

Průvodce mikrosvětem sinic a řas

Aloisie Pouličková, Petr Dvořák, Petr Hašler

Olomouc 2015

Recenzenti: doc. Mgr. Pavel Škaloud, Ph.D., PŘF UK Praha
doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., MENDELU Brno



Inovace studia hydrobiologických disciplín s důrazem na rozšíření možností
uplatnění absolventů biologických oborů PŘF UP v praxi.
Reg. č.: CZ.1.07/2.2.00/28.0173.

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

1. vydání

© Aloisie Pouličková, Petr Dvořák, Petr Hašler, 2015
Photography © Aloisie Pouličková, 2015
© Univerzita Palackého v Olomouci, 2015

ISBN 978-80-244-4408-6

Předmluva

Průvodce mikrosvětlem řas je učební pomůckou v duchu J. Amose Komenského. Domníváme se, že kvalitním obrázkem oslovíme více nadšenců pro neuvěřitelnou diverzitu přírody než stovkou vědeckých pojednání. Průvodce pracuje se znaky pozorovatelnými v běžném mikroskopu, podle nichž se v minulosti třídily a rozlišovaly jednotlivé organismy a který stále dobře slouží v praxi. S řasami se totiž setkáváme všude a velmi často právě na místech, kde nás to příliš netěší, např. když se nám rozmnoží v zahradním bazénu nebo v akváriu. Abychom s nimi mohli šetrně a ekologicky bojovat, potřebujeme je identifikovat. Není ještě jasné, jak dlouho bude tento morfologický přístup k určování druhového složení řasových společenstev aktuální. Možná je již za dveřmi molekulární věk, který přidělí mikroorganismům čárové kódy na základě sekvencí nukleových kyselin, a mikroskopy skončí v muzeu vedle ruchadla bratranců Veverkových. Doufáme, že čtenáře našeho průvodce přesvědčíme, že by to byla škoda. Příroda vytvořila fascinující přehlídku tvarů a barev, o kterou bychom se neměli lehkomyšlně připravit.

Publikace vznikla za finanční podpory projektu ESF, reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0173. Mikrofotografie ze světelného mikroskopu byly pořízeny na přístroji ZEISS AXIO IMAGER. Rádi bychom poděkovali za spolupráci Mgr. P. Mazalové, Ph.D., a oběma recenzentům za jejich pečlivou práci a významné přispění k finální podobě rukopisu.

Kolektiv autorů

**Věnováno našim učitelům a vzorům
prof. RNDr. F. Hindákovi, DrSc.,
a RNDr. P. Marvanovi, CSc.**

Co jsou sinice a řasy

Sinice a řasy jsou většinou fotoautotrofní, fotolitotrofní organismy, které mají stejně jako rostliny ekologickou funkci primárních producentů. Jejich tělo není rozlišeno na kořen, stonek, list, ale je tvořeno stélkou. Proto jim říkáme rostliny stélkaté a řadíme je do nižších rostlin.

Všechny buněčné organismy můžeme rozdělit na prokaryota a eukaryota. Prokaryotická buňka neobsahuje žádné buněčné organely opatřené membránami, zatímco v eukaryotických buňkách jsou tyto struktury (jádro, plastidy atd.) přítomny. Pouze bakterie a sinice (Cyanophyta) mají prokaryotickou stavbu buňky, ostatní organismy patří mezi eukaryota. Eukaryotní skupiny řas jsou podle klasifikace Adla et al. (2012) rozptýleny v několika skupinách eukaryot:

- a) **Archaeplastida**: Glaucophyta, zelené řasy (Chlorophyta a Streptophyta), ruduchy (Rhodophyta)
- b) **Stramenopiles**: Eustigmatophyceae, zlativky (Chrysophyceae), rozsivky (Bacillariophyceae = Diatomea), Raphidophyceae, chaluhy (Phaeophyceae) a různobrvky (Xanthophyceae)
- c) **Alveolata**: obrněnky (Dinophyta = Dinoflagellata)
- d) **Rhizaria**: Chlorarachniophyta
- e) **Excavata**: krásnoočka (Euglenophyta = Euglenozoa)
- f) **Haptophyta**
- g) **Cryptophyta** (skrytěnky)

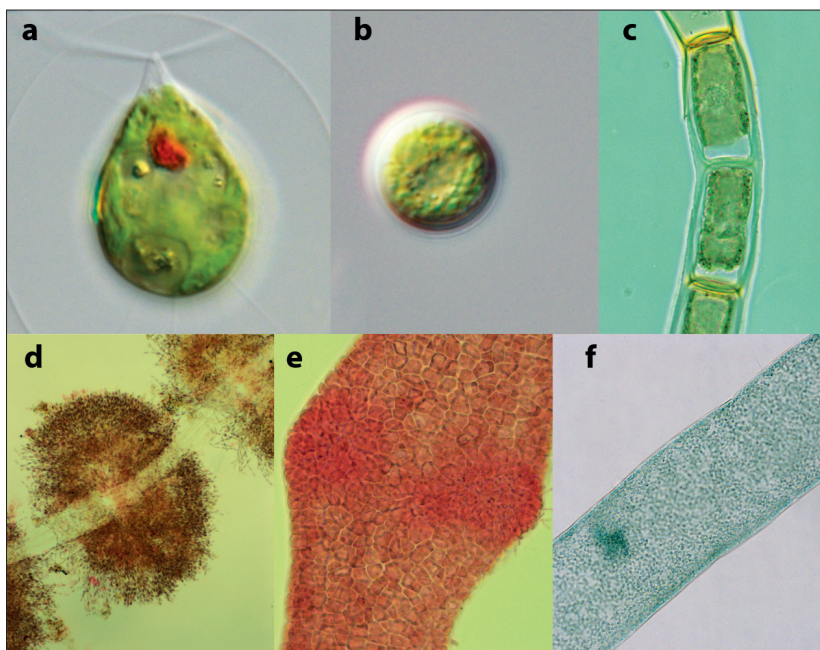
Většina sladkovodních sinic a řas má mikroskopické rozměry a pouhým okem je můžeme vidět pouze ve velkém seskupení – zelené skvrny na skalách, kůrách stromů, hnědé kluzké kameny v potoce, chumáče vláknitých řas. Některé řasy tvoří kolonie, které dosahují milimetrových rozměrů. Parožnatky, které stojí z řas vývojově nejvýše, mohou dosahovat velikosti centimetrů až decimetrů. V mořích pak žijí několikametrové chaluhy.

Stejně jako velikostí se různé řasy liší také zbarvením. O zbarvení stélky u jednotlivých skupin řas nás informuje už jejich název – sinice (modrozelené), ruduchy (červené), zlativky, zelené řasy. Toto zbarvení je dáno složením fotosyntetických barviv (Tab. 1).

Tab. 1: Základní charakteristiky sinic a řas – hlavní fotosyntetická barviva (chlorofyl a přidatná barviva zvláštního významu), zásobní látky, typy stélek a architektura bičíkovců (upraveno podle Pouličková a Jurčák 2001).

Oddělení	Chlorofyl	Přidatná barviva	Zásobní látky	Typ stélky	Bičíkatá stadia
Cyanophyta	a, b, c, d	fykocyanin fykoerytrin	sinicový škrob	kokální trichální	–
Glaucophyta	a	fykocyanin	polysacharid	monadoidní	dva
Rhodophyta	a	fykocyanin fykoerytrin	florideový škrob	kokální trichální pletivná	–
Chlorophyta Streptophyta	a, b		škrob	všechny mimo rhizopodovou	dva izokontní
Chrysophyceae Bacillariophyceae Phaeophyceae Raphidophyceae	a, c	fukoxantin	chrysolaminaran olej	všechny	dva heterokontní
Eustigmatophyceae	a			kokální	jeden (dvě bazální tělíska)
Xanthophyceae	a, c	vaucheriaxantin	chrysolaminaran	kokální trichální sifonální	dva heterokontní
Dinophyta	a, c	peridinin	škrob	monadoidní	dva heterokontní
Chlorarachniophyta	a, b		paramylon	rhizopodová monadoidní	jeden
Euglenophyta	a, b		paramylon	monadoidní	jeden (druhý zakrnělý)
Haptophyta	a, c	fukoxanthin	chrysolaminaran	monadoidní kokální	dva + haptonema
Cryptophyta	a, c	fykocyanin fykoerytrin	škrob	monadoidní	dva heterokontní

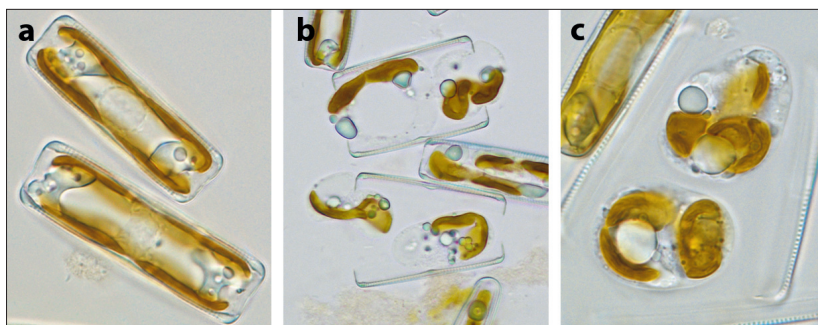
Dalším důležitým znakem řas je tvar stélky (Obr. 1A). Rozlišujeme několik organizačních stupňů stélky: bičíkovec (stélka monadoidní, Obr. 1Aa), měňavka (stélka rhizopodová), nepohyblivá buňka (stélka kokální, Obr. 1Ab), buňka ve slizu (stélka kapsální), vlákno (stélka trichální: nevětvená – Obr. 1Ac, větvená, heterotrichální – Obr. 1Ad), pletivná – Obr. 1Ae, sifonokladální – Obr. 12g a trubicová (sifonální, Obr. 1Af).



Obr. 1A: Vybrané typy stélek. a – monadoidní; b – kokální; c – trichální; d – heterotrichální; e – pletivná; f – sifonální.

Mezi hlavní charakteristiky patří i architektura bičíkovců. Až na výjimky (sinice, ruduchy, spájivky) se v každé skupině řas v průběhu životního cyklu objevují bičíkatá stadia. Zajímá nás hlavně počet bičíků, jejich délka a umístění. Rozlišujeme bičíky hladké a pětité, bičíky heterokontní (různě dlouhé) a izokontní (stejně dlouhé). Umístění může být apikální, subapikální a laterální (na vrcholu, pod vrcholem a boční).

Řasy se mohou rozmnožovat nepohlavně a pohlavně (Tab. 2, Obr. 1B). Z nepohlavního rozmnožování je nejjednodušší prosté dělení na dvě buňky dceřiné. Vícenásobným dělením vznikají různé typy spor – pohyblivé (zoospory) a nepohyblivé (autospory, Obr. 11b). U některých řas se vytvářejí stadia, která jsou schopna přečkat nepříznivé období – akinety (Obr. 8i), artrospory, cysty (Obr. 17b, c, d). Dalším nepohlavním rozmnožováním je rozpad stélky (fragmentace), případně obdoba odnožování u parožnatek. Pohlavní rozmnožování zahrnuje splývání vegetativních buněk (spájení = konjugaci, hologamii) a splývání gamet (izogamii, anizogamii, oogamii). Většina řas používá některou z možností nepohlavního i pohlavního rozmnožování. Životní cykly jsou důležitou charakteristikou a mohou být trojího typu. Nejběžnější je zygotický, při němž převládá haploidní fáze. Méně častý je gametický, řasy s tímto cyklem (např. rozsivky) jsou po většinu života diploidní, haploidní jsou pouze gamety. U řas nejvíce vyvinutých dochází ke střídání nepohlavní generace (sporofytu) s pohlavní generací (gametofytem), čemuž říkáme rodozměna. Rodozměna může být izomorfická (sporofyt a gametofyt nelze rozlišit morfologicky) nebo heteromorfická. Tento cyklus se nazývá sporický. Rozmnožování a životní cykly jsou obzvláště důležité pro identifikaci některých řas, které mají podobnou, většinou velmi jednoduchou morfologii (drobné kuličky, řasy půdní, aerofytické).



Obr. 1B: Pohlavní rozmnožování penátní rozsivky *Pinnularia*. a – párování pohlavně zralých jedinců; b – tvorba gamet; c – zygoty (auxospory).

Tab. 2: Rozmnožování a životní cykly řas (upraveno podle Pouličková a Jurčák 2001).

Skupina	Nepohlavní	Pohlavní	Životní cyklus
Cyanophyta	dělení exocyty, baeocyty hormogonie akinetý	není	
Glaucoephyta	zoospory, autospory	nepozorováno	
Rhodophyta	dělení monospory	oogamie	sporický (rodozměna)
Chlorophyta	zoospory, aplanospory autospory dceřiná cenobia fragmentace	izogamie anizogamie oogamie	zygotický sporický
Streptophyta	dělení zoospory fragmentace odnožování	hologamie izogamie oogamie	zygotický
Chrysophyceae	dělení cysty	hologamie	zygotický
Raphidophyceae	dělení	není	
Eustigmatophyceae	zoospory, autospory	nepozorováno	
Bacillariophyceae	dělení	izogamie (penátní) anizogamie (v chování) oogamie (centrické)	gametický
Phaeophyceae	zoospory fragmentace stélky	izogamie anizogamie oogamie	sporický gametický (<i>Fucus</i>)
Xanthophyceae	zoospory aplanospory synzoospory	oogamie (<i>Vaucheria</i>)	zygotický
Dinophyta	dělení hypnozygoty zoospory	hologamie izogamie anizogamie	zygotický gametický (<i>Noctiluca</i>)
Chlorarachniophyta	dělení, zoospory	izogamie	neprozkoumán
Euglenophyta	dělení palmeloidní stadia	není	
Haptophyta	dělení	hologamie	
Cryptophyta	dělení	hologamie	není znám

Evoluční historie sinic a řas

Pátrání po počátcích života sinic a řas nás přivádí až na samý počátek archeanu, do období těsně po posledním velkém bombardování planety Země meteority asi před 3,8 miliardami let. Přibližně v této době se nacházejí první známky organicky vzniklého kyslíku v atmosféře. Existuje tedy možnost, že v této době vznikla fotosyntéza, jejíž „odpadním“ produktem byl kyslík, tak jak ji známe dnes u sinic, řas a rostlin. První fosilie sinic se objevují před 3,5 miliardami let. Všechny takové odhady jsou samozřejmě ovlivněny velkou chybou způsobenou stářím hornin. Nicméně faktem zůstává, že sinice jsou jedny z nejstarších autotrofních organismů a významně ovlivnily globální ekosystém, zejména vznikem kyslíkaté atmosféry. Tím poskytly půdu pro vývoj ostatních organismů a v posledních dvou milionech let i pro člověka.

Dalším mezníkem ve vývoji sinic a řas byla primární endosymbiotická událost, při které vznikli první předci dnešních řas, konkrétně zelených (Archaeplastida, Chlorophyta) a červených (Rhodophyta). Endosymbiózou rozumíme časově náročný proces postupné inkorporace buňky sinice dovnitř eukaryotní buňky (pravděpodobně heterotrofního prvoka), která sinici nestráví, ale naopak využívá produkty jejího metabolismu a na oplátku sinici poskytuje stabilní prostředí. Tímto způsobem vznikl chloroplast řas a rostlin. Průběh endosymbiózy můžeme pozorovat v přírodě i dnes, například u druhu *Hatena arenicola* náležícího do Katablepharidae, kde je endosymbiotický proces v postupném vývoji. Dále také v genomech dalších řas, protože došlo k horizontálnímu přesunu genů mezi genomem plastidu a genomem jádra. Kromě procesu primární endosymbiózy můžeme pozorovat endosymbiózu sekundární, kdy je endosymbiontem řasa vzniklá primární endosymbiózou (např. Euglenophyta, Haptophyta, Stramenopiles), a terciální, kdy je endosymbiontem řasa vzniklá sekundární endosymbiózou (Dinophyta).

Systematika vyšších taxonomických jednotek prochází v poslední době drastickým přerodem, způsobeným zejména aplikací molekulárních markerů do rekonstrukce evoluce, a v žádném případě není konečná. Rovněž její interpretace a názvosloví se napříč vědeckou obcí různí. Sinice stále platí za koherentní skupinu v rámci bakterií. Mnohem složitější je vystihnout evoluci řas, které tvoří koherentní klast, ale jejich vývojové linie najdeme téměř ve všech nově roztřídných skupinách eukaryot (viz Obr. 2).

Význam a využití řas

Zatímco mořské řasy jsou často konzumovány obyvateli přímořských států (*Laminaria* – kombu, *Undaria* – wakame, *Porphyra* – nori), mikrořasy slouží spíše k výrobě potravinových doplňků (*Chlorella*, *Arthrospira*) a léčiv. Z řas se získávají důležité látky jako jod, agar, algináty, karagen. Vyrábějí se z nich gely, celofán, žvýkačky, lubrikanty, speciální tkaniny, emulgátory, stabilizátory. Zkoumá se jejich využití v biotechnologii (bionafta). Značný problém představují řasy produkující toxiny, zejména v úpravě pitné vody a v přírodních koupalištích. Řasy mají vyhraněné ekologické nároky a mohou indikovat celou řadu charakteristik vodního prostředí: množství živin (trofie – *Microcystis*, *Stephanodiscus*), organických látek (*Euglena*), železa (*Trachelomonas*), nízké pH (krásivky, zlativky, rozsivky), teplotu (šíření teplomilných druhů, mořské proudy) a salinitu (*Enteromorpha*, *Nodularia*).



Ilustrační foto

Výskyt, sběr a pozorování sinic a řas

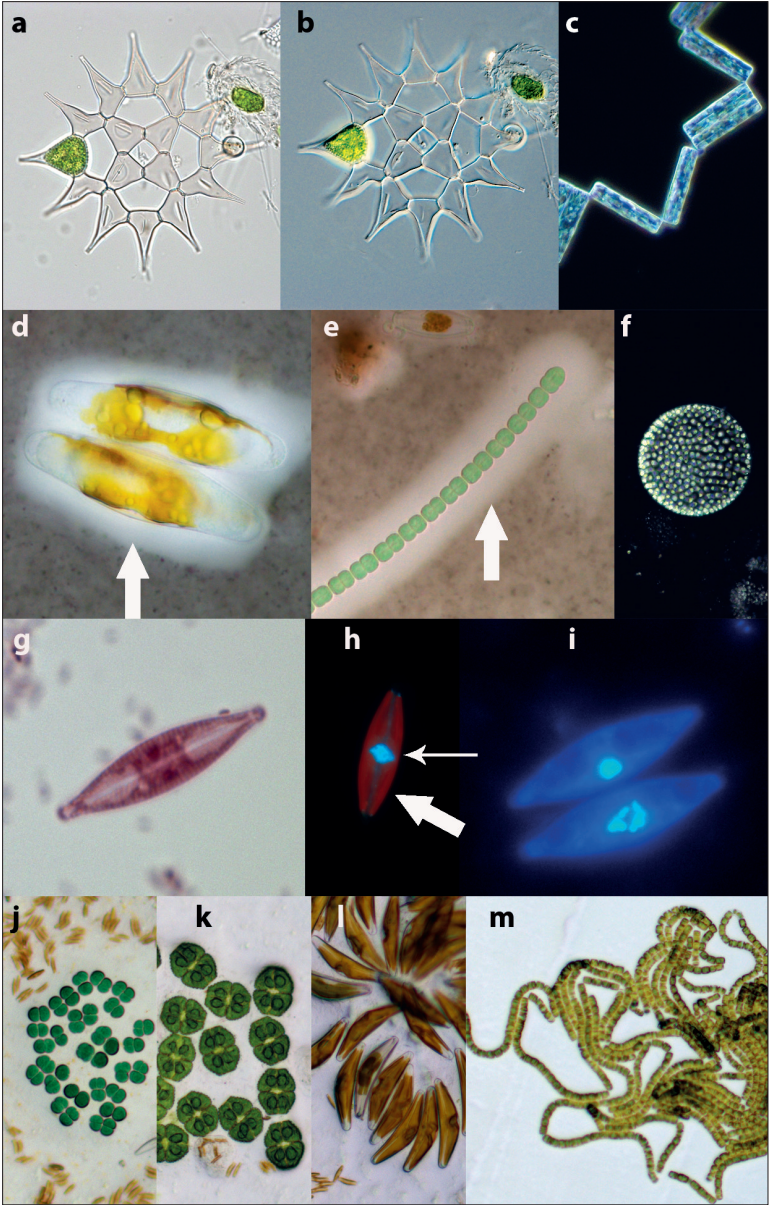
Sinice a řasy se vyskytují všude kolem nás, zejména ve vodním prostředí. V ČR bylo od počátku 20. století podle databáze platně publikovaných údajů (Poulíčková et al. 2004) nalezeno asi 6 000 druhů řas, celkové počty známých druhů v celosvětovém měřítku se pohybují v desítkách tisíc a stále stoupají. Jednak existují špatně přístupné oblasti, kde jsou sinice a řasy málo prostudované, jednak se ukazuje, že morfologické charakteristiky nejsou dostačující pro popsání diverzity mikroorganismů. S rozvojem molekulárních metod se vyčleňují nejen nové druhy, ale i rody sinic a řas. V tekoucích vodách žijí sinice a řasy převážně přisedle na dně a ponořených předmětech (bentos). Podle typu substrátu členíme bentos na epifyton (na rostlinách), epilíton (na kamelech), epipelon (na bahně), epipsammon (na písku) a epizoon (na živočiších). Ve stojatých a pomalu tekoucích vodách se kromě bentických druhů vyskytují řasy, které se volně vznášejí ve vodním sloupci (plankton). Některé sinice a řasy žijí také mimo vodní prostředí – na sněhu a ledu, v půdě, na kůře stromů i na antropogenních substrátech. Mohou obývat i extrémní stanoviště, jako jsou termální prameny, minerální prameny, jeskyně a katakomby.

Metody sběru sinic a řas se liší podle charakteru prostředí, v němž žijí. Plankton odebíráme do lahví a v laboratoři ho zahušťujeme odstředěním, filtrací nebo sedimentací. Zahuštěný plankton můžeme rovněž odebrat hustou planktonní sítí. Bez zahuštění však většinou nelze plankton přímo pozorovat. Nárostové řasy získáme oškrabáním ponořených předmětů skalpelem nebo zubním kartáčkem či odsátím pomocí injekční stříkačky. V tomto případě je biomasa dost velká na přímé pozorování. Další zpracování a uchovávání vzorků se pak dost liší u jednotlivých skupin. Bičíkovce musíme pozorovat co nejdříve po odběru v živých vzorcích. Po čase se rozpadají a ve fixáži se deformují. Sinice, zelené řasy, půdní a aerofytické řasy musíme kultivovat v laboratorních podmínkách, protože bez znalosti životního cyklu je nedokážeme identifikovat. Kultivace přitom může být velmi jednoduchá a proveditelná i v domácích podmínkách. Takovým jednoduchým kultivacím říkáme „room culture“. Vzorek necháme v lahvi na světle (severní okno) a čas od času ho zkontrolujeme pod mikroskopem. Nejjednodušší na pozorování je plankton, ten můžeme uchovávat i fixovaný Lugolovým roztokem. Nejodolnější jsou rozsivky, snášejí nejen fixaci formaldehydem, ale lze je určovat podle mrtvých schránek (frustul)

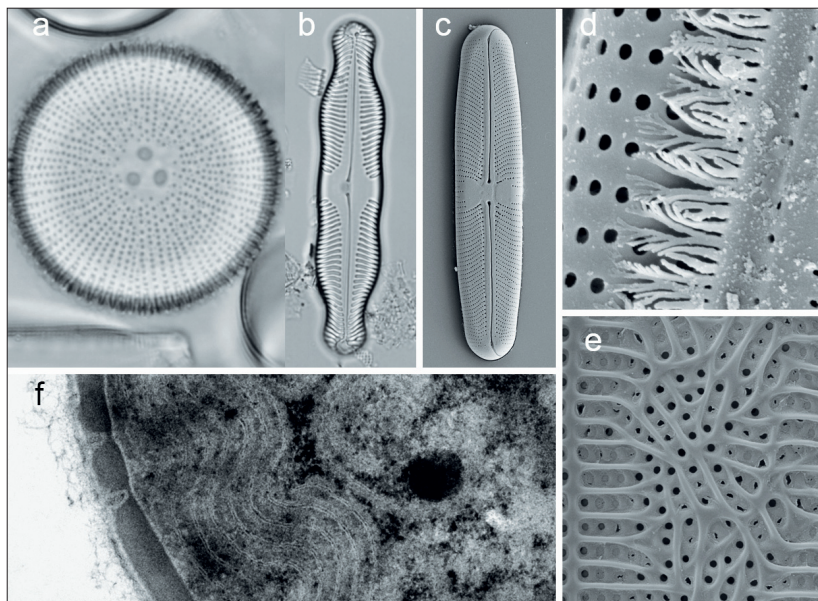
v trvalých preparátech (Obr. 4a, b), které lze uchovávat stovky let. Křemičité zlativky se do druhů určují podle šupin v elektronovém mikroskopu.

Ke studiu řas jsou dostupné různé zobrazovací, preparační a kultivační techniky. Základní technikou světelné mikroskopie, kterou mají i nejlevnější mikroskopy, je světlé pole (bright field – BF, Obr. 3a). Většího kontrastu dosahuje tzv. Nomarského kontrast (differential interference contrast – DIC, Obr. 3b), který již vyžaduje dražší zařízení. Zobrazí nám lépe buněčné struktury, stěny a sliz. Zvláštního efektu dosáhneme použitím tmavého pole (dark field – DF, Obr. 3c, f), pro rozlišovací schopnost a identifikaci však velký význam nemá. Další detaily můžeme pozorovat v elektronových mikroskopech. Vnitřní buněčné struktury (tylakoidy, buněčné stěny) vyniknou na ultratenkých řezech v transmisním elektronovém mikroskopu (TEM, Obr. 4f). Naopak povrch buněk skenuje SEM (skenovací elektronový mikroskop, Obr. 4c) a výsledkem jsou trojrozměrné obrázky. Některé povrchové struktury rozsivek, zejména mořských, mohou být až neuvěřitelně dekorativní (Obr. 4d, e).

Využit můžeme různé způsoby barvení preparátů. Přidáním tuše do preparátu zvýrazníme sliz, který vytváří kolem buněk „svatozář“ (Obr. 3d, e). Jádra se barví acetokarmínem (Obr. 3g) nebo je lze pozorovat s použitím fluorescence (FM, Obr. 3h, i). Fluorescence se používá pro zjištění živých buněk (autofluorescence chlorofylu). K izolaci klonových kultur sinic a řas používáme, podobně jako bakteriologové, agarové plotny. Řasy vytvářejí na agaru tvarově a barevně specifické kolonie, např. sinice a zelené řasy (Obr. 3j, k), rozsivky (Obr. 3l, m).



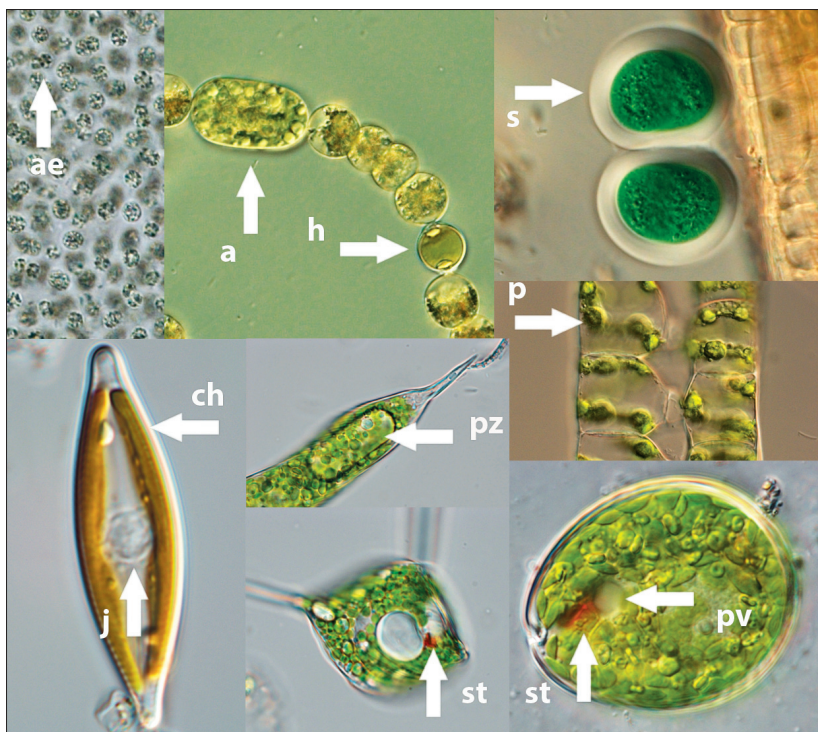
Obr. 3: Zobrazovací, preparační a kultivační techniky ke studiu řas. a – světlé pole; b – Nomarského kontrast; c, f – tmavé pole; d, e – tušový preparát ke zvýraznění slizu (šipka); g – barvení jader acetokarmínem; h, i – fluorescenční mikroskop s využitím různých filtrů a barvení DNA, zobrazuje autofluorescenci červeně svítících chloroplastů (šipka) a DNA, která po obarvení svítí modře (tenká šipka); j, k – kolonie sinic a zelených řas na agaru; l, m – kolonie rozsivek na agaru.



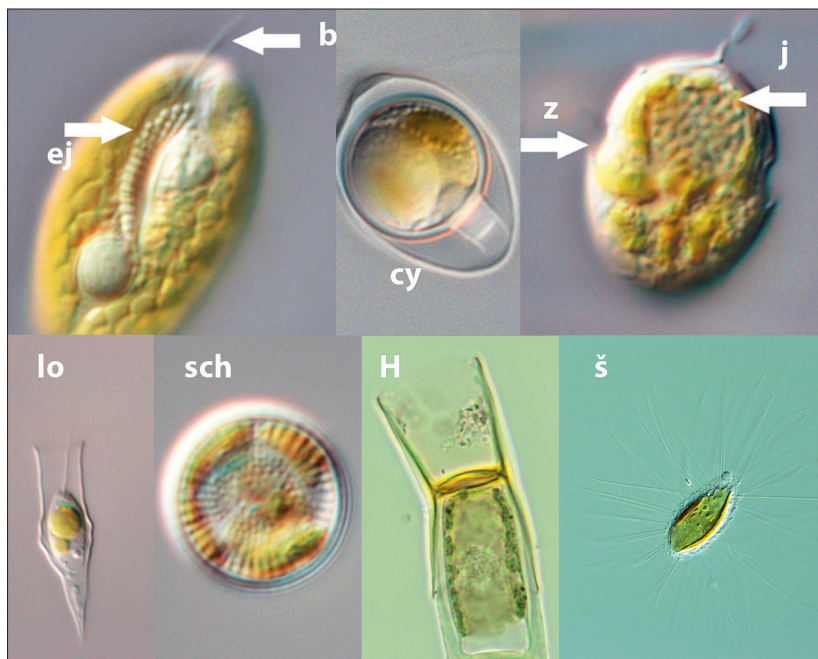
Obr. 4: Zobrazovací a preparační techniky. a, b – mrtvé schránky rozsivek v trvalém preparátu; c – schránka rozsivky ve skenovacím elektronovém mikroskopu; d, e – detail na schránce rozsivky v SEM; f – ultratenký řez sinice v transmisním elektronovém mikroskopu.

Určování sinic a řas pod mikroskopem

Sinice a řasy určujeme podle morfologie ve světelném mikroskopu a sledujeme několik základních charakteristik, které jsou dobře rozpoznatelné, zejména barvu, tvar stélky a stavbu buněk (cytologie). Na základě těchto charakteristik si objekty zařadíme do skupin, abychom posléze mohli použít specializované klíče k určování rodů a druhů, např. z řady *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Základní cytologické charakteristiky jsou zobrazeny na Obr. 5 a 6.



Obr. 5: Základní cytologické charakteristiky sinic a řas I. a – akinety (větší než vegetativní buňky se zrnitým obsahem); ae – aerotopy sinic (černé tečky v buňce); h – heterocyty (průhledný obsah); ch – chloroplasty; j – jádro; p – pyrenoid (obvykle součást chloroplastu); pv – pulzující vakuoly; pz – paramylo nové zrno; s – sliz; st – stigma (červená světločivná skvrna).



Obr. 6: Základní cytologické charakteristiky sinic a řas II. b – bičík; cy – cysta; ej – jícen s ejektozómy (vymrštitelná tělíska); H – složená buněčná stěna, tzv. H-kusy; j – jádro (u obrněnek se mu říká dinokaryon); lo – lorika zlativek; sch – skulpturovaná schránka rozsivek; š – šupiny s tenkými ostny u zlativek (vypadají chlupaté); z – zářez (poznáme podle něj obrněnku).

Velmi důležitou informací pro správné určení mikrořas je i místo sběru a stanoviště, tedy zda byl vzorek nalezen v tekoucí nebo stojaté vodě, v planktonu nebo v bentosu, roli hraje i obsah živin, pH a vodivost. Proto se při sběru řas velmi často měří alespoň pH a vodivost, množství živin lze odhadnout ze situace (např. horský pramen vs potok ve vesnici pod vyústěním septiku atd.). Ekologické nároky mikrořas jsou proto zmiňovány i v určovacích klíčích.

Klíč k určování základních skupin sladkovodních sinic a řas

- A) Buňky jsou bez chloroplastů, jádra a jiných organel (prokaryotické), uvnitř se jeví homogenní, může být patrný rozdíl mezi centroplazmou a chromatoplazmou; pigmenty (modrozelené, olivové nebo nachové, šedé, červenohnědé) jsou rozptýleny v celém protoplastu (respektive v chromatoplazmě). Nepozorujeme žádné pohyblivé buňky, škrobová zkouška je negativní. Organismus je jednobuněčný, koloniální nebo vláknitý. Mohou být viditelné slizové obaly, často vrstevnaté. Mohou být viditelné aerotopy, heterocyty, akinety.

..... **Cyanophyta (sinice)**

- B) Buňky zřetelně diferencované, pigmenty v přesně vymezené oblasti buňky (chloroplastech), přítomno jádro a další membránové struktury (tj. buňky eukaryotické) 1–5

- 1a) Zbarvení modrozelené, červené, po fixáži většinou červené, žádné pohyblivé buňky, stélka větvená, heterotrichální až pletivná, často makroskopická.

..... **Rhodophyta (ruduchy)**

- 1b) Zbarvení zelené nebo hnědé, pohyblivé buňky s 1–4 bičíky 2

- 2a) Pozitivní škrobová zkouška 3

- 2b) Negativní škrobová zkouška 5

- 3a) Chloroplast (velký, komplexní) trávově zelený, organismy jednobuněčné, koloniální nebo vláknité, pohyblivé buňky s 2–4 stejně dlouhými bičíky, umístěnými na vrcholu buňky (apikálně). Je-li přítomno stigma, je součástí chloroplastu. Často viditelné pyrenoidy.

..... **Chlorophyta + Streptophyta (zelené řasy)**

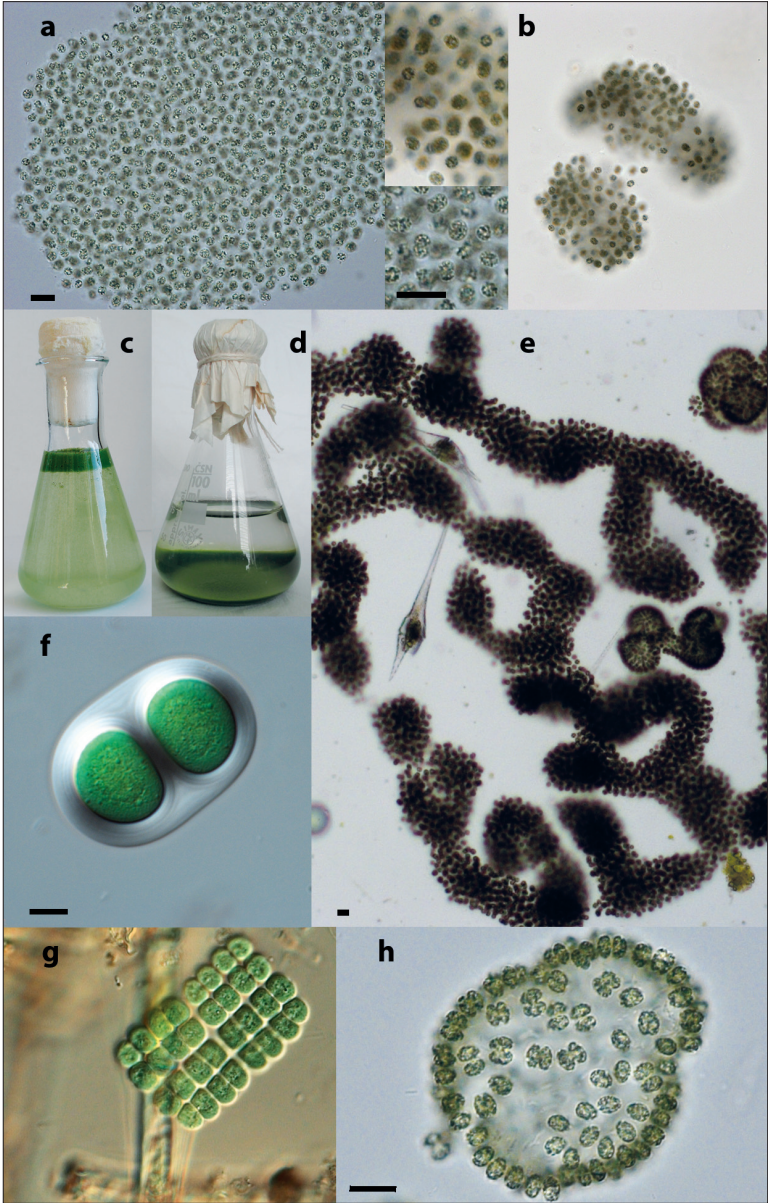
- 3b) Chloroplasty zlatohnědé, žluté, vzácně jiné barvy, nikdy však trávově zelené, organismy jednobuněčné, pohyblivé buňky se 2 nestejnocennými bičíky umístěnými mimo vrchol (apex) 4

- 4a) Rychle se pohybující žlutohnědí bičíkovci. Laterální (boční) bičíky, stigma, často viditelný pancíř rozdělený po stranách viditelným zářezem, případně zřetelné velké jádro s kondenzovanými chromozomy (dinokaryon).
..... **Dinophyta (obrněnky)**
- 4b) Asymetričtí bičíkovci se 2 subapikálními bičíky, 1–2 podélné chloroplasty, barva olivově hnědá, cihlově červená i modro-zelená, jícen s vymrštitelnými tělisky, pyrenoid, tenká buněčná stěna.
..... **Cryptophyta (skrytěnky)**
- 5a) Bičíkovci s četnými malými trávově zelenými chloroplasty. Jeden viditelný apikální bičík vychází z vchlípeniny (ampuly). Výrazné stigma mimo chloroplast, pulzující vakuola, paramylonová zrna.
..... **Euglenophyta (krásnoočka)**
- 5b) Jednobuněčné, vláknité, sifonální (trubicovité) stélky s četnými malými zelenými či žlutozelenými chloroplasty, vodní i aerofytické. Pohyblivá stadia s různě dlouhými bičíky. U vláknitých často patrné H-kusy. Záměna je možná se zelenými řasami, v nejasných případech nutná škrobová zkouška.
..... **Xanthophyceae (různobrvky), Eustigmatophyceae**
- 5c) Monadoidní, jednobuněčné, koloniální, zřídka vláknité. Chloroplasty žlutozelené až zlatohnědé. 2 nestejnocenné bičíky nebo 1 bičík, často v lorikách (schráncích) nebo kryté šupinami s tenkými ostny (vypadají chlupaté), mohou tvořit cysty.
..... **Chrysophyceae (zlativky)**
- 5d) Jednobuněčné, koloniální (některé kolonie připomínají vlákna), olivové až hnědé chloroplasty, skulpturovaná schránka roztodivných geometrických (radiálně či bilaterálně souměrných) tvarů.
..... **Bacillariophyceae (rozsivky)**

Obrazová část

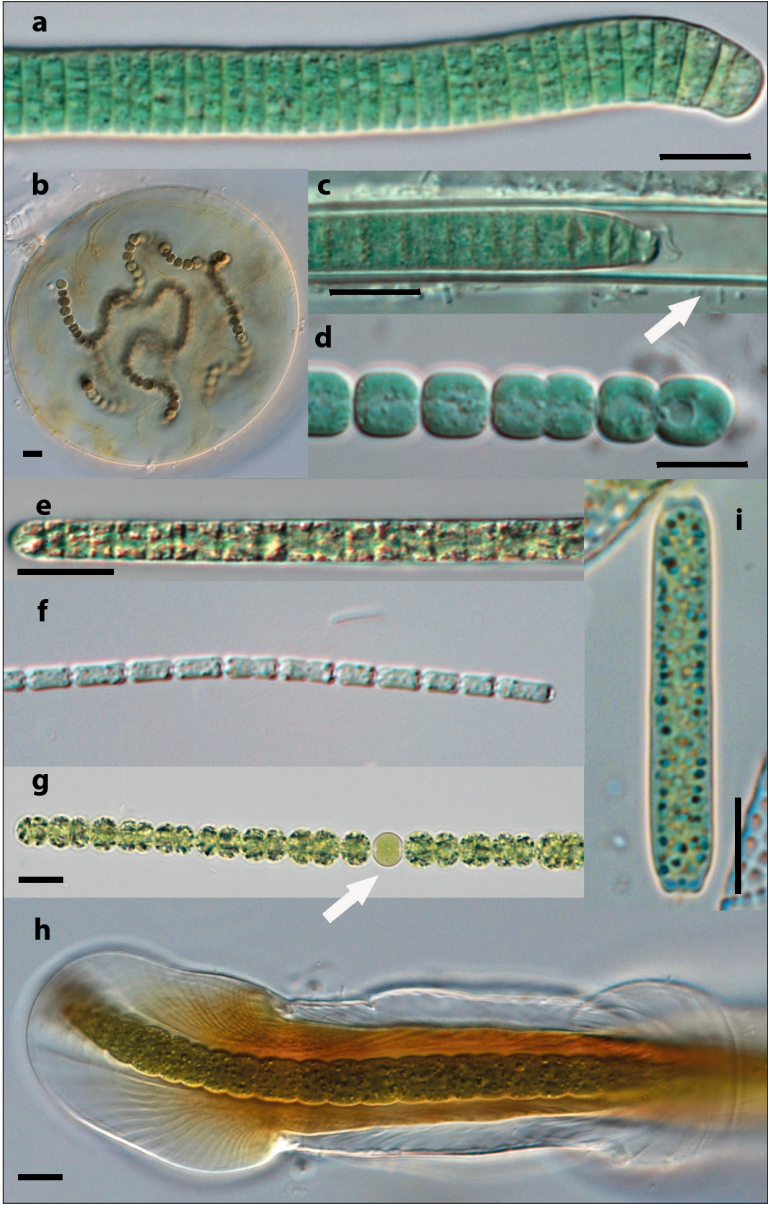
Obr. 7: Cyanophyta

Sinice jsou prokaryotní modrozelené organismy s jednobuněčnou (kokální) i vláknitou (trichální) stélkou, bez bičíkatých stadií. Vyskytují se v široké škále ekologických podmínek. Kokální sinice mohou žít jednotlivě (*Chroococcus*, Obr. 7f) nebo tvoří kolonie (Obr. 7b, e, g, h). Ploché kolonie rodu *Merismopedia* (Obr. 7g) připomínají tabulku čokolády. Nejběžnější planktonní sinicí jsou *Microcystis* (Obr. 7a, b, c, e) a *Woronichinia* (Obr. 7h). Kolonie *Microcystis* jsou trojrozměrné (Obr. 7e), protože se buňky na rozdíl od rodu *Merismopedia* dělí ve více rovinách. Velikost buněk a tvar kolonií u zástupců rodu *Microcystis* jsou druhově specifické. Buňky planktonních sinic jsou nadnášeny váčky naplněnými plynem (aerotopy), které se ve světelném mikroskopu jeví jako černé tečky. Aerotopy jsou tvořeny zejména sinicemi, které v letním období vytvářejí „vodní květ“. Protože mnohé z nich jsou toxické, musí být jejich přítomnost ve zdrojích pitné vody i rekreačních nádržích pod kontrolou hygieniků. V letním období najdeme aktuální informace o přírodních koupalištích na internetu na stránkách Státního zdravotního ústavu. Jednoduchou zkoušku na přítomnost nadměrného množství sinic si můžeme provést i sami. Nabereme vodu z nádrže do průhledné lahve a necháme několik hodin stát. Pokud se vytvoří na hladině modrozelený prstenec (Obr. 7c), voda obsahuje planktonní sinice. Pokud zelená hmota klesne na dno, jde o jiné mikrořasy, které nejsou toxické, např. *Chlorella* (Obr. 7d). V reálné situaci mohou být ve vodách přítomny obě složky. Kromě buněčné stěny chrání buňky sinic slizová vrstva, která může být mohutná, dokonce i vrstevnatá (Obr. 7f). Měřítka = 10 µm.



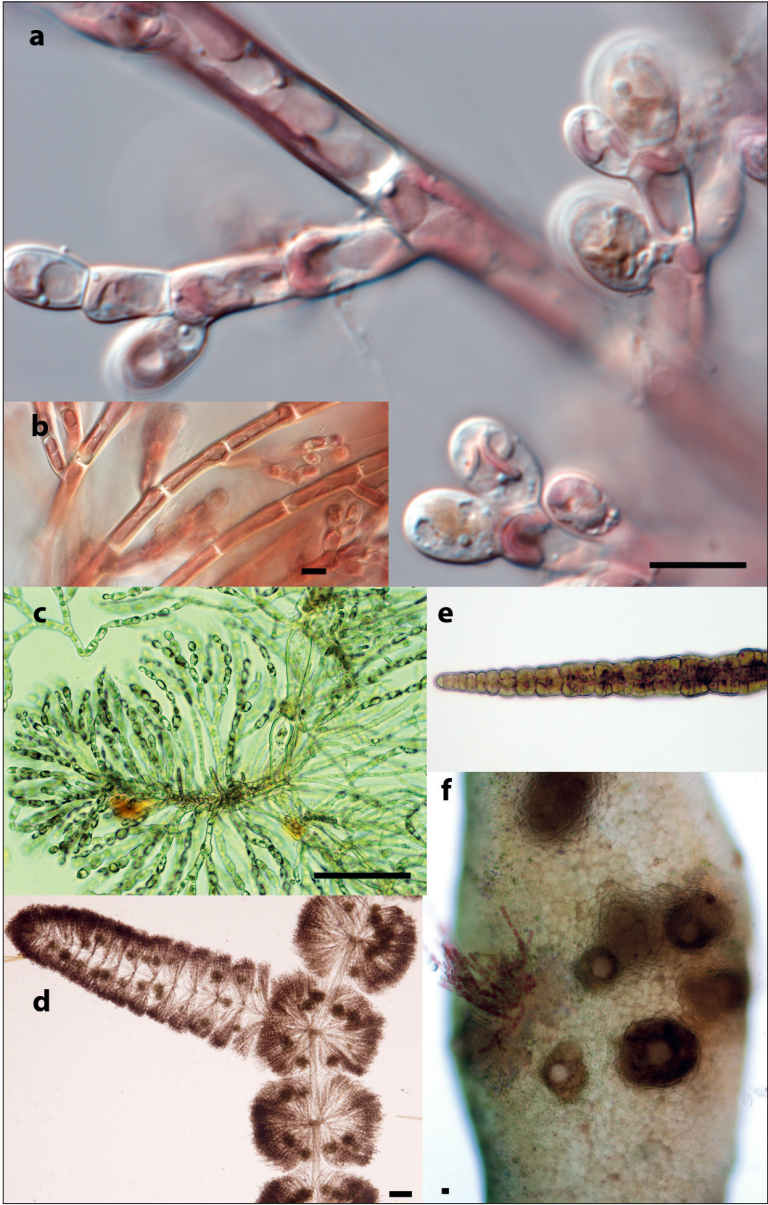
Obr. 8: Cyanophyta

Vláknité sinice reprezentuje drkalka (*Oscillatoria*, Obr. 8a) a podobný rod *Phormidium* (Obr. 8c). Žijí v bentosu a liší se přítomností pochev (Obr. 8c, šipka). Šňůru korálků připomínají rody *Anabaena*, *Dolichospermum* a *Nostoc*. Benthický rod *Nostoc* žije v mohutném slizovém obalu (Obr. 8b), planktonní *Dolichospermum* (Obr. 8g) tvoří aerotopy podobně jako rod *Planktothrix* (Obr. 8e). V epipelonu (na bahnitém dně) najdeme rody *Komvophoron* (Obr. 8d), *Pseudanabaena* (Obr. 8f). Dekorativní slizové obaly vytváří *Petalonema* (Obr. 8h). Přežívání nepříznivých podmínek u sinic zajišťují akinety (Obr. 8i). Důležitou buňkou sinic je i heterocyt (Obr. 5h, 8g šipka), kde dochází k fixaci vzdušného dusíku v případě jeho nedostatku ve vodě. Měřítko = 10 μm .



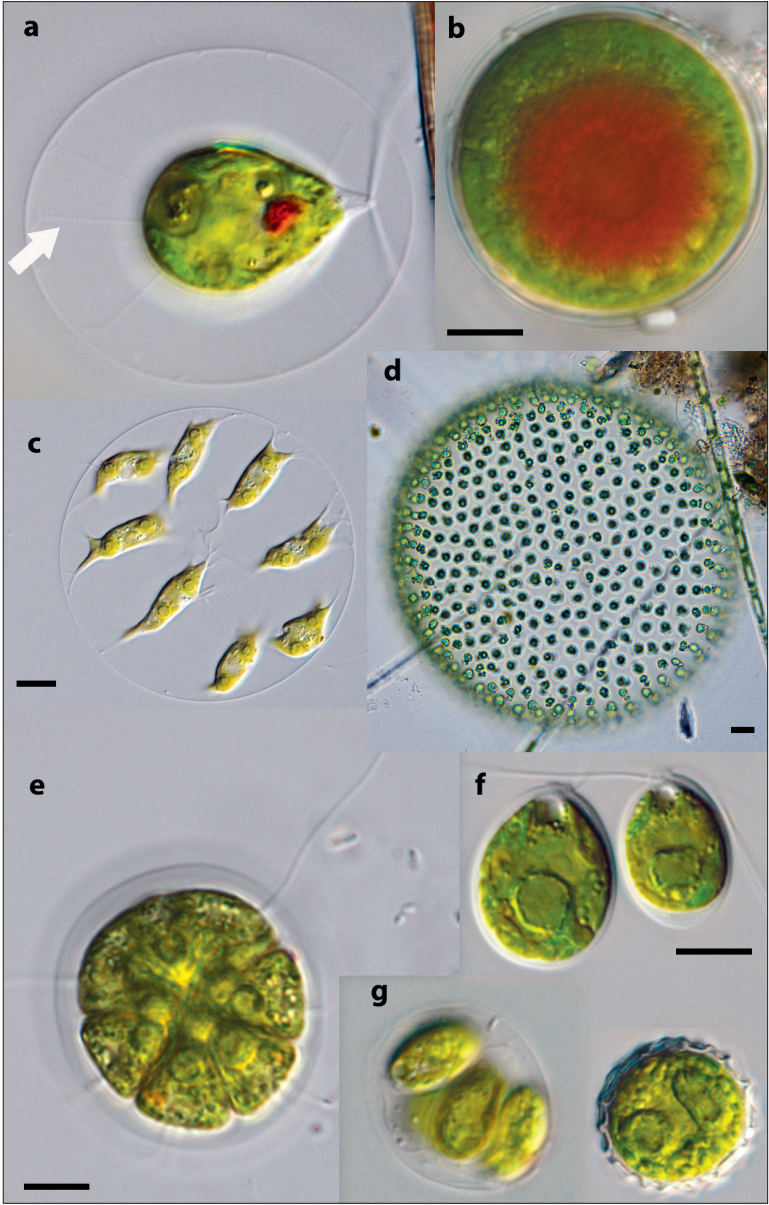
Obr. 9: Rhodophyta

Sladkovodní ruduchy u nás reprezentují čtyři základní rody – *Hildebrandia*, *Audouinella* (Obr. 9a, b), *Batrachospermum* (Obr. 9c, d) a *Lemanea* (Obr. 9e, f). V nativním stavu mají barvu spíše podobnou sinicím, zčervenají až po fixáži. Setkáme se s nimi v čistých horských tocích a rašeliništích, *Audouinella* bývá často v akváriích, zejména zastíněných. Stélka *Batrachospermum* je heterotrichální, složitěji diferencovaná stélka rodu *Lemanea* tvoří na kamenech makroskopické svazečky, připomínající koňskou oháňku. Měřítko = 10 μm .



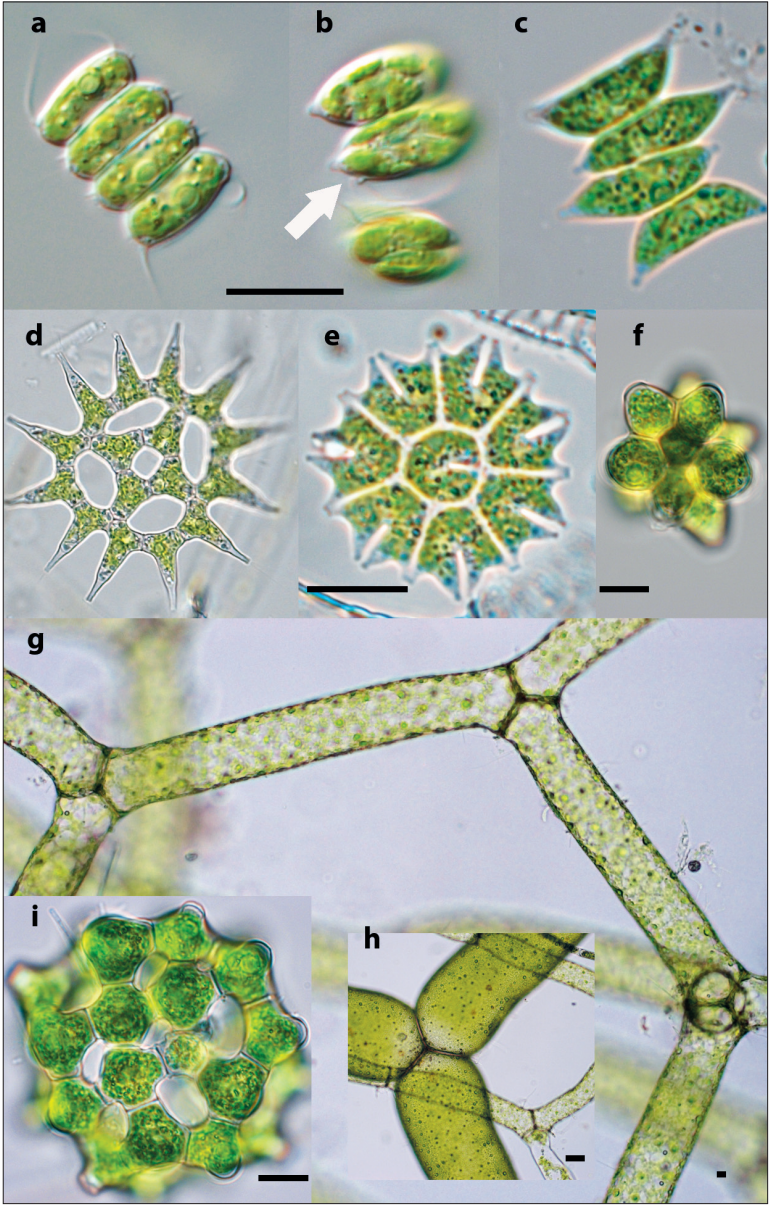
Obr. 10: Chlorophyta

Zelení bičíkovci mohou žít jednotlivě (Obr. 10a, f) nebo v koloniích. Kolonie, které obsahují buňky stejně staré, nazýváme cenobium (Obr. 10d, e). Bičíkovec *Haematococcus* (Obr. 10a) je typický oddálenou buněčnou stěnou spojenou s tělem bičíkovce plazmatickými výběžky (šipka) a přečkáváním nepříznivých podmínek v kulovitých sporách (Obr. 10b). Na pravé straně obrázku 10a je zachycena apikální část bičíkovce se stigmou a dvěma izokontními bičíky, vyrůstajícími z papily. Díky obsahu červeného barviva se jeho biomasa pěstuje pro použití ve farmacii a kosmetice. Vzácně lze v loužích najít cenobia rodu *Stephanosphaera* (Obr. 10c). Cenobia tvoří také rody *Volvox* (váleč; Obr. 10d) a *Pandorina* (Obr. 10e). Nejznámějším zeleným bičíkovcem je *Chlamydomonas* (Obr. 10f, g). Má kapkovitý tvar, mohutný hrncovitý chloroplast s pyrenoidem, pulzující vakuoly a dva stejně dlouhé bičíky, svírající ostrý úhel (bičíky se čile pohybují, takže je zahlédneme jen občas). Je oblíbeným modelovým organismem a jeho životní cyklus je dobře prozkoumán. Rozmnožovací stadia jsou na Obr. 10g. Měřítka = 10 μm .



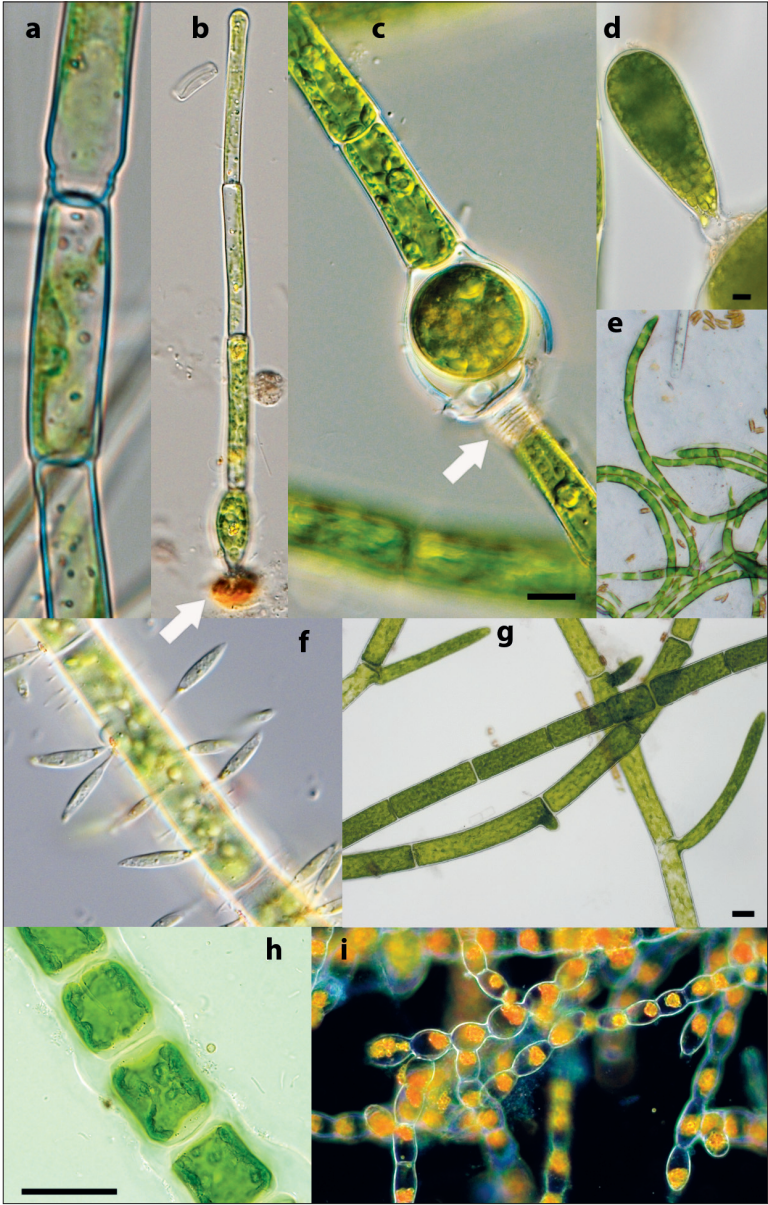
Obr. 11: Chlorophyta

Zelené kokální řasy jsou typické pro plankton mělkých vod, např. našich rybníků. Rody *Desmodesmus* (Obr. 11a) a *Scenedesmus* (Obr. 11c) vytvářejí 2-4-8buněčná cenobia a z každé buňky může vzniknout nové cenobium (Obr. 11b; šipka). Plochá hvězdicovitá cenobia vytváří hvězdonožka rodu *Pediastrum* (Obr. 11d, e). Další rody jako *Sorastrum* a *Coelastrum* (Obr. 11f, i) mají cenobia prostorová. Makroskopické útvary, připomínající sítku s oky o velikosti několika milimetrů, vytváří *Hydrodictyon* (Obr. 11g, h). Sítky se vytvářejí nejdříve v litorálu, posléze může jejich biomasa vyplnit celou tůň. V důsledku fotosyntézy obrovské biomasy této řasy může v poledne vystoupat pH v tůni až na 11. Měřítka = 10 μm .



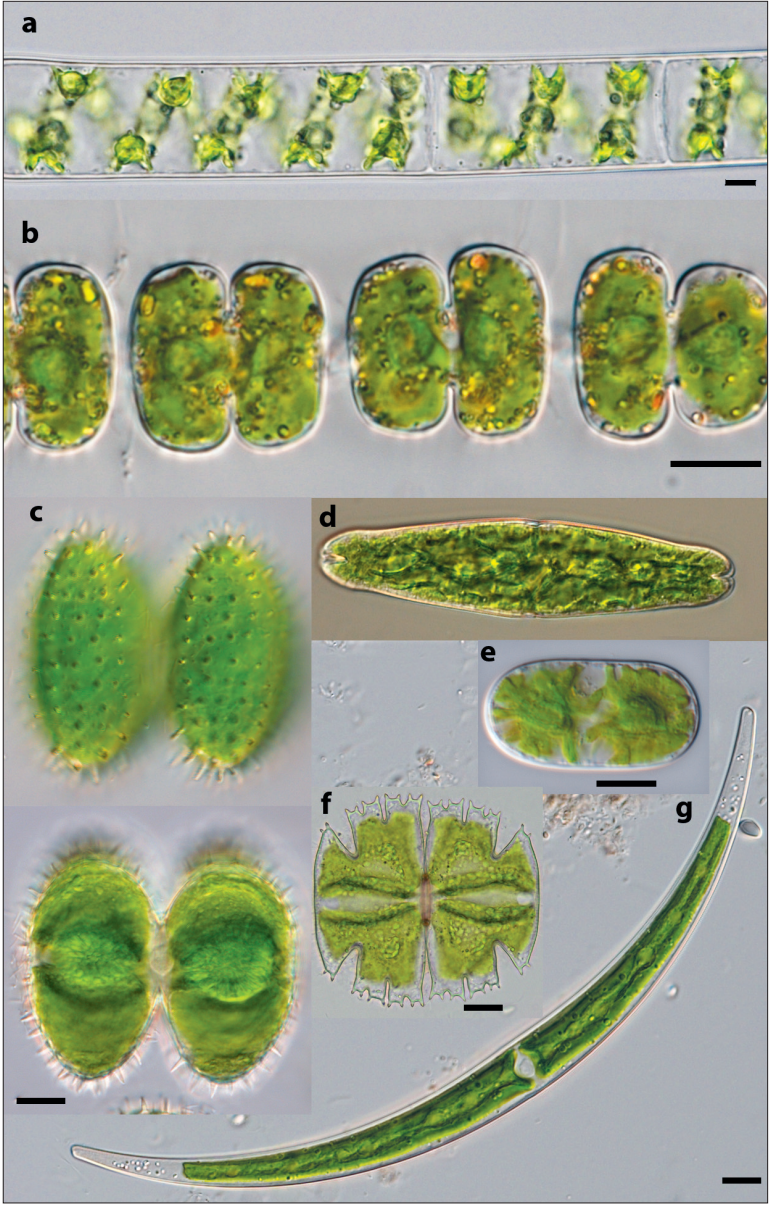
Obr. 12: Chlorophyta

Řasy s trichální stélkou (vláknité) mohou být jednoduché (Obr. 12a, b, c, h) nebo větvené. Epifyticky na makrofytech žije čapkoblanka (*Oedogonium*, Obr. 12a, b, c, d). Vlákno vyrůstá z bazální buňky (Obr. 12d) přichycené terčíkem k podkladu (Obr. 12b, šipka). Rozmnožuje se oogamií (Obr. 12c) a pozná se bezpečně podle límečkovitých přírůstků buněčné stěny (Obr. 12c – šipka). Na agaru je možno pozorovat růst zelených vláknitých řas od tzv. iniciálních stadií (Obr. 12e). Vlákňité řasy jsou obvykle hustě porostlé jednobuněčnými epifyty, např. rodu *Characium* (Obr. 12f). *Cladophora*, jinak známá jako žabí vlas, je jediným zástupcem sifonokladální (větvené, mnohojaderné) stélky (Obr. 12g). *Ulothrix* (Obr. 12h) má charakteristický korýtkovitý tvar chloroplastů. *Trentepohlia* (Obr. 12i) žije na mimovodních stanovištích, jako je kůra stromů. Měřítka = 10 μm .



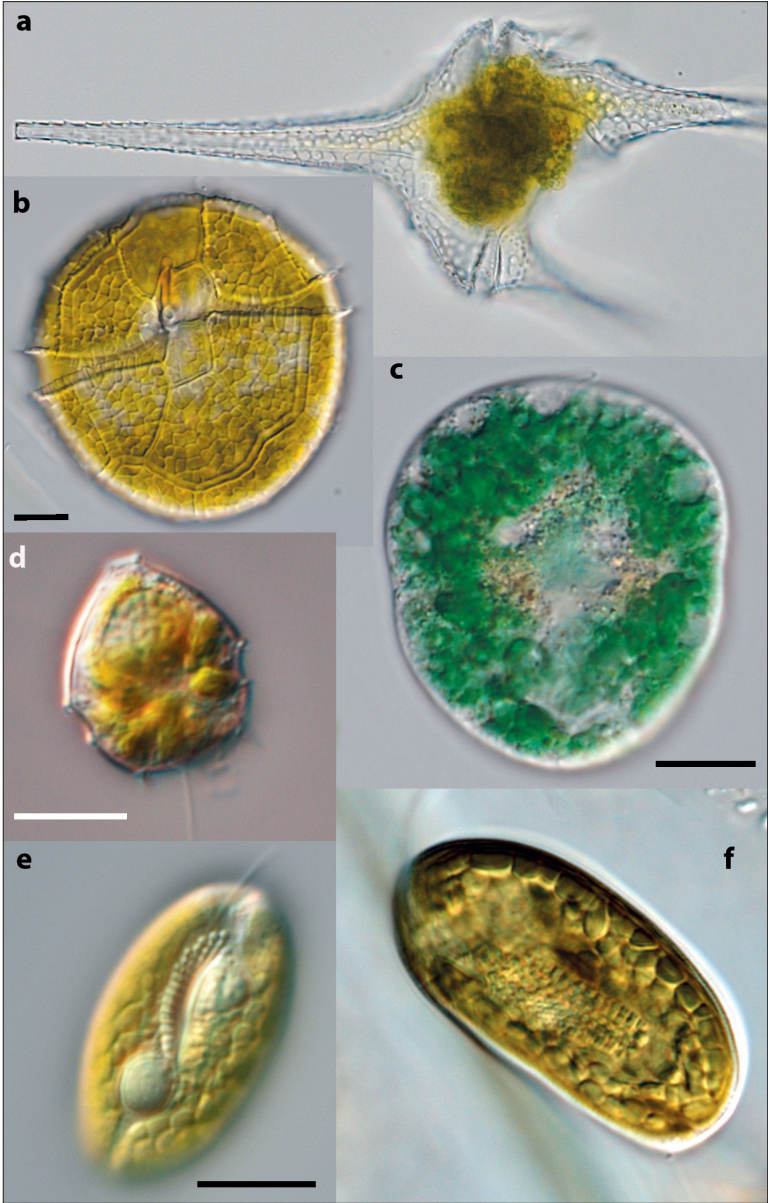
Obr. 13: Streptophyta

Spájivky (Zygnematophyceae) patří spolu s Charophyceae do Streptophyt a vyznačují se pohlavním rozmnožováním – spájením (konjugací). Vlákňité typy se liší tvarem chloroplastu, nejznámější *Spirogyra* má chloroplast ve tvaru šroubovice (Obr. 13a). Chloroplast je posetý pyrenoidy. Jednobuněčným spájivkám říkáme krásivky (pro dekorativní vzhled), případně řasy dvojčatkovité, protože jsou složeny ze dvou polovin (semicel, Obr. 13b, c, f). Na obrázku jsou zástupci rodů *Sphaeroszoma* (Obr. 13b), *Staurostrum* (Obr. 13c), *Tetmemorus* (Obr. 13d), *Cylindrocystis* (Obr. 13e), *Micrasterias* (Obr. 13f) a *Closterium* (Obr. 13g). Krásivky žijí hlavně v kyselých vodách a rašeliništích. Měřítka = 10 μm .



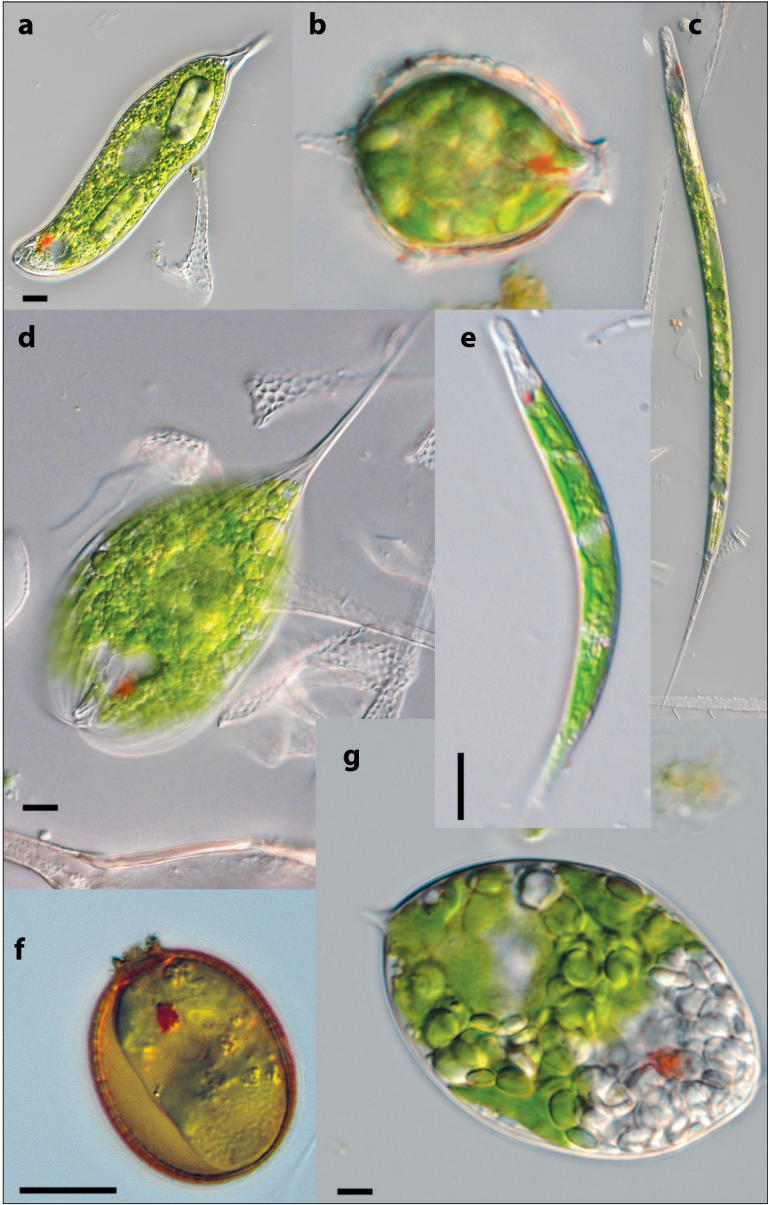
Obr. 14: Dinophyta, Cryptophyta

Několik vývojových linií řas vytváří primitivní jednobuněčné stélky. Patří mezi ně obrněnky (Dinophyta; Obr. 14a, b, c, d; monadoidní a kokální) a skryténky (Cryptophyta; Obr. 14e, f; monadoidní), případně Haptophyta (monadoidní a kokální). Obrněnky poznáme podle pancíře, který může být opatřen výběžky, jako je tomu u rodu *Ceratium* (Obr. 14a). Pancíř je rozdělen rýhou (viditelnou jako zářez) na dvě části a každá se skládá z celulóznych destiček, které jsou dobře patrné na Obr. 14b (rod *Peridinium*). Některé rody obrněnek pancíř nemají (Obr. 14c, *Gymnodinium*). Sladkovodní obrněnky nepředstavují nebezpečí, některé mořské druhy však při přemnožení způsobují otravy vodních živočichů. Přemnožení obrněnek nazýváme rudý příliv (red tide). Jejich toxiny se kumulují v potravním řetězci mořského ekosystému a mohou způsobit problémy i lidem konzumujícím mořské plody. Skryténky jsou zploštělí bičíkovci se dvěma podélně uloženými chloroplasty a jícnem pokrytým vymrštitelnými tělísky (ejektozomy). Nejběžnější rod *Cryptomonas* (Obr. 14e, f) se vyskytuje často v chladnějším období roku, na jaře a na podzim, dokonce může vegetovat i v zimě pod ledem. Měřítka = 10 μm .



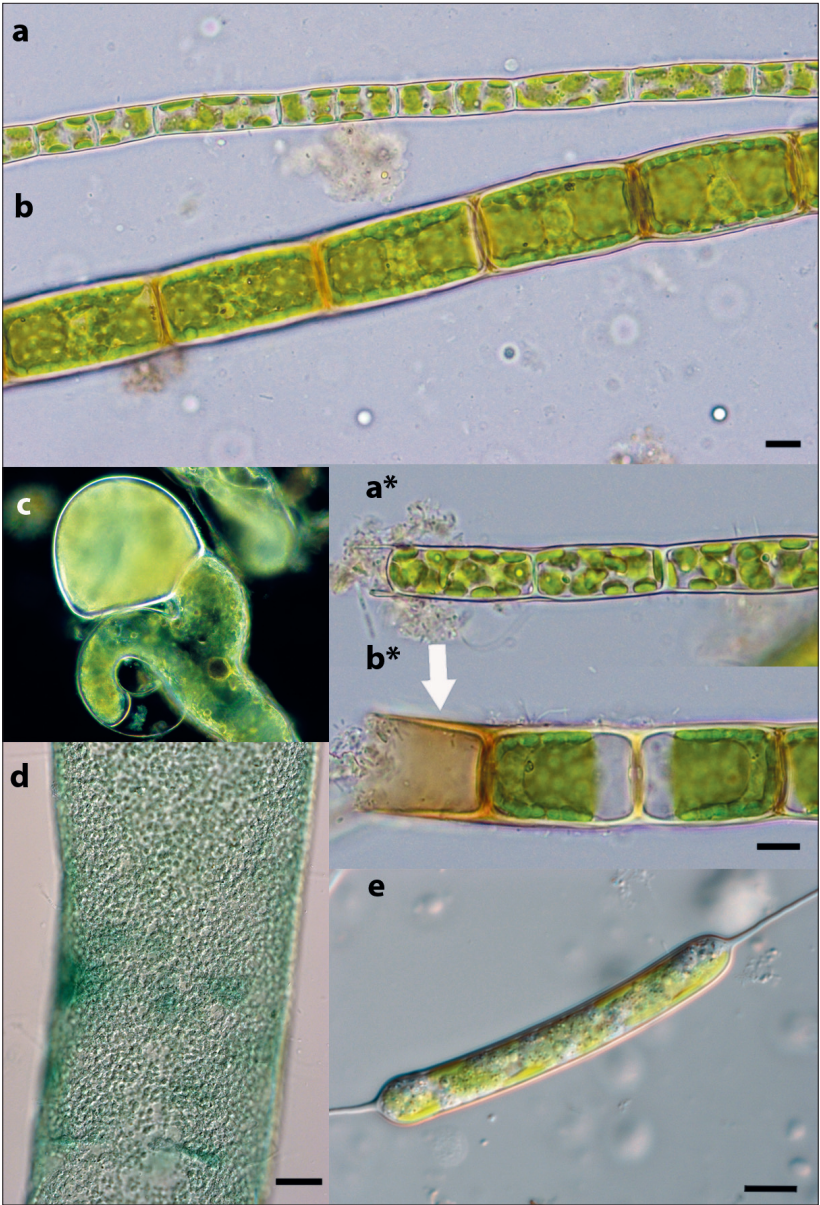
Obr. 15: Euglenophyta

Na monadoidní úrovni ustrnula i krásnoočka (Euglenophyta). Za svůj název vděčí výrazné světločivné skvrně (červenému očku), která je součástí světločivného aparátu, jenž zodpovídá za fototaxi, tedy pohyb za světlem. Zásobní látky se nacházejí v paramylonových zrnech. Pevnou pelikulu mají rody *Lepocynclis* (Obr. 15a, c) a *Phacus* (Obr. 15d). Rod *Euglena* má pružnou pelikulu a proměnlivý tvar těla (Obr. 15e, g). Rody *Strombomonas* (Obr. 15b) a *Trachelomonas* (Obr. 15f) žijí v lorikách (schránkách). Při rozmnožování často tvoří tzv. palmeloidní stadia, buňky odvrhnou bičíky a sdruží se do skupin obalených slizem. Dobře se jim daří ve vodách bohatých na organické znečištění (návesní rybníky s vodním ptactvem). Měřítka = 10 μm .



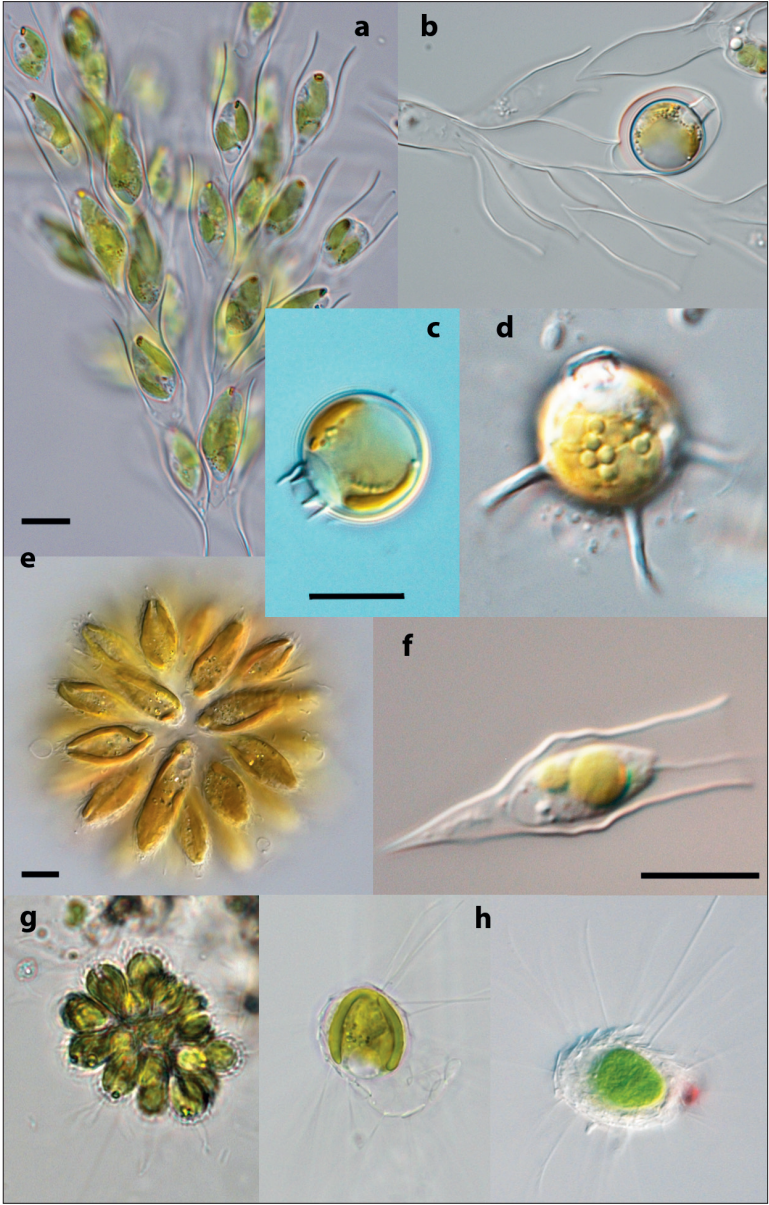
Obr. 16: Xanthophyceae

Různobrvky jsou skupinou Stramenopiles, která postrádá hnědý pigment fukoxantin, a jsou tedy zbarveny zeleně. Díky paralelnímu vývoji se zelenými řasami navíc velice často vytvářejí podobné morfologické tvary, a lze je proto velice snadno zaměnit. Z vláknitých různobrvků je možná záměna např. mezi rodem *Tribonema* (Obr. 16a, a*) a zelenou řasou *Microspora* (Obr. 16b, b*). Buněčná stěna u obou rodů je tvořena z H-kusů, které jsou nejlépe vidět na konci vlákna (Obr. 16b*, šipka). Pomocným znakem různobrvků je větší množství drobných chloroplastů a negativní škrobová zkouška. Rovněž mohou napovědět ekologické nároky – *Tribonema* je půdní, *Microsporu* najdeme v čistých studených tocích. Dalším zástupcem, tentokrát se sifonální stélkou, je posypanka (*Vaucheria*; Obr. 16c, d). Rozmnožuje se oogamií (Obr. 16c). Kokální různobrvky reprezentuje *Ophiocytium* (Obr. 16e). Měřítka = 10 µm.



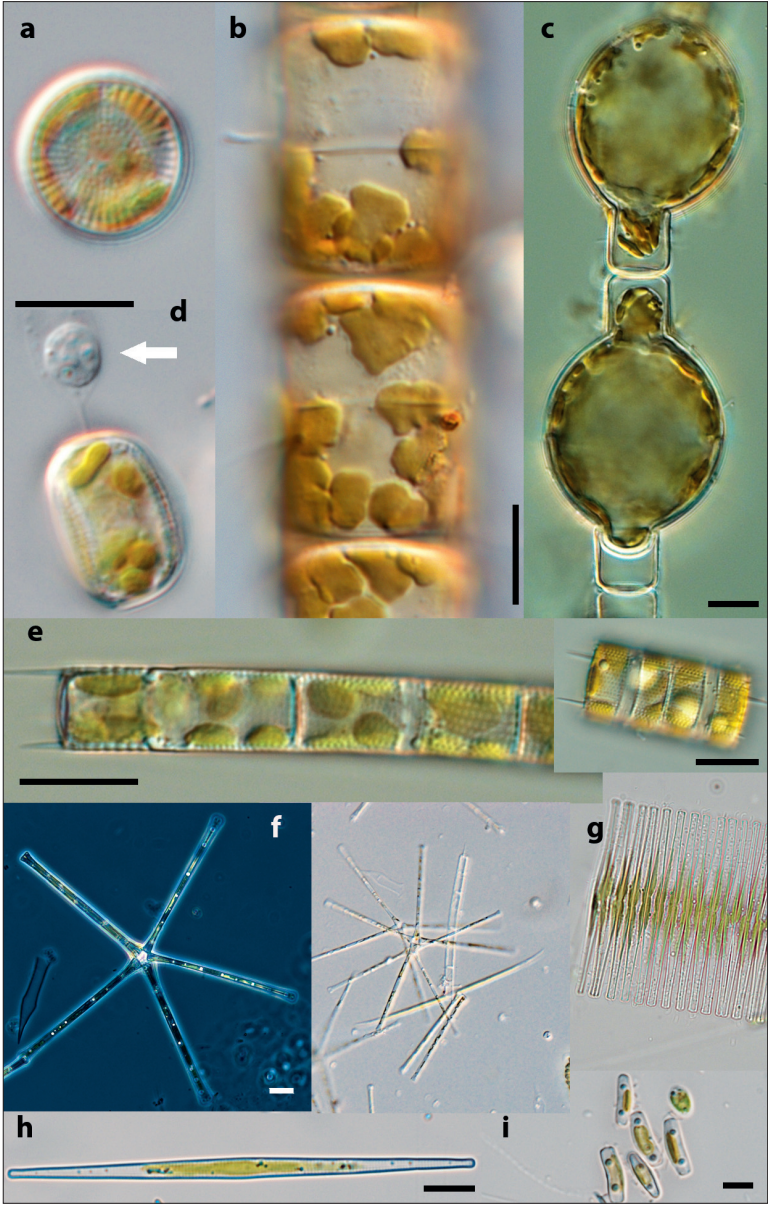
Obr. 17: Chrysophyceae

Zlativky jsou monády žijící jednotlivě (Obr. 17h) i v koloniích (Obr. 17a, b, e, g). Typická je pro ně zlatohnědá barva. Vyskytují se v živinami chudších, často kyselých vodách a dělí se na tři skupiny. První skupina žije ve schránkách (lorikách), jako *Dinobryon*, jehož loriky (Obr. 17f) vytvářejí keříčkovité kolonie (Obr. 17a, b). Druhá skupina má buňky chráněny křemičitými šupinami, patří sem rody *Synura* (Obr. 17e, g) a *Mallomonas* (Obr. 17h). Třetí skupina sdružuje bičíkovce *Ochromonas* a *Chromulina* bez robustní ochrany buněk. Charakteristické je pro zlativky i spájení (hologamie), při němž se vytvářejí cysty (Obr. 17b, c, d). Měřítka = 10 μm .



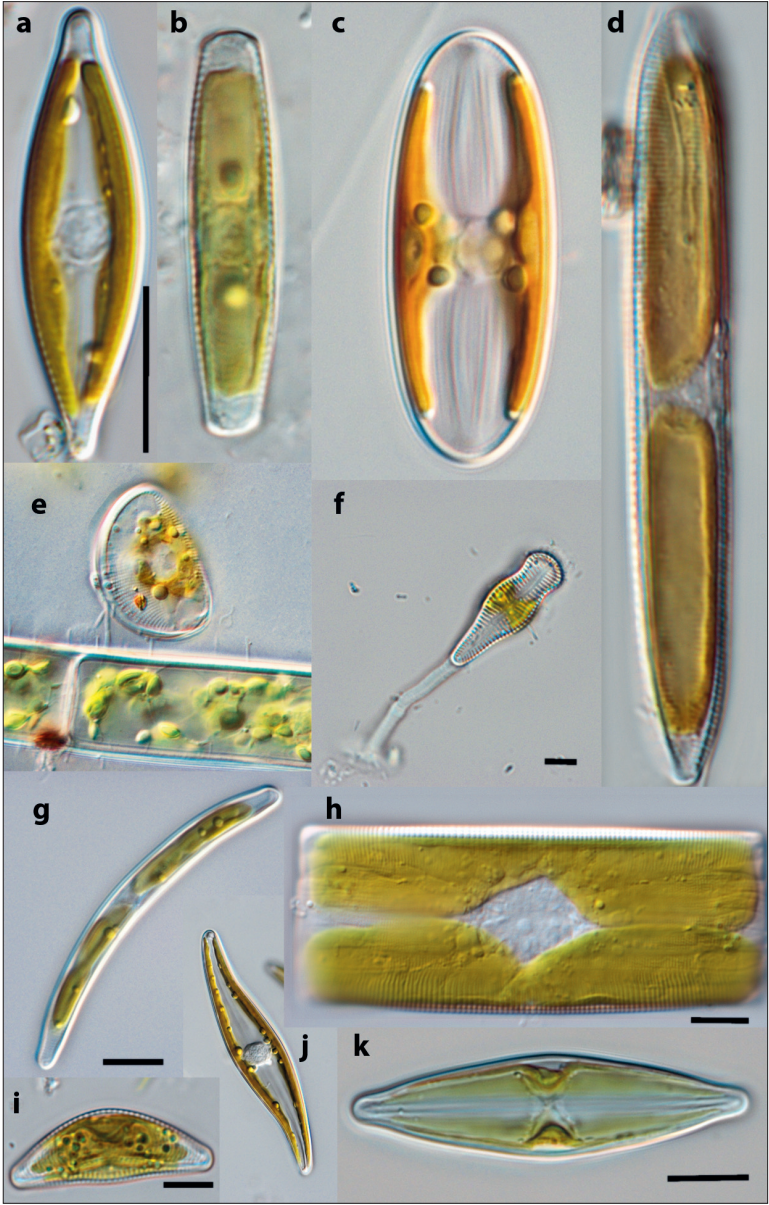
Obr. 18: Bacillariophyceae

Rozsivky jsou významnou skupinou Stramenopiles a dominantou stojatých i tekoucích vod. Buňky typických geometrických tvarů jsou dvojího typu: centrické (kulaté, radiálně souměrné) a penátní (podlouhlé, bilaterálně souměrné). Buňka je dobře chráněna křemičitou schránkou, která se skládá ze dvou částí, jež do sebe zapadají jako krabice s víkem. Všechny důležité znaky jsou pozorovatelné z horního pohledu na misku (valvu). Boční pohled (pleurální) na rozsivky představuje vždy obdélník nebo čtverec a většinou nám tento pohled k identifikaci nepomůže. Do druhů se určují v trvalých preparátech po spálení živého obsahu v koncentrovaných kyselinách. V živých vzorcích je možné rozpoznat některé rody, a to podle počtu a tvaru chloroplastů. Ve stojatých vodách nalezneme v planktonu drobné centrické rozsivky rodů *Stephanodiscus* a *Cyclotella* (Obr. 18a – valvární pohled, d – pleurální pohled) a koloniální centrické rozsivky rodu *Aulacoseira* (Obr. 18e – pleurální pohled). Pro centrické rozsivky jsou typické četné diskovité chloroplasty. Z penátních rozsivek se v planktonu setkáme s hvězdovitými koloniemi *Asterionella* (Obr. 18f), pásovíťmi koloniemi rodu *Fragilaria* (Obr. 18g) a jednotlivými buňkami rodu *Ulnaria* (Obr. 18h). V nárostech je častá centrická rozsivka *Melosira* (Obr. 18b – pleurální pohled), která se rozmnožuje oogamií (Obr. 18c). Všudepřítomné jsou i drobné rozsivky *Achnanthes* (Obr. 18i). Rozsivky jsou často napadány houbovými parazity (Obr. 18d – šipka). Měřítka = 10 μm .



Obr. 19: Bacillariophyceae

Drtivá většina penátních rozsivek je spojena se substrátem. Bývají na něm přichyceny slizovými stopkami (Obr. 19f) nebo po substrátu volně lezou. Běžnými rody žijícími na bahnitém dně jsou *Navicula* (Obr. 19a – valvární pohled, b – pleurální pohled), *Fallacia* (Obr. 19c), *Nitzschia* (Obr. 19d), *Encyonema* (Obr. 19i), *Gyrosigma* (Obr. 19j). V kyselých rašelinných vodách žijí *Eunotia* (Obr. 19g – valvární pohled, h – pleurální pohled) a *Frustulia* (Obr. 19k). V epifytonu (na vodních makrofytech) nacházíme přisedlé rozsivky *Cocconeis* (Obr. 19e) a *Gomphonema* (Obr. 19f). Na rozdíl od centrických rozsivek mají penátní rozsivky většinou 1–4 chloroplasty. Rozsivky jsou nejen druhově početnou skupinou, ale mají také vyhraněné ekologické nároky, což nám umožňuje posuzovat podle nich kvalitu povrchových vod (znečištění, kyselost). Monitoring toků dle rozsivek je v Evropské unii uznávanou metodikou. Jejich odolné křemičité schránky nacházíme také v sedimentech a můžeme je využít i k paleolimnologickým rekonstrukcím ekologických podmínek dob dávno minulých (kolísání hladiny jezer, kolísání salinity, globální oteplování atd.). Uplatnění nacházejí v kriminalistice a archeologii. V neposlední řadě mají i průmyslové použití (křemelina jako izolační materiál, filtrace piva, kočičí záchody, abraziva do zubních past, dynamit). Měřítka = 10 μm .



Použitá a doporučená literatura

Adl, S. M., et al. (2012): The revised classification of Eukaryotes. – *Journal of Eukaryotic Microbiology* 59: 429–514.

Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. (eds.): *Süsswassrflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, 23 svazků.

Hindák, F. (ed.) (1978): *Sladkovodné riasy*, SPN Bratislava, 724 s.

Kalina, T., Váňa, J. (2005): *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. – Karolinum, 606 s.

Poulíčková, A. (2011): *Základy ekologie sinic a řas*. – Univerzita Palackého v Olomouci, 91 s.

Poulíčková, A., Jurčák, J. (2001): *Malý obrazový atlas našich sinic a řas*. – VUP Olomouc, 79 s.

Poulíčková, A., Lhotský, O., Dřimalová, D. (2004): *Prodromus sinic a řas České republiky*. – *Czech Phycology* 4: 19–35.

prof. RNDr. Aloisie Poulíčková, CSc.
Mgr. Petr Dvořák, Ph.D.
doc. RNDr. Petr Hašler, Ph.D.

Průvodce mikrosvětlem sinic a řas

Výkonný redaktor prof. RNDr. Zdeněk Dvořák, DrSc., Ph.D.
Odpovědná redaktorka Mgr. Jana Kreiselová
Technická redaktorka RNDr. Anna Petříková
Návrh a grafické zpracování obálky Ivana Perůtková

Určeno pro studenty Hydrobiologie Přírodovědecké fakulty
Univerzity Palackého v Olomouci

Vydala Univerzita Palackého v Olomouci
Křížkovského 8, 771 47 Olomouc
www.vydavatelstvi.upol.cz
www.e-shop.upol.cz
vup@upol.cz

Vytiskl Papírtisk, s. r. o.
Chválkovická 223/5
779 00 Olomouc
www.papirtisk.cz

1. vydání

Olomouc 2015

Edice – Ostatní odborné publikace

ISBN 978-80-244-4408-6

NEPRODEJNÁ PUBLIKACE

VUP 2015/0019