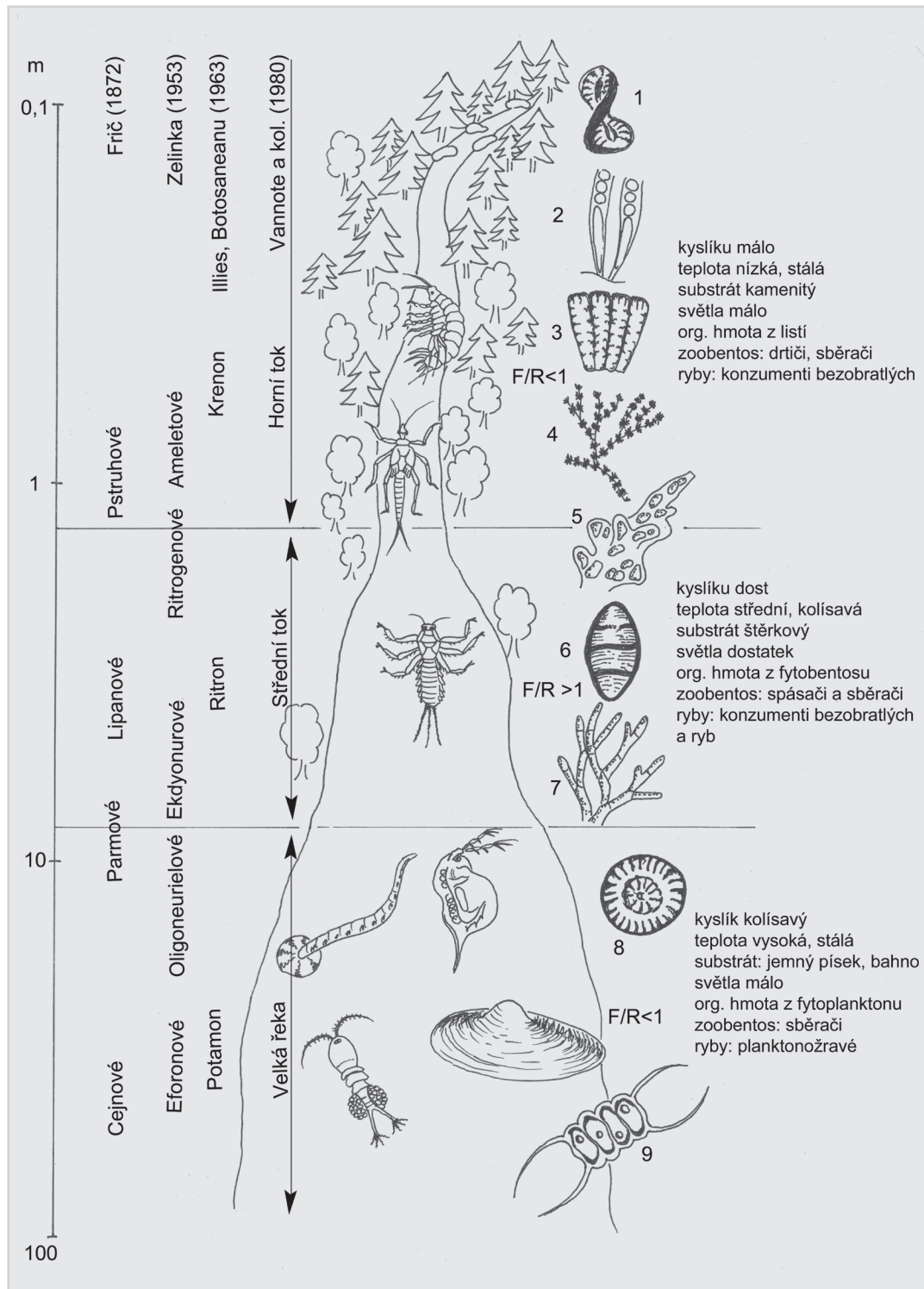
Řasová společenstva toků ovlivňuje **světlo**; v období nízkých vodních stavů proniká až na dno, v době srážek světla ubývá díky zvýšenému zákalu. Propustnost vody pro světlo snižují huminové látky (výtoky z rašeliníšť), plankton a stínění pobřežní vegetací.

V tocích nacházíme tři subsystémy: volná voda se nazývá **reopelagiál**, oblast dna je **bentál** a zvodnělé sedimenty dna pod aktivním tokem nazýváme **hyporeál**. Hyporeál představuje refugium pro bentické organismy v období nepříznivých podmínek v toku. Pravidelně se v něm vyskytují i řasy (*Scenedesmus*), které v hloubce až 60 cm pode dnem vydrží životaschopné až 70 dní (Pouličková 1987). Tyto řasy jsou schopné mixotrofie. Ve volné vodě zachytíme planktonní sítkou řadu organismů. Pravý plankton (potamoplankton) se vyskytuje pouze v dolních klidných úsecích velkých řek (Dunaj, Morava, Labe) nebo v odstavených ramenech a klidných zátokách. Ostatní organismy, unášené proudem, jsou nárostové organismy stržené ze substrátu, tzv. **drift**. Oživení dna je závislé na substrátu, čím je jemnější a uniformější, tím méně poskytuje mikrobiotopů a jeho oživení je chudší. Necitlivé regulace toků spojené s vydlážděním dna vedou k redukci bentosu a tím i samočisticí schopnosti toku. Nejhorší variantou je zatrubnění znečištěných toků, které vede k potlačení fototrofů a tok se změní v páchnoucí stoku. Naopak přirozené substráty, kameny a vodní makrofyty (*Fontinalis*), poskytují dostatek mikrobiotopů pro řasy.

Z četných pokusů o klasifikaci toků byla nejvíce rozpracována pásma podle druhů ryb a zoobentosu (obr. 17). Nestor české hydrobiologie A. Frič rozlišoval čtyři rybí pásma: pstruhové, lipanové, parmové a cejnové. Dominance jednotlivých druhů ryb a překryv pásem jsou ovlivňovány spádem a šířkou toku. Syntetická zoocenologická klasifikace toku vznikla v šedesátých letech 20. století, kdy Illies a Botosaneanu navrhli členit toky na tři biologické zóny: krenon, rhitron a potamon. Krenon zahrnuje vlastní pramen (eukrenon) a pramennou stružku (hypokrenon). O producentech pramene jsme se již zmínili, v pramenné stružce najdeme zejména rozsivky *Diatoma*, *Meridion*, ruduchy *Hildenbrandia*, sinice *Chamaesiphon*, zelené řasy *Tetraspora*, *Draparnaldia*, mechy *Fontinalis*. Rhitron zahrnuje zhruba pstruhové a lipanové pásmo, z rozsivek jsou typické *Fragilaria*, *Diatoma*, ze zlativek *Hydrurus*. Potamon je již řeka s širokým mělkým korytem s peřejnatými a tišinovými částmi. Kromě epilitických nárostů rozsivek a vláknitých řas a sinic zde začíná i potamoplankton. Horní část zahrnuje parmové pásmo, v dolní části dominuje cejn (Lellák & Kubíček 1991).

Jednou z nejvýznamnějších myšlenek týkajících se ekosystému tekoucích vod byl koncept říčního kontinua (Vannote et al. 1980). Tento koncept nahlíží na tekoucí vody jako na propojené kontinuum od malých potůčků po velké řeky. Autor vymezil gradienty v podélném profilu a příslušná

společenstva. Primárním zdrojem uhlíku v horních, zastíněných úsecích toků je listový opad ze zapojených lesních porostů. Niž po toku přibývá světla a produkce uhlíku se účastní fyto-bentos. V největších řekách fyto-bentos ustupuje planktonu (obr. 17).



5.1.2 Společenstva tekoucích vod

Epilíton toků

Toky představují stabilnější prostředí než stojaté vody. Fluktuace teploty jsou méně významné, proud odvádí metabolity a přivádí nové živiny, takže jsou tekoucí vody o stejném obsahu živin úživnější než stojaté. Tekoucí vody mají rovněž vyrovnanější obsah kyslíku. Obecně se akceptuje, že proud má pozitivní vliv na metabolismus řas. Některé řasy vyhledávají přímo proud-nici (*Lemanea*, obr. 36).

Proud je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících řasová společenstva na kamenech v tocích. Řasy musí být přizpůsobeny životu v proudu vytvářením přichytných zařízení. Některé přisedají k podkladu v podobě neodlučitelné kůry (*Hildenbrandia*), pomocí bazálních buněk (*Cladophora*), jiné vytvářejí slizové stopky (*Gomphonema*) nebo vlají v proudu jako ohebné trubice (*Lemanea*). Celá řada volně pohyblivých (nepřisedajících) druhů využívá nárosty jako úkryt. Aktuální umístění jednotlivých druhů sinic a řas na povrchu podkladu je ovlivněno mikrostano-vištními podmínkami (např. síla proudu, světlo). Tím je dána variabilita nárostu na různých částech kamene. Vyvinuté nárosty jsou komplexní a obsahují nejen přisedlé formy epilítonické, ale i druhy epifytické (rozsivky na vláknitých řasách *Cladophora*), epipelické (*Navicula*, *Oscillatoria*, obr. 36) a mnohdy i zachycené druhy planktonní (pod přehradou).

V rychle tekoucích vodách jsou časté makroskopické nárosty na kamenech tvořené rody *Cladophora*, *Lemanea*, *Batrachospermum*, *Chaetophora*. V pomalu tekoucích vodách se kameny zanáší sedimenty, což epilíton eliminuje. Četné jsou v nárostech také rozsivky a sinice (*Meridion*, *Oscillatoria*, *Phormidium*).

Předpokládá se, že dalšími faktory, které komplexně ovlivňují epilíton toků, je složení substrátu, světlo, teplota a koncentrace živin. Obecně platí, že v zastíněných partiích čistých horských potoků najdeme spíše ruduchy, sinice (*Chamaesiphon*) a rozsivky; zelené řasy (*Draparnaldia*) potřebují více světla.

S přibývajícím znečištěním citlivé ruduchy mizí a čistobytné rozsivky jsou nahrazeny odolnějšími druhy. V chladnějších vodách alpských řek najdeme zlativku *Hydrurus*. Uvádí se, že nárosty vykazují i jistou geografickou distribuci. Např. ze Skandinávie se často uvádí spájivky (*Zygnema*)

Obr. 17 na protější straně:

Zjednodušená syntéza několika přístupů ke členění biocenóz toků od Fričovy klasifikace podle ryb přes Zelinkovu klasifikaci podle jepic (Lellák & Kubíček 1991) až po koncept říčního kontinua dle Vannote et al. 1980. Stupnice znázorňuje šířku toku v metrech, F/R představuje poměr fotosyntézy a respirace. Charakteristickými řasami jednotlivých úseků jsou: 1, 3, 6, 8 – rozsivky (*Surirella*, *Meridion*, *Diatoma*, *Cyclotella*), 2 – sinice (*Chamaesiphon*), 4 – ruduchy (*Batrachospermum*), 5 – zlativky (*Hydrurus*), 7, 9 – zelené řasy (*Cladophora*, *Scenedesmus*). Ve schématu se nutně dopouštím zjednodušení, protože např. rybí pásma se v různých tocích různě překrývají. V principu lze tok rozdělit na tři důležité oblasti, v horním toku jsou pouze stínomilné řasy (rozsivky, ruduchy, sinice) a jejich produkce je nízká. Nejproduktivnější je fyto-bentos v prosvětlené střední části toku, kde přibývají na světlo náročné zelené řasy. V dolních úsecích pomalu tekoucích řek převažuje produkce pota-moplanktonu závislá na stupni zákalu. Velikostní poměry vyobrazených organismů neodpovídají skutečnosti.

a různobrvky (*Vaucheria*). V mírném pásu dominuje *Cladophora*, v tropech je to pak ruducha *Compsopogon*.

Za invazní nárostový druh se považuje šířící se rozsivka *Didymosphaenia geminata*, která produkuje značné množství slizu. Buňky jsou přichyceny mohutnými slizovými stopkami a ve slizu pak vegetují i další druhy řas: *Achnanthes*, *Eunotia*, *Cymbella*, *Cosmarium*. V chladných tocích Švédska je na koloniích typická *Fragilaria arcus*.

Celkově lze říci, že nárostům byla věnována menší pozornost než planktonu a svůj podíl na tom nesou i metodické obtíže s odběrem a hodnocením nárostů.

Epipelon toků

Epipelon najdeme v klidných částech toků, kde dochází ke kumulaci jemnějších sedimentů. V pramenech jsou relativně stálé podmínky a v epipelonu převládají rozsivky jako *Surirella* či *Campylodiscus*. Rozsivky dominují i dále po toku a tvoří až 99 % epipelonu. Doprovázejí je vláknité zelené řasy (*Spirogyra*, *Oedogonium*, *Microspora*, *Draparnaldia*, obr. 36). Epipelické rozsivky jsou zastoupeny většinou nepohyblivými typy (Monoraphidinae a Araphidinae: *Achnanthes*, *Eunotia*, *Nitzschia*). Pod údolními nádržemi či přítoky z rybníků může být epipelon sezónně obohacen o zachycené alochtonní planktonní typy (*Cyclotella*, *Asterionella*). Epipelická společenstva v tocích nejsou limitována živinami a mohou dosahovat vysoké produkce. Periodicky se mohou uvolňovat ze sedimentu do volné vody. Periodické diurnální pohyby byly zaznamenány také mezi povrchem a hlubšími vrstvami sedimentů, tato problematika se studuje hlavně v estuáriích (Pouličková et al. 2008).

Potamoplankton

V řekách se plankton (potamoplankton) vyskytuje jen v pomalu tekoucích úsecích. Nejčastěji jsou rozsivky (zejména *Stephanodiscus*, *Cyclotella*) a kokální zelené řasy (*Scenedesmus*, *Lagerheimia*, *Pediastrum*, *Micractinium*, obr. 32). Dále se vyskytují bičíkovci (*Chlamydomonas*, *Gonium*, *Pandorina*, *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas*), sinice (*Microcystis*, *Anabaena*); obrněnky, skrytěnky a zlativky jsou vzácné. V rychleji tekoucích vodách řek můžeme planktonní sítkou zachytit tzv. drift, tedy směs řas stržených ze substrátů, které jsou unášeny proudem. Větší podíl euplanktonních řas v řekách nalézáme rovněž pod údolními nádržemi s horní výpustí.

Předpokládá se, že pouze málo druhů řas je společných pro říční a jezerní plankton. Jedním z druhů, které jsou udávány z jezer i řek, je *Asterionella formosa*, bylo však zjištěno, že limitujícím faktorem pro její výskyt v odtoku z jezera je rychlost proudu. Obecně platí, že se vzrůstající rychlostí proudu klesá diverzita planktonu. Zhruba 90 % planktonu vymizí 1 km pod výtokem z jezera.

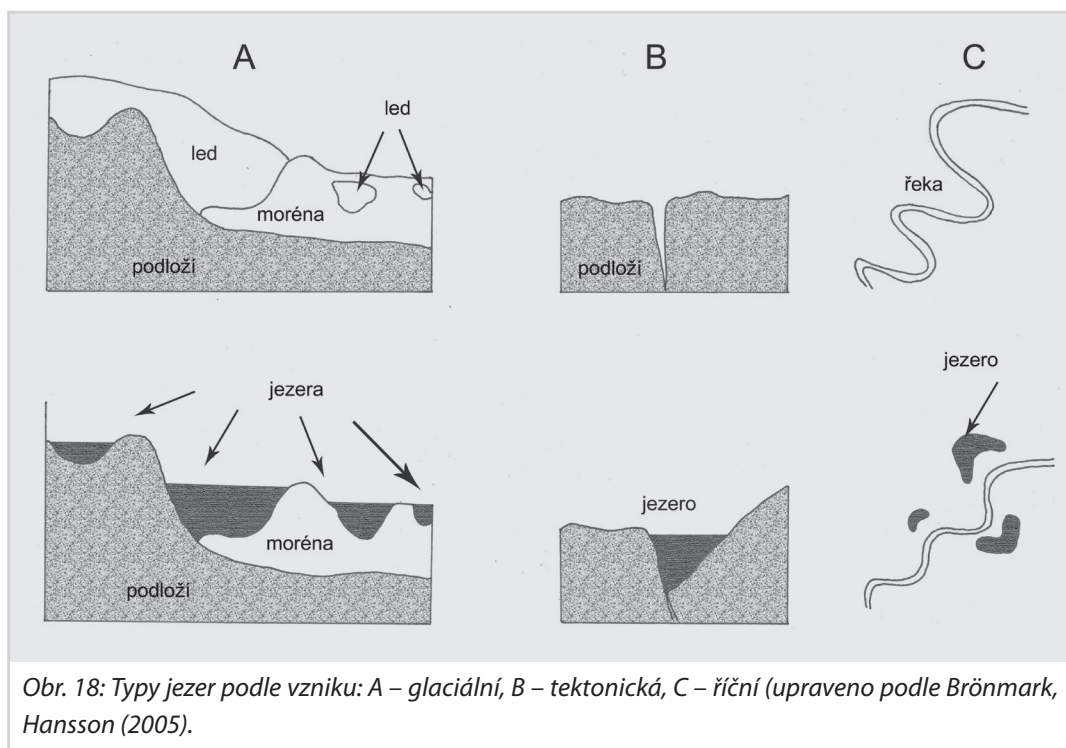
Říční plankton v tropech je prakticky neprozkoumaný. V řece Ganga dominují, na rozdíl od mírného pásu, penátní rozsivky (*Fragilaria*). Časté jsou tam rovněž spájivky *Mougeotia* a *Spirogyra*. S výjimkou rodu *Melosira* chybí centrické rozsivky také v Nilu a v pomalu tekoucích úsecích dominují sinice *Anabaena*, *Lyngbya*.

V poslední době se v souvislosti s eutrofizací obrací pozornost na ústí řek do moře (estuária). Jsou tam specifické podmínky s ohledem na typ proudění, míchání sladké a slané vody a zvýšený zákal. Dominují drobné rozsivky, obrněnky a nanoplankton. Nejvyšší produkce byla pozorována v zóně, kde se mísí slaná a sladká voda. V estuáriích jsou časté i vodní květy sinice *Nodularia* (Baltské moře).

5.2 Jezera

Podle obecné definice je jezero přírodní, stálá vodní nádrž, kde hlavní roli v míchání vodního sloupce sehrávají větrem indukované turbulence. Rozlišujeme 3 druhy proudění: vertikální, horizontální a zpětné. Chybí zde jednosměrné proudění, z hlediska koloběhu látek je ekosystém uzavřenější, má výraznější teplotní a kyslíkový režim. Celková morfologie jezera (hloubka, tvar, umístění v krajině) ovlivňuje celou řadu důležitých parametrů, jako turbulence, cirkulace, teplotní gradient a stratifikaci, produktivitu i složení řas.

Mezi nejstarší a největší jezera patří tektonická, která vznikla pohyby zemských desek (Balaton, Tanganika, Bajkal, Mrtvé moře). Vulkanická jezera jsou menší, mají kruhový tvar a bývají hluboká. Např. Crater Lake je druhé nejhlubší v Sev. Americe (608 m). V temperátních a polárních oblastech vznikly pohybem ledovců terénní nerovnosti, které po vyplnění vodou daly vznik jezerům glaciálním (Ontario, Windermere UK, Loch Leven UK, Padova). Ve vápencových oblastech jsou rozšířena krasová jezera (Dinárský kras). Dalším typem jsou jezera říční, formovaná v říčních nivách, případně vzniklá hrazením řeky po zemětřesení nebo sesuvu svahu (obr. 18). Říční jezera v deltách řek jsou navíc ovlivněna mořskou vodou a silným větrem. Na západním pobřeží Francie nebo v Mexickém zálivu můžeme najít pobřežní jezera, která ovšem s oblastmi delt nesouvisí. Méně častá jsou jezera vytvořená větrnou erozí, akumulací rostlin (rašelinná jezírka), aktivitami zvířat (korálů, bobrů).



Jezera podléhají vývoji a postupně stárnou. Proces stárnutí je doprovázen sedimentací planktonních organismů a jejich odolných pozůstatků (schránky rozsivek, šupiny zlativek), které se hromadí na dně (gytja). Podílejí se na něm i makrofyty. Roční přírůstek jemného bahna závisí

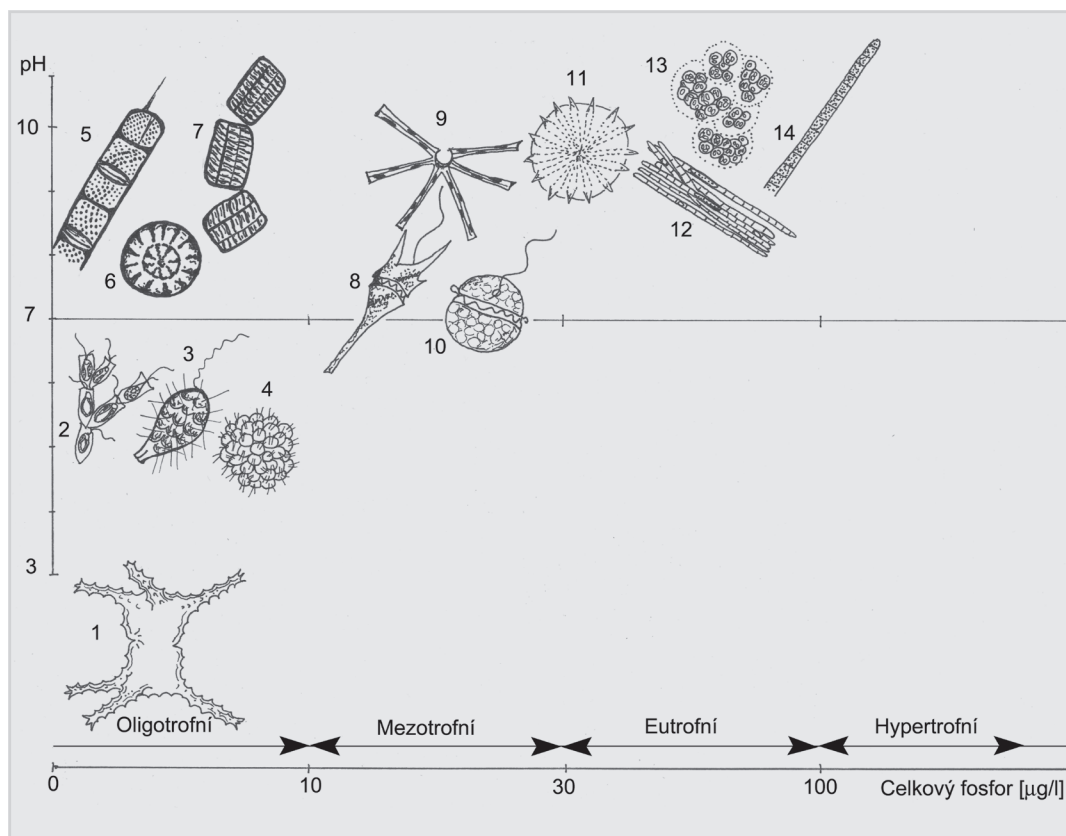
na stupni eutrofizace daného jezera a může být od několika mm do několika cm. Mělčí jezera se sedimenty pozvolna zanáší, až se přemění v mokřad.

Sedimenty lze využít k paleolimnologickým rekonstrukcím subrecentních podmínek v jezeře. Dobrymi indikátory vývoje jezera jsou zejména rozsivky a zlativky, jejichž křemičité schránky/šupiny bývají dobře zachovány. Použitelné jsou i zelené kokální řasy, jejichž buněčná stěna obsahuje látky podobné sporopoleninu, jako rod *Pediastrum*.

5.2.1 Společenstva jezer

Limnoplankton

Flora každého jezera je unikátní, lze je však podle podobných klimatických podmínek rozdělit na jezera polární/alpínská, mírného pásu a tropická. Pokusy klasifikovat planktonní společenstva jezer spadají do padesátých let minulého století. Thunmark a Nygaard se snažili zavést indexy založené na poměru jednotlivých skupin řas, např. sinicový index (poměr sinic ku krásivkám) nebo rozsivkový index (poměr centrických rozsivek ku penátním) či euglenový index (poměr krásnooček ku sinicím a zeleným řasám). Za nejužitečnější je považován **index složení**, tedy poměr sinic,

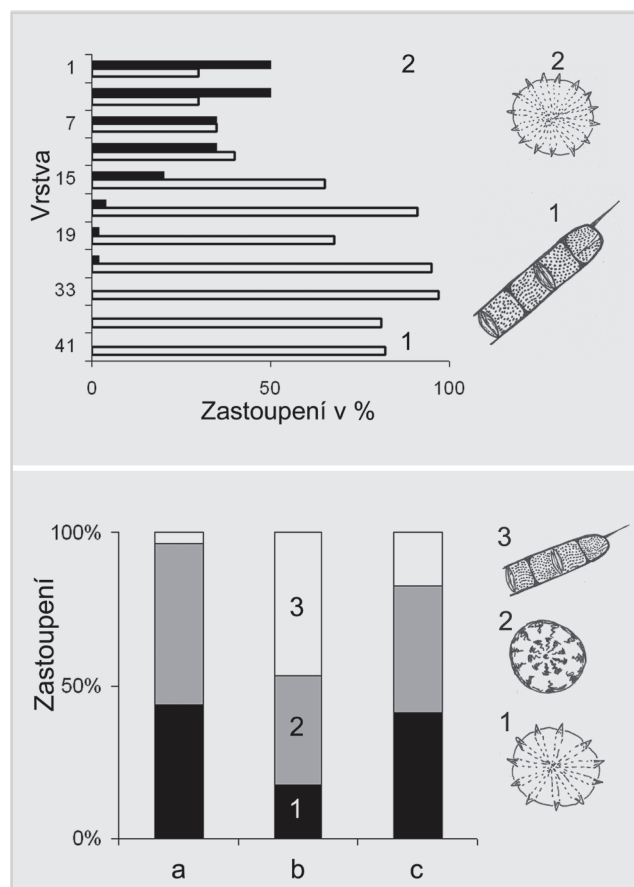


Obr. 19: Relativní dominance skupin řas ve vztahu k trofi a pH. Rozsahy celkového fosforu jsou v $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Modifikováno podle Brönmark & Hansson (2005). Charakterističtí zástupci fytoplanktonu: 1 – krásivky (*Staurostrum*), 2, 3, 4 – zlativky (*Dinobryon*, *Mallomonas*, *Synura*), 5, 6, 7, 9, 11 – rozsivky (*Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Tabellaria*, *Asterionella*, *Stephanodiscus*), 8, 10 – obrněnky (*Ceratium*, *Gymnodinium*), 12, 13, 14 – sinice (*Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Planktothrix*).

zelených kokálních řas, centrických rozsivek a krásnooček ku krásivkám. Pokud jsou hodnoty indexu složení menší než 0,2, jde o dystrofii, do 1 jde o oligotrofní jezero, 1–3 mezotrofní a nad 3 eutrofní jezero.

Rovněž pozdější výzkum potvrdil významný podíl trofie na druhovém složení jezerního fytoplanktonu. Planktonní řasy charakteristické pro jednotlivé trofické úrovně (hodnocené koncentrací celkového fosforu) a rozsah pH jsou na obr. 19.

Při pH nižším než 4 je fosfor limitujícím prvkem a druhová bohatost je velmi nízká, mnohdy se může při extrémním pH vyskytovat jen jediný druh. V kyselém pH se vyskytují krásivky, rozsivky (*Eunotia*) a zlativky (*Mallomonas*, *Synura*). S rostoucím pH a množstvím živin směrem k mezotrofii roste druhová bohatost, přibývá obrněnek a dalších druhů rozsivek. Od oligotrofie k eutrofii se složení planktonních rozsivek mění v pořadí: *Aulacoseira* → *Cyclotella* → *Stephanodiscus*. Taková data lze získat paleolimnologickou rekonstrukcí dnových sedimentů jezer (obr. 20 A). Opačný trend je patrný po úspěšné revitalizaci, kdy dojde ke snížení trofie (obr. 20 B; Pouličková 1998).



Obr. 20: A – Zastoupení centrických rozsivek v sedimentech rybníka Vajgar u Jindřichova Hradce (upraveno podle Pouličková & Novotný 1999). V nejstarších sedimentech (vrstva 41) dominovaly rozsivky *Aulacoseira* (1), později (od vrstvy 17) se s postupující eutrofizací začíná prosazovat *Stephanodiscus* (2).

B – V osmdesátých letech byla z Vajgaru odstraněna svrchní vrstva sedimentu sacím bagrem. Plankton před touto revitalizací (a) a po ní (b, c) se výrazně liší. V prvním roce po revitalizaci (b) (pokleslo zastoupení rodu *Stephanodiscus* (1) a zvýšilo se zastoupení čistobytných zástupců rodu *Aulacoseira* (3). Rod *Cyclotella* (2) byl zastoupen zhruba stejně. Další rok (c) se ovšem situace vrací k původnímu stavu, tedy ubývá *Aulacoseira* a přibývá *Stephanodiscus*, protože kromě odbahnění nebyla provedena jiná opatření. Byl odstraněn pouze vnitřní zdroj živin (sediment), ale do Vajgaru dále proudí živiny z povodí, kde je řada obcí a potravinářských provozů s nedostatečným čištěním odpadních vod.

Pozn.: Vajgar je zde právem uváděn v části o jezerech. Je to původně jezero a nelze ho ani vypustit. Nikdy nebyl rybochovným rybníkem a od středověku sloužil jako recipient odpadních vod města Jindřichův Hradec.

S dalším růstem pH a trofie nastupují sinice, tvořící vodní květ. Zajímavé jsou změny druhového složení sinic s postupující eutrofizací. V mezotrofních vodách býval častý rod *Aphanizomenon*, ten je dnes již vzácný. S postupující eutrofizací ho nahradily sinice rodů *Microcystis* (v eutrofních přehradách) a *Planktothrix* (v hypertrofních rybnících). Tento jev je v ČR velmi dobře zdokumentován na přehradách a rybnících (obr. 26), ale platí i pro řadu jezer mírného pásu.

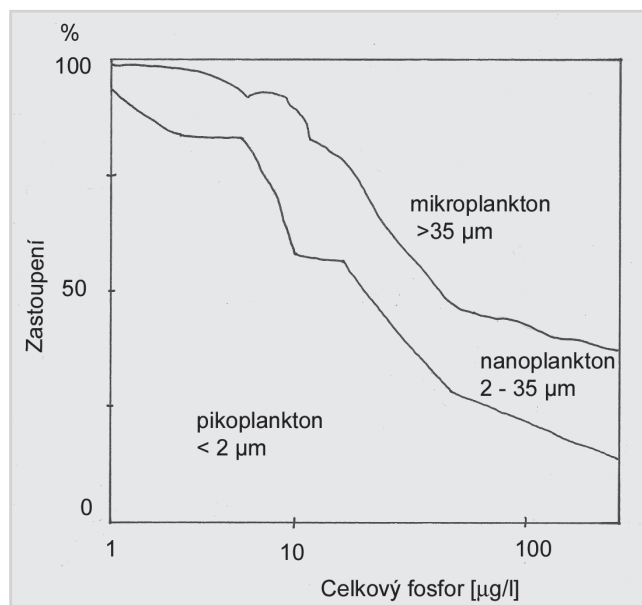
ARKTICKÁ, ANTARKTICKÁ A ALPSKÁ JEZERA

Obecně je plankton takových jezer chudý. Rozmrzájí jen po krátkou dobu roku, takže rozvoj fytoplanktonu musí být rychlý. Fytoplankton může být i pod ledem, ale sněhová pokrývka vede k redukci světla i fytoplanktonu. Plankton pod ledem je tvořen drobnými bičíkovci (*Chromulina*, *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Rhodomonas*, *Cryptomonas*, *Gymnodinium*, *Peridinium*, obr. 32–34). Zlativky mohou vegetovat po celý rok, jejich cysty byly nalezeny i v ledu. Ve větší hloubce pod čirým ledem je možno pozorovat kokální řasy rodu *Chlorella* a *Stichococcus*. Po rozmrznutí ledu se v planktonu hlubších jezer rozvíjí rozsivky a krásivky. Sinice se mohou vyskytnout, pokud teplota dosáhne 14–20 °C (*Anabaena*, *Aphanizomenon*). V letním období je také možno najít zelené kokální řasy (*Oocystis*, *Crucigenia*, *Ankistrodesmus*), které jsou koncem léta nahrazeny skrytčkami.

Díky dlouhodobému studiu jezer v Kanadě máme důkazy o globálních klimatických změnách na Zemi. Z hlubokých jezer se odparem stávají jezera mělčí, stará mělká jezera se mění na periodická a dřívější periodická jezera zcela mizí. Mocnost ledu a délka zámru jezer se zmenšuje, s čímž souvisí změny v dominantách planktonních společenstev (*Aulacoseira* → *Cyclotella*; John Smol, Konference IDS Minnesota 2010).

JEZERA MÍRNÉHO PÁSU

Jezera v mírném pásu jsou dimiktická, charakteristická isothermickými podmínkami v zimě s krátkým obdobím zamrzlé hladiny, a letní teplotní stratifikací. Klasifikovat jezera v tomto pásu je



Obr. 21: Vliv fosforu na zastoupení jednotlivých velikostních frakcí fytoplanktonu. Upraveno podle Kalf 2002.

obtížné s ohledem na široké spektrum jejich chemismu. Na gradientu od oligotrofie k eutrofii je možno pozorovat trend od dominance pikoplanktonu k mikroplanktonu (obr. 21) spolu se vzrůstem abundance sinic (obr. 13). Dystrofní vody jsou typické výskytem zlativek spolu s rozsivkou *Aulacoseira distans*; oligotrofní vody mají vyšší zastoupení krásivek. Tento „kaledonský typ“ planktonu na kyselém podloží poprvé popsal Teiling v roce 1916. Ačkoliv jezera východní Kanady nejsou striktně temperátní, zlativky tvoří 50 % biomasy fytoplanktonu a dalšími nejběžnějšími řasami jsou rozsivky *Asterionella* a *Tabellaria*.

Ze zelených řas najdeme v nižších abundancích *Sphaerocystis*, *Gloeocystis*, *Botryococcus*, *Oocystis*, z obrněnek *Peridinium willei*.

Mezotrofní jezera je těžké definovat, charakteristický se zdá být pouze výskyt obrněnek v podzimním a zimním období. Eutrofní vody jsou charakteristické výskytem vodních květů sinic, zvláště v pozdním létě (*Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Gloeotrichia*). V jarním planktonu dominují rozsivky a vrcholí počátkem léta (*Stephanodiscus*). Z bičíkovců se vyskytují rody *Chlamydomonas*, *Pandorina*. Mělká jezera jsou bohatá i na zelené kokální řasy *Scenedesmus*, *Pediastrum*. V jezerech zarostlých makrofyt, která odebírají značné množství živin, bývá plankton chudší.

TROPICKÁ JEZERA

Tropická jezera mají nižší diverzitu než temperátní, naproti tomu biomasa je prakticky dvojnásobná ve srovnání s temperátními. Druhové složení je v průběhu roku celkem stabilní, což je zřejmě důležitý rys tropických jezer. V tropických jezerech je překvapivá dominance penátních rozsivek, které v chladnějších vodách tvoří obvykle bentos, jako *Cymbella*, *Denticula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*. Množství penátních rozsivek hlášené z planktonu tropických jezer nemůže být výsledkem náhodné kontaminace sedimenty, ale musí být dáno stálým výskytem těchto rozsivek v planktonu. Někteří autoři vysvětlují tento jev vysokým podílem organických látek. V alkalických jezerech dominuje rod *Nitzschia*, z jezer s nízkou alkalitou je uváděn rod *Melosira*.

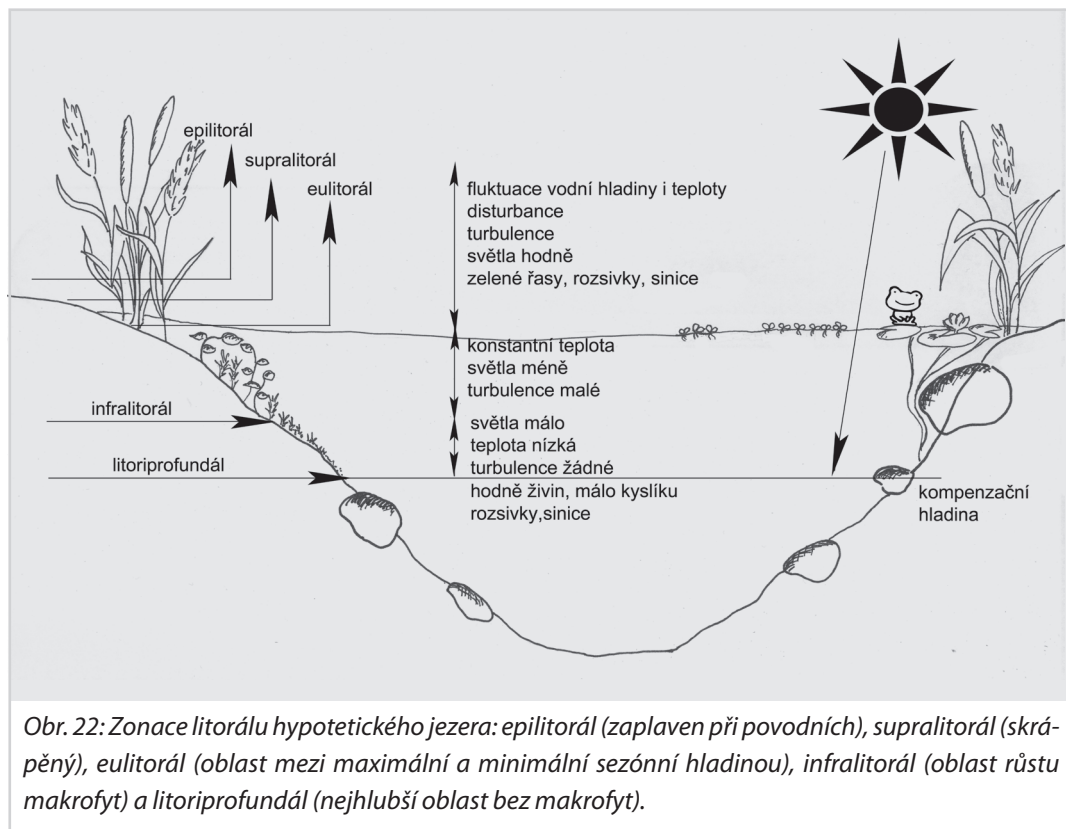
Tropická jezera jsou méně prozkoumaná než temperátní. Plankton jezera Lake George v Ugandě tvoří z 80 % sinice *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*. Výjimečné abundance sinic v mělkých tropických jezerech jsou zřejmě spojeny s mechanismem vznášení. Denní teplotní stratifikace vytváří dobře definované vrstvy (epilimnion a hypolimnion) a klesání řas bez aerotopů je v teplé vodě rychlé. Proto v epilimniu převládá sinice s aerotopy. V jezerech s vysokým podílem sodíku najdeme sinici *Arthrospira platensis* a rozsivky rodu *Nitzschia*. Halotolerantní rozsivky se vyskytují v jezerech východní Afriky (*Cyclotella meneghiniana*, *Coscinodiscus rudolfi*). Jezera s převahou chloridu sodného osidlují rozsivky typické pro řeky tekoucí přes aridní oblasti.

Epilíton jezer

Kameny a skalnaté okraje jezer bývají pokryté slizovitými povlaky sinic, rozsivek a krásivek. Vegetace skalnatého litorálu vykazuje zonaci od společenstev vlhkých skal skrápěných vodou z jezera, kde převažují řasy typické pro subaerická stanoviště, až po permanentně ponořená společenstva. Směrem do hloubky jsou stabilnější podmínky, ubývá disturbancí způsobených větrem, zmírňují se fluktuace teploty, ubývá světla, ubývá mikrobiotopů, substrát je jemnější, a řasová flóra se stává uniformnější. V horních partiích převládá epilíton a epifyton, v dolních partiích tvoří bentos jezer epipelon a epipsammon. V průzračných jezerech mohou být v hlubších vrstvách porosty parožnatek, nejhlouběji jsou sinice a ruduchy.

Podobně jako v mořích můžeme litorál jezer rozdělit na několik zón (obr. 22). V eulitorálu je z makrofyt dominantní rákos a orobinec (cca do 1 metru) a na ně navazují měkké porosty rdestů a leknínů (cca do 2 metrů). Hlouběji v infralitorálu jsou tzv. ponořené louky (růžkatec, vodní mor), na dolní hranici *Chara* a *Fontinalis* (obr. 22).

Sezónní dynamika nárostů není tak výrazná jako u planktonu. Přesto lze pozorovat jarní dominanci rozsivek, letní převahu spájívek a zelených řas (*Oedogonium*, *Cladophora*, *Hydrodictyon*).



Obr. 22: Zonace litorálu hypotetického jezera: epilitorál (zaplaven při povodních), supralitorál (skrácený), eulitorál (oblast mezi maximální a minimální sezónní hladinou), infralitorál (oblast růstu makrofyt) a litoriprofundál (nejhlubší oblast bez makrofyt).

Endopsammon jezer

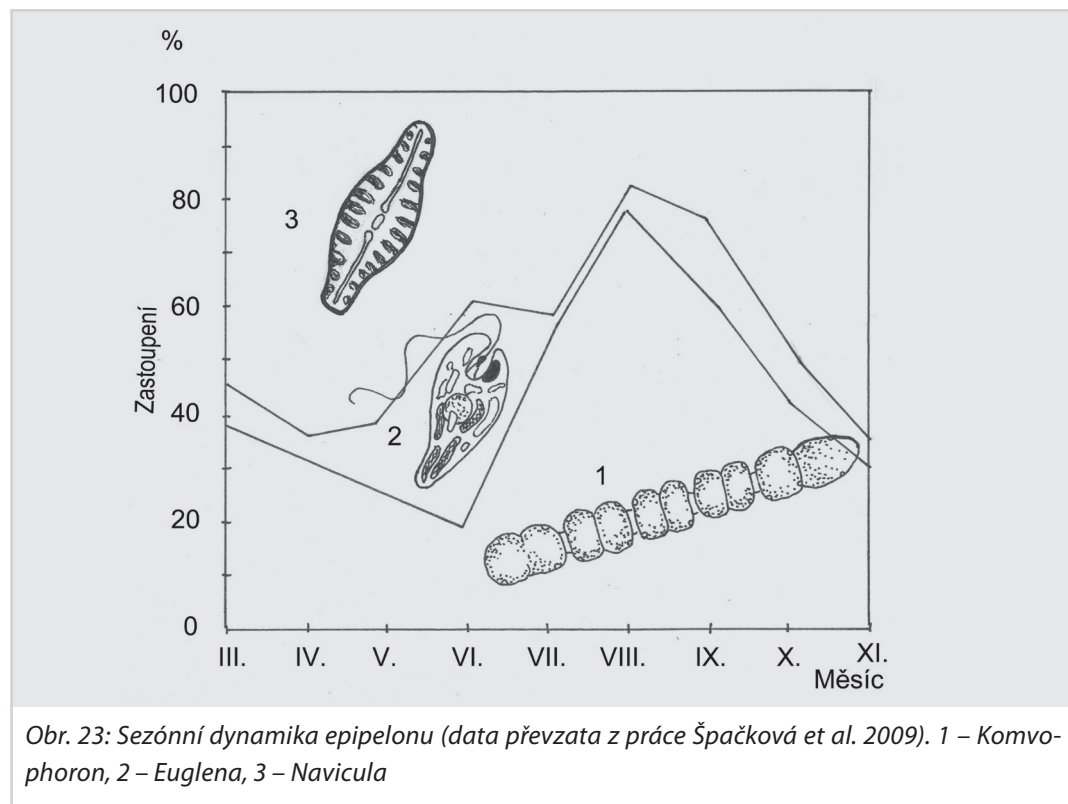
Pod povrchem písku v jezerech a estuáriích žijí společenstva endopsammonu. Round (1991) našel v jezeře Isle of Skye pod povrchem sedimentu slizem propojenou vrstvičku tvořenou sinicemi *Chroococcus*, *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Calothrix* a rozsivkou *Frustulia*. Písek nad ní byl pohyblivý a slabě oživený. Podobná flóra žije i v pískových ložích filtrů čistíren odpadních vod.

Epipelon jezer

Epipelon je extrémně rozšířené společenstvo vyskytující se všude tam, kde se akumulují jemné sedimenty a kam proniká světlo. Epipelické řasy žijí a pohybují se v povrchové vrstvičce sedimentů. Delší období tmy a anaerobie snášejí špatně. Rozsivky dominují ve sladkovodních i mořských prostředích, zatímco sinice a krásivky a někteří bičíkovci jsou hlavně ve sladkých vodách. Druhové složení se v jednotlivých jezerech liší, ale na téže lokalitě je více méně stabilní.

Sedimenty jezer a rybníků jsou v pohybu a podléhají disturbancím (vítr, živočichové, přítoky). Společenstva jsou ovlivněna obsahem živin, kvalitou sedimentů, množstvím světla, pohybem vody, predčním tlakem živočichů a růstovou rychlostí řas. Nejčastěji jsou přítomny pohyblivé rozsivky, sinice, krásivky, krásnoočka. Části jemných sedimentů hustě propletené vláknitými sinicemi *Oscillatoria* mohou nahromadit vlivem fotosyntézy vzduchové bublinky, které vločky sedimentů vynesou k hladině (plovoucí „oscillatorieta“). Zatímco pro monitoring toků je nejvý-

znamnějším společenstvem epilíton, epipelon může být vhodnou alternativou pro stojaté vody. Je však třeba z hodnocení vyřadit sedimentované planktonní druhy (Pouličková et al. 2009). Charakteristickými druhy pro epipelon jezer jsou *Sellaphora*, *Navicula*, *Fallacia*, *Komvophoron*, *Pseudanabaena*, *Phormidium*, *Euglena* (Hašler & Pouličková 2010, obr. 36). Podobně jako v planktonu lze i v epipelonu očekávat sezónní změny, zejména v mírném pásu (obr. 23).



Epifyton jezer

Ve vodním prostředí se na makrofytech setkáváme se dvěma růstovými formami epifytických řas. Buňky řas přisedají na epidermis rostliny přímo (*Cocconeis*, *Amphora*, *Epithemia*, *Coleochaete*) nebo pomocí slizových stopek a terčků (*Gomphonema*, *Cymbella*, *Oedogonium*, *Stigeoclonium*, *Cladophora*; obr. 14). V alkalických vodách převažují *Epithemia*, *Rhopalodia*, v kyselých *Tabellaria*, *Eunotia* (obr. 34). Jako substrát mohou sloužit i vláknité řasy; *Oedogonium* a *Cladophora* jsou hustě pokryty sekundárními epifyty rodů *Cocconeis*, *Achnanthes*, *Gomphonema*, *Characium*, *Microthamnion*, *Chamaesiphon*, *Epipyxis*. Osídlovány nebývají jen řasy s produkcí slizu a taninu (Zygnematophyceae). Ve sladkých vodách se makrofyta vyskytují do hloubky cca 10–15 m. Plankton, epifyti i makrofyta (tvořící jejich substrát) vstupují do kompetice o živiny a světlo (makrofyta odebírají živiny, plankton stíní). Příkladem přebujelého epifytonu mohou být Everglades na Floridě, kde epifyti tvoří na makrofytech mohutné porosty nazývané „sweater“. Epifyti přispívají 31 % k produkci litorálu a 21 % k produkci celého mělkého jezera.

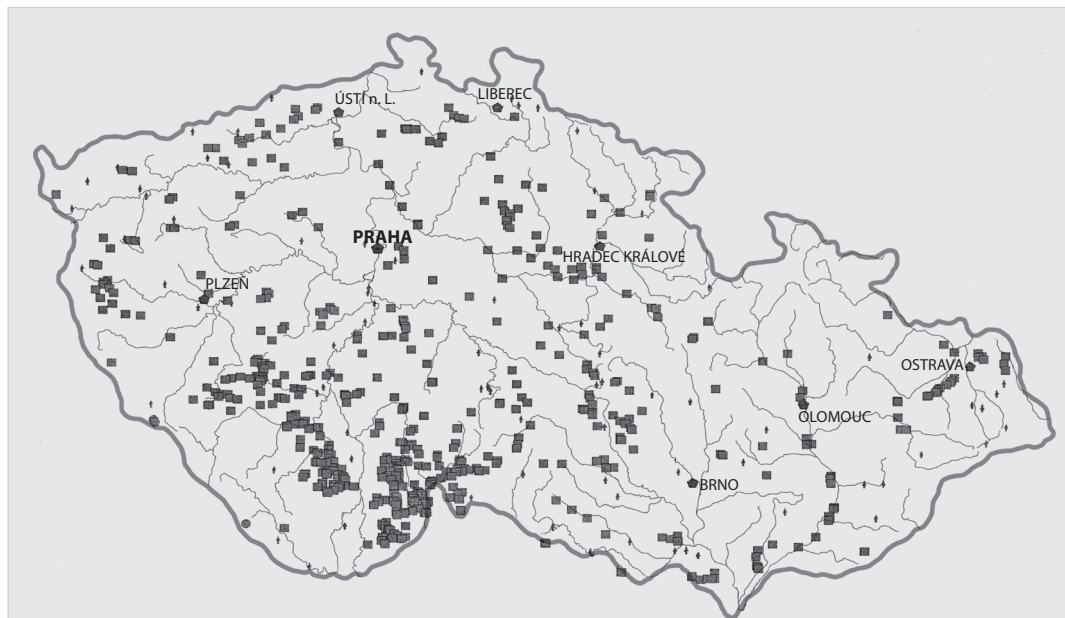
Metafyton jezer

Metafyton je společenstvo řas volně žijících mezi rostlinami v litorálu bez tendence přichycovat se k substrátu. Metafyton můžeme oddělit od epifytonu omytím rostlin ve vodě, protože epifyton je pevně přichycen. Lze sem zahrnout rody *Scenedesmus*, *Oocystis*, *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Pinnularia*, *Gymnodinium*, *Ulothrix*, *Mougeotia*, *Staurastrum*, *Cosmarium*, obr. 32). Metafyton je přítomen ve vodách s nízkým prouděním, může být významný v oligotrofních jezerech a rašelinných tůních. V určitých situacích se může vymývat do planktonu nebo klesat na povrch sedimentu. V mělkých jezerech (rybnících, tůních) je velmi těžké rozhodnout, do jakého společenstva některé řasy patří, může jít o směs epipelonu a metafytonu.

5.3 Ostatní stojaté vody

Rybníky

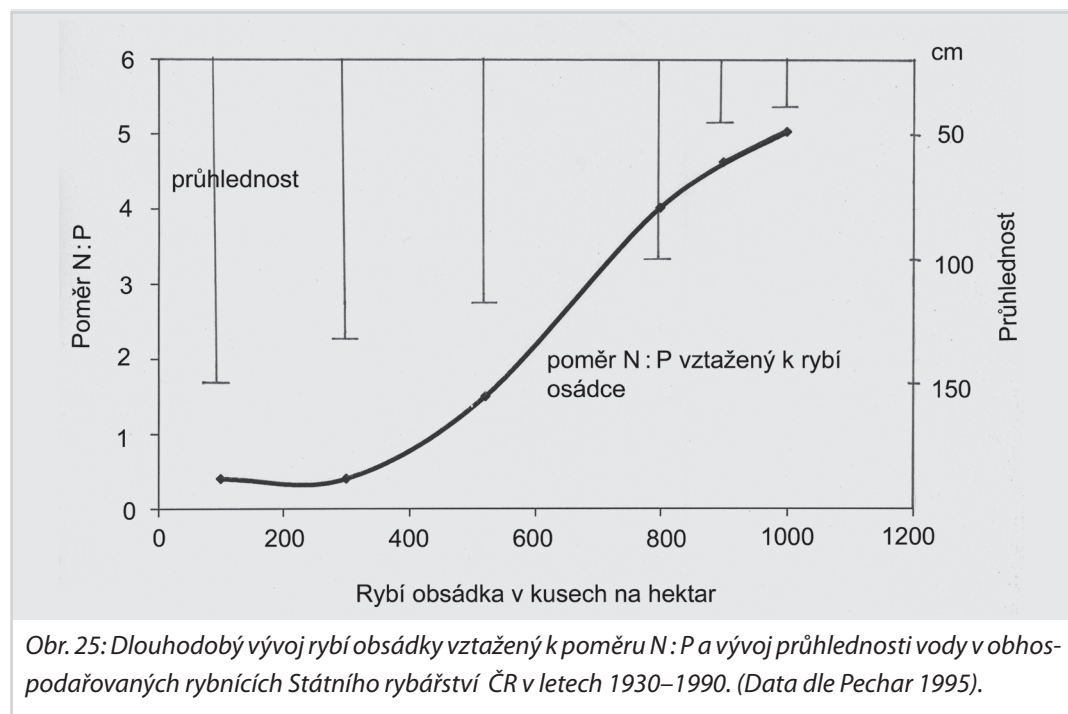
Rybníky jsou nejpočetnějším biotopem stojatých vod u nás (obr. 24). Jsou to mělké, hrazené, vypustitelné, umělé nádrže s velkým podílem litorálu. V některých případech, pokud světlo dosahuje až na dno, může mít celý rybník charakter litorálu a pak je vůbec diskutabilní společenstvo vodního sloupce takového rybníka nazývat planktonem. Pravděpodobně by se měl používat termín pseudoplankton (heleoplankton). Naším největším rybníkem je Rožmberk (642 ha) a nejhlubší je rybník Staňkovský (16 m u hráze). Rybníky na Moravě (Nesyt, Lednické rybníky, Ostravsko) mají zvýšenou salinitu a vyskytují se v nich halofilní řasy. V našich podmínkách jsou rybníky míchány větrem (polymiktické) a jejich biota je ovlivněna typem obhospodařování, zejména pravidelným vypouštěním a rybí obsádkou.



Obr. 24: Rybníky v ČR (rybníky označeny čtverečkem, upraveno podle Pouličková & Voženílek 1999).

Rybníky byly vybudovány pro účel chovu ryb, kachen, k rekreaci, sportovnímu rybaření, jako hydroakumulační a protierozní, z estetických důvodů nebo k dočišťování odpadních vod. Heleoplankton obecně je charakteristický vysokým podílem litorálních druhů (*Scenedesmus*, *Pediastrum*). Společenstva rybníků jsou značně proměnlivá vlivem fluktuace fyzikálněchemických parametrů, způsobených výkyvy počasí a lidskou činností. Oligotrofních rybníků je dnes již málo (Drahanská vysočina, Jeseníky). Byly vybudovány na chudém podloží, ve vyšších nadmořských výškách, voda měla nízké pH, málo vyvinutý litorál a malou biomasu fytoplanktonu i zooplanktonu. Z autotrofů jsou pro ně typické zlativky a obrněnky (*Synura uvella*, *Dinobryon*, *Chrysococcus*, *Ceratium*, obr. 33, 34). Podobné oživení mají i dystrofní rybníky (Dokesko), pro něž je kromě nízkého pH typický vysoký obsah huminových látek, hnědé zbarvení a výskyt rašeliníku (*Sphagnum*). Při malé biomase mohou mít vysokou diverzitu řas, s výjimkou těch, kde pH klesá pod 4. Indikátory dystrofních vod jsou zlativky (*Synura sphagnicola*, *Dinobryon pediforme*), rozsivky (*Eunotia*, *Pinnularia*), krásivky (*Micrasterias*, *Euastrum*, obr. 35) a bičíkovci (*Gonyostomum semen*, *Euglena acus*, obr. 34).

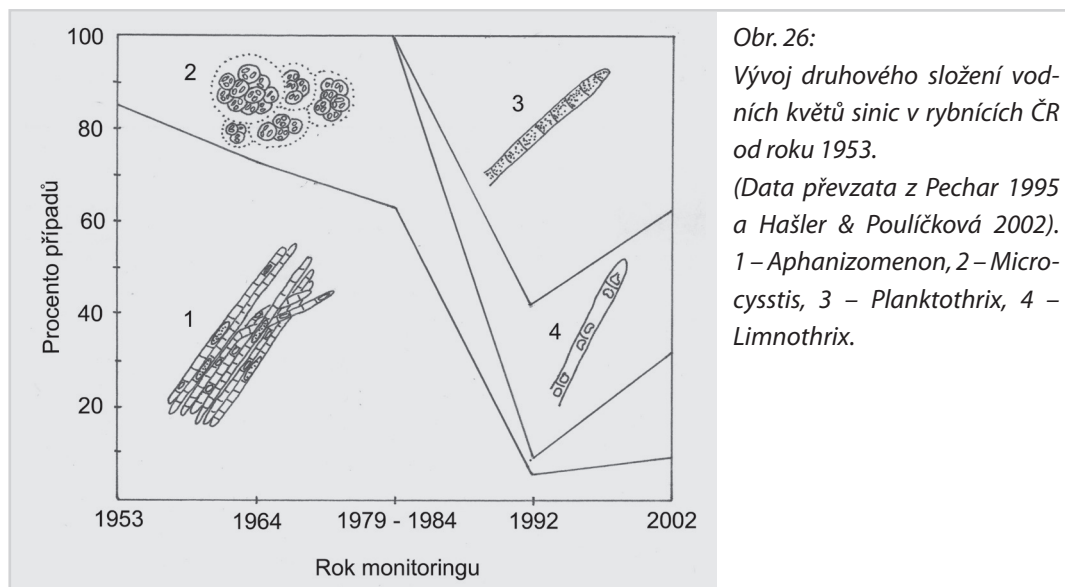
Produkční rybníky jsou většinou eutrofní až hypertrofní (Třeboňsko, Blatná, Lednicko). Díky vápnění a hnojení, které je spojeno s érou intenzifikace zemědělství, se většina dříve oligotrofních rybníků změnila na mezotrofní, eutrofní, či dokonce hypertrofní. Tento způsob managementu označil Pechar (1995, obr. 25) jako „neplánovaný velkoplošný experiment“ a je důsledkem zvyšování produkce ryb v 70. letech.



Eutrofní rybníky mají vysoké hodnoty chlorofylu *a* (více než $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$), nízkou průhlednost (několik cm) a plankton je tvořen zelenými řasami (*Scenedesmus*, *Pediastrum*) a sinicemi (*Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Planktothrix*). Druhové složení vodních květů sinic se v průběhu posledních 30 let značně změnilo. Původně dominující koloniální sinice (*Aphanizomenon*, *Microcystis*) ustou-

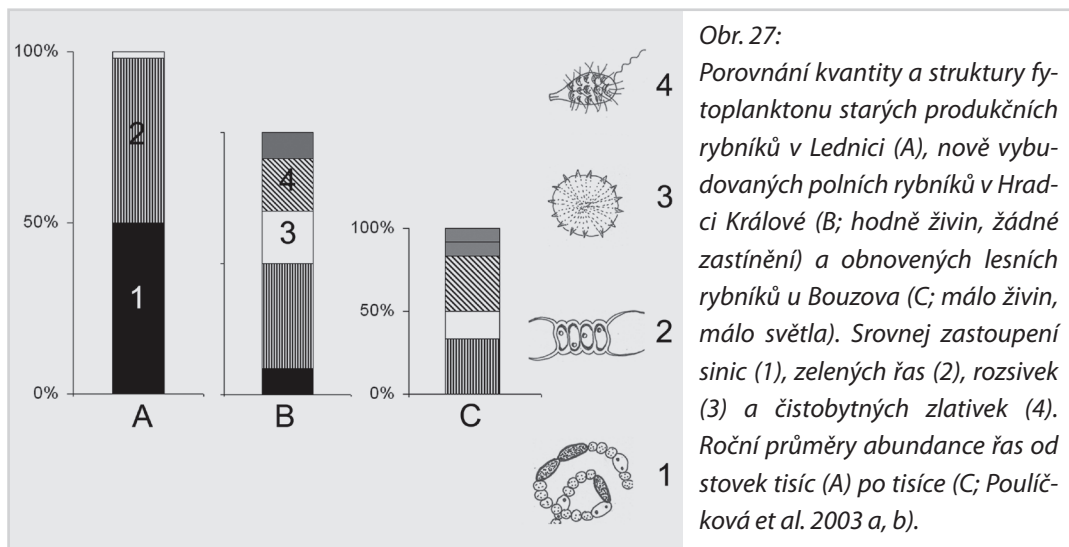
pily v poslední době nekoloniálním druhům *Planktothrix*, *Limnothrix*, které lépe snášejí zastínění hustým fytoplanktonem (obr. 26, Hašler & Pouličková 2002).

Rybí obsádka a obhospodařování rybníků silně ovlivňují složení fytoplanktonu. Ve většině produkčních rybníků na Třeboňsku se provádí výlov jednou za dva roky. V prvním roce jsou nasazeny malé rybky, které druhým rokem dorůstají a na podzim jsou připravené k výlovu. Složení potravy mladých a starších ryb se liší, tedy predanční tlak na zooplankton je rozdílný, a tím je v obou letech regulováno množství fytoplanktonu. Zjednodušeně řečeno: při vysokém predančním tlaku ryb je zooplanktonu málo, nestačí konzumovat fytoplankton a řasy se přemnoží (= sníží se průhlednost vody); při nízkém predančním tlaku ryb se zooplankton přemnoží, intenzivně filtruje řasy, jejichž rozvoj je potlačen (= zvýší se průhlednost vody). Tak se v obhospodařovaných rybnících celý proces v dvouletých cyklech opakuje.



Častým typem rybníků jsou návesní „požární nádrže“, mnohdy s kachnami, kde jsou běžná krásnoočka, která mohou vytvářet i neustonickou blanku. Speciální rybníčky, které byly vybudovány k dočišťování odpadních vod (škrobárny, mlékárny), mají vysoký podíl organických látek a v planktonu rovněž převažují bičíkovci se vztahem k mixotrofii (*Euglena*, *Phacus*, *Pandorina*, *Chlamydomonas*).

V posledních letech je velkou módou obnovovat zaniklé rybníky či budovat nové jako „zdroje biodiverzity“ v krajině. To je však třeba dělat s rozvahou. Jako příklad lze uvést obnovu lesních rybníků u Bouzova a vybudování nových rybníků v Hradci Králové. U Hradce Králové byly rybníky nevhodně navrženy v otevřené krajině na intenzivně obhospodařované zemědělské půdě a byly ihned po napuštění náchylnější k eutrofizaci. Množství fytoplanktonu odpovídalo mezotrofii se zvýšeným podílem zelených řas a sinic (obr. 27). Naopak projekt Bouzov je možné označit za úspěšný. Rybníčky byly vhodně umístěny v krajině, množství fytoplanktonu bylo nízké, dominovaly čistobytné zlativky a nebyly přítomny žádné sinice.



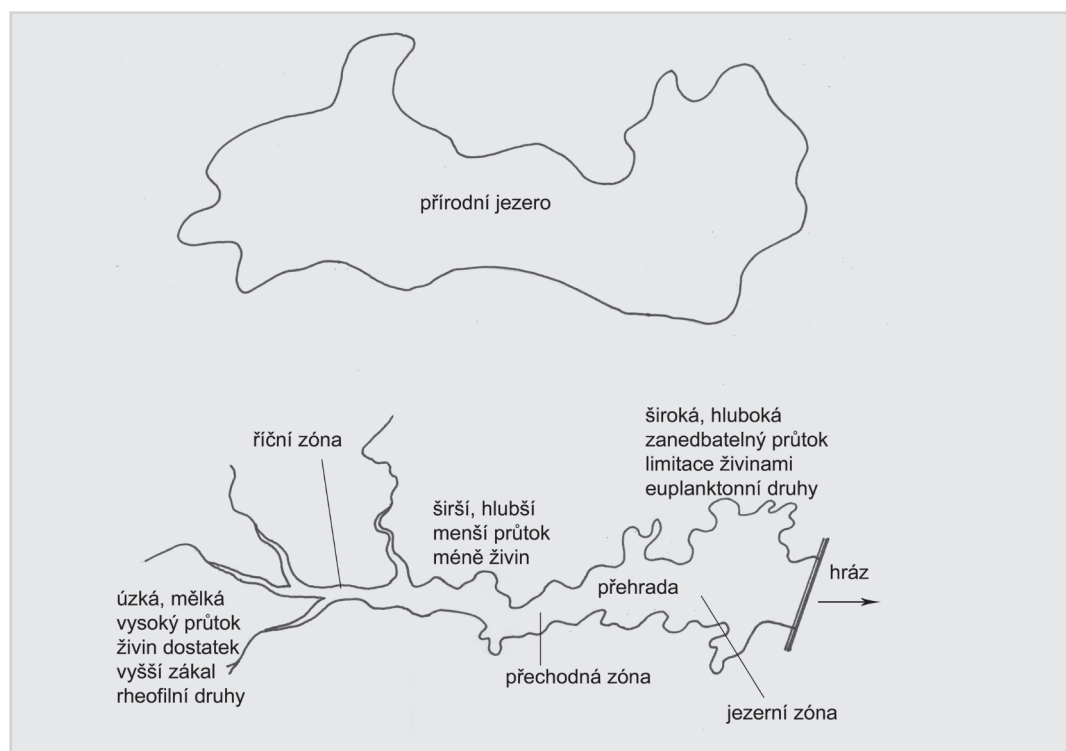
Rybníky stárnou a postupně se zanášejí sedimenty. V minulosti hospodáři rybníky pravidelně letnili a vyhrnovali. Rybník byl vypuštěn a úrodné bahno se odváželo na pole nebo zůstávalo na břehu rybníka jako deponie. Tento způsob obhospodařování se již řadu let neprovozuje a většina rybníků je zanesena mocnými vrstvami sedimentů, které se musí odtěžit v rámci jejich **revitalizace**. Revitalizace však může mít pro zadavatele nečekané ekologické důsledky. Jako modelový případ může sloužit rybník v Arboretu v Bílé Lhotě. Paleolimnologickou analýzou jeho sedimentů jsme zjistili (Pouličková et al. 2008), že v posledních 15 letech v rybníčku značně stoupl obsah fosforu, jehož zdrojem byl komunální odpad z vesnice Bílá Lhota. Eutrofizace měla za následek dominanci *Planktothrix agardhii*. Pro potlačení sinice jsme použili přípravek PAX 18, který vysrážel fosfor z vodního sloupce a vytvořil ochrannou vrstvičku na povrchu sedimentu, takže se fosfor nemohl ze dna uvolňovat. Díky zastavení přítoku z vesnice byl zákrok velmi účinný, sinice z rybníka vymizela (Lešková et al. 2008). Následovala revitalizace odtěžením sedimentů, spojená s dalšími estetickými zákroky (vykácení stromů na březích a výsadba vodních makrofyt v litorálu). Rybník byl pozvolna napuštěn ze studny. Po napuštění byl plankton chudý a objevily se unikátní druhy řas, které jsou známy z čistých vod. Dominovaly zlativky rodu *Dinobryon*, obrněnky a skryténky. V litorálu se začaly objevovat zelené chomáčky tvořené zprvu rodem *Spirogyra*, později však přerostly rodem *Cladophora*. Žabí vlas postupně vyplnil celý rybník, přestože se pracovníci arboreta snažili biomasu pravidelně manuálně odstraňovat. Sinice se sice žádné neobjevily, ale díky prosvětlení vodní plochy (vykácení stromů na břehu) a nedostatku fosforu ekosystém „přeskočil“ na druhou kolej, a tím je rozvoj metafytonu.

Bentická společenstva rybníků jsou většinou dobře vyvinutá, převažuje epifyton a epipelon, kameny jako substrát v rybnících většinou chybí (s výjimkou hráze). Fytobentos je podobný jako u mělkých jezer, častý je metafyton (Zygnematophyceae); v lednických rybnících můžeme najít v metafytonu slanomilnou řasu *Enteromorpha intestinalis*. Spojovacím článkem mezi bentosem a planktonem je řasa *Hydrodictyon*, která se z litorálu může rozšířit do celého vodního sloupce, podobně jako *Cladophora*. Invaze řasy *Hydrodictyon* byly v minulosti problémem např. na Novém Zélandu.

Rozvoj bentických řas je ovlivněn světlem a trofií, v eutrofním rybníku je biomasa větší, kolonizace substrátů rychlejší a vertikální zonace výraznější (Kitner et al. 2005, Pouličková et al. 2006, obr. 16A, B). V oligotrofním rybníku jsou v nárostech zastoupeny zlativky, rozsivky a zelené řasy, v eutrofním rybníku rozsivky, zelené řasy, sinice, krásnoočka a skrytěnky.

Přehrady – údolní nádrže

Přehrady jsou umělé, hrazené, hluboké vodní nádrže s větší průtočností. Mají přechodný charakter mezi tekoucí a stojatou vodou. Naše největší přehrada je Orlík s výškou hráze 91,5 metru, největší zatopenou plochu má Lipno (46 km²) a nejdelší hráz má přehrada Nechranice (3280 m). Přehrady lze obvykle rozdělit na tři zóny (obr. 28): říční (nejblíže k přítokům), přechodnou a jezerní (nejblíže k hrázi).



Obr. 28: Porovnání morfologie přirozeného jezera a přehrady. Rozdělení přehrady na tři charakteristické zóny (upraveno podle Kalf 2002).

Nádrže s menším průtokem se chovají jako jezera, nádrže s větším průtokem jsou bližší pomalu tekoucí řece. V hlubších přehradách může sezónní dynamika fytoplanktonu zahrnovat i období „clear water“ (Římov). Zvláštním případem jsou špičkové přehrady s vodními elektrárnami, které nemají vytvořený litorál a v bentosu přežívají jen sinice odolné proti vysychání. Eutrofizace spojená s výskytem vodního květu sinic je závažným problémem, který v posledních letech vyřadil z rekreačního využití některé známé přehrady (Brněnská, Plumlov, Luhačovice, Orlík); většinou šlo o vodní květy *Microcystis* (Keršner & Maršálek 1999). Ještě větší škody působí eutrofizace na vodárenských nádržích. Některé zdroje byly odstaveny pro jejich neupravitel-

nost. Typickým příkladem je Fryštácká údolní nádrž, kde se vodní květy sinic vyskytovaly pravidelně od roku 1960 a každoročně byly potlačovány algicidy, zejména skalicí modrou a dusičnanem stříbrným (Symon et al. 1960). V 90. letech byla nahrazena vodárenskou nádrží Klečůvka u Slušovic a slouží pouze ke sportovnímu rybaření a k zadržování přívalových dešťů.

Tůňe

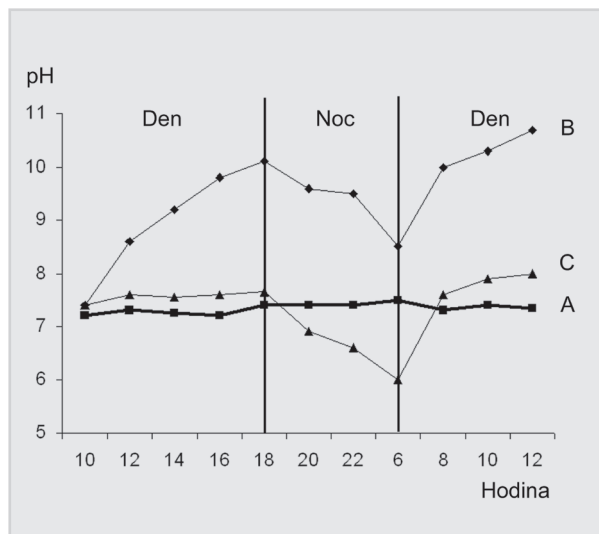
Tůňe jsou drobné, nevypustitelné vodní nádrže přirozeného nebo umělého původu a dělí se na permanentní a periodické. Mohou to být i zbytky někdejších mrtvých ramen řek. Nacházejí se v nivách nížinných řek (Litovelské Pomoraví, Lužnice, Labe, Vltava, Dyje), kde bývají pravidelně zaplavovány říční vodou. Některé tůňe jsou tedy syceny řekou (inundační), jiné pramenným vývěrem. Tůňe mohou mít i velkou relativní hloubku (v poměru k ploše) a mohou být dokonce stratifikované (Pithart ed. 2000). Mělké tůňe mívají vyvinuta litorální společenstva.

V poříčních periodických tůňích bývá voda zpravidla jen do května, teplota a chemismus značně kolísají. Organismy mají specifické adaptace a musí být schopny dokončit životní cyklus před vysušením biotopu. Vegetace i fauna je chudá. Setkáme se zde s typickými živočichy jako např. žábronožky, listonozi. Stálé tůňe mají průměrnou maximální hloubku 2 m a bohatě vytvořenou litorální zónu, naproti tomu profundál téměř vždy chybí.

Abundance a druhová bohatost planktonních řas v tůňích pozitivně korelují s množstvím rozpuštěného kyslíku, negativně s pokrytím hladiny okřehkem. Větší diverzita je v lučních, přirozených a stálých tůňích než v lesních, umělých a periodických tůňích. Luční tůňe mají větší podíl rozsivek, lesní tůňe a tůňe s okřehkem jsou charakteristické výskytem monád (Cryptophyta, Euglenophyta). Vysoký podíl bičíkovců, absence sinic a kokálních forem odlišuje tůňe od jiných stojatých vod (rybníků a jezer). V lesních tůňích Poodří tvoří krásnoočka až 80 %. V čistších a chladnějších tůňích můžeme najít i zlativky. Z rozsivek jsou typicky planktonní druhy zastoupeny jen zřídka (*Asterionella*, *Cyclotella*), naopak často převažují penátní typy včetně rheofilních (zvláště po povodních a jarních záplavách). Předpokládá se, že je to způsobeno absencí míchání vodního sloupce, zvláště v tůňích s velkou relativní hloubkou (ve vztahu k ploše). Kokální formy rychle sedimentují, zatímco bičíkovci se do vodního sloupce mohou vrátit a nejsou závislí na jeho míchání (Pithart ed. 2000).

V nárostech jednoznačně dominují rozsivky, pro tůňe s výskytem okřehku (*Lemna minor*) je typická epifytická rozsivka *Lemnicola hungarica* (Buczko 2007). Časté jsou i vláknité řasy v závislosti na procentu zastínění tůňi (Pithart ed. 2000).

Proces stárnutí tůňi zahrnuje postupné zazemňování a zarůstání rákosinami s rozvinutým epifytonem a metafytonem a nakonec se tůň mění v podmáčenou louku. Rozvoj metafytonu může ovlivnit pH i kyslíkový režim takových tůňi, což je možné demonstrovat na rozvoji řasy *Hydrodictyon* v tůňi Pontonová v Litovelském Pomoraví (obr. 29). V období vrcholu fotosyntézy zde bylo za slunečného dne naměřeno pH až 11. V Litovelském pomoraví dochází v rámci managementu k obnovování zarůstajících tůňi bagrováním, případně vystřelováním trhavinou. Po revitalizaci se jako první úspěšné stadium objevuje na dně tůňe mohutný porost parožnatků, ty však ve druhém roce postupně vymizí.



Obr. 29: Vliv masového rozvoje řasy *Hydrodictyon* na diurnální změny pH. V pokusu byla použita volná voda z tůň Pontonová, obsahující fytoplankton (A). V pokusné nádobě s biomasou řasy *Hydrodictyon* pH během dne vzrostlo a v noci lehce pokleslo, v závislosti na fotosyntéze a dýchání této řasy (B). Stejně množství řasy *Hydrodictyon* obsahovala i nádoba třetí, která byla zastíněna, takže řasy nemohly fotosyntetizovat a biomasa *Hydrodictyonu* v noci více prodýchala, čemuž odpovídal i pokles pH (C). Upraveno podle Lelková & Pouličková (2004).

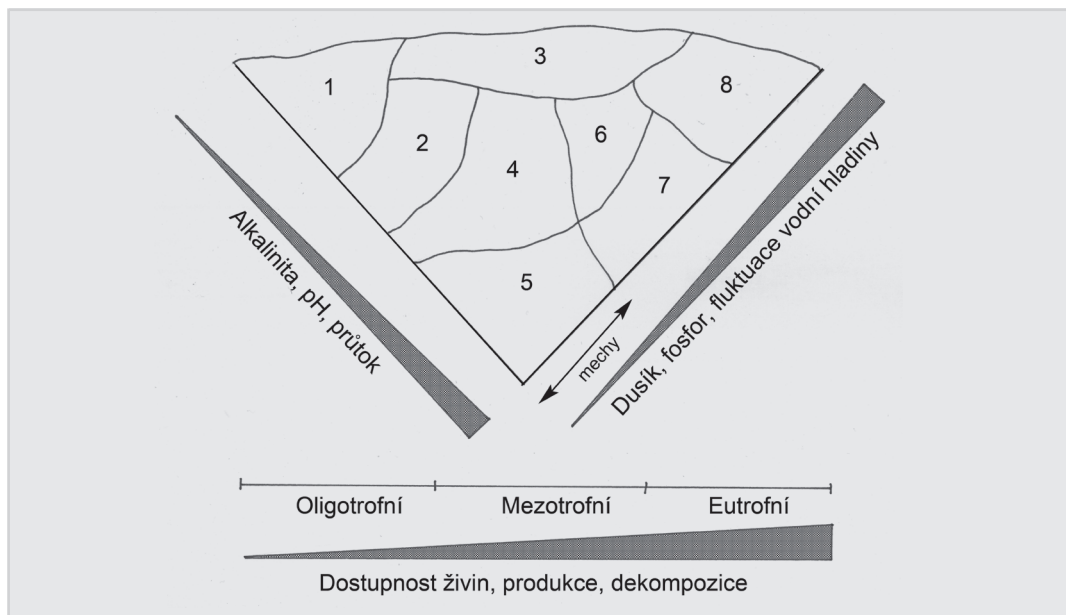
Malé tůňky vznikají i v puklinách skal (litotelmy), ve vykotlaných dutinách stromů (dendro-
telmy) nebo mezi listy rostlin (fytotelmy). Životní podmínky v těchto tůňkách jsou velmi nestálé
a extrémní.

5.4 Mokřady

Mokřady zahrnují mělké vodní biotopy a vodou saturované půdy s anaerobními podmínka-
mi, periodickými fluktuacemi vodní hladiny a unikátní flórou a faunou. Představují přechodná
hydroterestrická stanoviště a nabízí škálu substrátů a mikrobiotopů pro rozvoj bentických řas.
Mokřady se nacházejí na všech kontinentech s výjimkou Antarktidy, ve všech klimatických páslech
a liší se hydrologií (zdrojem vody a dobou zaplavení), geomorfologií, vegetací, půdním typem
a hydrochemií. Produkce mokřadů je extrémně vysoká, není ovšem bezprostředně konzumována
herbivory, ale organické látky se hromadí ve formě detritu. Ten je důležitým zdrojem energie pro
bezobratlé. Vliv gradientů prostředí na jednotlivé typy mokřadů je schematicky znázorněn na ob-
rázku (obr. 30).

Bažiny, močály, slatiny představují poslední vývojové fáze vodních nádrží s vrstvou bahna
a hustou vegetací (viz stárnutí jezer). Slatiny vznikají zazemněním jezer a jsou zásobovány podzem-
ní vodou, jejich pH se pohybuje od 5 do 6.

Minerálně chudá rašeliniště, sycená srážkovou vodou, která jsou odkázána pouze na vnitřní
koloběh živin, označujeme jako ombrotrofní; dalším typem jsou minerotrofní mokřady, které vyu-
žívají živiny z okolních minerálních půd. Právě rašeliniště s vrstvou organické hmoty, vzniklé ana-
erobním rozkladem rašeliníků, je vzhledem podobné slatinám, ale minerálně chudé a kyslejší.
Vznikají na území s vysokými srážkami, velkou vzdušnou vlhkostí a velkým množstvím rostlinné
biomasy. Jsou charakteristická nízkou konduktivitou (zejména ombrotrofní rašeliniště) a alkalini-
tou, vysokým obsahem CO_2 , a nedostatkem kyslíku u dna. Pufrací kapacita je nízká. Dominantní
rostlinou takových rašeliníšť (vrchovišť) se *Sphagnum*. Vrchoviště jsou zásobovány pouze sráž-
kovou vodou a jejich pH je 3,5–4,5. Rašelinné tůňky jsou osídleny tyrfobiontními druhy (*Chroo-
coccus turgidus*, *Frustulia saxonica*, *Eunotia exigua*, *Gloeocystis vesiculosa*, *Oocystis solitaria*, *Euglena*



Obr. 30: Rozdělení mokřadů podél hlavních gradientů prostředí (upraveno podle Zoltai, Vitt 1995). 1 – ombrotrofní rašeliniště s dominancí rašeliníku („bog“), 2 – chudý minerotrofní mokřad s mechory a ostřicemi „fen“, 3 – zalesněná bažina „swamp“, 4 – středně minerálně bohatý mokřad („fen“), 5 – minerálně bohatý mokřad („fen“), 6 – sladkovodní močál „marsh“ živinami bohatý, charakteristický kořenujícími rostlinami, 7 – slaný mokřad, 8 – mokřad pod vlivem přílivu a odlivu.

mutabilis, *Cylindrocystis*, *Netrium*, *Euastrum*, *Pleurotaenium*, *Xanthidium*), typické jsou hlavně krásivky a rozsivky.

Řasy rašelinišť jsou ovlivňovány několika základními ekologickými parametry, z nichž nejdůležitější je vlhkost a pH. Vlhkost souvisí s prokysličením a je závislá na výšce hladiny podzemní vody. Velká variabilita řasových společenstev rašelinišť je způsobena variabilitou mikrobiotopů, která je výsledkem mikrotopografie terénu se suššími bulty a vlhčími šlenky. Gradient pH úzce souvisí s konduktivitou a obsahem vápníku.

V rašelinných tůňkách nacházíme na dně i ve vodním sloupci vložky řas a třídění takových společenstev je obtížné. Prolínají se společenstva jako epipelon, epifyton, metafyton a pseudoplankton. Vysychající rašelinné tůňky se často pokryjí řasou *Zygogonium* a povrch bahna dostane fialové zbarvení.

K rozšířeným mokřadům na Moravě patří svahová prameniště. Hojně se nacházejí v Západních Karpatech na česko-slovensko-polských hranicích a můžeme je označit za helokreny (viz helokreny). Tento typ mokřadů osidlují epifytická společenstva řas (Pouličková et al. 2005).

5.5 Moře a oceány

V této kapitole jsou načrtnuty velmi zjednodušeně jen základní rysy ekologie mořských řas. Problematika je natolik složitá, že by se úměrně tomu zněkolikanásobil rozsah publikace. Zájemci o hlubší rozbor problematiky mořských řas musí sáhnout po některém ze zahraničních titulů, např. Lüning (1990).

5.5.1 Fytoplankton moří

Povrchové vrstvy světových oceánů produkují srovnatelné množství uhlíku jako rostlinstvo pevniny. Tato produkce moří je kontinuální, zatímco na pevnině je sezónní. V oceánech různých klimatických pásem se nachází charakteristický fytoplankton. Rozdíly jsou rovněž mezi otevřeným oceánem a příbřežní zónou. Příbřežní vody jsou obohacené o živiny, organické látky a jsou tedy úživnější než otevřený oceán. To má za následek až 7x vyšší produkci fytoplanktonu, kterou vytváří zejména síťový plankton a nanoplankton. Příbřežní (neritický) fytoplankton je charakteristický rovněž přítomností meroplanktonních druhů. Srovnatelná situace je kolem atolů a korálových útesů. Jedna z nejběžnějších neritických rozsivek je *Skeletonema costatum* agg., žijící i v brakických vodách ústí řek. Dalším příkladem je *Bacillaria paxillifera*, která je na rozdíl od rodu *Skeletonema* pohyblivá. Neritické rozsivky sedimentují a znovu se vrací do vodního sloupce; podobně jako řada jiných neritických řas tráví část životního cyklu v sedimentu. Neznalost životních cyklů řas vedla v minulosti k popisům nových druhů, které byly pouze vývojovými stadii téhož druhu. Příkladem může být vápenatý bičíkovec *Hymenomonas*, jehož přisedlá forma byla zprvu omylem popsána jako *Apistonema*.

Mořský plankton není rozptýlen rovnoměrně, ale vytváří shluky oválného tvaru o průměrné velikosti 30 × 40 mil, které je možno pozorovat na satelitních snímcích. Výrazná horizontální distribuce je v estuáriích. Plankton se může dále koncentrovat v zálivech ve směru převažujících větrů. V chladných, živinami bohatých vodách dominují rozsivky, zatímco oligotrofní teplé vody obývají vápenatí bičíkovci. Třetí nejdůležitější skupinu mořských planktonních řas představují obrněnky, které jsou svými nároky mezi oběma krajními situacemi.

V **chladných mořích** s ledovou pokrývkou může fytoplankton vegetovat i pod ledem (*Thalassiosira*, *Chaetoceros*, *Skeletonema*, obr. 33). *Thalassiosira* je adaptována za nízké teploty a osvětlení, zatímco *Skeletonema* toleruje široké rozmezí těchto faktorů. Původně se *Skeletonema* řadila mezi euryvalentní rozsivky, v poslední době se však ukazuje, že v rámci tradičních druhů je skrytá diverzita, tedy že jde o druhové komplexy s odlišnými ekologickými nároky. V létě jsou rozsivky nahrazeny vápenatými bičíkovci a produkce fytoplanktonu v chladných mořích dosahuje maxima. Celková produkce chladných moří je relativně vysoká, naproti tomu druhová bohatost řas je v chladných mořích nejnižší. Druhová bohatost stoupá v temperátních a tropických mořích.

Rozdíl mezi neritickou a oceánickou oblastí je nejvýraznější v **tropických mořích**. Tento rozdíl souvisí s častou cirkulací vody podél pobřeží a s faktem, že oligotrofní oblast volného oceánu je více méně stratifikovaná a stabilní. Tropická společenstva se skládají z rozsivek a vápenatých bičíkovců. V zálivech jsou četné obrněnky, které jsou směrem do otevřeného oceánu nahrazeny jinými bičíkovci. V ústích řek se setkáme s velkými centrickými rozsivkami. Ze sinic je v tropických mořích častý rod *Trichodesmium*. Ačkoliv je těžké vymezit planktonní společenstva tropických moří, charakteristickými elementy jsou *Stephanopyxis palmeriana*, *Planktoniella sol*, *Gossleriella tropica*, *Hemidiscus cuneiformis*.

Mediterrán je z hlediska fytoplanktonu přechodem mezi temperátními a tropickými oceány. Má chladnější vodu než v tropech a zimní flóra je tvořena křemičitými bičíkovci *Dictyocha*. V Sargassovém moři dominují 6 měsíců v roce vápenatí bičíkovci (*Emiliania huxleyi*). Typická

společenstva plovoucích makroskopických řas *Sargassum natans* a *S. fluitans* zde zaznamenal už v roce 1492 Kolumbus. Toto plovoucí společenstvo tvoří vegetativně se množící *Sargassum* a jeho epifyti. Kromě Sargassového moře se s touto řasou setkáme i v Jihočínském moři, kolem Japonska, Filipín a v Rudém moři. V tichých zálivech podél Texasu najdeme podobná plovoucí společenstva tvořená jinými řasami (*Gracillaria*, *Chondria*). Fytoplankton v Indickém oceánu je ovlivněn monzunou, které snižují salinitu a zvyšují obsah živin.

Na některých pobřežích, hojně navštěvovaných surfaři, je díky velkým vlnám specifický plankton (surf plankton), který neobsahuje jemné formy, ale robustní centrické rozsivky jako *Aulacodiscus kittoni*.

Specifickým mořským biotopem jsou **tůně nad hranicí přílivu–odlivu**. Kromě planktonu a epilítu mohou mít vyvinutý i neuston. Jsou vystaveny drastickým změnám v teplotě, salinitě, koncentraci živin i plynů. Tyto tůně jsou náhle zaplavovány občasnými velkými vlnami, nebo ředěny dešťovou vodou. Díky ptákům a odumírajícím chaluhám jsou bohaté na organické látky, takže druhy žijící v tomto prostředí jsou auxotrofní a mají extrémně rozvinutý osmoregulační systém (*Rhodomonas salina*, *Dunaliella salina*). Příkladem je *Dunaliella*, která produkuje v hypersalinních vodách glycerol, jenž jí pomáhá udržovat enzymatický aparát v podmínkách vysokých koncentrací solí. Mnohé řasy těchto tůní vyžadují jako zdroj dusíku močovinu (*Hemiselmis virescens*).

5.5.2 Fytobentos moří

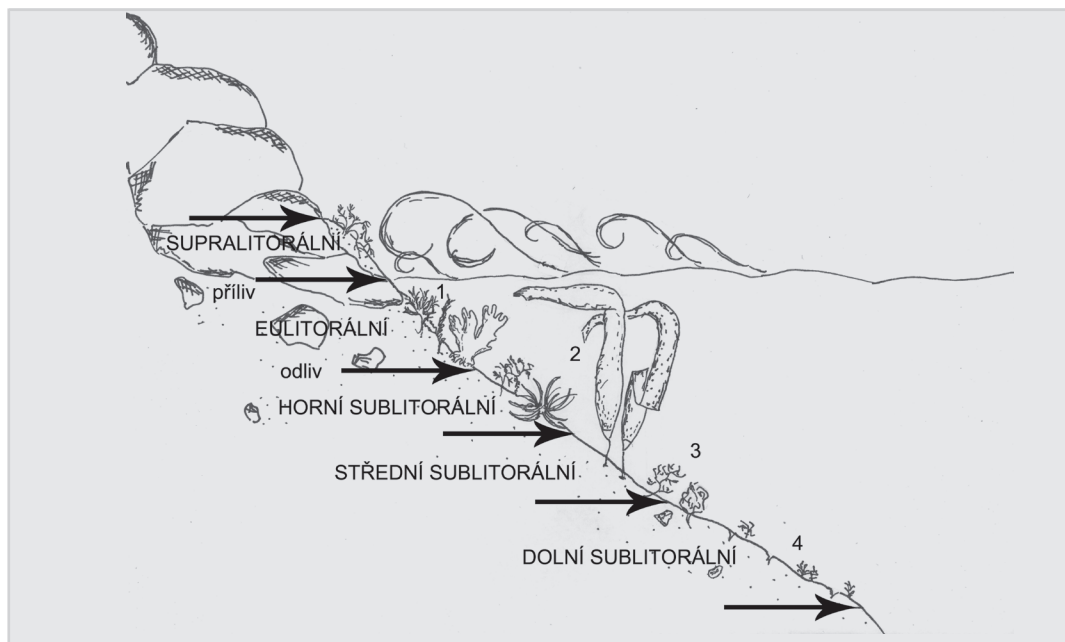
Epilít mořského pobřeží

Skalnaté mořské pobřeží je nehostinné prostředí s velkými výkyvy teploty, opakovaným vysoušením a zvlhčováním, změnami salinity, předací ze dvou prostředí, a místem silné disturbance vlnami. Přesto je zde bohaté oživení s typickou zonací (belty). Pobřeží se liší podle expozice k vlnobití od silně po slabě exponované. Obecně se epilítickými řasami mořského pobřeží říká „seaweeds“ a patří sem makrořasy s pletivnou stélkou, zejména zástupci tří skupin – Chlorophyceae, Phaeophyceae a Rhodophyceae. Jsou to velké a strukturou stélky komplexní řasy s nepřehlédnutelnými prvky paralelismu v morfologii.

Přestože se druhové složení řas v různých geografických oblastech liší, jejich růstové formy v jednotlivých zónách jsou podobné (obr. 31). Belty jsou výsledkem interakce mezi kolonizujícími řasami a komplexem biotických a abiotických faktorů; v horních beltech hrají hlavní roli fyzikální faktory, níže na gradientu se začínají uplatňovat faktory biotické, zejména kompetice. Podél gradientu se uplatňují různé formy stresu, v horní části převládá vysychání, ve střední působení vln a v dolní části nedostatek světla.

Z tohoto pohledu lze očekávat tři zóny: nad hranicí přílivu, zóna přílivu a odlivu a pod hranicí odlivu (supratidal, intertidal a subtidal = supralitorální, eulitorální a sublitorální). V první zóně jsou řasy ve styku se vzduchem a dešťovou vodou, ve druhé dochází k periodickému obnažování a ve třetí jsou porosty trvale ponořeny.

Pobřeží se považuje za přechodovou zónu mezi suchozemským a mořským prostředím, tedy jakýsi ekoton, který by měl hostit druhy z obou prostředí; ve skutečnosti však zde žádné suchozemské rostliny nenacházíme. V ostříkové zóně bylo nalezeno pouze několik mechů, lišejníků či



Obr. 31: Zonace bentosu na hypotetickém mořském pobřeží a růstové formy řas, které jednotlivé belty obývají. Modifikováno podle četných schémat v literatuře, zejména Graham, Wilcox (2000). Supralitorální belt je omýván jen vlnobitím, eulitorál je vymezen přílivem a odlivem. Horní sublitorální belt sahá k hranici maximálního odlivu a střední sublitorální belt je stabilně pod vodou. Na začátku dolního sublitorálního beltu je k dispozici už jen 5 % světla. Schéma je zjednodušené a zobecněné, v konkrétních podmínkách mohou některé růstové formy chybět, záleží na komplexu faktorů daného pobřeží – viz text.

1 – tzv. „canopy algae“ řasy vytvářející souvislé porosty, 2 – gigantické chaluhy s podrostem menších řas, 3 – řasy „podrostu“, 4 – krusty a řasy pronikající do substrátu.

játrovek. Všechny řasy pobřeží jsou původně mořské a žijí zde v mezních podmínkách, které jsou schopny ještě tolerovat. Většina jich je schopna bez problémů žít pod hranicí odlivu a fázi obnažení ke svému životu nepotřebují.

Nad hranicí přílivu je druhů méně a prostředí připomíná brakické vody nebo slané mokřady. Flóra této zóny je podobná (ve smyslu růstových forem) v různých zeměpisných oblastech a liší se druhovým složením. Mohou za sebou následovat např. rody *Prasiola*-*Rhodochorton*-*Porphyra*-*Ulothrix*. Vápence hostí endolitické sinice *Hyella*, *Entophysalis*, na jejich povrchu je *Gloeocapsa*. Sinice *Calothrix* zde fixuje vzdušný dusík. Indikátorem zvýšeného obsahu organických látek (ptačí kolonie) je řasa *Prasiola*.

Zóna mezi přílivem a odlivem je charakteristická periodickým obnažováním a řasy musí být adaptovány na vysychání. Příkladem je svažité pobřeží severní Evropy, chráněné před vlnobitím, s charakteristickou zonací *Pelvetia*-*Fucus*-*Ascophyllum* (obr. 37). V mírném pásu jsou porosty této zóny husté, dále na sever ustupují a převládají trpasličí formy řas jako *Hildenbrandia*. V arktickém moři je flóra monotónní co do forem i barvy. Převládá temná hnědá barva (*Laminariaceae*), pouze v létě se přidá např. *Prasiola*. V tropech je flóra této zóny naopak bohatá na zelené řasy, chaluhy i ruduchy (*Enteromorpha*, *Ectocarpus*, *Ceramium*).

Obecně můžeme říci, že chaluhy jsou náročnější na světlo, zatímco ruduchy snášejí zastínění a nacházejí se ve větších hloubkách. Důležitý je však také substrát; písek není stabilní a ve spojení s vlnobitím působí jako abrazivo. Vápníkem inkrustující řasy (*Lithophyllum*, *Corallina*, *Jania*), pomáhají vytvářet korálové útesy.

Tůně na útesech se na první pohled zdají pusté, jsou však pokryté sinicemi, rozsivkami nebo zelenými kokálními řasami. Hnědé zbarvení je většinou dáno slizovými pochvami sinic. Niže, poblíž hranice odlivu už je oživení bohatší s výskytem rodu *Lithothamnion*, který propůjčuje skále růžovobílé zbarvení. Četné mohou být i *Corallina*, *Cladophora* a v dolní části se přidávají i chaluhy. Na jaře se vyskytují rozsivky, žijící ve slizových trubicích (tube dwelling diatoms).

Zóna pod hranicí odlivu má taky řadu dílčích beltů, jejichž poloha se vyjadřuje v metrech pod hranicí nejnižšího přílivu. Směrem do hloubky za sebou následující *Laminaria* a *Saccorhiza*. Ekonomicky důležitá řasa této zóny je *Macrocystis* (kelp), která se komerčně využívá díky produkci alginátů. Vyskytuje se hlavně na jižní polokouli, ale také v Kalifornii v hloubkách 5–10 m. Řasy v zóně pod hranicí odlivu mají morfologicko-fyziologické adaptace, které souvisí zejména s úbytkem světla; řasy zde rostou rychleji a mají delší stélky (etiolizace).

Zajímavým ekologickým fenoménem je invaze tropické zelené litorální řasy *Caulerpa taxifolia* do Středomořího moře. Řasa byla oblíbenou dekorací akvárií a oceánologických ústavů. Na počátku 80. let unikla geneticky pozměněná, chladnomilná forma z Oceánografického muzea v Monaku a začala se šířit podél pobřeží Francie, Španělska, Itálie a do celého mediteránu. Vyniká obrovskou přizpůsobivostí k typu substrátu i znečištění. Její neuvěřitelně rychlé šíření je dáno vysokou růstovou rychlostí, vegetativním rozmnožováním úlomky stélky, které se šíří lodní dopravou, turismem atd. Řasa je toxická, nepoživatelná pro bezobratlé, epifyti ji nejsou schopni kolonizovat. Nahrazuje původní druhově bohatá litorální společenstva řas a mořské trávy, která mizí i s koexistujícími živočichy. Invaze řasy *Caulerpa* vede ke katastrofickému snížení diverzity až k homogenizaci pobřežních vod. Proto se o ní v tisku píše jako o řase – zabijákovi („killer alga“; Jouson et al. 2000).

Epipsammon mořského pobřeží

Přímým pozorováním zrněk písku pod mikroskopem obvykle nepozorujeme víc než slizovité bakteriální povlaky. Drobné prohlubně vyplňují zejména kokální sinice či zelené řasy a důležitou složkou jsou i rozsivky přisedlé těsně nebo na krátké stopce. Na mořských písčitých plážích je veškerý organický materiál spojen s povrchem zrněk písku, jen asi 5 % je volně v intersticiální vodě. Písek je v pohybu a přisedlé řasy jsou adaptovány na občasný pobyt ve tmě. Musí mít rovněž schopnost krátkodobého volného pohybu, aby si našly nový substrát. Produkci slizu přispívají epipsammonické řasy ke stabilizaci sedimentů.

Mořský epipelon

Epipelon je hojně vyvinut v zóně mezi přílivem a odlivem a pod hranicí odlivu, dále ve slaných močálech a estuariích. Společenstva jsou ovlivňována kvalitou sedimentu a dominují v nich sinice a rozsivky, které jsou nejdůležitějšími primárními producenty pobřežních sedimentů. Epipelické rozsivky jsou zároveň hlavním zdrojem potravy bentických měkkýšů a koryšů. V estuariích najdeme rozsivky tolerující výkyvy salinity (*Pleurosigma*, *Diploneis*, *Navicula gregaria*, *Gyrosigma*). V epipelonu se vyskytují i krásnoočka, která mohou vytvořit zelené povlaky. Ze sinic se ve slaných

bažinách setkáme s druhy fixujícími vzdušný dusík, např. *Lyngbya aestuarii*. Běžná je i různobrvka *Vaucheria*, která svým slizem zpevňuje sedimenty podobně jako drny tvořící trávy v suchozemských ekosystémech. Druhové složení v rámci rodu *Vaucheria* je odlišné v závislosti na gradientu salinity. Písčité pobřeží, jsou chudší a najdeme zde skryténky, obrněnky a rozsivky rodu *Navicula*. Nápadné jsou nárosty ruduchy *Audouinella purpurea*, v jejichž stélkách se zachycují zrnka písku.

Sedimenty pod hranicí odlivu jsou neprozkoumané, oživení je závislé na poměru písku a jemného bahna. Hlubší partie oceánu jsou pro fototrofní organismy nehostinnou oblastí, přesto byly v severním Atlantiku z hloubky 6000 metrů vyzdvíženy živé rozsivky a jejich životaschopná odpočívající stadia. Z mořského pobřeží byl poprvé popsán i důležitý fenomén – periodická vertikální migrace epipelických řas v sedimentu. Po ústupu moře řasy poměrně rychle vystupují na povrch a vrací se do hloubky až hodinu před očekávaným přílivem. Pohyb nahoru by bylo možné vysvětlit fototaxí, pohyb zpět nebyl dosud vysvětlen. Protože je rytmus řasami dodržován i v laboratorních podmínkách za stálého osvětlení, předpokládáme, že je pod kontrolou biologických hodin, podobně jako diurnální vertikální migrace planktonních obrněnek.

Hloubka, do které řasy v sedimentu pronikají, je závislá na množství fytoplanktonu v pelagiálu, který stíní benthickým společenstvím. Některé mixotrofní řasy jsou však schopny přežít i ve tmě. Anoxické podmínky v sedimentech snášejí lépe sinice, zelené řasy jsou citlivější. Společenstvo pravého epipelonu je často doprovázeno nepohyblivými druhy pocházejícími z pelagiálu, např. centrickými rozsivkami. Podpovrchové nárosty řas, tvořené sinicemi *Gloeocapsa*, *Calothrix*, řadíme k endopelonu.

Stromatolity

Stromatolity jsou vrstevnaté struktury, podobné skaliskům, složené z písku, jílu a řas. Stromatolity jsou nejčastěji tvořeny kokálními i vláknitými sinicemi a nachází se recentně při pobřeží (v zóně mezi přílivem a odlivem a pod hranicí odlivu) tropických moří chráněných před vlnami (Florida, Bahamy, západní Austrálie). Nejčastěji jsou tvořeny sinicí *Schizothrix*, která nepatří ke kalcifikujícím druhům, ale stmeluje anorganické částice. V prekambriu byly zřejmě dominantní vegetační formací.

Mořský epifyton

Makroskopické chaluhy poskytují substrát pro směs hnědých, zelených i červených řas; epifyty najdeme i na „mořské trávě“. Obecně je kolonizace rostlinného substrátu pozitivně korelována se stářím hostitelských rostlin a ochranou před vlnobitím. Na chaluhách rodu *Fucus* najdeme epifytické řasy *Ectocarpus* a *Enteromorpha*. Okázalé jsou nárosty *Palmaria palmata* na rodu *Laminaria*. S úbytkem světla směrem do hloubky těchto epifytů ubývá a převládá *Phycodrys rubens*. Rovněž menší řasy jsou porostlé mikroskopickými epifyty, např. všudypřítomnými rozsivkami. Některé druhy epifytů kolonizují omezené množství hostitelů, jiné nejsou vybíravé a kolonizují cokoli, i umělé substráty. Hostitelské rostliny mohou produkovat antibiotika a jiné extracelulární metabolity, které odpuzují epifyty; např. *Sargassum* je bez epifytů, což se přičítá produkci taninu.

5.6 Terestrické prostředí a extrémní stanoviště

5.6.1 Aerofytické řasy

Epiliton

V terestrických podmínkách se můžeme setkat s řasami na kamenitém substrátu, zejména vlhkých skalách, ale tato společenstva byla dosud méně studována s výjimkou prací z poloviny 20. století. Řasy se vyskytují spolu s houbami a často lichenizují. Podmínky na těchto stanovištích jsou extrémní díky vysychání a vysokým teplotám, které mohou být na exponovaných vápencových skalách až o 23 °C vyšší než v okolním vzduchu. Diurnální výkyvy mohou být v rozsahu až 34 °C a roční výkyvy mohou dosahovat až 73 °C.

Nárosty tvoří na skalách barevné zóny od modrozelené, hnědé až po černou, které jsou nejčastěji tvořeny sinicemi (*Gloeocapsa*, *Scytonema*, *Stigonema*) a zelenými řasami Trebouxiophyceae. Při vyšší vlhkosti jsou nahrazeny aerofytickými rozsivkami (*Pinnularia borealis*, *Orthoseira rooseana*, *Luticola mutica*). S rostoucí vzdušnou vlhkostí (směrem do tropických oblastí) vzrůstá abundance i diverzita aerofytických řas. Na kyselejších podkladech najdeme krásivky ve slizových obalech (*Mesotaenium*) spolu se sinicí rodu *Stigonema* a rozsivkami *Eunotia*, *Pinnularia borealis*. Alkalické substráty jsou porostlé jinými druhy (*Aphanocapsa*, *Orthoseira*).

Obdobná společenstva jako na skalách nacházíme i v jeskyních. Distribuce řas v jeskyních je řízena zejména gradientem světla a vlhkosti, ostatní faktory jako teplota jsou obvykle stálé. Více světla vyžadují zelené řasy a rozsivky, a proto jsou nejpočetnější na vstupu do jeskyně; sinice zasahují až do temných zákoutí. Flóra jeskyní je zčásti alochtonní; spory řas přinesené turisty nebo vodou se usadí zejména v okolí umělého osvětlení („lampenflora“). Částečně se uvažuje o reliktním původu jeskynní flóry, z dob vzniku jeskyní. Většina řas v jeskyních se rozmnožuje vegetativně, protože rozmnožovací stadia (gamety) obvykle potřebují pro transport vodní prostředí.

Další místa, kde se setkáme s aerofytickými společenstvy na pevném podkladu, jsou zdi starých chrámů, sochy a kašny. Zde obvykle dominují zelené řasy a sinice. Rozšířený je i fenomén výskytu řas na omítkách zateplených domů.

Nárosty na kůře stromů v podobě zeleného prášku jsou obvykle tvořeny zrněnkou (*Apato-coccus*), oranžové nárosty tvoří *Trentepohlia*. Tam, kde je prostředí obohaceno o močovinu, roste *Prasiola* (obr. 36).

Endoliton

Skály v aridních zónách mají zanedbatelné nárosty na povrchu a řasy rostou uvnitř kamenů. Rostou jako podpovrchová vrstvička v substrátu a šíří se horizontálně pod povrchem. V pískovcích zaujímají prostory mezi nerozpustnými krystaly a mohou rozpouštět matrix mezi nimi. Tím se liší od chasmoftytických sinic, které jsou povrchové a pouze penetrují pod povrch. Endoliticke řasy žijí v horninách propustných pro světlo, vodu čerpají díky rozdílu denních a nočních teplot a snášejí velmi dobře vysychání i nedostatek dusíku (fixují vzdušný dusík). Obecně lze říci, že žijí v nejextrémnějších ekologických podmínkách ze všech řas na zemském povrchu. Druhou stránkou věci je jejich destruktivní činnost, zejména ve vápencích (bioeroze). Řasy narušují pobřežní vápence i schránky měkkýšů, sochy, nástěnné malby v katakombách a jeskyních. Většinou jsou to drobné kokální sinice, ojediněle i zelené řasy, které se obecně těžko izolují a kultivují (*Gloeocapsa*).

5.6.2 Půdní řasy

Traduje se, že druhová bohatost je v půdě výrazně nižší než ve vodě (Round 1981), přesto Ettl & Gärtner (1995) uvádějí z půdy přes 1000 eukaryotických druhů řas. Některé půdní druhy sice mohou žít ve vodě (*Hantzschia amphioxys*), ale většina jich vytváří pouze masivní populace na povrchu půdy a jsou pro tento biotop jedinečné. Odlišným biotopem jsou rýžová pole, kde se v období zaplavení rozvíjí vodní druhy. Pokud se některé druhy vyskytují v obou prostředích, pak půdní populace jsou tvořeny menšími buňkami. Teplé a vlhké oblasti obecně hostí větší množství půdních a terestrických řas.

S půdními řasami (fytoedafonem) se pojí několik teorií. První badatelé předpokládali, že půdní řasy jsou vzduchem přenesené řasy vodní. Rovněž se domnívali, že v půdě jsou přítomny jen jako odpočívající stadia, která pouze příležitostně vytvoří aktivně rostoucí biomasu. Přenesení vzorků půdy do vlhka má obvykle za následek rychlý nástup bičíkovců. Vlhkost je zřejmě signál k uvolnění pohyblivých rozmnožovacích stadií, např. zoospor. Po deštích vznikají dočasná stanoviště jako louže, typické přítomností bičíkatých forem (Euglenophyta, Volvocales), které se rovněž uvolní z odpočívajících stadií.

V půdě převažují kokální a vláknité formy sinic a řas a flóra je omezena na několik skupin: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyceae a Xanthophyceae s příležitostným výskytem zástupců Euglenophyta a Rhodophyta. Většina rodů se zdá být rozšířena kosmopolitně, jako *Chlamydomonas*, *Carteria*, *Chlorosarcina*, *Klebsormidium*, *Stichococcus*, *Zygogonium*, *Vaucheria*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Microcoleus*, *Caloneis*, *Pinnularia*, *Hantzschia*. Je ovšem třeba mít na zřeteli, že probádanost půdních řas je neporovnatelně nižší než u vodních řas. Více než jinde zde může hrát roli kryptická diverzita.

Z rozsivek se téměř exkluzivně vyskytují pohyblivé formy (Biraphidinae), ostatní půdní řasy mají rovněž pohyblivá stadia (bičíkovci). V tropech jsou více zastoupeny sinice např. *Schizothrix*, *Scytonema*, *Hapalosiphon*. Složení fytoedafonu ovlivňuje kromě zmíněné vlhkosti i pH. Některí autoři si všimli, že suchá místa jsou často zásaditá, vlhká jsou kyselější. Kyselé půdy podporují růst zelených řas (*Cylindrocystis*, *Mesotaenium*) spolu s druhem *Euglena mutabilis* a několika málo rozsivkami *Caloneis fasciata*, *Pinnularia silvatica*. Se zvyšující se alkalinitou přibývá sinic (*Nostoc*) a rozsivek (*Epithemia*, *Rhopalodia*). Půdy obohacené o zvířecí exkrementy hostí sinice rodu *Phormidium* a řasu *Prasiola crispa*, v jejíž stélce může být *Navicula nitrophila*.

Půdní řasy pouští jsou odolné i vůči vysokým teplotám; teplota půdy v Death Valley v Kalifornii je 95 °C. V pouštích, ale i v Antarktidě vytvářejí řasy povrchové krusty. Základem půdních krust jsou vláknité sinice, dále některé zelené řasy a zřídka rozsivky. Ve slizu řas se nacházejí bakterie. V krustách dominují sinice odolné proti vysychání, které jsou schopny využít k růstu krátkou periodu vlhka mezi dlouhými obdobími sucha. Řasové půdní krusty, které byly 4 roky suché, se stanou po dešti aktivními během 24 hod. Některé sinice byly oživeny z herbářových položek po 70 letech. Nejčastěji uváděnými druhy jsou *Nostoc muscorum*, *Schizothrix calcicola*, *Microcoleus vaginatus*; některé z nich fixují vzdušný dusík, na který jsou krusty obvykle bohaté.

V Antarktidě jsou kromě krust specifickým biotopem půdy v okolí mechorostů. Početné jsou zde sinice *Aphanocapsa*, *Nostoc*, *Oscillatoria* a rozsivky *Luticola*, *Pinnularia* a další.

5.6.3 Vnitrozemská slaniska

Vznikají tam, kde se v podloží nachází sůl kamenná. Může jít o zbytky moře, nebo je to výsledek výluhu spodními vodami. Dále vznikají i v aridních bezodtokých oblastech. Salinita kolísá v důsledku výparu a srážek. Z řas jsou zastoupeny euryhalinní druhy, zcela chybí pravé mořské řasy (*Enteromorpha*, *Bacillaria*, *Craticula halophila*). Se vzrůstající salinitou se snižuje druhová bohatost. U nás se s takovými stanovišti setkáme na jižní Moravě v okolí Mikulova (u rybníka Nesyt; *Enteromorpha*), na místě zaniklých slaných jezer u Čejče a Kobylí a v Čechách lokality Hájek a Soos u Františkových Lázní.

5.6.4 Horké a minerální prameny

Horké prameny (thermy) dělíme podle teploty na hypothermy (do 18 °C), chliarothermy (18–30 °C), euthermy (30–50 °C) a akrothermy (50–70 °C).

Jde o stanoviště, kde vysoká druhová diverzita a fluktuace ekologických podmínek nehrozí a chybí zde predátoři. Horké prameny jsou tedy ideální pro studium interakcí mezi několika málo druhy a faktory. Nejvyšší teploty tolerují sinice jako *Mastigocladus laminosus*, ale teplotní rozsahy udávané v literatuře se liší. Z Nového Zélandu je udáván z teplot do 65 °C, z USA příležitostně až z teplot do 75 °C, takže není vyloučena skrytá diverzita v rámci druhu. Také sinice *Synechococcus* toleruje teploty do 74 °C. V teplotách vyšších, než je tolerance sinic, už potkáme jen bakterie. Tvrdí se, že některé jsou schopny přežívat až v teplotách blížících se bodu varu. U rozsivek se nejčastěji uvádějí maxima od 30–40 °C (*Achnanthes*), zelené řasy jsou citlivější (max. do 32 °C).

Kromě teploty jsou v horkých pramenech limitujícími faktory světlo, dostupnost CO₂ a živin. Dusík získávají sinice fixací ze vzduchu (*Calothrix* a *Mastigocladus*). V kombinaci s kyselým pH se v horkých pramenech vyskytuje primitivní ruducha *Cyanidium caldarium*. Její optimum je v pH 2 a neroste v pH vyšším než 5; snese teploty až 45 °C. Spolu s ní tvoří v kyselých horkých pramenech porosty bakterie *Bacillus coagulans* a houba *Dactylaria gallopava*. Z kráterového jezera o pH 1 byl popsán bičíkovec *Chlamydomonas applanata* var. *acidophila*.

Vývěry s nízkým pH u nás najdeme v Hájku u Františkových Lázní. Druhové složení takových vod je mimořádně chudé. Se zvýšenou teplotou jde obvykle ruku v ruce vyšší salinita. Zvýšenou koncentraci síranů a chloridů snášejí halofilní společenstva. Horké sirné a železité prameny mají zvláštní flóru (sirné a železité bakterie), do 50 °C najdeme sinici *Spirulina labyrinthiformis*, nad touto teplotou už jen bakterie. Již samotná přítomnost autotrofů v těchto pramenech přispívá k detoxikaci prostředí. Prameny se zvýšeným obsahem CO₂ a iontů vápníku osidlují organismy, které přispívají k tvorbě travertinů. Prostedí tolerují inkrustující sinice a řasy (*Chara*) a neinkrustující rozsivky či ruduchy (*Batrachospermum*). Termální řasy samotné nemohou vegetovat v odtocích z pramenů, ale jejich spory byly nalezeny do 100 km od termálních oblastí.

Zajímavým teoretickým problémem je původ řas obývajících termální prameny. Jak se při ostrůvkovitém výskytu takového typu prostředí mohly tytéž druhy rozšířit po celém světě? Šíření vzduchem se zdá být nepravděpodobné, stejně jako nezávislá evoluce z běžných druhů v okolí pramene. Pokud by byly jednoduše reliktními populacemi z doby kolonizace planety, kdy takové podmínky byly běžné, musely by přežít všechna zalednění. Termální vody na Islandu nebyly dočteny pouze posledním z nich.

5.6.5 Kryovegetace

Řasy na sněhu reprezentují sladkovodní druhy, žijící na povrchu stálých sněhových polí. Naproti tomu flóra ledu je původem mořská, žije uvnitř ledových bloků a vykazuje jisté podobnosti s oživením sedimentů. Tvrdí se, že led je převráceným bentickým habitatem a druhy v něm žijící se chovají jako bentické. Po rozmrznutí ledu padají na dno a pokračují v růstu v bentosu.

Populace řas jsou běžné na stálých sněhových polích v horách a v ledu arktické a antarktické oblasti. Nazýváme je kryoplankton, kryoseston nebo kryovegetace. První údaje o červeném sněhu jsou z roku 1585, někteří badatelé se domnívají, že se o něm zmiňoval dokonce již Aristoteles. První zmínka z Tater je z roku 1772. Později v roce 1875 o něm píše Darwin, který pozoroval tento jev v horách Jižní Ameriky a zjistil, že je způsoben jednobuněčnými organismy, které nazval *Protococcus nivalis*. Šlo o *Chlamydomonas nivalis*, který je nejběžnějším druhem sněžných polí. Pokud se týče druhového složení, bude potřebná taxonomická revize těchto společenstev. Rody *Scotiella*, *Cryocystis*, *Carteria* budou v řadě případů reprezentovat stadia životního cyklu zelených bičíkovců. Např. bylo prokázáno, že většina druhů rodu *Scotiella* jsou zygoty *Chloromonas*.

Sněžné řasy mají tendenci hromadit se na povrchu sněhu, ale byly nalezeny až do hloubky 50 cm. Zatímco v půdě se v hloubkách setkáváme jen s klidovými stadii, *Chlamydomonas nivalis* je v hloubce 25 cm ve formě aktivně pohyblivých buněk. Rovněž klidová stadia sněžných řas jsou metabolicky aktivní.

Povrch sněhu musí patřit k extrémním stanovištím řas díky nízkým teplotám, fluktuacím v ozáření, naopak živin může být dostatek. Kupodivu se tomuto prostředí vyhýbají sinice, jinak známé tolerancí jakýchkoliv extrémů. Červená barva sněžných řas je způsobena hromaděním astaxanthinu, které by se mohlo vysvětlovat nízkými koncentracemi N v prostředí, i když jiné hypotézy tvrdí, že slouží k ochraně proti UV záření. Sněžné řasy jsou schopny koncentrovat některé prvky, prokázáno to bylo u křemíku a železa. Na druhové složení mají vliv hodnoty pH dané podložím. Zelený sníh je např. charakteristický pro vápence (*Koliella*, *Raphidonema*, *Ulothrix*) a je běžný při vyšším pH (6–6,5). Červený sníh (*Chlamydomonas*, *Scotiella*) je obvyklý při pH 5–5,5.

Na ledovcích najdeme krásivku *Ancylonema*, která je rozšířená na celé severní polokouli. Řasy zamrzlé v ledu jsou fotosynteticky aktivní a rostou v širokém spektru salinit od 5–50 ‰. Setkáme se zde s rozsivkami *Nitzschia frigida*, *Amphiprora hyperborea* a drobnými druhy bičíkovců *Peridinium* či *Cryptomonas*. Řasy se v ledu nacházejí i v hloubce, kde lze očekávat vztah k heterotrofii vzhledem k nízkému osvětlení (*Fragilaria sublinearis*).

5.7 Řasy a jiné organismy

Epifyton a endofyton

Řasová flóra suchozemských rostlin je relativně málo prozkoumaná, velká diverzita je zejména v tropech. *Trentepohlia* a *Phycopeltis* porůstají povrch listu jako plst' a vytvářejí světle zelené nebo oranžové skvrny na listech tropických rostlin. Oranžovou barvu způsobují karotenoidy rozpustné v tucích. Některé epifytické řasy mohou lichenizovat. Flóra na kůře stromů, to zdaleka není jen zrněnka, i když *Apatococcus* je velmi častý. Byly nalezeny rovněž *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Stichococcus*, *Oscillatoria*.

V dostatečně vlhkých biotopech mohou být rostliny kolonizovány i vodními řasami, včetně rozsivek. Specifickým prostředím jsou stélky mechorostů v helokrenech a rašeliništích. Epibryon tvoří početné zelené kokální řasy, sinice (*Aphanocapsa*, *Aphanothecae*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*), rozsivky *Pinnularia borealis*, *Hantzschia amphioxys*, *Orthoseira roeseana*. Na rozdíl od epifytů na jiných vodních rostlinách rozsivky na mechorostech (v mokřadech a helokrenech) nejsou pevně přisedlé, ale volně pohyblivé. Složení a vertikální distribuce těchto společenstev jsou řízeny hlavně vlhkostí mikrostaniště a zastíněním okolními porosty. V tomto smyslu mohou vykazovat i sezónní změny, v závislosti na srážkách a olistění okolní vegetace (Pouličková et al. 2005).

Endofyton roste mezi buňkami jiných rostlin nebo v dutinách uvnitř rostlin (*Blasia* – *Nostoc*, mechy – *Nostoc*, *Azolla* – *Trichormus*, *Cycas* – sinice, *Gunnera* – *Nostoc*). Do mezibuněčných prostor jiných řas (*Laurencia*) proniká hnědá řasa *Streblonema*. *Audouinella endophyticum* se vyskytuje v bazálních částech *Heterosiphonia plumosa*. Rozsivky mohou žít ve slizu *Ascophyllum nodosum*, *Nitzschia* běžně doprovází slizové obaly *Microcystis*. Většina řas je schopna žít i bez svého hostitele, takže vymezení hranic mezi endofytonem a epifytonem není jednoznačné.

Epizoon a endozoon

Mnozí živočichové, hlavně ti přisedlí, opatření tvrdými schránkami, hostí řasy. Druhy, které se na nich nachází, mohou porůstat i kameny, jsou však svými hostiteli chráněni před predací lépe než na kamenu a růst může být stimulován i metabolity zvířat. Řasy mohou osidlovat i aktivnější živočichy jako ryby, koryšce a vodní i suchozemské savce (sinice, *Ectocarpus*, *Synedra*, *Cocconeis*, *Licmophora*).

Endozoon je s výjimkou případů symbiomy vzácný; *Nitzschia* byla nalezena ve slizu koloniálního nálevníka *Ophrydium versatile*. *Eugleny* mohou být přítomny ve střevě larev šídla a v konečníku pulců.

Symbióza

Organismy žijící společně v těsné vazbě mohou mít různé vzájemné vztahy, přičemž hranice mezi nimi nemusí být zcela jasné a jednoznačné. Jsou možné všechny varianty od komenzalismu přes mutualismus až po parazitismus. Pro klasifikaci je důležitá např. přítomnost či absence morfologických modifikací jednoho nebo obou partnerů atd. Přítomnost řasy v buňkách nebo mezibuněčných prostorech hostitele se nazývá endosymbióza. Stupeň závislosti na hostiteli je různý, stejně jako život nebo rozmnožování hostitele může být v různé míře závislé na přítomnosti endosymbionta. V mnoha případech je řasa hostitelem modifikována (ztratí bičíky, stigma, protoplast je nahý). Hlavní změnou, kterou řasa prochází po vstupu do endosymbiomy, je zpomalení růstu, zatímco fotosyntetická aktivita zůstává stejná. Řasa začíná „pracovat“ pro svého hostitele.

Řasové symbionty má odhadem 150 rodů živočichů. Ve starší literatuře byly označovány jako zoochlorelly a zooxantely. Zelenými endosymbionty jsou nejčastěji druhy rodu *Chlorella*, které hostí nezmaři a nálevníci (*Hydra*, *Paramecium*), *Tetraselmis* (mořský ploštěnec *Convoluta*), *Prochloron* (sumky). Žlutohnědými symbionty jsou většinou obrněnky, např. *Symbiodinium microadriaticum*, jejichž hostiteli jsou koráli. Dalším případem hnědého endosymbionta je rozsivka *Licmophora* (hostitel *Convoluta*). K endosymbiontům patří také cyanelly u rodu *Paulinella* a skupiny *Glaucophyta*.

Mořské obrněnky jsou v symbióze s mořskými živočichy a lze je kultivovat mimo hostitele na minerálních médiích s vitamíny, nejsou tudíž na hostiteli závislé. Sladkovodní symbionti (*Chlorella*) mají s živočichy užší vztah. Nejvíce studovaný byl systém *Chlorella-Paramecium*. Každé *Paramecium bursaria* má ve speciálních vakuolách v cytoplazmě stovku buněk *Chlorelly*. *Paramecium* se živí bakteriemi, pokud má *Chlorellu*, vydrží i bez potravy. Dosud však není jasné, jak hostitel pozná správného potenciálního endosymbionta. Např. nezmar může přijmout pouze *Chlorellu* z jiného nezmaru a jednoho druhu *Paramecium*, ale jiné druhy odmítá. Zajímavé vztahy však najdeme i jinde. Existují např. měkkýši, živící se sáním protoplastu sifonálních zelených řas *Codium* a *Caulerpa*. Neporušené chloroplasty se hromadí v jejich hepatopankreasu a pokračují ve fotosyntéze. Produkty fotosyntézy jsou využívány hostitelem, část chloroplastů je postupně rovněž strávena a nahrazena novými.

Nejznámější je symbióza řasového fykobionta (Cyanophyta, Chlorophyta) s houbovým mykobiontem (Ascomycetes) v lišejnících. Lišejníků je cca 17 000 druhů a každý má charakteristický druh fykobionta. Nejvíce je zastoupen rod *Trebouxia*, *Trentepohlia* a *Nostoc*. Lišejníky s fykobiontem rodu *Trentepohlia* dosahují větší diversity v tropech. Nedávno byl publikován unikátní případ rozsivky jako fykobionta (Lakatos et al. 2004). Sinici rodu *Nostoc* najdeme v dutinkách gametofytů stélky mechorostů a jätrovek (*Anthoceros*, *Blasia*).

Hospodářsky nejvýznamnějším příkladem symbiózy řas a rostlin je systém *Anabaena-Azolla*. *Azolla* je drobná vodní kapradina a její soužití s nostokální sinicí má velký význam pro fixování vzdušného dusíku v rýžových polích. Sinice z kapradiny *Azola* prodělala několik taxonomických revizí a měla by být zařazena nikoliv jako *Anabaena* nebo *Nostoc*, ale jako *Trichormus*.

Ve slizu krásivek, zlatevek, sinic, váleček atd. žijí bakterie, mnohé z nich jsou symbiotické. Některé řasy ve sbírkách bez svých bakterií nerostou a není možné získat axenickou kulturu. Jiné se zase bez bakterií nemohou rozmnožovat pohlavně (*Oedogonium*). Mnohé řasy potřebují vitamíny produkované bakteriemi. Bakterie byly nalezeny i uvnitř buněk krásnooček, obrněnek a rozsivek.

Saprofytismus

Případy saprofyticky žijících bezbarvých řas jsou vzácné, ale existují. Jde o bezbarvou rozsivku *Nitzschia putrida*, žijící na hnilých chaluhách. První nález této rozsivky byl zdokumentován Coehnem v roce 1854, tehdy pod názvem *Synedra putrida*.

Parazitismus

Řasy jsou zřídka parazitické, většinou jde o mořské ruduchy parazitující na jiných ruduchách (cca 40 rodů). Parazitické řasy jsou malé, morfologicky jednoduché, bezbarvé nebo s redukovanou pigmentací. Obvykle jsou striktně vázány na jednoho hostitele. Bezbarvá vláknitá řasa *Phyllosiphon* žije v mezibuněčných prostorách tropických rostlin a její aplanospory obsahují chloroplasty. Rovněž nejrozšířenější parazitické řasy *Cephaleuros* a *Stomatochroon* se vyskytují v tropech a subtropích a způsobují onemocnění čajovníku, kávovníku, kakaovníku a citrusových rostlin. Parazit má pigmenty, chloroplasty a tvoří diskovitá ložiska mezi kutikulou a epidermis rostlin, ojedinele proniká až do palisádového parenchymu.

Mnohem častěji jsou řasy hostitelem parazitů. Hlavními parazity řas jsou houby (Chytridiomycota) a houbám podobné organismy (Oomycetes). Paraziti se rozmnožují zoosporami, které přisednou na buněčnou stěnu zdravé řasové buňky, vyklíčí a penetrují do buňky. Nejčastěji je

parazitismus udáván ze sladkých vod, nejvíc bylo publikováno o patosystému *Asterionella-Rhizophidium*. Houboví parazité jsou postrachem venkovních kultur. Pokud jsme ráno zachytili v kontrolním vzorku z kultivačních plošin jednu až dvě buňky napadené parazitem na jednom sklíčku, bylo nutné okamžitě produkci sklídit. Do večera by se parazit rozšířil a celá kultura by zežloutla. Venkovními kulturami mikroskopických řas (zejména *Chlorella*, *Scenedesmus*) se desítky let zabývá biotechnologická skupina Mikrobiologického ústavu AVČR v Třeboni. *Chlorella* vyprodukovaná v Třeboni putovala i do kosmu s kosmonautem V. Remkem a řasová biomasa byla testována na nejrůznější účely, od léčiv, kosmetiky až po přípravu karbanátek v místní restauraci.

V mořském planktonu se zdá být parazitismus méně častý (nebo méně prozkoumaný). Na řasách zóny mezi přílivem a odlivem parazitují Ascomycetes, např. systém *Ascophyllum-Mycosphaerella*, i když může jít o mykorhizu, protože hyfy pronikají jen do mezibuněčných prostor. Sinice mohou být decimovány také bakteriemi. Jde o aerobní, gram-negativní pohyblivé a pigmentované bakterie. Nejsou schopny napadnout heterocyty, nemají schopnost degradovat celulózu a jiné komponenty buněčné stěny.

5.8 Řasy a člověk

S výjimkou kožních infekcí způsobených heterotrofní řasou *Prototheca* nejsou řasy jako takové přímo nebezpečné pro člověka. Mnohé však produkují toxiny, a to jak řasy sladkovodní, tak mořské.

Planktonní sinice produkují toxiny, zejména povahy alkaloidů a peptidů; toxické jsou některé druhy rodů *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Planktothrix* a další. Z hlediska působení jde především o neurotoxiny, hepatotoxiny a embryotoxiny. Veřejná přírodní koupaliště jsou na výskyt sinic v letním období monitorována, aktuální informace poskytují internetové stránky Státního zdravotního ústavu (<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode>). Pokud počet buněk sinic překročí normu, je vydán zákaz koupání, jehož porušení může mít vážné zdravotní následky. V každém případě se po koupání v přírodních koupalištích doporučuje před utřením osprchovat upravenou vodou. V ČR je pro stanovení toxinů sinic akreditováno pracoviště AV ČR v Brně, informace o cyanotoxinech je možno získat na (<http://www.sinice.cz/>).

Nejčastější toxiny sinic a jejich producenti jsou: anatoxiny – *Anabaena*; aphanotoxiny – *Aphanizomenon*; saxitoxin – *Anabaena circinalis*; cylindrospermopsin – *Cylindrospermopsis raciborskii*; microcystin – *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Nostoc*, *Gleotrichia* a další; nodularin – *Nodularia spumigena*. Kromě četných případů alergických reakcí byly prokázány intoxikace u člověka, např. poškození jater nazývané Caruaru syndrom podle prvních případů z Brazílie v roce 1996.

Jako „zabíják ryb“ je označována brakická zlativka *Prymnesium parvum*, která žije v estuáriích a za určitých ekologických podmínek produkuje ichthyotoxiny a cytotoxiny, působící kromě ryb rovněž na mlže, korýše a obojživelníky. Toxicita pro člověka nebyla prokázána.

Rozsivka *Pseudo-nitzschia* produkuje neurotoxin kyselinu domoovou (domoic acid), která se kumuluje v potravním řetězci a otravy postihují mořské ptáky a savce, konzumující drobné mořské planktonožravé ryby. Toxin byl poprvé izolován z ruduchy *Chondria armata*, která je v Japonsku známá pod názvem doumoi. Byla používána v tradiční medicíně pro své antihelmintické účinky.

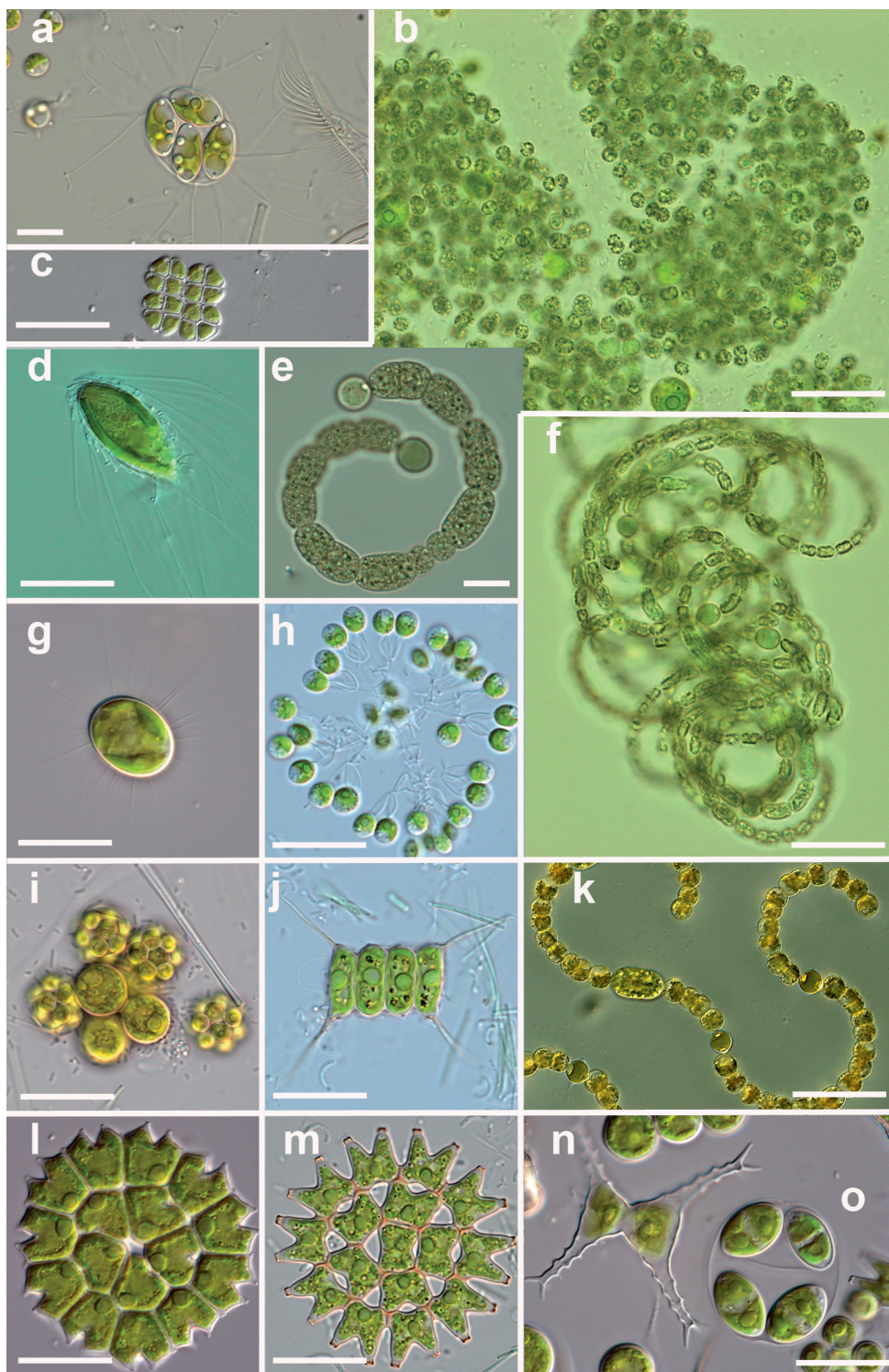
Častá je toxicita u mořských obrněnek tvořících tzv. „red tide“. Nebezpečnost toxinů obrněnek spočívá opět v jejich kumulaci v potravním řetězci. Většinou nejsou toxické pro měkkýše, kteří se jimi živí, ale pro sekundární konzumenty, a tedy i člověka. Jsou příčinou PSP (paraphyletic shellfish poisoning) a NSP (neurotoxic shellfish poisoning), DSP (diarrhetic shellfish poisoning), které působí na ryby, mořské ptáky a lidi, konzumující mořské měkkýše. Nejznámější z 12 toxinů PSP je neurotoxin saxitoxin. Byl poprvé izolován z měkkýše *Saxidomus giganteus* a produkují ho obrněnky rodu *Alexandrium*.

Toxiny produkují také některé makrořasy („seaweeds“), slouží většinou jako obrana proti býložravcům. Jde většinou o tropické druhy, což může být fylogeneticky dáno větším predačním tlakem v tropických mořích. Řasy rodu *Caulerpa* produkují caulerpin, chaluhy jsou známé produkcí fenolických látek. Ruducha *Asparagopsis taxiformis*, považovaná místními obyvateli za lahůdku, produkuje karcinogenní látky.

Obyvatelé přímořských států pravidelně konzumují cca 160 druhů mořských řas, z toho 81 ruduch, 54 chaluh a 25 zástupců zelených řas. Nejčastěji jsou konzumováni zástupci rodů *Monostroma*, *Caulerpa*, *Enteromorpha*, *Ulva*, *Laminaria* (kombu), *Undaria* (wakame), *Alaria*, *Eisenia*, *Ecklonia*, *Porphyra* (nori), *Palmaria*, *Gracilaria*, *Gelidium*, *Eucheuma*. Využitelné jsou některé polysacharidy (cca 25 % sušiny), vitamíny A, D, B, E a další.

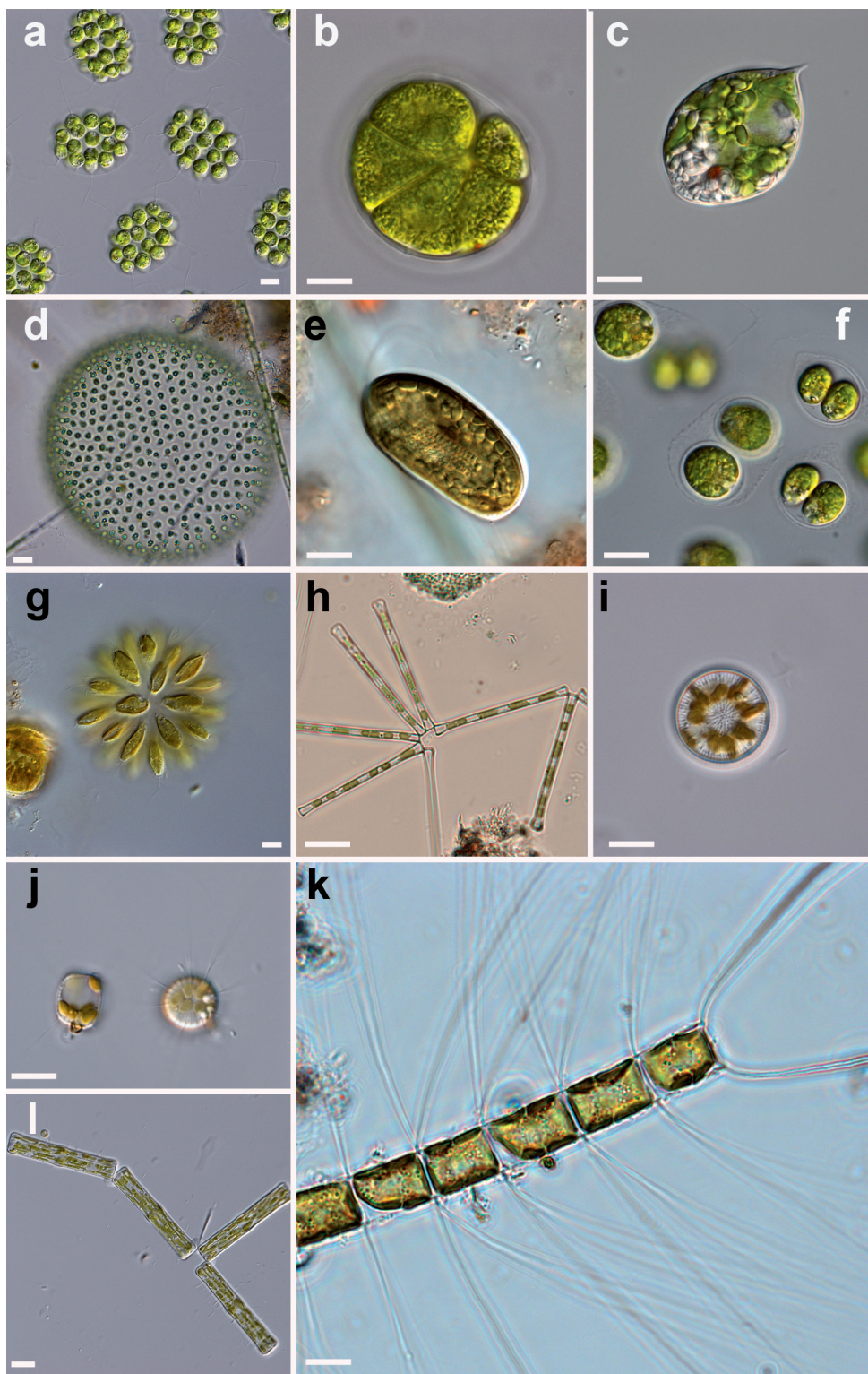
Z mikrořas se pravidelně konzumuje *Chlorella* a některé sinice. V Číně se pojídá terestrická sinice *Nostoc*. Již staří Aztékové pojídali sinici *Arthrospira*, která je dosud sbírána obyvateli v okolí jezera Čad a obsahuje cca 60 % bílkovin. Z řas se získávají důležité látky jako jod, agar, algináty, karagen. Algináty se získávají z chaluh, zejména *Macrocystis* (kelp), *Laminaria* a *Ascophyllum*. Vyrábí se z nich gely, celofán, žvýkačky, lubrikanty, speciální tkaniny (např. odolné proti ohni). Karagen se komerčně získává z *Chondrus crispus* a několika druhů rodu *Eucheuma* a používá se k výrobě emulgátorů, ve farmaceutickém a textilním průmyslu. Agar se získává hlavně z ruduch *Gelidium*, *Gracilaria* a je nenahraditelný v mikrobiologii, elektroforéze i potravinářství. Řasy byly využívány tradiční medicínou jako prostředky na odčervení (ruducha *Digenia simplex*), anestetikum, léčení ran, dny, strumy (*Laminaria*), hypertenze, pohlavních chorob, rakoviny. Řasy produkují antibiotika, růstové hormony, protinádorové látky a další biologicky aktivní látky (Dřimalová 2005).

Vznik nafty, nejrozšířenějšího paliva, se přisuzuje rozsivkám a chlorokokální řase *Botryococcus braunii*. Naftonosné vrstvy jsou indikovány zbytky jejich buněčných stěn. Některé projekty uvažují o biotechnologickém využití těchto řas, jejichž zásobní látkou jsou oleje.



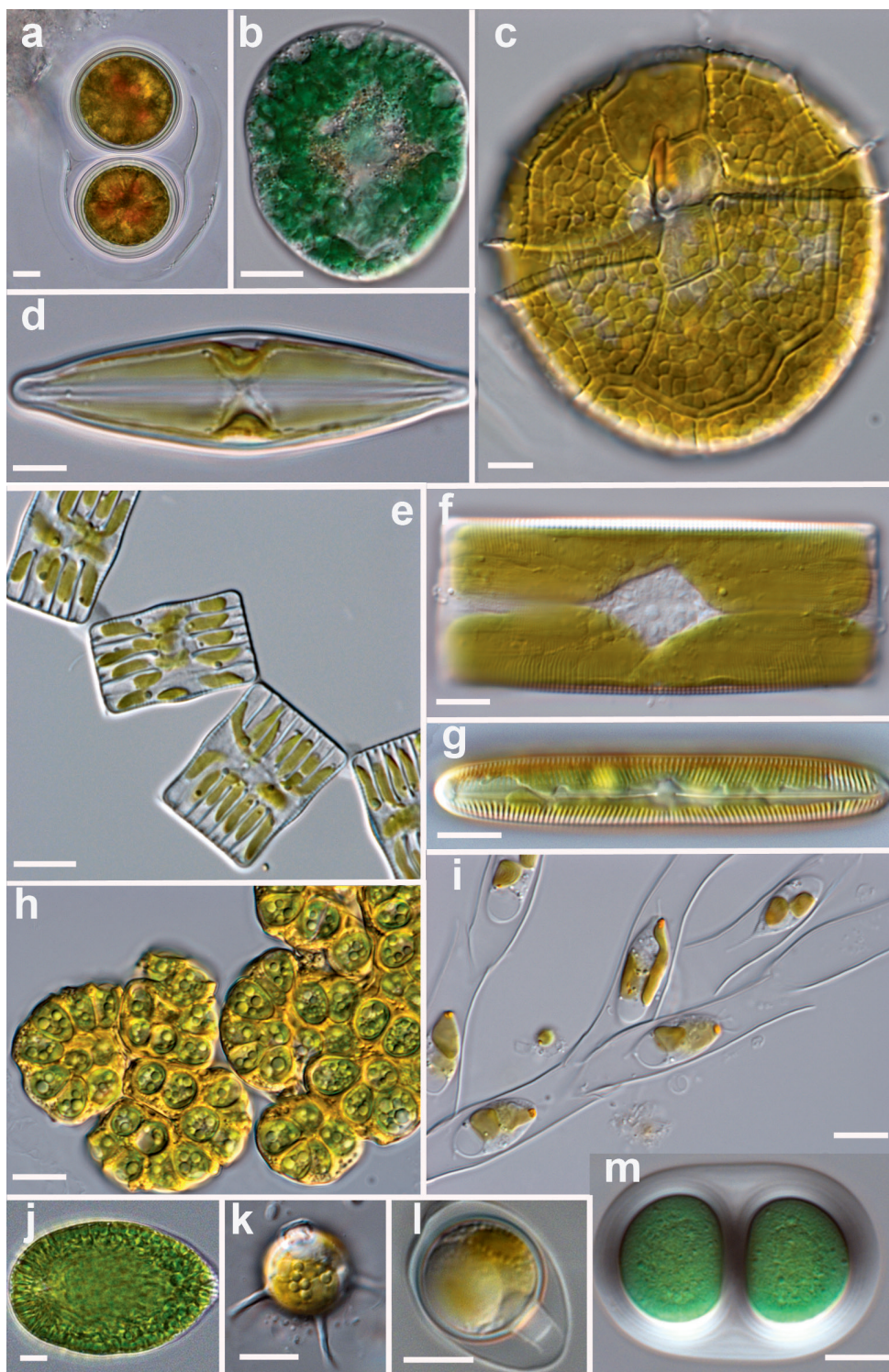
32. **Plankton a pseudoplankton:** měřítko = 10µm; foto Petr Hašler (UP Olomouc):

a – *Lagerheimia longiseta*, **b** – *Microcystis aeruginosa*, **c** – *Tetrastrium komarekii*, **d** – *Mallomonas* sp., **e** – *Anabaenopsis milleri*, **f** – *Anabaena mendotae*, **k** – *A. circinalis*, **g** – *Francia ovalis*, **h** – *Dictyosphaerium tetrachotomum*, **i** – *Coelastrum microporum*, **j** – *Scenedesmus communis*, **l** – *Pediatrum tetras*, **m** – *P. duplex*, **n** – *Staurastrum chaetoceras*, **o** – *Oocystis marssonii*



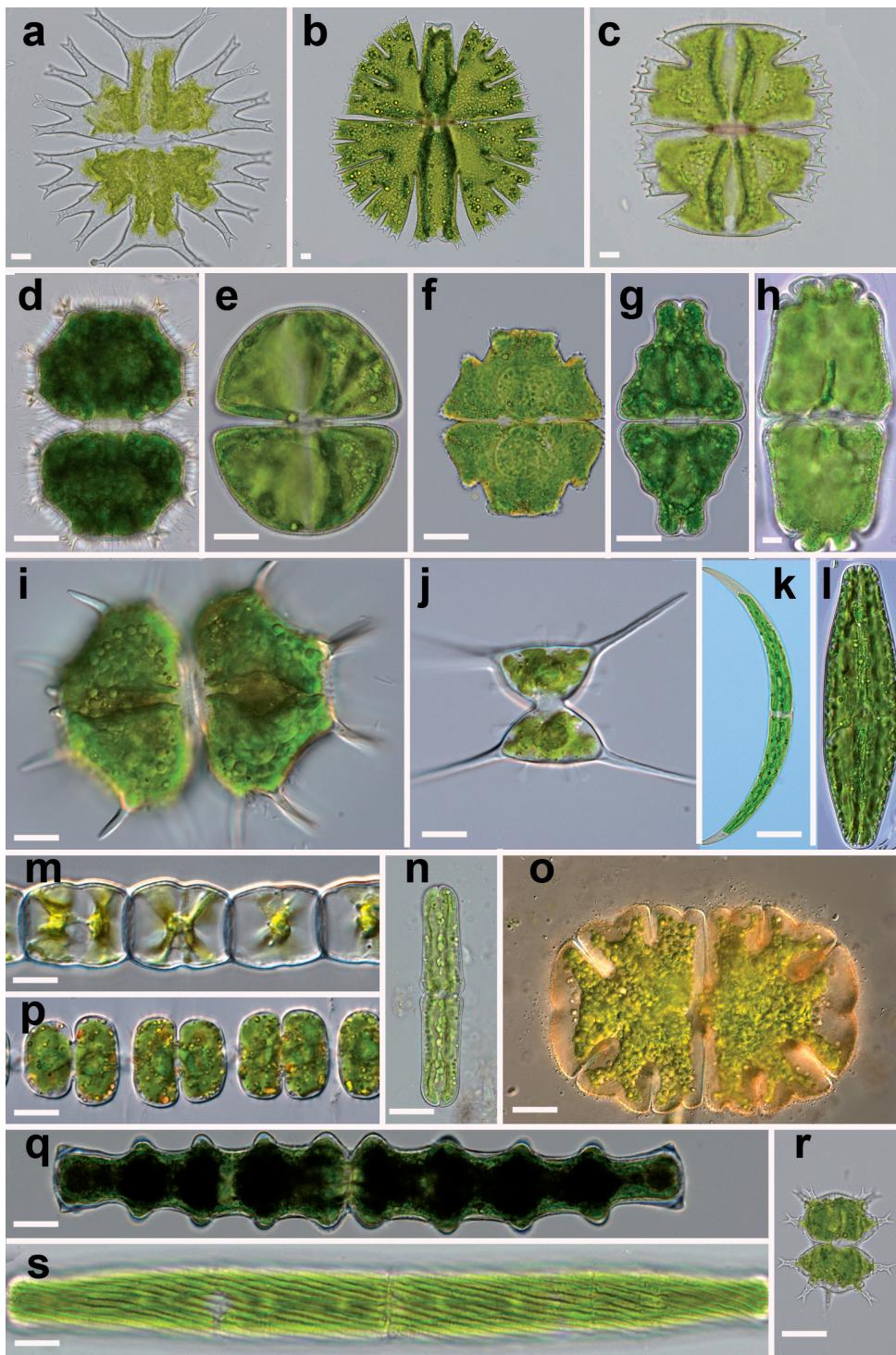
33. **Plankton:** měřítko = 10 μ m; foto Aloisie Pouličkové:

a – *Eudorina elegans*, **b** – *Pandorina morum*, **c** – *Euglena* sp., **d** – *Volvox aureus*, **e** – *Cryptomonas* sp., **f** – rozmnožovací stadia zelených bičíkovců, **g** – *Synura* sp., **h** – *Asterionella formosum*, **i–j** – centrické rozsivky, **k** – *Chaetoceras* sp. (Atlantik, pobřeží Francie), **l** – *Tabellaria* sp.



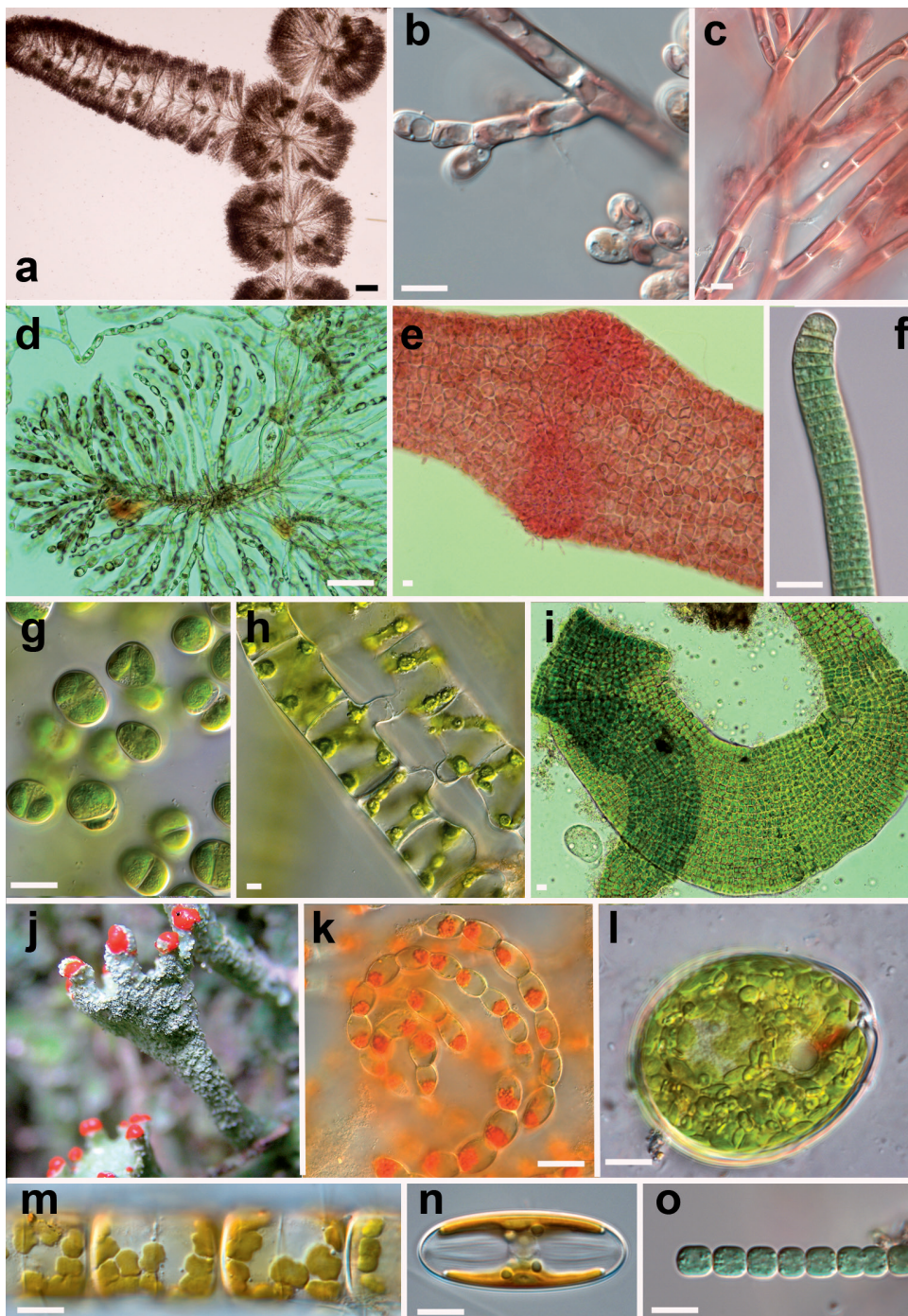
34. **Rašeliniště:** měřítko = 10µm; foto Aloisie Poulíčkové:

a – *Gloenodinium montanum*, **b** – *Gymnodinium aeruginosum*, **c** – *Peridinium* sp., **d** – *Frustulia* sp., **e** – *Tabellaria* sp., **f** – *Eunotia* sp. (boční pohled), **g** – *Pinnularia* sp., **h** – *Botryococcus* sp., **i** – *Dinobryon divergens*, **j** – *Gonyostomum semen*, **k-l** – cysty zlativek, **m** – *Chroococcus subnudus*



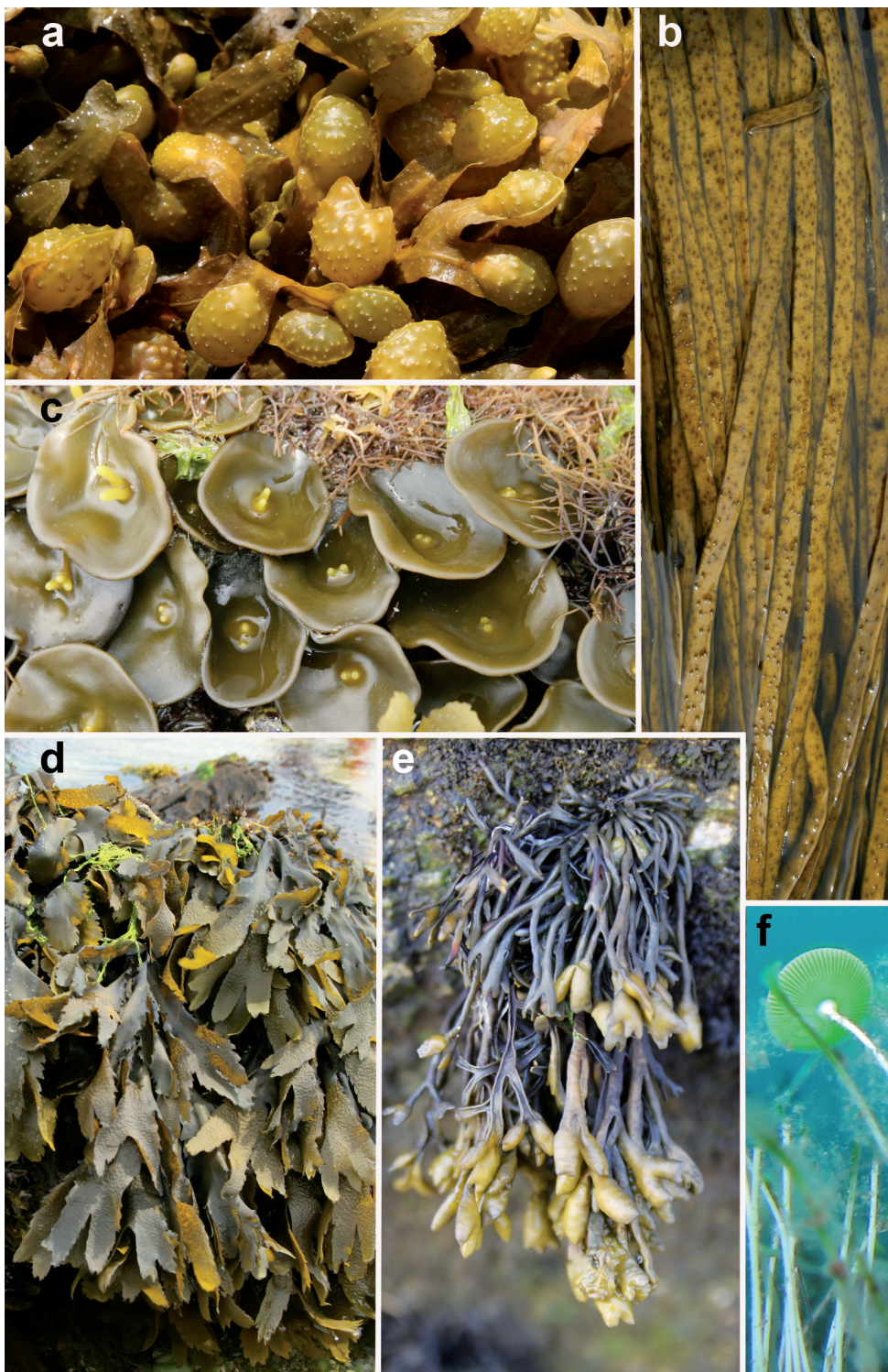
35. **Rašeliniště:** měřítko = 10µm; foto Aloisie Pouličková:

a – *Micrasterias furcata*, **b** – *M. rotata*, **c** – *M. truncata*, **d** – *Xanthidium armatum*, **e** – *Cosmarium ralfsii*, **f** – *Euastrum verrucosum*, **g** – *Euastrum humerosum*, **h** – *E. crassum*, **i** – *Xanthidium cristatum*, **j** – *Staurodesmus* sp., **k** – *Closterium* sp., **l** – *Netrium digitus*, **m** – *Hyalotheca dissiliens*, **n** – *Tetmemorus brebissonii*, **o** – *Micrasterias jenneri*, **p** – *Sphaeroszoma* sp., **q** – *Pleurotaenium nodosum*, **r** – *Staurastrum* sp., **s** – *Penium spirostriolatum*



36. **Sinice a řasy se vztahem k substrátu:** měřítko = 10µm; a–f, h, l–o foto Aloisie Pouličkové; g, i, k foto Petr Hašler; j foto Josef Pouliček:

a, d – *Batrachospermum* sp., **b–c** – *Audouinella* sp., **e** – *Lemanea* sp., **f** – *Oscillatoria*, **g** – *Chlorokybus* sp. (aerofytická řasa), **h** – *Spirogyra* sp., **i** – *Prasiola crispa*, **j** – lišejník *Cladonia*, **k** – *Trentepohlia* sp., **l** – *Euglena* sp., **m** – *Melosira varians*, **n** – *Fallacia* sp., **o** – *Komvophoron constrictum*



37. **Mořské „seaweeds“:** a–e Phaeophyceae; foto Olivier de Clerck (Ghent University, Belgie); f – zelená řasa; foto Heroen Verbruggen (Ghent University, Belgie):

a – *Fucus spiralis* (stélka do 30 cm); **b, c** – *Himanthalia* (b – generativní stélka, dlouhá 2 m, široká 10 mm; c – drobná knoflíkovitá vegetativní stélka do 30 mm); **d** – *Fucus serratus* (velikost do 30 cm); **e** – *Pelvetia* (8–12 cm); **f** – *Acetabularia* (délka 5 cm, šířka 1 cm)

Literatura:

- Ács E., Szabó K., Tóth B. & Kiss K. T. (2004): Investigation of benthic algal communities especially diatoms of some Hungarian streams in connection with reference conditions of the Water Framework directives. *Acta Bot. Hung.* 46: 255–277.
- Allan D. J. & Castillo, M. M. (2007): *Stream Ecology. Structure and function of running waters.* Springer, 436 s.
- Andersen R. A. ed. (2005): *Algal culturing techniques.* Elsevier Academic Press, 578 s.
- Betina V. & Nemec P. (1977): *Všeobecná mikrobiológia.* Alfa Bratislava, 623 s.
- Briand J. F., Leboulanger C., Humbert J. V., Bernard C. & Dufour P. (2004): *Cylindrospermopsis raciborskii* invasion at mid-latitudes: Selection, wide physiological tolerance, or global warming? *J. Phycol.* 40: 231–238.
- Brönmark Ch. & Hansson, L. A. (2005): *The biology of lakes and ponds.* Oxford Univ. Press, 285 s.
- Brodie J. & Lewis J. (2007): *Unravelling the algae the past, present and future of algal systematics.* CRC Press Taylor & Francis Group, 275 s.
- Buczkó K. (2007): The occurrence of the epiphytic diatom *Lemnicola hungarica* on different European Lemnaceae species. *Fottea* 7: 77–84.
- Canter-Lund H. M. & Lund J. W. G. (1995): *Freshwater algae: Their microscopic world Explorer.* Biopress, 359 s.
- CEMAGREF (1982): *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux.* Rapport Q. E. Lyon Agence de l'eau Rhone-Méditerranée-Corse, 218 s.
- Cermeno P. & Falkowski P. (2009): Controls on diatom biogeography in the Ocean. *Science* 325: 1539–1541.
- Chepurnov V. A., Mann D. G., Sabbe K., Vannerum K., Castelyn G., Verleyen E., Peperzak L. & Vyverman W. (2005): Sexual reproduction, mating system, chloroplast dynamics and abrupt cell size reduction in *Pseudo-nitzschia pungens* from the North Sea. *Eur. J. Phycol.* 40: 379–395.
- De Bruin A., Ibelings B. W., Rukeboer M., Brehm M. & van Donk E. (2004): Genetic variation in *A. formosa*: is it linked to frequent epidemics of host-specific parasit fungi? *J. Phycol.* 40: 823–830.
- Dell'Uomo A. (2004): L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida. APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Roma, 101 s.
- Descy J. P. (1979): A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia* 64: 305–323.
- Descy J. P. & Coste M. (1991): A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 2112–2116.
- Dodds W. K. (2002): *Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications.* Academic press, 569 s.
- Dřimalová D. (2005): Růstové regulátory v řasách. *Czech Phycology* 5: 101–112.
- Ettl H. & Gärtner G. (1995): *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen.* Gustav Fischer Verlag, 526 s.
- Fenchel T. & Finlay B. J. (2004): The ubiquity of small organisms: patterns of global and local diversity. *Bioscience* 54: 777–785.
- Finkel Z. V., Vaillancourt C. J., Irwin A. J., Reavie E. D. & Smol J. P. (2009): Environmental control of diatom community size structure varies across aquatic ecosystems. *Proc. R. Soc. B* 276: 1627–1634.
- Finlay B. J. (2002): Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* 296: 1061–1063.
- Finlay B. J. & Clarke K. J. (1999a): Ubiquitous dispersal of microbial species. *Nature* 400: 828.
- Finlay B. J. & Clarke K. J. (1999b): Apparent global ubiquity of species in the protist genus *Paraphysomonas*. *Protist* 150: 419–430.
- Graham L. E. & Wilcox L. W. (2007): *Algae.* Prentice Hall Inc., 640 s.
- Hajnal É., Stenger-Kovács C., Ács É. & Padišák J. (2009): DILSTORE software for ecological status assessment of lakes based on benthic diatoms. *Fottea* 9: 351–354.
- Hašler P. & Pouličková A. (2002): Planktic Cyanobacteria of the central and northern Moravia. *Czech Phycology* 2: 25–32.
- Hašler P. & Pouličková A. (2010): Diversity, taxonomy and autecology of autochthonous epipelagic cyanobacteria of the genus *Komvophoron*: a study on populations from the Czech Republic and British Isles. *Biologia* 65: 7–16.

- Hašler P., Štěpánková J., Špačková J., Neustupa J., Kitner M., Hekera P., Veselá J., Burian J. & Pouličková A. (2008): Epipellic cyanobacteria and algae: a case study from Czech ponds. *Fottea* 8: 133–146.
- Hillebrand H., Dürselen C., Kirschtel D., Pollingher U. & Zohary T. (1999): Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35: 403–424.
- Hindák F. ed. (1978): *Sladkovodné riasy*. SPN Bratislava, 736 s.
- Houk V. (2003): Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Czech Phycology Supplement 1: 1–110.
- Hutchinson G. E. (1967): *Treatise on limnology*. Vol. 2, New York, John Wiley & Sons, 305 s.
- Irwin A. J., Finkel Z. V., Schofield O. M. E. & Falkowski P. G. (2006): Scaling-up from nutrient physiology to the size-structure of phytoplankton communities. *J. Plankton Res.* 28: 459–471.
- Jewson H. D. (1992): Life cycle of *Stephanodiscus* sp. *J. Phycol.* 28: 856–866.
- Jousson O., Pawlowski J., Zaninetti L., Zechman F. W., Dini F., Di Guiseppe G., Woodfield R., Millar A. & Meinesz A. (2000): Invasive alga reaches Kalifornia. *Nature* 408: 157–158.
- Kalf J. (2002): *Limnology. Inland Water Ecosystems*. Dentice Hall, Inc., 527 s.
- Kalina T. & Váňa J. (2005): *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. UK Praha, 732 s.
- Kaštovský J., Hauer T., Mareš J., Krautová M., Bešta T., Komárek J., Desortová B., Heteša J., Hindáková A., Houk V., Janeček E., Kopp R., Marvan P., Pummann P., Skácelová O. & Zapomělová E. (2010): A review of the alien and expansive species of freshwater cyanobacteria and algae in the Czech Republic. *Biol. Invasions* 12: 3599–3625.
- Kelly M. G. & Whitton B. A. (1995): The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. Appl. Phycol.* 7: 433–444.
- Kelly M. G., Juggins S., Bennion H., Burgess A. Yallop M., Hirst H., King L., Jamieson J., Guthrie R. & Rippey B. (2006): Use of diatoms for evaluating ecological status in UK freshwaters. Final report to Environment Agency, Bristol, 125 s.
- Keršner V. & Maršálek B. (1999): Složení fytoplanktonu nádrží České republiky v letním období 1999 – jednorázová analýza. *Sborník Řasy a prostředí*: 28–34.
- Kitner M., Pouličková A. & Hašler P. (2005): Algal colonization process in fishponds of different trophic status. *Algological Studies* 115: 115–127.
- Kitner M. & Pouličková A. (2003): Littoral diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lakes. *Hydrobiologia* 506–509: 519–524.
- Křísa B. & Prášil K. (1994): *Sběr, preparace a konzervace rostlinného materiálu*; PřF UK v Praze, 432 s.
- Kočárková A. & Pouličková A. (2001): Druhové spektrum řas v planktonu tůní Litovelského Pomoraví. *Czech Phycology* 1: 37–45.
- Kolkwitz, R. & Marsson, M. (1902): Grundzätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *K. Mitt. D. kgl. Prüfungsanstalt f. Vasserversorgung und Abwasserbeseitigung* 1: 33–72.
- Komárková, J. (nepublikováno): *Ekologie řas a sinic I. Fytoplankton. Skripta k přednáškám BF JČU Č. Budějovice*.
- Komárková J., Komárek O. & Hejzlar J. (2003): Evaluation of the long term monitoring of phytoplankton assemblages in a canyon-shape reservoir using multivariate statistical methods. *Hydrobiologia*: 504: 143–157.
- Komárková J. & Vyhnálek V. (1998): Long-Term Changes In Chlorophyll Concentration And Phytoplankton Structure In Two Canyon-Type Reservoirs. *Int. Rev. Hydrobiol.* 83: 421–430.
- Kooistra W. H. C. F., Sarno D., Balzano S., Gu H., Andersen R. A. & Zingone A. (2008): Global diversity and biogeography of *Skeletonema* species (Bacillariophyta). *Protist* 159: 177–193.
- Kubiček F. (2010): Saprobiologie – začátek a konec iluzí aneb historie oboru v Českém (Československém) prostoru. *Symposium Říční dno 2010, Šlapanice u Brna*, 32–41.
- Lange-Bertalot H. (1979): Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia* 64: 285–304.

- Lakatos M., Lange-Bertalot H. & Bodl B. (2004): Diatoms living inside the thallus of the green algal lichen *Coenogonium linkii* in neotropical lowland rain forests. – J. Phycol. 40: 70–73.
- Lavoie I., Lento J. & Morin A. (2010): Inadequacy of size distribution of stream benthic diatoms for environmental monitoring. J. N. Am. Benthol. Soc. 29: 586–601.
- Leclercq L. & Maquet B. (1987): Deux nouveaux indices chimique biocénologiques et diatomiques. Inst. Royal Sci. Nat. Belgique. Doc. Trav. 38: 1–113.
- Lecointe C., Coste M. & Prygiel J. (1993): „Omnidia“ software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. Hydrobiologia 269/270: 509–513.
- Lellák J. & Kubiček F. (1991): Hydrobiologie. UK Praha, 372 s.
- Lelková E. & Pouličková A. (2004): The influence of *Hydrodictyon reticulatum* (L.) LAGERH. On diurnal changes in environmental variables in a shallow pool. Czech Phycology 4: 103–109.
- Lelková E., Rulík M., Hekera P., Dobiáš P., Dolejš P., Borovičková M. & Pouličková A. (2008): The influence of the coagulant PAX-18 on *Planktothrix agardhii* bloom in a shallow eutrophic fishpond. Fottea 8: 147–154.
- Lenoir A. & Coste M. (1996): Development of practical diatomic index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. In E. Rott (ed.) Second Workshop of Algae for monitoring Rivers, Innsbruck, 29–43.
- Lewis W. M. J. R. (1983): A revise classification of lakes based on mixing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1779–1787.
- Likens G. E. ed. (2009): Encyclopedia of Inland Waters. Academic Press Elsevier, 825 s.
- Lüning K. (1990): Seaweeds: their environment, biogeography and ecophysiology. John Wiley & Sons Inc., 453 s.
- Marvan, P., Přibíl, S., Sládečková, A. & Žáková, Z. (1981): Návrh jednotné metody stanovení trofického potenciálu vody. Vodní Hosp., ser. B, 31(1): 5–8.
- O'Sullivan P. E. & Reynolds, C. S. (2003): The Lakes Handbook. Vol. 1 Limnology and limnetic ecology. Blackwell Publishing, 699 s.
- Pechar L. (1995): Long-term changes in fish pond management as „an unplanned ecosystem experiment“: importance of zooplankton structure, nutrients and light for species composition of cyanobacterial blooms. Wat. Sci. Tech. 32: 187–196.
- Pithart D. ed. (2000): Ekologie aluviálních tůň a říčních ramen. Sborník z konference v Lužnici u Třeboně, BÚ AVČR Třeboň, 136 s.
- Pouličková A. (1987): Algae in ground waters below the active stream of a river. Algological Studies 46: 65–88.
- Pouličková A. (1993): Ecological study of seasonal maxima of centric diatoms. Algological Studies 68: 85–106.
- Pouličková A. (1999): Morphological variability of *Stephanodiscus hantzschii* under ecological conditions of the Vajgar fishpond. Algological Studies 92: 57–71.
- Pouličková A., Duchoslav M. & Dokulil M. (2004): Littoral diatom assemblages as bioindicators of lake trophic status: A case study from perialpine lakes in Austria. Eur. J. Phycol. 39: 143–152.
- Pouličková A., Hájek M. & Rybníček K. (2005): Ecology and palaeoecology of spring fens of the West Carpathians. UP Olomouc, 320 s.
- Pouličková A., Hašler P. & Kitner M. (2004): Annual cycle of *Planktothrix agardhii* nature population. Internat. Rev. Hydrobiol. 89: 278–288.
- Pouličková A., Hašler P., Lysáková M. & Spears B. (2008): The ecology of freshwater epipellic algae: an update. Phycologia 47: 437–450.
- Pouličková A., Kitner M., Karabinová H., Pakostová A. & Křížová B. (2003): Fishpond trophic status assessment based on nutrients and bioindication II. Littoral diatom communities. Czech Phycology 3: 111–119.
- Pouličková A., Kitner M., Hašler P., Pakostová A., Karabinová H., Křížová B. & Kopp R. (2003): Fishpond trophic status assessment based on nutrients and bioindication I. Fytoplankton. Czech Phycology 3: 97–110.
- Pouličková A., Kitner, M. & Hašler P. (2006): Vertical distribution of attached algae in shallow fishponds of different trophic status. Biologia 61: 1–9.

- Poulíčková A., Lysáková M., Hašler P. & Lelková E. (2008): Fishpond sediments – the source of palaeoecological information and algal „seed banks“. *Nova Hedwigia* 86: 141–153.
- Poulíčková, A. & Novotný, R. (1999): Morphological variability of *Stephanodiscus hantzschii* under ecological conditions of the Vajgar fishpond. *Algological Studies* 92: 57–71.
- Poulíčková A., Pechar L. & Kümmel M. (1998): Influence of sediment removal on fishpond phytoplankton. *Algological Studies* 89: 107–120.
- Poulíčková A., Špačková J., Kelly M. G., Duchoslav M. & Mann D. G. (2008): Ecological variation within *Sellaphora* species complexes: specialists or generalists? *Hydrobiologia* 614: 373–386.
- Poulíčková A. & Voženílek V. (1999): Řasová flóra ČR. Sborník Řasy a prostředí, 35–46.
- Prygiel J., Leveque L. & Iserentant R. (1996): L'IDP: Un nouvel Indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Rev. Sci. Eau* 9: 97–113.
- Reynolds C. S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, 384 s.
- Reynolds C. S. (2006): Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, 456 s.
- Reynolds C. S., Jaworski G. H. M., Cmiech H. A. & Leedse G. F. (1981): On the annual cycle of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B293*: 419–477.
- Rott E., Hoffman G., Pall K., Pfister P. & Pipp E. (1997): Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobielle Indikation. Bundesministerium für Land und forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, Wien, Austria, 73 s.
- Rott E., Pipp E., Pfister P., Van Dam H., Ortler K., Binder N. & Pall K. (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophienindikation. Wasserwirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land-u. Forstwirtschaft, Wien, 248 s.
- Rott E., Salmaso N. & Hoehn E. (2007): Quality control of Utermöhl-based phytoplankton counting and biovolume estimates – an easy task of a Gordian knot? *Hydrobiologia* 578: 141–146.
- Round F. E. (1981): The ecology of algae. Cambridge Univ. Press, 653 s.
- Rumeau A. & Coste M. (1988): Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bull. Fr. Pech. Pisc.* 309: 1–69.
- Řezáčová M. & Neustupa J. (2007): Distribution of the genus *Mallomonas* (Synurophyceae) – Ubiquitous dispersal in microorganisms evaluated. *Protist* 158: 29–37.
- Sládeček V. (1986): Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 14: 555–566.
- Sládeček V. et al. (1981): Biologický rozbor povrchové vody. Komentář k ČSN 830532 – části 6.: Stanovení saprobiálního indexu. Úřad pro normalizaci a měření Praha, 186 str.
- Sládeček V. & Sládečková A. (1996): Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírný odpadních vod. 1. Díl: Destruenti a producenti. ČVVS Praha, 350 str.
- South G. R. & Whittick A. (1987): Introduction to Phycology. Blackwell Scientific Publications, 589 s.
- Steinberg Ch. & Schiefele S. (1988): Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser-Abwasser-Forsch.* 21: 227–234.
- Stevenson R. J., Bothwell M. L. & Lowe R. L. (1996): Algal Ecology. Freshwater Benthic Ecosystems. Academic Press, 752 s.
- Strickland J. D. H. (1960): Measuring of the production of marine phytoplankton. *Bull. of the fisheries research board of Canada* 122: 172–180.
- Symon K., Červenka R., Chalupa J. & Štěpánek M. (1960): K problému vodních květů v hygieně vody I. Algicidní preparát CA 350 a toxicita vodních květů. – *Čs. Hygiena* 5: 485–490.
- Šlapeta J., López-García P. & Moreira D. (2006): Global dispersal and ancient cryptic species in the smallest marine eukaryotes. *Molecular Biology and Evolution* 23: 23–29.
- Talling J. F. (1976): The depletion of carbon dioxide from lake water by phytoplankton. *J. Ecol.* 64: 79–121.
- Telford R. J., Vandvik V. & Birks H. J. B. (2006): Dispersal imitations matter for microbial morphospecies. *Science* 312: 1015.
- Thomson J. N. (2002): Coevolution In: Pagel M. (ed.): *Encyclopedia of evolution* 177–179 s. Oxford Univ. Press.

- TNV 75 7741: Mikrometoda stanovení toxicity a trofického potenciálu řasovým testem, MZeCR, duben 1997.
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. (1994): A coded checklist and ecological indicator value of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 117–133.
- Vannote R. L. (1980): The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 17: 130–137.
- Vernon L. P. (1960): Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem.* 32: 1144–1150.
- Vyverman W., Verleyen E., Sabbe K., Vanhoutte K., Sterken M., Hodgson D. A., Mann D. G., Juggins S., Van de Vijver B., Jones V., Flower R., Roberts D., Chepurnov V. A., Kilty C., Vanormelingen P. & De Wever A. (2007): Historical processes constrain patterns in global diatom diversity. *Ecology* 88: 1924–1931.
- Watanabe T., Asai K. & Houki A. (1986): Numerical estimation of organic pollution in flowing water by using the epilithic diatom assemblage – Diatom assemblage index (DAIpo). *Sci. Tot. Environ.* 55: 209–218.
- Wetzel R. G. (2001): *Limnology*, Academic Press, San Diego Press, 384 s.
- Wujek D. E., Kadiri M. O. & Dziedzic R. M. (2010): Silica-scaled Chrysophyceae and Synurophyceae from Nigeria. III. Chrysophytes from rivers of Edo State. *Fottea* 10: 93–98.
- Zelinka M. & Marvan P. (1961): Zur präzisierung der biologischen Klassifikation des Rheinheit Fliessender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.* 57: 389–407.
- Zoltai S. C. & Vitt D. H. (1995): Holocene climatic change and the distribution of peatlands in western interior Canada. *Quaternary Research* 33: 231–240.
- Žáková Z. (1979): Determination of the trophic potential – application in hydrobiological practice. In: Marvan P., Pribil S., Lhotský O. (eds.): *Algal assays and monitoring eutrophication*. Schweitzerbart, Stuttgart, s. 223–233.
- Žáková Z. (1980): Trofický potenciál a jeho aplikace ve vodním hospodářství. VÚV Praha. *Práce a studie*, 154 s.
- Žáková Z. et al. (1981): Stanovení trofického potenciálu vody. Metodická příručka. ČSVTS, DT Brno, 102 s.

prof. RNDr. Aloisie Pouličková, CSc.
ZÁKLADY EKOLOGIE SINIC A ŘAS

Publikace je určena pro studenty biologických a ekologických studijních programů.

Odpovědný redaktor Jiří Slavík
Sazba a návrh obálky Ivana Perůtková
Ilustrace Štěpánka Pouličková
Jazyková korektura Michal Fránek

Vydala Univerzita Palackého v Olomouci
Křížkovského 8, 771 47 Olomouc
vydavatelství.upol.cz
vup@upol.cz

Publikace z produkce UP je možno zakoupit prostřednictvím e-shopu
na adrese vupshop.upol.cz

VUP 2025/0228

Olomouc 2011, 2025
2011 (1. vydání), 2025 (1. elektronické vydání)
Neprodejná publikace

ISBN 978-80-244-6646-0 (online: iPDF)