

# Antarktické vegetační oázy

## 1. Nezaledněná území a jejich kolonizace

Když se řekne Antarktida, téměř každému se vybaví obrázek bílé promrzlé pustiny, kterou pouze v blízkosti moře ožívají tučňáci a tuleni. Navzdory této vzhledně představné i zde najít místa bez ledového krunýře, která jsou již na dálku nápadná svou svěže zelenou barvou. Při bližším ohledání pak zjistíme, že navzdory drsným podmínkám tu přežívají zajímavá společenstva rostlin a lišejníků. Pro veřejnost jsou však zvířata mnohem atraktivnější, a tak ve většině popularizujících knih a přírodovědných filmů o Antarktídě se o rostlinách téměř nic nedozvíme. Ale i pro tento kontinent platí, že zelené autotrofní organismy jsou základní složkou ekosystémů, a proto by si zasloužily větší pozornost.

### Kde se nacházejí nezaledněná území v Antarktídě?

Naprostá většina povrchu „bílého kontinentu“ je pokryta mocnou vrstvou ledu a nejeví žádné známky života. Směrem k okrajům pevniny však tloušťka ledového příkrovu postupně slábne. Vysoké skalní věže či celé příčně orientované horské hřebeny na mnoha místech brání prostupu souvislé fronty ledovců až k moři, což lze nejlépe pozorovat na západní straně kontinentu. Z celkové délky pobřeží (asi 18 000 km) mají téměř 4 % skalnatý charakter. Ojedinelé skály (nunataky) vyčnívají nad povrch ledovců místy ještě dosti hluboko ve vnitrozemí.

Kromě strmých skalních stěn mohou být v letních měsících bez sněhu a ledu i celá dlouhá údolí a také náhorní plošiny na stolových horách. Pátráme-li po příčinách mizení sněhu na těchto místech, zjistíme, že mohou být rozmanité. Nejrozsáhlejší souvisle nezaledněná oblast Suchých údolí (Dry Valleys) leží poblíž pobřeží Rossova moře, nedaleko americké výzkumné základny McMurdo. Tvoří ji komplex rozlehlých údolí o celkové rozloze 4 800 km<sup>2</sup>. Klimatické podmínky jsou tam vskutku ojedinelé: jen nepatrné srážky (roční úhrny bývají v rozmezí 10–50 mm, vyjádřeno ekvivalentním množstvím tekuté vody) a k tomu ještě přistupuje vysušující účinek silných sestupných proudů vymrzlého vzduchu z nitra kontinentu (katabatické větry). Jde tedy o příklad extrémně chladné pouště s velmi sporadickým výskytem jen těch nejodolnějších organismů.

Zcela jiná konstelace klimatických faktorů podmiňuje existenci velmi početných odledněných území v oblasti Antarktického poloostrova, zhruba mezi 63° a 73° jižní zeměpisné šířky. Kontinentální ráz podnebí s malým množstvím srážek a s velkými sezonními změnami teploty se zachoval jen na jeho východním pobřeží

a přilehlých ostrovech (včetně ostrova Jamese Rosse, kde je vybudována česká výzkumná stanice). Západní strana Antarktického poloostrova a blízké ostrovy mají již výrazně oceánický charakter klimatu, neboť jsou pod vlivem relativně teplých a vlhkých větrů vanoucích převážně od severozápadu. Srážek je zde mnohem více (400 až 600 mm za rok), ovšem jejich značná část spadne ve formě deště a rychle odtéká. Průměrná teplota vzduchu bývá v letních dnech nejčastěji mírně nad nulou (0–2 °C), což také přispívá k rychlému odtávání sněhu nahromaděného v zimním období. Zimy jsou poměrně mírné – průměrné denní teploty vzduchu zřídka kdy klesají pod -10 °C, ovšem dny s teplotou pod -20 °C nejsou výjimkou. Nezaledněná území v oblasti Antarktického poloostrova mají z celé Antarktidy nejbohatší společenstva rostlin a dalších terestrických organismů. Právě jim bude proto věnována v dalším výkladu hlavní pozornost.

### Mikroklima a minerální substráty

Pro přežívání, druhovou pestrost a produktivitu terestrických organismů mají rozhodující význam lokální mikroklimatické podmínky, které mohou být značně odlišné od klimatických charakteristik větších územních celků. Zvláště výrazné odchylky bývají u stanovišť chráněných před větrem a přitom s příznivou expozicí k přímému slunečnímu záření. V tom případě teplota půdního povrchu, mechových polštářů či stélek lišejníků může být i o více než 20 °C vyšší než teplota okolního vzduchu. Ovšem zvýšená teplota nemusí působit na všechny organismy jen příznivě – zejména ty rychle vysychající (např. lišejníky) může brzdit v růstu. V nočních hodinách se na těchto závětrných místech naopak povrch půdy i s vegetací dlouhodobným vyzařováním rychle ochlazuje. Velká amplituda denních změn

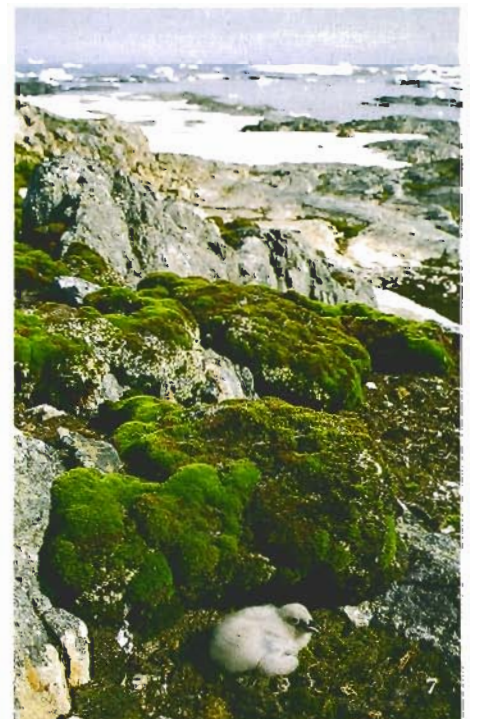
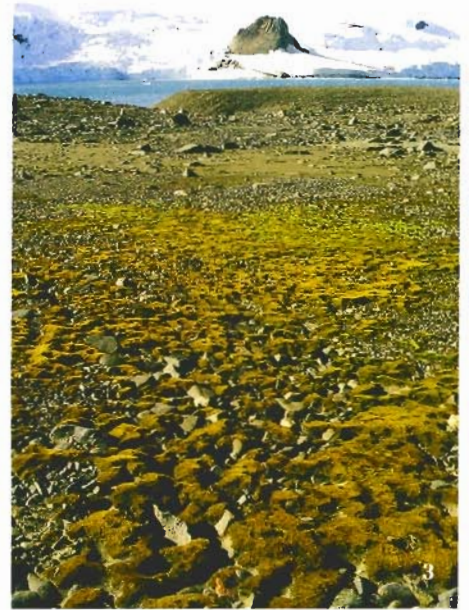
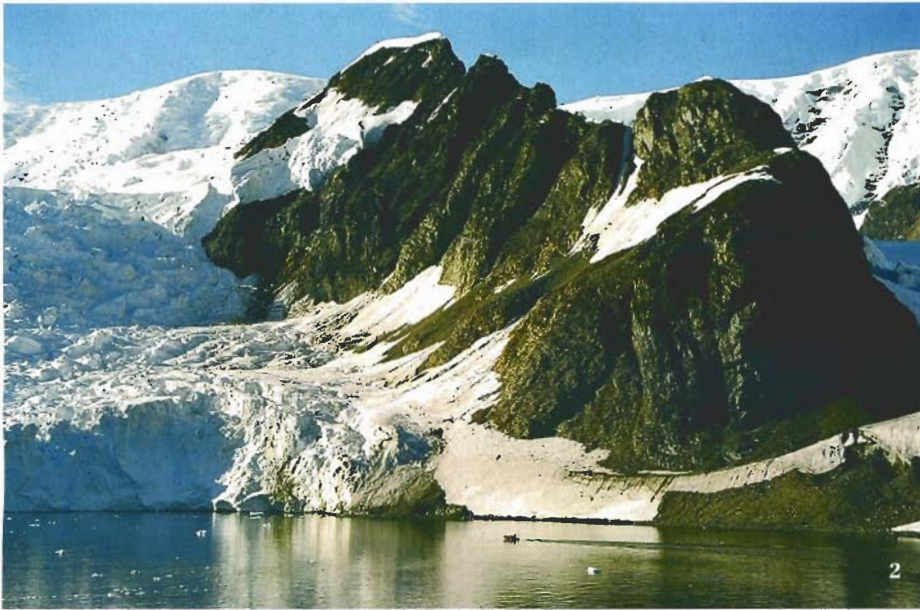


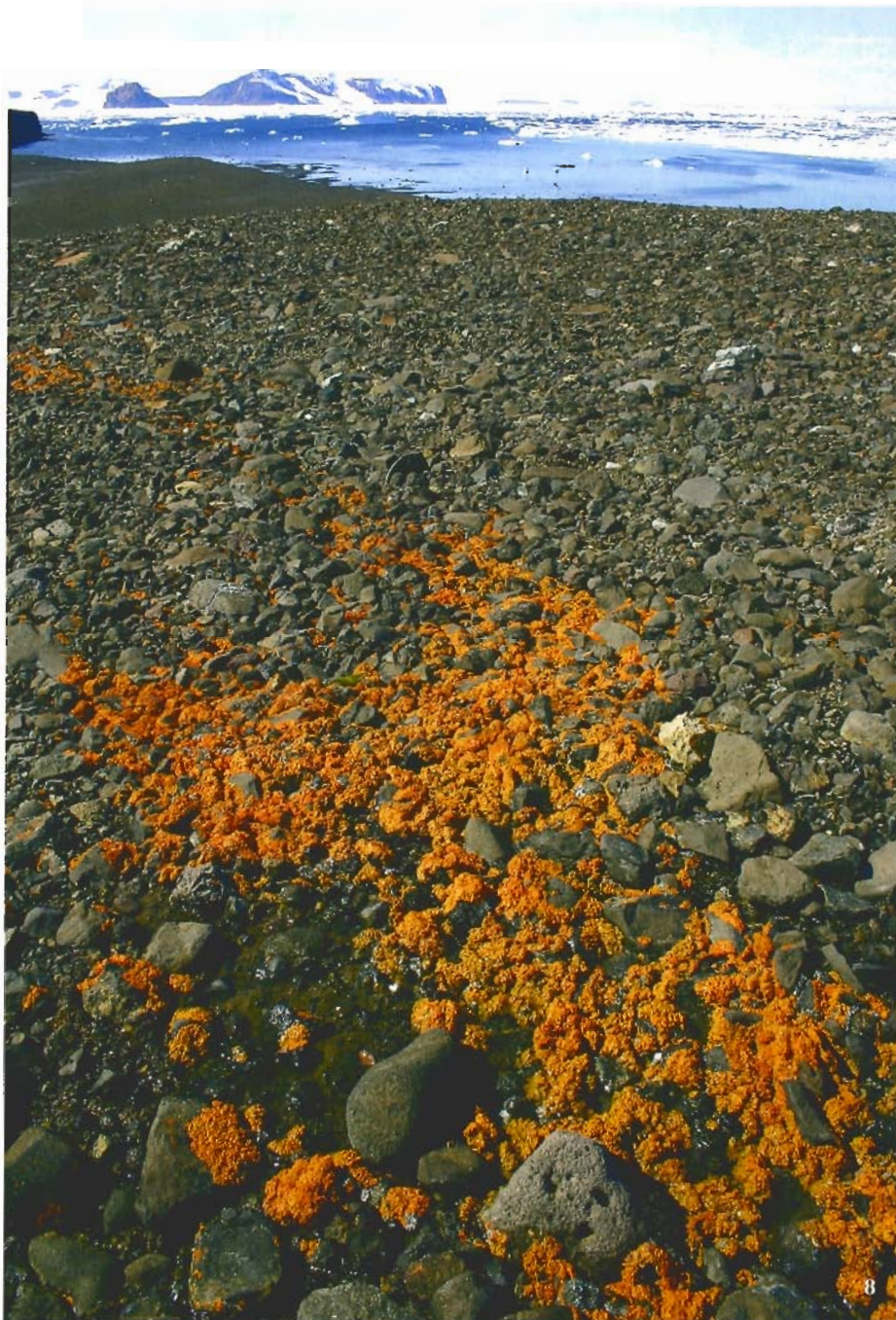
povrchové teploty spojená se střídavým tuhnutím a rozpouštěním vody v nadzemních orgánech rostlin klade mimořádné nároky na jejich fyziologickou adaptabilitu.

Největší význam pro rychlý rozvoj nového života na obnažených plochách však nemá jejich teplotní režim, ale dostupnost vody v tekutém stavu. Nejbujnější vegetaci můžeme nejčastěji pozorovat v zamokřených terénních depresích či kolem potůčků z tajících sněžníků a ledovců. Svěže zelená barva těchto porostů nápadně kontrastuje s okolním terénem, který bez pravidelného ovlhčování připomíná poušť. Označení vegetační oázy je tedy docela výstižné. Silně podmáčená místa, ledovcové potoky či sladkovodní jezírka, které se na nezaledněných územích také vyskytují, jsou bohaté na řasy, sinice a jiné drobné vodní organismy.

Zemský povrch obnažený po ústupu ledovců mnoho komfortu novými osadníkům nenabízí ani z hlediska jejich minerální

- 1 Kompozitní satelitní snímek Antarktidy s vyznačením dvou oblastí s nejrozsáhlejšími plochami nezaledněných území. Foto Dave Pape, NASA
- 2 Strmé skalní stěny zůstávají nepokryté ledem či sněhem po většinu roku. Skály v blízkosti moře hostí lišejníky i mechy, ve vnitrozemí převažují korové druhy lišejníků
- 3 Počátek kolonizace podmáčených míst společenstvy mechů se velmi brzy prozradí sytější zelenou barvou (Admiralty Bay, ostrov Krále Jiřího)
- 4 Mnoho rozsáhlých nezaledněných území jsou kamenité pouště bez zjevných známek vegetace. Uchycení vegetace zabraňuje nejen nedostatku vody, ale i stále mechanické obrušování zrnky písku a ledových krystalů unášených silnými větry (ostrov Jamese Rosse)
- 5 Za příznivých teplotních podmínek a stálého dostatku vody z tajících sněžníků vytvářejí společenstva mechů velmi husté a produktivní porosty (ostrov Galindez)
- 6 Nejpokročilejší stadium ve vývoji vegetačních oáz v maritimní Antarktídě tvoří porosty trávy *Deschampsia antarctica* (Admiralty Bay, ostrov Krále Jiřího)
- 7 Rozvinuté mechové porosty poskytují ochranu soliterně hnízdícím ptákům. Mládě chalupy jižní (*Catharacta maccornickii*) u trsů mechu *Polytrichum strictum*, ostrov Galindez





**8** Z lišejníků kolonizujících podmáčená místa jsou nejnápadnější druhy rodů *Xanthoria* a *Caloplaca* (ostrov Jamese Rosse)

**9** Ptáci jako hlavní dodavatelé nedostatkového dusíku a fosforu jsou požeňáním pro antarktické terestrické ekosystémy. Přímo v hnízdních koloniích však bývá příroda značně zdevastovaná (tučňáci kroužkoví – *Pygoscelis adeliae* na ostrově Cuverville)

**10** Někdejší slávu druhohorních lesů v Antarktidě připomínají jen zbytky silných zkřemenělých kmenů (ostrov Jamese Rosse). Snímky J. Glosera, pokud není uvedeno jinak

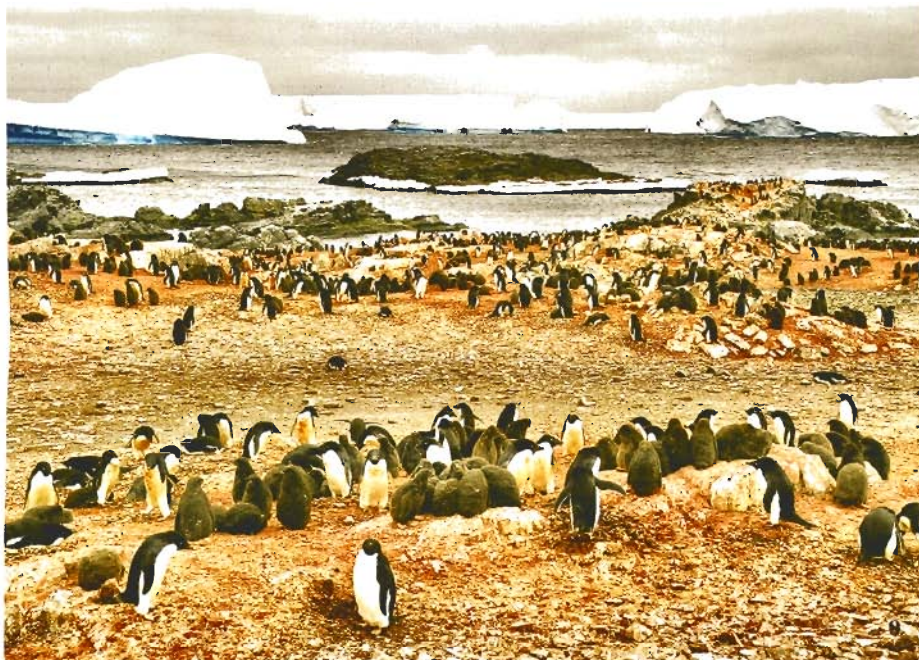
### Kolonizace nově odledněných území

Proměna Antarktidy z příjemné lesnaté krajiny na ledovou pouštinu započala v třetihorách po rozpadu pevninského bloku Gondwany. Asi před 15 miliony let už byla většina nového kontinentu pokryta ledem a před 6 miliony let vrstvy ledu narostly zhruba do dnešní podoby. V průběhu dalších věků docházelo opakovaně ke střídání teplejších a chladnějších období, což mělo za následek především periodické změny v zalednění okrajových částí kontinentu. Téměř s jistotou lze ale říci, že skoro všechna v současné době nezaledněná místa byla v minulosti pokryta ledem a k jejich konečnému odkrývání začalo docházet až po posledním chladovém maximu zhruba před 10 000 lety. Vzhledem k izolovanosti Antarktidy od ostatních kontinentů (nejbližší výběžky Jižní Ameriky jsou 900 km vzdálené!) není lehké najít odpověď na otázku, jakým způsobem vlastně mohlo dojít k částečné obnově zdecimované vegetace. Přežití původních druhů ve vhodných refugiích (např. na skalních štítěch vystupujících nad povrch ledovců, ve vulkanicky aktivních oblastech s dlouhodobě teplejšími enklávami), sice nelze zcela vyloučit, ale v současné době se jeví jako málo pravděpodobné. Mezi antarktickými terestrickými organismy je poměrně málo endemických druhů a většina endemických druhů je blízce příbuzná druhům z jiných kontinentů. Budeme se proto muset smířit s představou, že ke kolonizaci odledněných míst docházelo hlavně komplikovanou transoceánskou migrací semen, spor a vegetativních rozmnožovacích tělísek. A že je taková migrace skutečně možná, dokazují např. záchyty alochtonních (zcela jistě ne místních) pylových zrn a spor ve vzdušných proudech nad Antarktidou.

Počáteční fáze kolonizace je možné v Antarktidě sledovat jednak na lokalitách se zvláště rychlým ústupem čela ledovců a jednak na horninách obnažených sesuvy či vulkanickou aktivitou. Snadno mobilní a přizpůsobivé druhy mikroorganismů (včetně sinic a řas) patří mezi první osadníky, ale mechy a lišejníky nezůstávají nijak pozadu. Lišejníky sice vynikají extrémní odolností vůči stresovým faktorům a nenáročností na živiny a vodu (některé druhy dokonce asimilují vzdušný dusík a nepotřebují vodu v kapalném stavu!), avšak jejich růst je velmi pomalý. Při budování strukturně složitějších a produktivnějších vegetačních oáz mají proto rozhodující úlohu mechy, které nejenže tvoří

výživu. Velmi často jsou to holé skály – velké bloky podložní horniny ohlazené činností ledovců, balvanité nebo šterkové sutě. Antarktický poloostrov je tvořen převážně kyselými metamorfovanými horninami (žuly, granodiority), které se často střídají s mladšími vyvěřelinami spíše alkalického charakteru (bazalty, andezity). Sopečné horniny jsou velmi hojné i na východní straně poloostrova a přilehlých ostrovech (včetně Jamese Rosse). Tam se ale navíc vyskytují také rozsáhlé terasy šterkopískových usazenin rozmanitého stáří. Podloží na kyselých horninách zvětrává jen pomalu a poskytuje tak velmi malá množství prvků nezbytných pro výživu rostlin. Jemný minerální substrát vznikající rozpadem vyzdvižených mořských sedimentů a lávových hornin je již na minerální živiny bohatší (především na vápník, hořčík, draslík a železo). Avšak dusíkaté sloučeniny, které jsou pro rostliny nejdůležitější, podložní horniny prakticky neobsahují a aktivita bakterií fixujících dusík je téměř zanedbatelná. Kritický

je také nedostatek fosforu. Naštěstí významným zdrojem těchto dvou limitujících prvků jsou exkrementy ptáků, kteří pravidelně obývají obnažená místa v blízkosti moře. Nejsou to jen tučňáci, ale i řada dalších druhů, např. chaluhy, rybáci a kormoráni. Všichni tito ptáci se žijí mořskými živočichy, rostliny využívají pouze občas ke stavbě hnízd. Přítomnost ptáků je neobyčejně významná zejména pro počáteční rozvoj terestrických ekosystémů, neboť nevědomky zajišťují transport deficitního dusíku a fosforu z mořských zdrojů na souš. Na živiny bohaté prachové částice ze zvětralých exkrementů roznáší přízemní vítr a vzestupné vzdušné proudy i na lokality velmi vzdálené od pobřeží. Minerální živiny přijaté rostlinami zůstávají vázány v odumřelých částech a po jejich mikrobiálním rozkladu jsou opět k dispozici pro další využití. Rozkladné procesy jsou ovšem za nízkých teplot pomalé, a tak se stárím rostlinného společenstva roste i zásoba živin vázaná v mrtvé organické hmotě.



biomasy mnohem rychleji, ale jsou také schopny zachytávat do husté spleti stélek velké množství prachových částic. Mechy jsou tedy základním článkem půdotvorného procesu, při kterém vzniká substrát relativně bohatý na živiny, v němž se pak mohou uchytit i první cévnaté rostliny. Jejich přítomností začíná další fáze pedogeneze – jednak prokořeňováním půdního substrátu, ale hlavně díky dekompozici odumřelých zbytků kořenů a listů bohatých na lignin se půda obohacuje o kvalitní humusové látky. Nahromaděná organická hmota pod porosty rostlin také poskytuje velmi příznivé prostředí pro rozvoj druhově pestré skupiny půdní mikrofauzy.

### Biodiverzita

Kolik druhů terestrických organismů vlastně obývá Antarktidu? To je otázka, která ještě dlouho nebude zodpovězena. Jednak byla zatím podrobněji prozkoumána jen malá část z potenciálně významných lokalit, jednak většina taxonomických okruhů dosud nalezených organismů teprve čeká na důkladnou revizi, a to včetně stanovení příbuznosti pomocí moderních molekulárních metod. Nicméně hrubý odhad druhové bohatosti hlavních skupin

autotrofních makroorganismů lze již dnes provést.

Cévnaté rostliny jsou zastoupeny pouze dvěma druhy – *Colobanthus quitensis* z čel. hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*) a tráva *Deschampsia antarctica* z čel. lipnicovitých (*Poaceae*). Jejich rozšíření je navíc omezeno pouze na klimaticky nejprůzračnější severozápadní část Antarktického poloostrova a přilehlé ostrovy. Kapradniny nenajdeme v Antarktídě žádné.

Na mechorosty je však Antarktida již poměrně bohatá – dosud bylo nalezeno 104 druhů mechů (*Bryophyta*) a 27 druhů játrovek (*Marchantiophyta*). Ještě druhově bohatší skupinou jsou lišejníky (*Lichenes*, 380 druhů). Nelichenizované houby z různých taxonomických skupin jsou pravděpodobně neméně druhově početné, ovšem jejich podrobnější výzkum nebyl dosud proveden. Stejně tak dosud stále nemáme dostatek přesnějších údajů o zastoupení terestrických řas a prokaryotních organismů (včetně autotrofních sinic), jejichž počty budou řádově ve stovkách druhů. Na autotrofní rostliny je existenčně napojena celá řada zástupců terestrické mikrofauzy, zejména roztočů (*Acari*), jichž bylo dosud nalezeno 30 druhů, a chvostoskoků (*Collembola*, 8 druhů).

Naprostou většinu druhů terestrických organismů můžeme nalézt v oblasti Antarktického poloostrova a přilehlých ostrovů, přičemž i v rámci této oblasti lze pozorovat strmý úbytek druhové bohatosti s přibývajícím stupni zeměpisné šířky. V jiných (většinou pobřežních) nezaledněných oblastech Antarktidy, ať už v oblasti Rossova moře (Suchá údolí, viz obr. 1) či na východní straně kontinentu se již vyskytuje jen zlomek ze shora uvedených počtů druhů. Zájemce o podrobnější informace týkající se biodiverzity různých oblastí Antarktidy a možného přežívání některých zástupců původní flóry a fauny v periodách velkého zalednění odkazují na nové práce publikované v časopisech *Journal of Biogeography* 2007, 34: 132–146, a *Science* 2007, 317: 1877–1878.

Pro toho, kdo touží vidět či dokonce objevovat nějaké zcela nové exotické druhy, Antarktida rozhodně není zemí zaslíbenou. Více vzrušení však přináší tomu, kdo se chce něco dovědět o způsobu přežívání terestrických organismů v mimořádně nepříznivých podmínkách, které v Antarktídě panují. Právě této problematice se budeme věnovat v dalších pokračováních seriálu.

## Ekologie ve 21. století

25. – 27. dubna 2008, Třeboň

## Zakládající konference

České společnosti pro ekologii

### Zaměření a odborný program

Konference pokrývá celou oblast ekologie od úrovně organismů přes populace, společenstva až po úroveň ekosystémů, a to ze všech říší organismů. Vítány jsou příspěvky ze všech oblastí teoretické, praktické a aplikované ekologie.

Konference si klade za cíl rozvinout diskusi nad výzvami české ekologie ve 21. století a poskytnout tak východiska pro další aktivity České společnosti pro ekologii. V rámci konference proběhne diskuse o cílech a směřování společnosti, přihlášení nových členů a volba výboru ČSPE.

### Vědecké sekce

1. Populace a společenstva
2. Ekosystémy
3. Biodiverzita, makroekologie, globální procesy
4. Ekologie krajiny a krajinná změna

### Diskusní bloky

1. Vzdělávání a výuka v ekologii
2. Aplikovaná ekologie a environmentální politika

### Přihláška, informace

[www.cspe.cz/konference](http://www.cspe.cz/konference)

Chcete se podílet na rozvoji a směřování ekologických oborů?

Přijďte do Třeboně a zapojte se do práce ČSPE!

Konference je podporována grantem British Ecological Society (BES).

**Kontakt:** Česká společnost pro ekologii o.s.  
Branišovská 31, 370 05 České Budějovice  
[cspe@prf.jcu.cz](mailto:cspe@prf.jcu.cz), [www.cspe.cz](http://www.cspe.cz)



endemitu kuřičky Smejkalovy (*Minuartia smejkalii*). Dále vstupuje do otevřených travinných a „lesostepních“ společenstev s bojínkem Boehmerovým (*Phleum phleoides*) a ovsířem lučním (*Avenula pratensis*). Ideální prostředí pro další rozšíření dokonce mochně poskytlí lidé – při výstavbě dálničního tahu museli v části hadcového tělesa vozovku zahloubit a na vzniklých kamenitých stráních nalezla doslova „druhý domov“. Pokud budete během června projíždět po dálnici D1 mezi Loktem a Souticemi, můžete si snadno všimnout bohatého koberce zářivě žlutých květů pokrývající svahy dálničního zářezu.

Z výše nastíněných skutečností je zřejmé, že při zachování současného stavu hadcového okrsku u Dolních Kralovic nehrozí populaci mochny Crantzovy bezprostřední nebezpečí zániku. Na okrajích hadcové oblasti sice bylo vzácně zaznamenáno křížení s mochnou jarní (*P. tabernaemontanii*), avšak ani riziko genetické eroze není ve srovnání s jinými našimi hadcovými endemity nijak vysoké.

### Hvozdík kartouzek hadcový

Světlo milný druh hvozdík kartouzek také obývá některé středoevropské hadcové ostrovy v podobě morfologicky diferencovaných populací. Výhradně hadcový poddruh *Dianthus carthusianorum* subsp. *capillifrons* (obr. 2) se vyznačuje světlejší (růžovou) barvou koruny a o něco užšími lodyžními listy. Vyskytuje se na křemežských, dolnokralovických a šumperských hadcích, mimo ČR můžeme podobné rost-

liny nalézt ještě na serpentinitech v rakouském Štýrsku a Burgenlandu. Na těchto lokalitách obývá jak výslunné travnaté stráně a skalky, tak i stinnější stanoviště ve více zapojeném borovém lese.

Podíváme-li se na nesouvislý areál hadcového kartouzku, který je v hiátech (mezerách v areálu) navíc značně „protkaný“ hojnými výskyty dalších taxonů téhož druhu, můžeme poměrně oprávněně vyslovit pochybnosti o tom, že je to jednotný a jasně vymezený taxon. Je možné, že jde o pouhé lokálně rozrůzněné populace, které dohromady spojuje pouze hadcový substrát jako mateřské podloží. Studie, která by do problematiky hadcového kartouzku vnesla více světla, prozatím chybí, ale i kdybychom pochyby o svébytnosti taxonu prokázali (např. s pomocí molekulárních metod), rozhodně to neznamená „bezcnost“ těchto hadcových populací. Např. malá populace na hadcích u Raškova na Šumpersku (Živa 2001, 6: 255) představuje izolovanou lokalitu tohoto hvozdu díky vysunutou daleko do chladné oblasti sudetských pohoří.

### Trávníčka obecná hadcová

Hadcový poddruh trávníčky obecné (*Armeria vulgaris* subsp. *serpentina*, obr. 4) je asi nejvíce sporným případem mezi našimi hadcovými (sub)endemity. Morfologické odlišení tohoto taxonu je nejisté, neboť nejčastěji uznávané znaky (tvar a velikost zákrovních listenů, chlupatost stvolu) jsou značně proměnlivé a jejich hodnoty se v široké míře překrývají. Také ekologické

kými nároky se oba typy, zdá se, příliš neliší – hadcový i nehadcový poddruh preferují prosvětlené a často značně suché biotopy (v případě hadcového poddruhu jsou to velmi světlé bory až stepní trávníky). Jediným spolehlivým znakem při určování tak nakonec často zůstane pouze znalost konkrétní lokality (resp. geologického podkladu), odkud jsme rostlinu sebrali, což není zrovna vhodné kritérium.

A kde se tedy s trávníčkou obecnou hadcovou (nebo s trávníčkou obecnou rostoucí na hadcích) můžeme setkat? Na našem území známe dvě lokality, ne náhodou jsou to ty nejteplejší: Mohelno a dolnokralovické hadce. Locus classicus, tj. místo odkud byl tento typ popsán, představuje hadcová lokalita u městečka Wurlitz v severním Bavorsku (asi 15 km západně od Aše) a hadcovou trávníčku mají i naši jižní sousedé na několika místech ve Štýrsku a jednom místě v Burgenlandu. Z fyto geografického hlediska je však velmi zajímavé, že posledně zmiňované rakouské lokality představují poslední izolované výskyty předsumuté před jižní hranici souvislého areálu celého druhu (kterou zde tvoří přibližně tok Dunaje). Trávníčka obecná tedy oblast jižně od Dunaje obsadila (nebo zde naopak přezila) pouze díky možnostem, které nabízí hadcový substrát.

*Výzkum hadcových endemitů podporují Grantová agentura Univerzity Karlovy (projekt 29507/ 2007/B-BIO/PřF) a Grantová agentura Akademie věd ČR (juniorové projekty KJB601110709 a B601110627).*

Následující taxonomické revize vedly sice k velké redukci neoprávněně popsaných druhů, ale na druhé straně byl počet platných taxonů obohacen, a to na základě zpracování nových sběrů. Poslední souhrnná práce (Øvstedal D. O., Lewis Smith R. I.: Lichens of Antarctica and South Georgia) z r. 2001 uvádí pro Antarktidu celkem 380 druhů, z nichž jen asi jednu třetinu lze považovat za endemity. Většina ostatních (39 %) jsou druhy s bipolárním rozšířením (v Arktidě i v Antarktidě), 7 % tvoří druhy kosmopolitní, u zbytku je pak rozšíření omezeno jen na jižní polokouli. K největším rodům patří *Buellia* (32 taxonů), *Caloplaca* (29), *Lecanora* (25) a *Verrucaria* (16). Taxonomické revize a popisy nových taxonů zdaleka nejsou ještě ukončeny, zejména v obtížných skupinách drobných lišejníků s korovitou stélkou. V pokračujícím výzkumu bude nutno stále více používat biochemické a molekulární metody.

I přes extrémní odolnost lišejníků k nepříznivým podmínkám a celkovou nenáročnost je jejich největší početnost (abundance) i druhová rozmanitost na západním pobřeží kontinentu s přímořským typem podnebí. Nacházíme zde lišejníky všech růstových forem. Nejvíce rozlehlé a velmi husté porosty vytvářejí keříčkové druhy (např. provazovka *Usnea antarctica*, *U. aurantiaco-atra*, *U. sphacelata*), jejichž biomasa může dosahovat hodnot až 1 kg sušiny na 1 m<sup>2</sup>. Mnohé keříčkové druhy úspěšně pronikají i do mechových porostů (např. *Sphaerophorus globosus* či *Stereocaulon alpinum*, obr. 3 a 4). Starší, odumírající porosty mechů bývají porostlé

Jan Gloser

## Antarktické vegetační oázy

### 2. Lišejníky

**Nejúspěšnějšími autotrofními makroorganismy nezaledněných území Antarktidy jsou nepochybně lišejníky. Jejich husté a druhově bohaté porosty nacházejí nejen na klimaticky relativně příznivých lokalitách západního okraje kontinentu, ale i v oblastech mnohem drsnějších. Několik druhů přežívá dokonce hluboko ve vnitrozemí za 86° jižní šířky, kde panují po celý rok velmi tuhé mrazy. Najdeme je i na větrem bičovaných skalách v nadmořské výšce nad 2 400 m. Rostou sice pomalu, zato doba jejich života se neměří na roky, ale na století. Přežívání lišejníků i v těch nejextrémnějších podmínkách umožňuje celá řada zvláštností jejich vnitřní stavby i fyziologických funkcí.**

#### Druhová diverzita, rozšíření a růstové formy

Bizarní stélky lišejníků byly nejčastějšími přírodninami, které evropským a americkým botanikům přivážely již první polární výpravy. Systematický sběr vzorků však začal teprve v polovině 20. stol., kdy vybudování řady nových výzkumných stanic umožnilo biologům pracovat v Antarktidě dlouhodobě. Taxonomické zpracování

nasbíraného materiálu bylo zpočátku bohužel značně poplatné nekritickému nadšení z objevitelské práce v tak vzdálených a izolovaných místech naší planety. První ucelenější monografie (The Lichen Flora of the Antarctic Continent), kterou publikoval C. W. Dodge v r. 1973, zahrnovala celkem 415 druhů, z nichž téměř polovinu nově popsal autor a více než 90 % z celkového počtu bylo označeno za endemity.



**1** Detail lišejníkové mozaiky na pobřežních skalách obohacovaných o živiny. Kromě dominantního druhu terčovník pohledný (*Xanthoria elegans*) jsou přítomny i kolonie tmavších korovitých lišejníků z rodů *Buellia*, *Rhizocarpon* a dalších

**2** Pobřežní skály „hnojené“ trusem ptáků obrůstají téměř souvislou vrstvou lišejníků, ze kterých barevně vynikají velmi podobné druhy krásnice *Caloplaca regalis* a terčovník *X. elegans* (ostrov Krále Jiřího)

**3, 4** Sinicové druhy keříčkových lišejníků (světlý pevnokmínek *Stereocaulon alpinum*, červený paličkovec *Sphaerophorus globosus*) mají větší nároky na vlhkost, proto je najdeme velmi často růst v porostech mechů (ostrov Galindez)

**5** Dlouhodobě obnažené kolmé skalní prahy smáčené vodou z výše položených sněhových polí hostí mimořádně bohatá společenstva lišejníků. Kromě velkých druhů s nápadnými stélkami (oranžové – *X. elegans*, lupenité – pupkovka *Umbilicaria antarctica*, keříčkovité – provazovka *Usnea antarctica*, na okraji obrázku) roste mezi nimi i bohaté společenstvo méně nápadných druhů s korovitou stélkou (ostrov Galindez)

dutohlávkami (např. *Cladonia borealis*) a také bělostnými „povlaky“ amorfních lišejníků rodů *Ochrolechia* a *Lepraria*. Na skalních stěnách periodicky ovlhčovaných vodou z tajícího sněhu rostou nápadně velké lupenité druhy lišejníků umbilikátního typu – tedy přirostlé k substrátu centrální hyfovou „stopkou“ (např. *Umbilicaria antarctica*, *U. kappeni*), jejichž ploché stélky se mohou rozrůstat až do šířky 0,5 m. Jejich menší příbuzní (např. *U. decussata*, *U. aprina*) se vyskytují i na sušších a více exponovaných místech. V podmáčených terénních depresích nacházíme v hojném počtu zvláštní tmavé stélky druhu *Leptogium puberulum*, které hostí jako endosymbionta sinice rodu *Nostoc*. Ve zvlhlém stavu připomínají rosolovitě plátky želatiny. Pobřežní skály hojně navštěvované ptáky září do daleka oranžovou barvou nitrofilních (či přesněji ornitokopofilních) lišejníků rodů *Xanthoria* a *Caloplaca*, doprovázených celou řadou dalších z rodů *Haematomma*, *Lecania*, *Placopsis*, *Ramalina*, *Verrucaria* aj.

Korovité druhy tvořící velmi tenké stélkové útvary po celé ploše pevně spojené se substrátem mají mezi antarktickými lišejníky zvláštní postavení. Nejsou na první pohled tak nápadné jako keříčkovité či

lupenité „makrolišejníky“, ovšem co do počtu jedinců (často jen miniaturní, sotva okem postřehnutelné velikosti) i co do rozšíření a odolnosti k nepříznivým podmínkám jsou zcela bez konkurence. Korovité lišejníky značně širokého druhového spektra nacházíme na skalách a kamenech ve všech odledněných územích Antarktidy, v nejrůznějších nadmořských výškách a expozicích, a to včetně extrémních vnitrozemských stanovišť. Patří sem několik desítek druhů, nejčastěji z rodů *Acarospora*, *Buellia*, *Carbonea*, *Lecanora*, *Pleopsidium*, *Rhizoplaca* a *Rhizocarpon* (včetně našeho známého lišejníku zeměpisného – *Rhizocarpon geograficum*).

#### Obecné strukturně-funkční charakteristiky lišejníků

Jak je všeobecně známo, lišejníky jsou nutričně specializované houby, které získávají organické látky z jiných, autotrofních organismů (řas, sinic), uzavřených ve společné struktuře označované jako stélka. Jde tedy o asociaci nejméně dvou velmi rozdílných typů organismů, ve které sice z hlediska množství biomasy a vnějšího tvaru zcela dominuje houbová složka (mykobiont), ovšem klíčové metabolické procesy, energeticky a látkově zajišťující potřebu



**6** Početné populace stélek lišejníku *Umbilicaria decussata* se vyskytují na velmi exponovaných a suchých skalách, a to i dosti hluboko ve vnitrozemí. Průměr nejstarší (střední) stélky je asi 30 mm (ostrov Jamese Rosse)

**7** Mrazem tvarované polygonální půdy na náhorních plošinách ostrova Jamese Rosse. Lišejníky rostou na hrubých kamenech v rýhách mezi polygony, kde se déle udržuje vlhko z tajícího sněhu

**8** Miniaturní vegetační oáza vzniklá na tělesných pozůstatcích mrtvého tuleně a v jeho blízkém okolí v jinak pustých šterkových polích ostrova Jamese Rosse. Z tohoto přírodního „experimentu“ je zřetelné vidět, jak větší dostupnost živin může urychlit kolonizaci odledněných území i za podmínek velkého nedostatku vody a nízkých teplot. V bohatém společenstvu nitrofilních lišejníků dominuje oranžový druh *Xanthoria elegans*

by celé stélky, probíhají pouze v buňkách zelených symbiontů (fotobiontů). U antarktických lišejníků se na tvorbě stélek podílejí pouze houby vřecovkytrusé (*Ascomycetes*), z fotobiontů převažují zelené řasy (*Chlorophyta*, hlavně rodu *Trebouxia*), v mnohem menší míře sinice (např. rodu *Nostoc*). Mnohé stélky připomínají svým tvarem i metabolickými funkcemi (fotosyntézou) asimilační orgány rostlin. Stélky jsou ovšem volně prostupné pro plyny, vodu a rozpuštěné látky, jejichž příjem (ale i ztráty!) jsou velmi rychlé a neregulovatelné. Většina přijímaných látek pochází z atmosférických zdrojů. Lišejníky tedy mohou růst i na substrátech, které jim neposkytují žádné živiny ani vodu.

### Přizpůsobení lišejníků k extrémním podmínkám Antarktidy

K hlavním stresovým faktorům omezujícím život terestrických organismů v Antarktidě patří trvale nízká teplota, nedostatek vody v tekutém stavu a malá dostupnost živin. Proč právě lišejníky jsou za těchto nepříznivých okolností tak úspěšné? Než se zamyslíme nad dílčími mechanismy jejich odolnosti, chtěl bych uvést dvě obecné poznámky. Především je dobré si uvědomit, že už samo soužití odlišných

organismů ve společné, účelně regulované lišejníkové asociaci je významnou adaptací k nepříznivým podmínkám. V řadě pokusů bylo dokázáno, že odolnost celých stélek vůči stresovým faktorům je vždy podstatně vyšší, než odolnost samostatně pěstovaných hub, řas či sinic izolovaných z těchto stélek.

Další poznámka se týká přístupu k hodnocení odolnosti ke stresovým faktorům. Nejrychlejší (a také nejpoužívanější) je stanovení letálních hodnot určitého faktoru pro studovaný organismus. Tedy např. postupně snižujeme teplotu a sledujeme, při jaké její hodnotě dojde k nevratnému poškození většiny buněk. Tak jednoduché to však v přírodě obvykle není. Uhynutí může být způsobeno také dlouhodobým působením méně extrémních podmínek, které pouze zpomalují některé fyziologické funkce, především rychlost fotosyntézy. Je-li v průběhu celoročního vegetačního cyklu spotřeba organických látek (rozkladem v respiračních procesech) soustavně větší než jejich tvorba, dochází k postupnému energetickému vyčerpání a odumírání. Stanovování příjmové a výdajové složky bilance uhlíkatých sloučenin (která je úměrná vnitřní energetické bilanci) pro delší časové období není vůbec jed-

noduché, a tak se obvykle jen modelově odhaduje z naměřených funkčních závislostí základních metabolických procesů (rychlosti fotosyntézy a respirace) na významných faktorech vnějšího prostředí.

### Přežívání dlouhodobého nedostatku vody v tekutém stavu

Lišejníková stélka může řádně plnit svoje fyziologické funkce pouze za předpokladu, že je dostatečně nasycena vodou. Ovlhčení stélek deštěm, mlhou či vodou z tajícího sněhu je však v podmínkách Antarktidy poměrně vzácné. Navíc stélky velmi rychle vodu ztrácejí, a tak převážnou část svého života tráví ve vyschlém stavu. Jak je ale vůbec možné přežít náhlou a téměř úplnou ztrátu vody? Především v buňkách mykobiontů i fotobiontů musí být trvale udržována vysoká koncentrace osmoticky aktivních látek, hlavně cukrů (sacharózy, trehalózy), ale také polyhydričských alkoholů (např. sorbitol a mannitol) a aminokyseliny (prolin). Stále přítomny jsou i zvláštní ochranné proteiny (dehydriny). Díky tomu se daří udržet integritu buněčných membrán a správnou konformaci (prostorové uspořádání) funkčních proteinů i po značném úbytku molekul vody z jejich hydratačních obalů. Nutné jsou





**9** Husté porosty atraktivního lišejníku *Usnea aurantiaco-atra* můžeme nalézt jen v nejvlhčích přímořských oblastech západní Antarktidy. Na ostrých hřebenech kopců zachytávají husté stélky dostatek vody z nilhy a sněhových přeháněk, ale přitom nejsou ani v zimě pokryty silnější vrstvou sněhu, která by zkracovala dobu jejich fotosyntetické aktivity (ostrov Krále Jiřího). Snímky J. Glosera

také dostatečné zásoby antioxidantních enzymů a substrátů v buňkách. I v zaschlých stélkách totiž pokračuje tvorba nebezpečných reaktivních forem kyslíku, především v okolí molekul asimilačních barviv absorbujících sluneční záření. Po ovlhčení suchých stélek dochází k rychlému obnovení fyziologických procesů, často již za 10–20 minut. Prioritu mají respirační procesy – pro jejich rychlé nastartování se již v průběhu vysychání vytváří ve stélkách zásoba snadno rozložitelných substrátů (např. glukonát-6-fosfát). Do obnovy všech funkcí jsou zapojeny také specifické proteiny označované jako rehydriny.

Pro posouzení vlivu nedostatku vody na uhlíkovou bilanci lišejníků je potřeba znát změny rychlosti fotosyntézy za různého stupně ovlhčení stélky. Při úplném nasycení stélky vodou nebývá kupodivu fotosyntetická aktivita nejvyšší, neboť zaplnění mezibuněčných pórů vodou zpomaluje difuzi  $\text{CO}_2$  k buňkám fotobionta. Optimální jsou tudíž spíše střední hodnoty obsahu vody. Avšak i při značném vyschnutí stélky (poklesu obsahu vody až na 10 % z jejího množství při plném nasycení) bývá ještě fotosyntéza měřitelná. Pro srovnání lze dodat, že listy běžných rostlin obvykle hynou již při poklesu obsahu vody pod 50 %.

Zvláště pozoruhodná je schopnost většiny druhů antarktických lišejníků aktivovat svoje fotosyntetické procesy i bez ovlhčení suché stélky kapalnou vodou. K aktivaci jim totiž postačuje již dostatečně vysoký obsah vodní páry ve vzduchu (zhruba nad 90 % relativní vlhkosti). Takto zvýšená vlhkost vzduchu se může vytvářet i sublimací molekul vody ze sněhu ležícího v těsné blízkosti lišejníků, a to i za

teploty pod bodem mrazu. Schopnost aktivace vodní párou postrádají pouze lišejníky obsahující ve stélkách symbiotické sinice. Proto asi také žádný z nich nenacházíme ve velmi suchých a chladných oblastech Antarktidy, kde voda v tekutém stavu bývá jen velmi zřídka. Pro lišejníky s řasami, které jsou schopny přežívat v těchto extrémně krutých podmínkách (nejčastěji ve skalních štěrbinách a dutinách), má aktivace metabolismu vodní párou zásadní význam.

#### **Adaptace a aklimace k nízkým teplotám**

Mrazuvzdornost antarktických lišejníků je neobyčejně vysoká. Většina dosud testovaných druhů přežila bez poškození ponoření do tekutého dusíku ( $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ), a to nejen v odolnějším, suchém stavu, ale i po ovlhčení stélek. Také několikaleté skladování při teplotě  $-60\text{ }^\circ\text{C}$  přežívají stélky bez úhony. Vysoká odolnost vůči mrazu je založena na podobných strukturních a biochemických zvláštnostech jako odolnost vůči vyschnutí. Krystaly ledu se vytvářejí jen v mezibuněčném prostoru stélek a vzhledem k pružnosti buněčných stěn nedochází k mechanickému poškození buněk. Vnitrobuněčná voda se udržuje v převážně tekutém stavu díky vysokému obsahu cukrů a jejich derivátů, a při velmi nízkých teplotách tuhne pouze do amorfni (sklovité) formy, která nepoškozuje buněčné struktury. Není proto divu, že mrazové škody na lišejnících ani v drsných podmínkách Antarktidy nebývají pozorovány.

Nicméně i u mrazuvzdorných organismů obvykle dochází již při teplotách mírně pod nulou k drastickému zpomalení metabolických procesů. Antarktické lišejníky jsou však schopny pokračovat ve fotosyntetické asimilaci oxidu uhlíčitého i za teplot hluboko pod nulou (někdy dokonce až při  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ !). Optimální teplota pro fotosyntézu však přece jenom leží poněkud výše, nejčastěji v rozmezí  $1\text{--}5\text{ }^\circ\text{C}$  pro lišejníky rostoucí v chladnějších oblastech Antarktidy a  $5\text{--}15\text{ }^\circ\text{C}$  pro druhy z oblastí teplejších. Značné rozdíly v optimálních teplotách můžeme nalézt i u stélek téhož druhu rostoucích na teplotně odlišných stanovištích, což svědčí o aklimacích schopnostech lišejníkových sté-

lek. Hodnoty teplotního optima „čisté“ fotosyntézy (měřené rychlostí příjmu  $\text{CO}_2$  stélkou z okolního vzduchu) jsou také silně závislé na množství aktuálně dopadajícího záření (ozáření stélek) – čím je ozáření vyšší, tím vyšší je optimální teplota.

#### **Produkční a růstové procesy**

Rychlost fotosyntetické asimilace  $\text{CO}_2$  u lišejníků je obecně velmi nízká, a to i za optimální teploty a dostatku záření. Maximální hodnoty zjištěné pro jednotlivé dosud zkoumané antarktické druhy lišejníků se pohybují v rozmezí od 0,1 do 2 mg  $\text{CO}_2$  za hodinu na 1 g sušiny stélky, což je zhruba  $10\times$  až  $100\times$  méně než rychlost asimilace  $\text{CO}_2$  u listů většiny cévnatých rostlin. Důvodem je především poměrně malý podíl buněk fotobiontů v celkové biomase stélky – ta je tvořena hlavně heterotrofními hyfami houby. Navíc recyklování velkého množství  $\text{CO}_2$  uvolňovaného respiračními procesy v houbové složce „zamáčká“ fixační procesy fotobiontů natolik, že příjem a zpracování nového  $\text{CO}_2$  z okolního vzduchu jsou možné až při značně vysokém příkonu radiační energie. Při dostatku slunečního záření (za malé oblačnosti) se však obvykle snižuje vlhkost vzduchu, stélky rychle zasychají a fotosyntéza se zastavuje. Celkový asimilační zisk (úhrn nově vytvořených organických látek ve světlé části dne) závisí tedy v první řadě na době, po kterou je stélka v aktivním (ovlhčeném) stavu, méně již na teplotě. Ovšem pro konečnou hodnotu celodenní (24 h) bilance musíme vzít v úvahu i značný úbytek organických látek rozložených respiračními procesy v průběhu noci. Není tedy divu, že hodnoty produkce biomasy sporadicky ovlhčovaných antarktických lišejníků jsou v celoročním úhrnu velice malé, nejčastěji v rozmezí 1–5 % z počáteční hmotnosti sušiny stélky. Největší přírůstky mají keříčkové a některé lupenité druhy ve vlhkově nejpříznivější přímořské části Antarktidy, zatímco roční přírůstky korovitých druhů z extrémně suchých stanovišť bývají na hranici měřitelnosti.

Neocenitelnou výhodou pro přežívání lišejníků v přírodě je dlouhodobá životnost a funkčnost stélek, což je dáno jejich značnou mechanickou pevností, odolností vůči patogenním mikroorganismům a malou atraktivitou (nechutností až toxicitou) pro herbivorní živočichy. Minimalizace ztrát jednou vytvořených struktur je velmi výhodná také pro přežívání za podmínek trvalého nedostatku minerálních živin – jejich recyklace z odumřelých a dekomponovaných částí stélek by prakticky nepřicházela v úvahu. Musíme si však uvědomit, že budování vysoce odolných stélek, stejně tak jako trvalé udržování vysokých hladin již zmíněných ochranných metabolitů a stresových proteinů je energeticky velmi náročné. Vysoká rychlost respirace antarktických lišejníků (a to i za nízkých teplot!) není tedy bezúčelnou ztrátou zásobních látek potenciálně využitelných k rozšíření asimilační kapacity, ale souvisí do značné míry s energetickou podporou tvorby a údržby ochranných struktur. I zde tedy platí obecné pravidlo, že vysoká odolnost je obtížně slučitelná s rychlým růstem.

## Antarktické vegetační oázy

### 3. Mechorosty

Vysoká odolnost lišejníků k drsným antarktickým podmínkám obvykle nikoho příliš nepřekvapuje – jejich tuhé a neobyčejně pomalu rostoucí houbové stélky, často pevně srůstlé s povrchem skal, jsou přímo symbolem nezdolné pasivní rezistence. Mechorosty jsou ale ze zcela jiného „těsta“ – jsou to již opravdové, i když velmi drobné rostliny, a navíc jejich drobné lodyžky a jemné lístky nejsou chráněny žádnými pevnějšími krycími pletivy. Na první pohled tedy vypadají velmi zranitelně, přesto však v drsných podmínkách Antarktidy nejen přežívají, ale mají dokonce nejvyšší rychlost produkce biomasy ze všech terestrických organismů. Ovšem jen na vhodných místech a ve vhodnou dobu.

#### Druhá diverzita a rozšíření

Mechorosty sice patří mezi nejnápadnější antarktické autotrofní organismy, přesto však jejich taxonomickému, ekologickému i fyziologickému studiu byla dosud věnována mnohem menší pozornost než lišejníkům. Souhrnné floristické dílo *Illustrated Moss Flora of Antarctica* (R. Ochyra a R. I. Lewis Smith) dosud čeká na vydání, a tak máme k dispozici pouze vyčerpávající přehled antarktických játrovek (*The Liverwort Flora of Antarctica*, H. Bednarek-Ochyra, J. Váňa, R. Ochyra a R. I. Lewis Smith 2000) a monografii věnovanou flóře mechů ostrova Krále Jiřího (*The Moss Flora of King George Island*, R. Ochyra 1998). Autoři uvedených knih udávají pro Antarktidu celkem 104 druhů mechů (*Bryophyta*) ve 48 rodech a 27 druhů játrovek (*Marchantiophyta*) v 19 rodech. Žádná z játrovek není endemická, u mechů známe jen pět endemických druhů. Obdobně jako u lišejníků převažují i mezi mechorosty druhy s bipolárním rozšířením.

Rozšíření mechorostů v rámci Antarktidy je omezeno převážně na klimaticky nej-

příhodnější pobřežní oblasti, z nichž absolutně nejbohatší (plošnou rozlohou porostů i počtem druhů) je západní strana Antarktického poloostrova a přilehlé ostrovy. I tam však více než dvě třetiny druhů nevytvářejí sporofyty a množí se pouze vegetativně. Pro mechorosty je periodické ovlhčování vodou v tekutém stavu nutnou podmínkou existence, a tak není divu, že je na extrémně chladných a suchých místech hlouběji ve vnitrozemí či ve vyšších polohách pobřežních hor téměř nenajdeme. Přispívá k tomu i jejich poměrně malá odolnost vůči mechanickému působení větru a sněhu (ve srovnání s lišejníky) na exponovaných místech.

Z paleobotanických výzkumů je zřejmé, že v Antarktídě rostla ještě v třetihorách velmi bohatá společenstva mechorostů, ovšem tato původní flóra byla pravděpodobně zcela zdecimována katastrofálním zaledněním na konci třetihor a v pleistocénu. Přežití některého z původních druhů mechorostů na izolovaných skalách bylo obtížnější než v případě lišejníků. Novodobá kolonizace odledněných míst mu-

sela proto nejčastěji začít ze spor a z drobných úlomků vegetativních orgánů zanášených větrnými proudy z jiných kontinentů. Z izotopově datovaných zbytků fosilních mechových rašelin lze odhadnout počátek této kolonizace na dobu zhruba před 8 tisíci lety.

#### Vazba na prostředí

Velmi různorodé antarktické mechorosty je možné rozdělit do dílčích skupin podle celé řady hledisek, jako je např. taxonomická příbuznost, růstové formy, ekologické vazby či rozdílné fyziologické reakce, což ale není v jednom krátkém článku možné. Pro naše další úvahy proto považují za užitečné alespoň stručně upozornit na skupiny druhů s výrazně odlišnými nároky na zásobení vodou, neboť voda má pro mechorosty prvořadou důležitost.

Výrazně vlhkomilné (hydrické) druhy vyžadují k optimálnímu růstu v letním období substrát trvale podmáčený – najdeme je tedy v rozbahněných terénních depresích a na březích jezírek či potůčků z tajících sněhových polí (obr. 1). Dobře snášejí i dlouhodobé pokrytí sněhem v zimním období. K nejhojnějším patří *Warnstorfia laculosa*, *W. sarmentosa*, *Sanionia georgico-uncinata*, *Brachythecium austrosalebrosus* a *Drepanocladus polygamus*. Tyto druhy vytvářejí nízké husté koberece obvykle nasáté vodou jako houba.

Na opačné straně ekologického spektra jsou druhy xerické, které rostou většinou na skalních stěnách a balvanech, kde se krátkodobé ovlhčení střídá s delší periodou sucha. Mohou vytvářet vypouklé kompaktní polštářky, jako např. *Andreaea depressinervis*, *A. gainii*, *Grimmia reflexidens*, *Dicranoweisia grimmiaea*, či volnější trsy (endemické *Schistidium antarctici* a *S. halinae*, dále např. *Brachythecium glaciale*,

- 1 Trvale podmáčené terénní deprese v morénách ustupujících ledovců velmi rychle kolonizují společenstva hydrických mechů – srpnatky *Warnstorfia laculosa* a *W. sarmentosa* a baňatka *Brachythecium austrosalebrosus*, ostrov Krále Jiřího
- 2 Příkré skalní stěny mohou v jižní (stinné) expozici hostit poměrně vlhkomilné druhy mechů – srpnatka háčkovitá (*Sanionia uncinata*), ostrov Skua



*Bryum pallelescens*, *Hennediella antarctica*, *H. heimii*, *Ceratodon purpureus*).

Mezi oběma krajními skupinami je celá plejáda druhů označovaných jako mezické, které však často mají velmi širokou ekologickou amplitudu. K nim patří i dva mimořádně pozoruhodné druhy, a sice *Polytrichum strictum* (= *P. alpestre*) a *Chorisodontium aciphyllum*, které mohou na mírně skloněných a zvlhčováných svazích vytvářet rozsáhlé porosty s mocnou vrstvou nerozložené organické hmoty.

Uvedené příklady se týkaly pouze nehojnějších druhů mechuů, nezahrnovaly tedy játkovky. Ty jsou vždy velmi vlhkomilné, poměrně vzácné a nikdy nevytvářejí rozsáhlé porosty či společenstva – většinou jsou začleněny do společenstev s dominancí mechuů. Také jejich rozšíření v Antarktidě je omezeno jen na klimaticky nejpříznivější oblast západního pobřeží, pouze jediný druh, *Cephaloziella varians*, se vyskytuje disjunktně i na opačné straně kontinentu.

### Hospodaření s vodou

I když velká část mechorostů roste na stanovištích označovaných jako trvale podmáčené, v antarktických podmínkách je to nutno brát s rezervou. Jednak k podmáčené vodou z tajícího sněhu dochází jen ve velmi krátkém (zhruba tříměsíčním) letním období, ale i v tomto létě převládají časté zvraty počasí, kdy po několik dní vytrvale mrzne. Mechorostry jsou na všech stanovištích ohroženy ztrátou vody, ať už výparem či sublimací (vymražením), a schopnost snášet velkou ztrátu vody je tedy nutnou podmínkou jejich přežití. Vnitřní mechanismy, na kterých je odolnost k vyschnutí antarktických mechorostů založena, jsou velmi podobné jako u lišejníků. Patří k nim vnitrobuněčné prostředí s trvale vysokou koncentrací organických sloučenin schopných udržovat buněčné membrány a enzymy ve funkčním stavu i po značné ztrátě vody z hydratačních obalů (v první řadě sacharóza, ale i jiné cukry, polyoly a aminokyseliny), dále vysoký obsah antioxidantů a specifických stresových proteinů (dehydriny, rehydriny). Značná pružnost stěn buněk mechorostů přispívá k minimalizaci mechanického poškození při velkých objemových změnách v průběhu vysychání.

Obnovení všech fyziologických procesů po ovlhčení vschlých částí mechorostů je obecně pomalejší než u lišejníků a pohybuje se od několika hodin po několik dnů. Mezidruhové rozdíly jsou značné – jak lze očekávat, nejrychleji regenerují druhy ze suchých stanovišť (xerické), nejpomaleji pak druhy hydrické. Dalším faktorem je doba strávená ve vyschlém stavu – po několika dnech je regenerace rychlá, ovšem několikaměsíční sucho už může být spojeno s vážným poškozením. V zimním období pod sněhovou pokrývkou vyschnutí obvykle nedosahuje kritických hodnot.

Ke schopnosti mechorostů přežívat v prostředí s omezeným a velmi nepravidelným zásobením vodou přispívají nejen biochemické systémy spojené s buněčnou tolerancí vyschnutí, ale i některé morfologické zvláštnosti umožňující udržet značné množství zásobní vody i delší dobu po náhodném ovlhčení. Na rozdíl od lišejníků mají mechorosty podstatně kom-

plikovanější stavbu. Typická mechová rostlinka je po celé své délce obalena velkým množstvím drobných lístků. Plně fotosynteticky aktivní sice bývají jen nejmladší z nich, avšak i ty ostatní mohou zadržovat ve svých úžlabích značné množství vody, která povrchovým vztláním ovlhčuje aktivní povrchovou vrstvu. Příjem vody a živin se u mechuů děje převážně foliárně (celým povrchem lístků). Nahloučení mechových rostlinek do hustých trsů přispívá ke zvýšení akumulační kapacity i k omezení ztrát výparem. Množství zadržované vody v mechovém trsu může být až 20x větší než jeho suchá hmotnost. Díky zásobám vody se podstatně prodlužuje doba plně fotosyntetické aktivity (opět ve srovnání s lišejníky), a tím i zvyšuje produkce biomasy.

### Odolnost k nízkým teplotám

Mrazuvzdornost antarktických mechorostů byla dosud zkoumána jen u poměrně malého počtu druhů, nicméně víme, že v suchém stavu jsou schopny dlouhodobě bez poškození snášet extrémně nízké teploty (např. několik měsíců při -60 °C). V ovlhčeném stavu tolerovaly zkoumané druhy snížení teplot až na -25 °C. Mají tedy menší odolnost než lišejníky, ovšem vzhledem k tomu, že na svých stanovištích bývají v zimě pokryty izolující vrstvou sněhu, poškození mrazem není významné. Biochemické mechanismy odolnosti mechorostů k mrazu jsou téměř totožné se zmíněnými mechanismy podmiňujícími odolnost k vyschnutí a jsou trvale přítomné (nevyžadují indukci nízkou teplotou či suchem).

Mechorostry bývají v antarktických podmínkách vystaveny velmi častému střídání nočních mrazů a vyšších teplot (nad nulou) v průběhu dne, které nemusí být bez problémů. Střídání teplot sice nemá fatální následky, ale vede k úniku jistého množství látek (zvláště cukrů) z buněk do okolního prostředí, neboť buněčné membrány se při náhlých teplotních změnách stávají na jistou dobu neregulovaně propustné. Konečným důsledkem ztráty asimilátů je pak zpomalení růstu.

Optimální teploty pro čistý fotosyntetický příjem CO<sub>2</sub> se značně liší jak u různých druhů, tak i v závislosti na převažujících mikroklimatických podmínkách, za kterých rostou. Nejčastěji se pohybují v rozmezí od 5 do 20 °C za plného slunečního záření, s poklesem ozáření klesají. Uvedené hodnoty se vcelku dobře shodují s maximálními teplotami, které můžeme naměřit v trsech mechuů za jasných letních dnů. Podobně jako u lišejníků může fotosyntéza i u mechorostů probíhat i za teplot pod nulou, ale jen asi do -5 °C.

### Produkční a růstové procesy

Pokud chceme hodnotit rychlost produkčních procesů u mechorostů (obvykle jako rychlost příjmu a výdeje CO<sub>2</sub>), můžeme k měření použít jen zelené, fotosynteticky aktivní apikální části, nebo celé (tedy i nezelené, ale živé) mechové rostlinky, anebo konečně celé trsy i s odumřelými staršími částmi. Který přístup použijeme, záleží na účelu měření – zda nám jde jen o stanovení fyziologických charakteristik na úrovni orgánů, či spíše o ekologickou

3 Rozsáhlá mechoviště na ostrově Galindez v přímořské Antarktidě tvoří prakticky jen dva druhy – ploník tuhý (*Polytrichum strictum*) a *Chorisodontium aciphyllum*. Mocnost vrstev živé + mrtvé organické hmoty je průměrně 60 cm, stáří nejstarších spodních částí je asi 800 let (datováno <sup>14</sup>C)

4 Periodicky ovlhčované šterkové terasy nejdříve kolonizují nízké rychle rostoucí kobercové druhy mechuů, které však později mohou být přerůstány vyššími trsnatými druhy. Na obrázku vidíme, jak *Polytrichum strictum* začíná vytvářet kopečkovité útvary uprostřed kobercového porostu *Sanionia georgico-uncinata* (ostrov Galindez)

5 Vnitřní struktura trsu dlouhověkého druhu ploníku *Polytrichum strictum*. Délka mechových rostlinek viditelných na snímku je asi 20 cm

6 Napadení mechových porostů patogenními houbami je dosti časté zejména v dlouhodobě vlhkém prostředí (pod sněhem). Na snímku vidíme postupně se šířící nekrotickou skvrnu v porostu *Sanionia uncinata* po napadení houbou *Thyronectria antarctica*

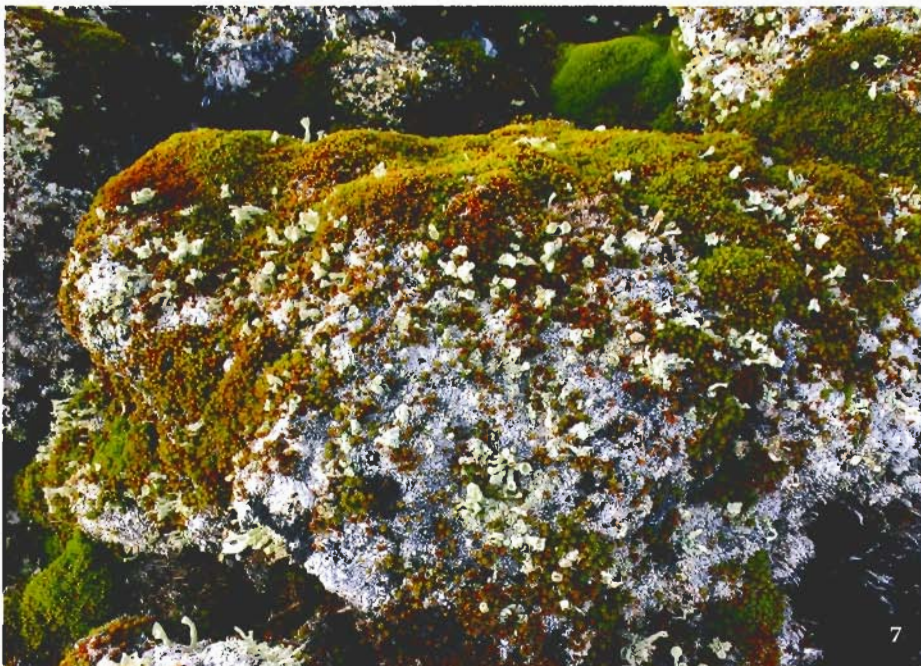
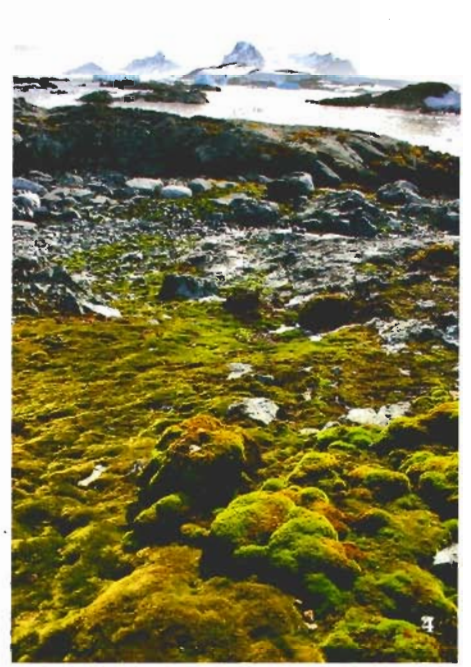
7 Velmi staré trsy vysokého druhu mechu *Polytrichum strictum* často trpí nedostatkem vody, postupně odumírají a porůstají lišejníky (*Cladonia* spp., *Ochrolechia frigida*)

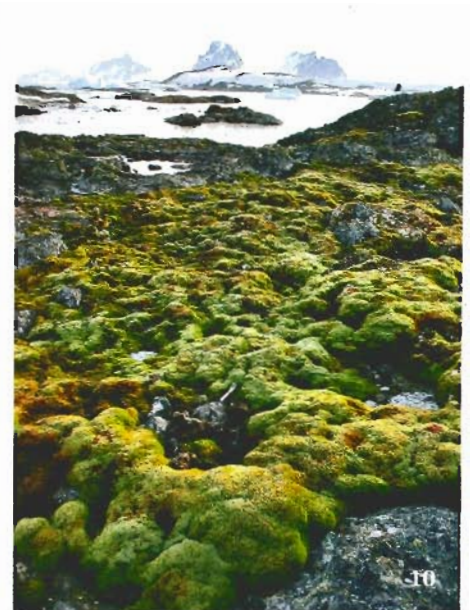
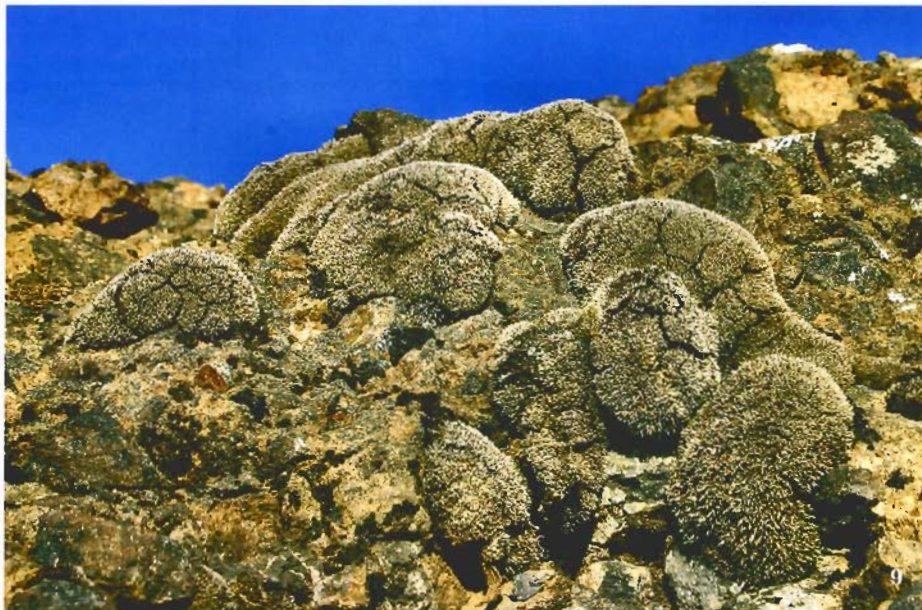
8 Svěže zelený trs mechu klanozoubku (*Schistidium* sp.) v interakci s tmavým sinicovým lišejníkem *Leptogium puberulum*, jehož nahloučené stélky jsou schopny akumulovat výjimečně velké množství vody, srovnatelné s mechy (ostrov Jamese Rosse)

aplikaci (např. odhad rychlosti tvorby a rozkladu biomasy). V maximálních hodnotách fotosyntetického příjmu CO<sub>2</sub> nejsou velké mezidruhové rozdíly a pohybují se obvykle v rozmezí 0,5–3 mg CO<sub>2</sub> na gram sušiny zelených částí za hodinu, což jsou hodnoty podobné jako u neaktivnějších druhů lišejníků.

Přesto v hodnotách produkce biomasy a tím i v rychlosti růstu jsou rozdíly obrovské – velmi totiž záleží na relativním zastoupení fotosynteticky aktivních částí v celkové biomase rostlinek srovnávaných druhů, a také na celkové době, po kterou jsou v průběhu roku srovnávané rostliny v plně aktivním stavu, tedy především dostatečně ovlhčené a teplé. Z těchto hledisek jsou na tom nejhůř rostliny xerických druhů na exponovaných stanovištích, u kterých bývá fotosynteticky aktivní jen několik nejvrchnějších lístků a roční přírůstky biomasy jsou někdy téměř neměřitelné. Naopak u některých hydrických druhů (např. *Sanionia* spp.) mohou roční délkové přírůstky rostlinek činit 10 až 30 mm a vyprodukovaná biomasa i více než 500 g sušiny na 1 m<sup>2</sup> porostu za rok. Je ovšem potřeba dodat, že u hydrických druhů dochází současně i k poměrně rychlému odumírání a rozkladu starších částí rostlin, takže celková zásoba biomasy a tloušťka mechové vrstvy zůstávají i po mnoha letech téměř stejné.

Celá řada mezických druhů na vlhkostně příznivých stanovištích může také dosahovat vysokých hodnot roční produkce





**9** Mechy rostoucí na skalních hřebenech vystavených plnému oslunění, větru a dlouhodobému suchu lze v Antarktidě nalézt velmi vzácně (děrkavka *Grimmia reflexidens*, ostrov Jamese Rosse). Kromě vysokých nároků na fyziologickou odolnost je pro mechy velmi obtížné dosáhnout dostatečně pevného uchycení mladých rostlinek i starších trsů

**10** I uprostřed antarktického léta jsou porosty mechorostů vystaveny nočním mrazům a pokrývají se jinovatkou (*Chorisodontium aciphyllum*, ostrov Galindez)

**11** Plodnice stopkovýtrose houby *Galerina antarctica* vázané na mechové porosty (ostrov Jamese Rosse)

**12** Jeden z mála endemických mečů, poměrně hojný druh štěrbovka *Andreaea gainii* (tmavě hnědý) přerůstající iniciální porost světlejšího druhu *Sanionia uncinata* (ostrov Galindez). Snímky J. Glosera

biomasy (300–500 g sušiny/m<sup>2</sup>). Délkové přírůstky přitom nebývají velké (jen 2 až 5 mm), neboť značná část nově vytvářených asimilátů je použita na tvorbu sekundárních metabolitů zvyšujících mechanickou pevnost a odolnost vůči patogenům. Ochranné metabolity nejen prodlužují dobu funkčnosti nově vytvářených struk-

tur, ale i zpomalují jejich rozklad po odumření, což vede k dlouhodobému hromadění živé i odumřelé organické hmoty. Nejlépe to lze pozorovat v mechových porostech s dominancí vysokých druhů *Polytrichum strictum* a *Chorisodontium aciphyllum*, které mikrobiální dekompozici ztrácejí ročně jen necelé 1 % z celkové hmotnosti, zatímco u hydrických druhů to bývá až 25 %. Uvedené dva druhy mají dominantní úlohu při vytváření i více než 1 m mocných vrstev mechových rašelin v humidní oblasti Antarktického poloostrova a na přilehlých ostrovech. Tvorba těchto rašelin (podmíněná zpomalením humifikace) přitom probíhá za aerobních podmínek, neboť ani v hlubších vrstvách nebývá stagnující voda.

#### Asociace mechorostů s jinými organismy

Na rozdíl od lišejníků porosty mečů podstatně více modifikují prostředí na svých stanovištích – mnohem lépe zadržují suché i mokré depozice, produkují větší množství snadněji rozložitelné organické hmoty a uvnitř jejich hustých trsů či kobců se udržuje zvýšená teplota a vlhkost vzduchu. To umožňuje (či alespoň usnadňuje) život mnoha jiných organismů. Kromě těž-

ko odhadnutelného množství mikroorganismů (včetně sinic, jednobuněčných řas, prvoků a mikroskopických hub) hostí mechorosty i dosti bohatá společenstva bezobratlých živočichů, jejichž výzkum je také teprve v začátcích. K nejpočetnějším skupinám patří nepochybně drobní členovci (roztoči, chvostoskoci, aj.), poměrně hojné jsou i hlístice (*Nematoda*). V porostech mečů roste také několik druhů stopkovýtrosých hub (např. *Galerina antarctica*, *Omphalina antarctica*) a celá řada lišejníků.

Organismy vázané na mechorosty velmi často ovlivňují hostitele, ať už kladně (např. sinice fixující dusík, dekompozitoři uvolňující živiny z mrtvé organické hmoty), tak i záporně (patogenní houby napadající mechové rostlinky). Nežádka bioticky navozené substrátové změny vedou k sukcesním změnám mechových společenstev (např. hydrické druhy jsou postupně vystřídány mezickými). Výsledkem společných aktivit biotických složek „miniekosystému“ mechového porostu je především přeměna původního čistě minerálního substrátu v organominerální základ půdy. Půdotvorná činnost mečů je důležitá i pro uchycení a rozvoj cévnatých rostlin, o kterých se blíže zmíníme v další části seriálu.

# Antarktické vegetační oázy

## 4. Kvetoucí rostliny

**V Antarktidě úspěšně rostou kromě lišejníků a mechů i dva druhy krytosemenných rostlin. Laická veřejnost reaguje na tuto informaci obvykle s údivem: jak vůbec mohou v tak extrémních podmínkách žít nějaké kvetoucí rostliny? Odborníci si však lámou hlavu nad opačným problémem – proč se v teplejších oblastech Antarktidy daří dlouhodobě přežívat jen dvěma, na první pohled nijak zvláštním druhům, když v klimaticky podobných podmínkách vysoké Arktidy jich nacházíme několik set? Mají tyto dva druhy nějaké unikátní adaptace k životu v Antarktidě, nebo je to spíše otázka šťastné náhody, která přispěla k přenosu jejich semen na odloučený kontinent?**

Prvním ze dvou záhadných druhů je *Colobanthus quitensis* z čel. hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*), jehož drobné trsy tvořené úzkými nahloučenými listy a silně zkrácenými stonky připomínají polštářkové druhy mechů. Areál jeho výskytu není omezen jen na Antarktidu a subantarktické ostrovy, dosti hojně roste i v alpínském pásmu jihoamerických And od jižní Patagonie až po Ekvádor, vzácněji pak i na jedné lokalitě v Mexiku. Také metlice *Deschampsia antarctica* z čel. lipnicovitých (*Poaceae*), velmi nízká trsnatá tráva, má navzdory svému druhovému jménu značně široký areál rozšíření i mimo Antarktidu, sahající až do hor v severní části Chile a Argentiny. K invazi obou druhů z jihoamerického kontinentu do Antarktidy došlo s největší pravděpodobností dosti brzo po posledním velkém ústupu ledovců, neboť jejich pylová zrnka i makrozbytky (části pletiv a orgánů) byly nalezeny v rašelinných vrstvách starých asi 5 000 let. Z dosud provedených pylových analýz současně vyplývá, že v průběhu celé postglaciální periody nedošlo ani dočasně k při-

rozenému rozvoji jiných druhů semen- ných rostlin.

Pro úplnost ještě nutno dodat, že při výstavbě a zajišťování provozu antarktických výzkumných stanic byly opakovaně nechtěně zavlečány některé plevelné druhy (např. lipnice roční – *Poa annua*), jejich výskyt se ale vždy omezoval jen na blízké okolí staničních budov.

### Ekologické vazby, schopnosti šíření

*Colobanthus* i *Deschampsia* rostou v Antarktidě jen v teplotně a srážkově nejpriznivějších oblastech západního pobřeží Antarktického poloostrova a přilehlých ostrovů po 68° j. š. Na většině lokalit se vyskytují společně, nejčastěji na pobřežních útesech či na náplavových terasách v blízkosti moře. Metlice je z obou druhů nesporně úspěšnějším kolonizátorem, a to nejen pro vrozeně rychlejší růst a schopnost vegetativního šíření, ale i díky svým méně vyhraněným nárokům na stanovištní podmínky. Zvláště pozoruhodná je její tolerance různých typů substrátů, od živinově chudých šterkových polí až po půdy

silně eutrofizované exkrementy živočichů. Stejně tak snáší substráty značně suché i trvale podmačené. Na zvláště příznivých lokalitách je schopna vytvářet rozsáhlé zapojené porosty, dosti odolné k mechanickému poškozování. Rostliny druhu *Colobanthus quitensis* mají více vyhraněné nároky na stanoviště. Nejčastěji obývají kamenité terasy či spáry ve skalních stěnách, ve kterých se uchycují pomocí dlouhých křivých kořenů. Velmi dobře snášejí silné zasolení substrátu v těsné blízkosti moře. Oba druhy pravidelně kvetou a vytvářejí klíčivá semena, která však dozrávají až ve druhém roce po odkvětu. Ke klíčení semen a ke zdárnému růstu semenáčků dochází nepravidelně, jen za klimaticky příznivých let, ve kterých se vyskytne delší série relativně teplých dnů. Metlice má navíc schopnost vegetativního šíření pomocí odnoží. K tomu jí napomáhají i někteří ptáci (např. chaluha jižní – *Catharacta maccormickii*), kteří ke stavbě jednoduchých hnízd na holé půdě s oblibou používají odnože vytržené z trsu.

Pokud jde o šíření na velké vzdálenosti, nemá ani jeden z obou antarktických druhů žádné mimořádné vlastnosti, které by mohly posloužit k vysvětlení, proč právě jim se podařilo kolonizovat Antarktidu. Semena celé řady jiných druhů rostoucích v jižní Patagonii a na subantarktických ostrovech, např. z rodu *Acaena* (ružovité – *Rosaceae*) či *Uncinia* (šáchorovité – *Cyperaceae*), mohou být šířena mnohem snadněji, neboť se přichycují na peří ptáků pravidelně přelétajících Drakeho úžinu. Také mořské i vzdušné proudy nepochybně přinášely po tisíceletí ke břehům Antarktidy semena značně početného souboru druhů.

Migrační bariéry tedy sotva můžeme považovat za hlavní příčinu obtížné kolonizace Antarktidy větším počtem druhů semenných rostlin, problém bude spíše

**1** Detail kvetoucího trsu *Colobanthus quitensis* z čel. hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*) o průměru asi 50 mm

**2** Detail trsu antarktické metlice *Deschampsia antarctica* z čel. lipnicovitých (*Poaceae*) o průměru asi 100 mm tvořícího hojná květenství. Tato metlice je schopna průkopnické kolonizace hrubě kamenitého podloží (ostrov Galindez)



v jejich obtížné adaptaci na specifické podmínky. V tomto přesvědčení nás utvrzují i pokusy s transplantací (záměrným vysazováním) celé řady druhů z velmi chladných oblastí Jižní Ameriky a subantarktických ostrovů na relativně pohostinná místa antarktického pobřeží. Výsledky těchto pokusů (prováděných s veškerou opatrností ještě před jejich zákazem Antarktickou smlouvou) byly jednoznačné: přes nadějný počáteční růst vysazené rostliny vždy v několika následujících letech uhynuly.

### Anatomické a fyziologické charakteristiky

K vysvětlení záhady výlučného přežívání dvou druhů kvetoucích rostlin v Antarktídě by tedy spíše mohl přispět objev některých jejich unikátních adaptačních mechanismů, ať už strukturních či funkčních. Tato lákavá představa silně motivovala badatele zabývající se stresovou fyziologií na řadě pracovišť a výsledky jejich práce jsou popsány ve více než stovce vědeckých publikací. Pokusme se shrnout alespoň některé z dosud získaných poznatků.

Z hlediska celkové morfologie i anatomie jednotlivých orgánů jsou mezi oběma druhy značné rozdíly, vyplývající především z dosti odlišného fylogenetického postavení čeledí, do kterých patří. Představují dva různé typy růstových forem, které jsou mimořádně výhodné pro přežívání v chladných oblastech: polštářkové hemikryptofyty a nízké traviny. Jsou to ovšem formy, které lze pozorovat i u mnoha jiných druhů arktické a alpské vegetace. Také v anatomické stavbě orgánů nelze najít znaky indikující nějaký unikátní způsob přizpůsobení k nepříznivým podmínkám. Listy mají sice částečně xerofytický charakter (silná kutikula, vysoká plošná hustota průduchů, velké zastoupení sklerenchymatických pletiv), ale vše je v rámci normy pro podobné typy rostlin z chladných oblastí.

Experimentální studium základních metabolických procesů (fotosyntézy a respirace) se s oběma druhy opakovaně provádělo v přírodních i v laboratorních podmínkách. Maximální rychlost fotosyntetické asimilace CO<sub>2</sub> na jednotku listové plochy (za nasycení zářením a optimální teploty) se pohybovala nejčastěji v rozme-

zí 10 až 15 mg na dm<sup>2</sup> za hodinu, což je asi 3–5× více než u mechů či lišejníků. Navíc se značně vysoká rychlost fotosyntézy udržovala v průběhu celého dne, zatímco mechy a lišejníky přecházely mnohem dříve do zaslého, nefunkčního stavu. Teplotní optimum pro čistou fotosyntézu obou druhů leží v intervalu 10 až 15 °C, přičemž ještě při poklesu teploty listů na nulu bývá fotosyntéza dost aktivní (asi 30 % z maximální hodnoty). Čistý příjem CO<sub>2</sub> listy přestává být měřitelný při poklesu teploty na -2 až -3 °C, ale také při vzestupu teploty nad 22 až 25 °C. Dlouhodobá měření rychlosti fotosyntézy na antarktických lokalitách v průběhu vegetační sezony potvrdila, že pro maximální fotosyntetický příjem CO<sub>2</sub> jsou mnohem příznivější zamračené chladnější dny než dny jasné, za kterých teplota v trsech rostlin může stoupat i nad 20 °C.

V produkci biomasy jsou mezi oběma druhy velmi podstatné rozdíly, což je dáno odlišným způsobem využívání asimilátů k růstu jednotlivých orgánů. Geneticky řízená frekvence zakládání nových listů a odnoží je u rostlin druhu *Colobanthus quitensis* velmi nízká i za příznivých vnějších podmínek. Maximální průměr trsů bývá zřídka větší než 80 mm. U metlice je rychlost růstu listů a nových odnoží nesrovnatelně vyšší, a tak i přes jejich malou délku (obvykle jen do 100 mm) může sušina živých nadzemních částí v zapojených porostech dosahovat hodnot okolo 500 g na 1 m<sup>2</sup>. Podobnou hmotnost mávájí i podzemní orgány.

### Odolnost ke stresovým faktorům

Semenné rostliny jsou evolučně podstatně pokročilejší organismy než mechy či lišejníky a kromě specifických úprav reprodukčního procesu mají celou řadu zvláštních prvků i ve stavbě a funkci svých vegetativních orgánů. Tyto inovace však v extrémně nepříznivých podmínkách nemusí být výhodou. Dokonale funkční kořeny, rychlé vnitřní transporty látek či důmyslné regulace výměny plynů jim sice za příznivých okolností umožňují využívat půdní zdroje a udržovat optimální zabezpečení orgánů vodou a živinami, ovšem v dlouhodobě zamrzlé půdě nejsou kořeny příliš užitečným „nástrojem“ k obstarávání

vody a minerálních živin. Také schopnost velmi účinně zadržovat vodu ve svých pletivech (což je současně i nutností, neboť nepřezíjí větší ztrátu vody) je sice výhodná pro prodloužení stavu plné fyziologické aktivity, ale současně činí tyto rostliny citlivější k některým stresovým faktorům, zejména k mrazu.

Dlouhodobě nízké teploty a častý výskyt mrazových dní i v letních měsících patří zřejmě k nejvýznamnějším faktorům omezujícím přežívání semenných rostlin v Antarktídě. Odolnost vůči mrazu není u těchto rostlin trvale vysoká, jak tomu bývá u mechů a lišejníků, ale mění se v závislosti na vnějších podmínkách. Aklimace k mrazu (otužování) je velmi složitý komplex vnitřních změn, které obvykle nejsou závislé jen na průběhu postupného snižování teploty, ale i na řadě dalších faktorů včetně vodního a radiačního režimu.

Velmi podrobné pokusy v tomto směru byly prováděny na několika výzkumných pracovištích v Chile (Bravo a kol. 2001, Bravo a Griffith 2005). Rostliny *Deschampsia antarctica* pěstované za vyšší teploty (+13 °C) byly vážně poškozeny již po krátkodobém zchlazení na -12 °C. Rostliny pěstované za nižší teploty (+4 °C) a za dlouhého dne tolerovaly působení mrazu až do -25 °C. Při kultivaci za nízké teploty a současně za krátké fotoperiody bylo zvýšení odolnosti k mrazu sotva poloviční. Uvedené aklimatické změny provázela zvýšená syntéza osmoticky aktivních látek (hlavně sacharózy, fruktanů a prolinu), jejichž obsah v buňkách se zvýšil o stovky procent. Neméně významná byla i tvorba velkého množství speciálních protimrazových proteinů (antifreeze proteins), které přisedají na krystalizační plochy vznikající v ledových krystalkách v buněčných stěnách a brání jejich růstu.

Rostliny druhu *Colobanthus quitensis* testované za stejných podmínek vykazo-

**3** Mladé rostliny antarktické metlice obvykle využívají k rychlému rozvoji organický substrát vytvořený porosty mechů (ostrov Galindez)

**4** Velmi vitální populace *C. quitensis* lze najít i v zasoleném šterkovém substrátu na mořském pobřeží (ostrov Krále Jiřího)





**5** Na šterkových terasách ostrova Krále Jiřího vytváří metlice *Deschampsia antarctica* rozsáhlé zapojené porosty  
**6** Oba antarktické druhy kvetoucích rostlin někdy rostou v těsné asociaci (ostrov Galindez)  
**7** Trsy *Colobanthus quitensis* se velmi často uchycují ve svislých skalních stěnách. Bez sněhové pokrývky jsou sice vystaveny většímu mrazu (až  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), zato mají značně prodlouženou vegetační sezonu s dostatkem záření pro fotosyntézu (ostrov Galindez)  
**8** Pomocí dlouhého kúlového kořene je schopna i mimořádně vyspělá rostlina *C. quitensis* o průměru asi 100 mm pevně zakotvit v úzkých skalních puklinách (ostrov Galindez). Snímky J. Glosera

valy překvapivě malou odolnost k mrazu – bez aklimace byly vážně poškozeny již za teploty  $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  a ani při pěstování za nízké teploty se odolnost výrazně nezvyšovala, došlo jen k posunu o necelé dva stupně. U rostlin tohoto druhu se působením chladu sice hromadily v buňkách jednoduché cukry, ale nedocházelo k syntéze fruktanů, prolinu, ani protimrazových proteinů. Odolnost vůči mrazu je u tohoto druhu totiž založena na zcela jiném mechanismu – udržování vody v podchlazeném (tedy stále tekutém) stavu i za teplot pod bodem mrazu. Toho lze dosáhnout

eliminací látek, které mohou působit jako krystalizační jádra. Tento mechanismus není nijak výjimečný, využívá ho celá řada dalších druhů z chladných oblastí, stejně tak jako u jiných skupin druhů probíhá tvorba protimrazových proteinů. Výsledky laboratorních testů sice ukazují na velké rozdíly mezi oběma druhy v odolnosti vůči mrazu, nicméně absolutní hodnoty letálních teplot je potřeba brát s rezervou. Šlo o rostliny pěstované v umělých podmínkách (v klimaboxech) a teplota při navozování aklimačních reakcí byla poměrně vysoká. Je velmi pravděpodobné, že za dalšího postupného snižování teploty při pěstování (i pod bod mrazu) a za částečné dehydratace rostlin (ke které v přírodě v průběhu zimy dochází) by odolnost obou druhů k mrazu byla vyšší. Měření sezonních změn odolnosti k mrazu u rostlin přímo v antarktických podmínkách by na tuto otázku mohla přinést odpověď. Pokud je nám známo, nikdo je však dosud neprováděl.

**Jakým směrem orientovat další výzkum?** Většina ze záplavy experimentálních prací realizovaných v posledních letech s oběma antarktickými druhy kvetoucích rostlin směřovala ke stále hlubší analýze odolnosti k mrazu a k některým dalším stresovým faktorům, a to na buněčné a molekulové úrovni. Jsou to práce prováděné

v laboratorních podmínkách na rostlinách pěstovaných v umělém prostředí. Významnost těchto prací pro rozšíření našich poznatků o obecně fyziologických mechanismech stresových reakcí lze sotva zpochybnit. Je ovšem otázkou, do jaké míry mohou výsledky prací vedených jen tímto směrem (v současné době všeobecně preferovaným), bez adekvátně rozvíjených terénních prací komplexního charakteru, pomoci při vysvětlování takových ekologických problémů, k jakým patří přežívání kvetoucích rostlin v Antarktidě. Dostačně vysoká odolnost k mrazu či k jiným stresovým faktorům je totiž pouze jistým minimálním předpokladem k přežívání rostlin v chladných oblastech, nikoli však jeho zárukou. Hynutí rostlin v přírodě nebývá příliš často náhlé, způsobené rychlým působením nějakého letálního vnějšího faktoru, ale častěji pozvolné, provázené zpomaleným růstem, omezeným množením a rychlým stárnutím, což obvykle souvisí s postupným úbytkem zásob vnitřních energetických zdrojů při dlouhodobě negativní uhlíkové bilanci. Tato bilance je výsledkem velmi složité souhry metabolických procesů jak základních (fotosyntézy, respirace), tak i mnoha dalších (např. způsobu alokace a využívání asimilátů k rozmanitým účelům), k jejichž poznání a syntetickému zhodnocení máme ještě u antarktických rostlin hodně daleko.



# Antarktické vegetační oázy

## 5. České výzkumné aktivity

**Antarktida bývá v popularizační literatuře obvykle představována jako nejchladnější, nejsušší, největrnější a nejizolovanější místo na Zemi. Ne vždy se ale v takovém výčtu superlativů také uvádí, že Antarktida je ze všech kontinentů nejméně vědecky prozkoumaná. Byla objevena relativně nedávno a z hlediska praktického využití alespoň některých jejích pobřežních oblastí nebyla nijak zvlášť zajímavá, což ostatně platí dodnes. Co je tedy v pozadí pozoruhodně velkého zájmu o poznávání Antarktidy v současné době? Proč se do badatelských prací zapojují i čeští vědci a jaký prospěch z toho vlastně budeme mít?**

Při hledání odpovědi na tyto otázky je potřeba si v první řadě uvědomit, že naprostá většina výzkumných prací prováděných v Antarktidě má charakter základního (nikoli tedy aplikovaného) výzkumu, který obvykle nelze hodnotit nějakým přímým finančním efektem. Velmi často také jde o práce, jejichž výsledky nemají pouze lokální platnost, ale jsou použitelné v mnohem širších souvislostech. To je vcelku zřejmé, pokud jde např. o modelování celoplanetárních systémů proudění vzduchu a mořské vody. Již méně si ale uvědomujeme, že antarktické výzkumy mohou být užitečné i pro řešení řady problémů na mnohem detailnější úrovni, např. při poznávání molekulární podstaty adaptace a evoluce jednotlivých skupin organismů. Souvislost mezi rostoucím zájmem o výzkumy v Antarktidě a potřebami expandujícího základního výzkumu je zcela zřetelná.

### Trochu historie

Se soustavným vědeckým bádáním v Antarktidě se začalo zhruba v polovině 20. stol. Hlavní výzkumné práce se zpočátku soustředily na poznání geologické stavby,

zalednění, fyzikálních procesů v atmosféře a biologie pobřežních vod. Studium teplotních ekosystémů bohužel nepatřilo mezi preferované výzkumné směry, což si lze do jisté míry vysvětlit malou atraktivitou druhově chudé flóry a fauny na nezaledněných místech, jejichž rozloha vzhledem k ploše celého kontinentu je vcelku zanedbatelná. Nicméně během několika desítek let se podařilo shromáždit údaje o výskytu hlavních zástupců autotrofních makroorganismů (mechů, lišejníků, kvetoucích rostlin) na většině významných lokalit a vyčlenit na jejich základě jednotlivé biogeografické oblasti.

Tato první průzkumná fáze probíhala vcelku nekoordinovaně a téměř bez naší účasti. Jedinou výjimkou byl výzkum antarktických řas a sinic, který již počátkem 60. let 20. stol. zahájil Jiří Komárek z Botanického ústavu tehdejší ČSAV. Od té doby se však mnohé změnilo. Přijetím dohod o mezinárodním statutu Antarktidy (Smlouva o Antarktidě z r. 1961 s řadou pozdějších dodatků) byla nejen zajištěna pro celý kontinent velmi přísná ochrana přírody, ale také vytvořena platforma pro mezinárodní vědeckou spolupráci. Koor-

dinací výzkumných aktivit byl pověřen nově ustavený výbor SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research). Současně v tomto období docházelo v biologických vědách i v ekologii k dramatickému metodickému pokroku (např. široká aplikace molekulárních metod, vývoj počítačem řízených aparatur pro terénní měření faktorů prostředí a fyziologických procesů, matematické modelování ekologických systémů aj.), což umožnilo koncipovat a realizovat interdisciplinární projekty na podstatně **vyšší** vědecké úrovni, než to dosud bylo možné.

Od poloviny 90. let zahajují i čeští vědečtí pracovníci komplexně pojatý výzkum v Antarktidě s finanční podporou Grantové agentury ČR a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy. Dlouhodobější charakter mělo řešení výzkumného záměru Ekologie pobřežní antarktické oázy v letech 1999 až 2005 na několika pracovištích Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně (Geografický ústav, katedra fyziologie rostlin, katedra analytické chemie a katedra organické chemie), při kterém se podařilo skloubit výzkum strukturálních i funkčních charakteristik biotických složek (zejména druhové diverzity, fixace uhlíku a stresových reakcí) v několika odlišných typech vegetačních oáz na západním okraji Antarktidy s dlouhodobým monitorováním klimatických a edafických faktorů.

I když při řešení komplexních projektů (našich i zahraničních) se kladl stále větší důraz na dynamiku procesů v ekosystémech vegetačních oáz, studium druhové rozmanitosti pokračovalo i nadále, zejména v nedostatečně probádaných taxonomických skupinách. Na monografickém zpracování antarktických jätrovek (*Marchantiophyta*) se z českých odborníků podílel Jiří Váňa z Přírodovědecké fakulty UK v Praze. Mimořádně významný z hle-

**1** Celkový pohled na rozsáhlé nezaledněné území v okolí české antarktické stanice v severní části ostrova Jamese Rosse. Poloha stanice je vyznačena červeným kroužkem

**2** Mapa Antarktického poloostrova a přilehlých ostrovů s červeně vyznačenými místy hlavního českého výzkumu vegetačních oáz. Orig. D. Nývlt



3 Instalace čidel a měřicí ústředny pro celoroční automatickou registraci mikroklimatu a radiačních toků v mechovém porostu (ostrov Galindez)

4 Meteorologická stanice a komory pro simulaci klimatické změny na náhorní terase ostrova Jamese Rosse  
- prosím doplnit popis

diska přínosu do pokladnice světové vědy byl (a stále pokračuje) detailní výzkum druhové rozmanitosti a příbuzenských vztahů ve společenstvech fototrofních mikroorganismů (řas a sinic), prováděný pracovníky Botanického ústavu AV ČR, v. v. i., a Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. O antarktických řasách a sinicích bude podrobněji pojednávat závěrečný díl tohoto seriálu.

### Ekofyziologický výzkum

V krajně nepřiznivých podmínkách Antarktidy mohou přežít jen organismy velmi dokonale přizpůsobené k současnému vlivu celé řady stresových faktorů. V předcházejících příspěvcích bylo stručně naznačeno, jakým způsobem této vysoké odolnosti dosahují. Jsou to především fyziologické mechanismy a k jejich podrobnějšímu poznání přispěla nemalou měrou i česká vědecká obec. Experimentální práce v tomto směru s významnými druhy antarktických mechů a lišejníků prováděl především kolektiv pracovníků katedry fyziologie rostlin Přírodovědecké fakulty MU v Brně, a to jak přímo v terénu, tak i v řízených laboratorních podmínkách. Koncepty jejich práce vycházela ze známé skutečnosti, že stresové působení všech faktorů prostředí na fotoautotrofní organismy se dříve či později projeví ve změnách ústředního metabolického procesu – fotosyntetické asimilaci  $\text{CO}_2$ , která spolu s respirací rozhoduje o jejich uhlíkové a energetické bilanci. Změny v rychlosti obou těchto procesů pod vlivem měnících se vnějších faktorů lze nejpřesněji určit z kontinuálního měření příjmu a výdeje  $\text{CO}_2$ , které se podařilo úspěšně provádět i v drsných antarktických podmínkách. Kromě sledování celodenních chodů výměny  $\text{CO}_2$  za klimaticky rozdílných dnů s cílem stanovení denní uhlíkové bilance se u stejných vzorků stanovovaly i „čistě“ funkční závislosti rychlosti fotosyntézy, tedy pouze na množství záření, na teplotě či na hydrataci asimilačních orgánů. Pozornost byla věnována také mezidruhovým rozdílům v časovém intervalu, za který došlo k úplnému obnovení funkčnosti asimilačního aparátu vyschlých stélek lišejníků a mechů po nasycení vodou. Získané výsledky poskytly cenné vstupní údaje pro připravované predikční modelové výpočty dlouhodobé uhlíkové bilance (a tedy i „prosperity“) jednotlivých druhů za různých scénářů možných změn klimatu, ale současně byly užitečným podkladem pro další analýzu nalezenných mezidruhových rozdílů v reakcích na jednotlivé stresové faktory či v rychlosti regenerace po jejich působení.

Pro tuto následnou hlubší analýzu byl s výhodou využíván principiálně odlišný biofyzikální přístup ke stanovení fotosyntetické aktivity, založený na analýze sig-



nálu indukované fluorescence chlorofylu (fluorometrie). Nasazení několika typů moderních aparatur pro tato měření (fluorometrů) v průběhu expedice do Antarktidy, společně s další špičkovou měřicí technikou pro monitorování mikroklimatických faktorů, hydratace a **spektrální reflektance** stélek lišejníků a mechů, umožnilo získat řadu unikátních výsledků, které vzbudily mezinárodní uznání. Z nich lze uvést např. sledování plošné heterogenity fotosyntetické aktivity korových lišejníků *in situ* (na skalnatém podloží) v průběhu denního hydratačního cyklu pomocí speciální fluorimetrické kamery vyrobené v brněnské vývojové firmě PSI, či přesné stanovení kritických hodnot **chemického potenciálu** vody ve stélkách lišejníků a v lístcích mechů, při kterých dochází k úplně inaktivaci fotosyntézy. Podařilo se též dokázat, že i u antarktických druhů lišejníků v hydratovaném stavu existuje reálné nebezpečí poškození asimilačního aparátu nadměrným slunečním zářením, k čemuž může dojít za jasných dnů u stélek smažených vodou z tajícího sněhu. Na terénní práce navazovaly laboratorní bio-

chemické analýzy vzorků vegetace, zejména stanovení obsahu asimilačních a ochranných pigmentů, ale také antioxidačních sloučenin, podmiňujících vysokou odolnost ke stresům.

### Výzkum vlivu dlouhodobých změn klimatu na vegetační oázy

Ve stále častějších debatách na téma globální klimatické změny se obvykle věnuje zvláštní pozornost polárním oblastem, kde by její projevy měly být velmi výrazné. I když dosud pozorované změny jsou na jižní polokouli menší než na severní (s výjimkou destrukce stratosférického ozonu), přesto existují, zejména pak ve vegetačně nejbohatší oblasti Antarktického poloostrova. Meteorologická měření prováděná na tamějších britských výzkumných stanicích dokumentují postupný vzestup průměrné teploty ve vegetačním období o více než  $1^\circ\text{C}$  za uplynulých 50 let a většina modelů globální cirkulace předpovídá pokračování tohoto trendu. Velmi dobře je zdokumentováno rozšiřování porostů obou antarktických druhů semenných rostlin v souvislosti se zvyšující se teplotou



**5 a 6** Náhlé zvraty počasí jsou v Antarktidě časté a značně komplikují terénní práce nejen botanikům. Na obrázku vlevo je okolí české stanice za hezkého letního dne, vpravo pak pohled na stejnou krajinu o několik dní později po náhlé sněhové bouři. Snímky J. Glosera

a zrychlené odtávání některých pobřežních ledovců.

Klimatické podmínky ve všech oblastech Antarktidy jsou nicméně pro terestrické organismy stále hraniční, tedy hodně vzdálené od optima, takže lze očekávat velmi silné reakce biotické složky ekosystémů na jakoukoli budoucí klimatickou změnu. Vzhledem k tomu, že terestrická společenstva jsou v Antarktidě velmi jednoduchá (z hlediska počtu druhů, plošné hustoty jedinců a životních forem), jsou jejich změny relativně snadno sledovatelné. K tomu přispívá i velmi malé množství vzájemných vztahů mezi organismy.

Zkoumání změn klimatu a jejich dopadu na terestrické ekosystémy lze provádět buď pouze observačně, tedy dlouhodobým monitorováním počasí v síti vhodně vybavených meteorologických stanic a současným sledováním změn populační dynamiky v trvalých plochách s reprezentativními vzorky rostlin, lišejníků a jiných organismů, anebo sledovat změny v těchto společenstvech po uměle navozených změnách mikroklimatu na vybraných ploškách. České výzkumné aktivity v Antarktidě zahrnují oba tyto přístupy. Automatické měřicí ústředny vybavené vhodnými čidly pro celoroční záznam lokálních klimatických charakteristik i mikroklimatu ve vegetační vrstvě jsou trvale instalovány jak na teplejší a srážkově bohatší západní straně Antarktického poloostrova (ostrov Galindez), tak i na ostrově Jamese Rosse, který leží ve srážkovém stínu. Zvláštní pozornost se věnuje registraci toků jednotlivých složek záření (ultrafialové, fotosynteticky aktivní, dlouhovlnné) a výpočtům radiační bilance, vycházejícím z režimu globálního a odraženého záření, a zahrnujícím i výměny energie v infračervené oblasti.

Při experimentálním přístupu ke studiu možného dopadu klimatické změny na biologické systémy se nejčastěji vybrané

plošky ohraničují nízkou stěnou z průhledného materiálu. Uvnitř těchto exopozičních „komor“ s otevřeným vrchem (open top chambers) bývá teplota dlouhodobě zvýšena ve srovnání s teplotou na srovnávací nechráněné plošce. Komory tohoto typu, vybavené trvalou registrací mikroklimatických faktorů, byly instalovány v uplynulých dvou letech i na několika odlišných částech ostrova Jamese Rosse. Zvýšení průměrné teploty v přízemní vrstvě vzduchu v jednotlivých komorách během první sledované vegetační sezony se pohybovalo od 1,6 do 2,5 °C. Rozdíly ve změnách vegetační pokrývky v komorách a na srovnávacích ploškách se budou průběžně vyhodnocovat v dalších letech.

### Česká antarktická stanice jako významný mezník v historii našich výzkumných aktivit

Soustavnou vědeckou práci v Antarktidě nelze provádět bez vazby na vhodně vybavenou terénní stanici. Značná část našich výzkumů byla realizována formou hostování na stanicích jiných států, především na ostrově Krále Jiřího a na ostrově Galindez. Získat souhlas s pobytem na cizích stanicích je však obtížné a poplatky za pobyt jsou dost vysoké. Hlavně však nelze dobře provádět dlouhodobě koncipovaný výzkum, protože jeho materiální zabezpečení pro víceleté období je obvykle nejisté. Především tato skutečnost vedla ke snahám vybudovat stanici vlastní. Přes mnohé problémy se získáním souhlasu signatářských států Smlouvy o Antarktidě, se zajištěním finančního krytí stavby a s výběrem vhodné lokality byla stanice v r. 2007 otevřena a pokřtěna jménem J. G. Mendela.

Česká výzkumná stanice je umístěna na pobřežní terase v severní části ostrova Jamese Rosse, který leží **východně** od Antarktického poloostrova. Celý ostrov je mimořádně zajímavý z mnoha hledisek (včetně výzkumu terestrických ekosystémů) a přitom dosud velmi málo probádaný. V blízkém okolí stanice se rozkládá rozsáhlé nezaledněné území o ploše několika desítek kilometrů čtverečních, tvořené jak sedimentárními horninami rozmanitého stáří, tak i horninami vulkanickými. Nalezeme tam i několik sladkovodních jezer

různého typu. Klimaticky jde o oblast s největší pravděpodobností značně sušší a chladnější ve srovnání s návětrnou stranou Antarktického poloostrova. S měřením klimatických faktorů se však teprve započalo, a tak nelze provést uspokojivé srovnání.

Vegetační pokrývka na odledněném území ostrova Jamese Rosse není zdaleka tak nápadná jako na ostrovech **západně** od Antarktického poloostrova, ovšem druhová bohatost je poměrně vysoká, což do značné míry souvisí s obrovskou rozlohou nezaledněných ploch. Proto se také v současné době upustilo od původního začlenění tohoto území do biogeografického celku druhově chudé kontinentální Antarktidy a bere se jako součást chladnějšího jihozápadního sektoru maritimní Antarktidy.

Celé území ostrova a širšího okolí je velmi atraktivní nejen pro botaniky a hydrobiology, ale i pro geology a klimatology, kteří dosud odvedli největší kus průzkumných prací. V dalších letech by byla velmi potřebná hojnější účast pracovníků i z jiných oborů, např. mikrobiologů a zoologů, na své by si přišli i paleontologové vzhledem k nezvykle velkému množství nalezišť fosilií. Vzhledem k substrátové rozmanitosti i k rozdílnému stáří hornin (které je dobře datováno díky podrobnému geologickému průzkumu) nabízí celá oblast jedinečné podmínky i pro studium tvorby půd, pedochemie a pedobiologie.

Lze jen doufat, že se podaří velmi slibně započaté výzkumné práce v nejzajímavější západní části Antarktidy, podpořené neobyčejně cenným zázemím české vědecké stanice, skloubit do ještě komplexnějších multidisciplinárních projektů a zabezpečit jejich kontinuitu stabilní systémovou formou správy a materiálního zabezpečení provozu stanice.

Závěrem bych rád čtenáře upozornil na internetový zdroj dalších informací o českých výzkumných aktivitách v Antarktidě (včetně mnoha fotografií a videonahrávek) na adrese: [www.national-geographic.cz/projekty/antarkticky-projekt](http://www.national-geographic.cz/projekty/antarkticky-projekt).