

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie



**Monika Kacerovská**

Endemismus v Antarktické oblasti  
Endemism in the Antarctic Region

Bakalářská práce

Školitel: RNDr. Linda Nedbalová, Ph.D.

Praha, 2014



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 22.8.2014

Podpis

## Poděkování

Ráda bych poděkovala zejména mě školitelce RNDr. Lindě Nedbalové, Ph.D. za její ochotu, rady a především za trpělivost, kterou se mnou měla. Chtěla bych poděkovat i své rodině, která mě podporovala v každé chvíli mého studia. Dále také děkuji Mgr. Kateřině Kopalové, Ph.D za to, že mě k tématu přivedla. V neposlední řadě bych také chtěla poděkovat svému koni Convoy za psychickou podporu.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je souhrnem poznatků o endemismu v Antarktické oblasti. První část je zaměřena na představení biogeografických oblastí Antarktidy a na faktory, které formovaly současnou diverzitu v terestrických a sladkovodních habitatech. Míru endemismu ovlivnila geologická historie, možnost přežívání v refugiích v dobách zalednění kontinentu a omezená dostupnost vhodných habitatů v kombinaci s malou pravděpodobností kolonizace z okolních kontinentů. Druhá část práce je věnována taxonomickému přehledu s důrazem na porovnání míry endemismu jednotlivých skupin. Závěr práce je věnován nástinu budoucnosti antarktické bioty, která je ovlivněna hlavně globálními změnami klimatu a přímými dopady lidské činnosti.

**Klíčová slova:** Antarktida, endemismus, taxonomický přehled, glaciální refugia, biogeografie

## **Abstract**

This bachelor thesis is an overview of endemism in the Antarctic Region. The first part is focused on the introduction of biogeographical regions in Antarctica and on factors that have formed the current diversity in terrestrial and freshwater habitats. The degree of endemism was influenced by geological history, survival possibilities in refuges during continental glaciations and limited habitat availability combined with low chance of colonisation from other continents. In the second part a taxonomic survey with focus on the comparison of the degree of endemism between individual groups is presented. The final part is devoted to an outline the future of the Antarctic biota, which is mainly affected by global warming and human activities

**Key words:** Antarctica, endemism, taxonomic survey, glacial refugia, biogeography

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BIOGEOGRAFICKÉ OBLASTI ANTARKTIDY</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ENDEMISMUS</b> .....	<b>6</b>
3.1	PODMÍNKY PROSTŘEDÍ .....	6
3.2	GEOLOGICKÝ VÝVOJ A EXISTENCE REFUGIÍ .....	7
3.3	ÚSPĚŠNOST KOLONIZACE .....	8
<b>4</b>	<b>TAXONOMICKÝ PŘEHLED</b> .....	<b>11</b>
4.1	BAKTERIE A ARCHEA .....	11
4.1.1	<i>Sinice</i> .....	12
4.2	ŘASY .....	14
4.3	LIŠEJNÍKY .....	15
4.4	HOUBOVÉ ORGANISMY .....	16
4.5	MECHOROSTY .....	17
4.6	SEMENNÉ ROSTLINY .....	17
4.7	ŽIVOČICHOVÉ .....	18
4.7.1	<i>Želvušky</i> .....	18
4.7.2	<i>Vířníci</i> .....	18
4.7.3	<i>Členovci</i> .....	19
4.7.3.1	<i>Korýši</i> .....	19
4.7.3.2	<i>Roztoči</i> .....	20
4.7.3.3	<i>Chvostokoci</i> .....	20
4.7.3.4	<i>Hmyz</i> .....	21
<b>5</b>	<b>BUDOUCNOST ANTARKTICKÉ BIOTY</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>25</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>27</b>

## 1 Úvod

Antarktida je chladný a nehostinný kontinent často označovaný také jako extrémní. Jedná se o nejchladnější, největrnější a nejizolovanější kontinent na Zemi. Je dvakrát větší než Austrálie a nachází se zde většina ledu na Zemi, proto je zásadní pro pochopení klimatu planety a oceánského proudění (Convey, 2011). Vzhledem k extrémním podmínkám prostředí je Antarktida charakterizována jako region s nízkým počtem druhů a s jednoduchými potravními řetězci (Chown and Convey, 2007).

Antarktická oblast se tradičně rozděluje do tří hlavních terestrických biogeografických zón: Subantarktida, maritimní a kontinentální (nebo chladná) Antarktida. I přes velice malou odledněnou plochu se v Antarktidě vyskytuje mnoho typů terestrických ekosystémů: od chladných pouští, nunataků, útesů a suťových polí, přes vlhké lokality s dominancí kryptogamické vegetace, až po husté porosty semenných rostlin, které najdeme v pobřežních oblastech Antarktického poloostrova (Convey, 2011). Sladkovodní habitaty zahrnují mělké mokřady („seepages“), kde se často vyskytují bohatá společenstva mechorostů, sinic a řas, potoky a širokou škálu typů jezer. Extrémní jsou subglaciální jezera, na opačném konci spektra jsou mělká jezera v maritimní oblasti, která mohou být poměrně produktivní (Prošek et al., 2013).

Kombinace geografické izolace, omezené dostupnosti a environmentálních extrémů činí z Antarktidy ideální místo pro výzkum v mnoha odvětvích. Týká se to i endemismu – tento termín se vztahuje ke skupině organismů, která je omezená svým výskytem pouze na určitou zeměpisnou oblast, v tomto případě na Antarktidu.

Podle dřívějších představ byl antarktický kontinent během glaciálů (včetně posledního glaciálního maxima) opakovaně celý pokryt ledem. Žádné organismy tedy neměly šanci tuto dobu přežít a po každém zalednění byla nutná rekolonizace z klimaticky příznivějších oblastí (Convey and Stevens, 2007). Současné biogeografické studie však prokázaly pozoruhodně vysoký stupeň druhového endemismu v rámci současné fauny a flory, a to jak v kontinentálním, tak regionálním měřítku (Convey and Stevens, 2007; Convey et al., 2008; Terauds et al., 2012).

Studie o sladkovodní i terestrické fauně a floře ukazují na historický původ řady druhů, což podporuje názor, že musely přežívat v izolaci až miliony let (Convey and Stevens, 2007; Newman et al., 2009). Přestože tedy antarktický kontinent opakovaně zažil kompletní zalednění, mnoho druhů přežilo tato období v refugiích (Fraser et al., 2014). Z toho vyplývá, že dnešní antarktická biota se skládá z kombinace reliktních druhů, které se v Antarktidě

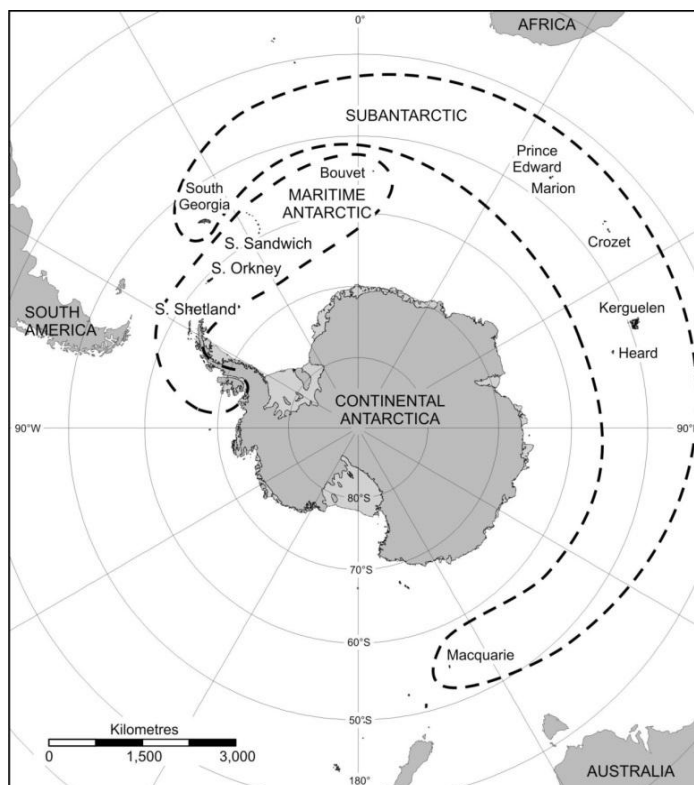
usadily před posledním glaciálním maximem a druhů, které v průběhu holocénu úspěšně kolonizovaly odledněné oblasti (Convey and Stevens, 2007).

Antarktické ekosystémy v současnosti přitahují pozornost také s ohledem probíhající oteplování, které jev posledních desetiletích výrazné zvláště v oblasti Antarktického poloostrova (Turner et al., 2005). Dalším faktorem, který již v některých oblastech pravděpodobně dosti výrazně ovlivňuje původní společenstva, jsou lidské aktivity spojené s turismem a s fungováním vědeckých stanic (Chown et al., 2012; Huiskes et al., 2014). Otázkou je, jak bude unikátní biota Antarktidy reagovat na tyto procesy.

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na (i) přehled faktorů, které formovaly současnou antarktickou biotu, (ii) shrnutí dosavadních poznatků o míře endemismu v Antarktické oblasti v rámci jednotlivých taxonomických skupin a (iii) otázku budoucnosti antarktické bioty v závislosti především na globálních změnách klimatu.

## 2 Biogeografické oblasti Antarktidy

Antarktida, pátý největší kontinent Země, se rozprostírá na území jižně od 60° jižní šířky. Antarktická oblast, je tradičně dělená do tří hlavních biogeografických oblastí (Obr. 1): subantarktická, maritimní a kontinentální Antarktida (Terauds et al., 2012). Vzhledem ke specifickým klimatickým podmínkám Subantarktidy bude v této práci hlavní důraz kladen na maritimní a kontinentální Antarktidu.



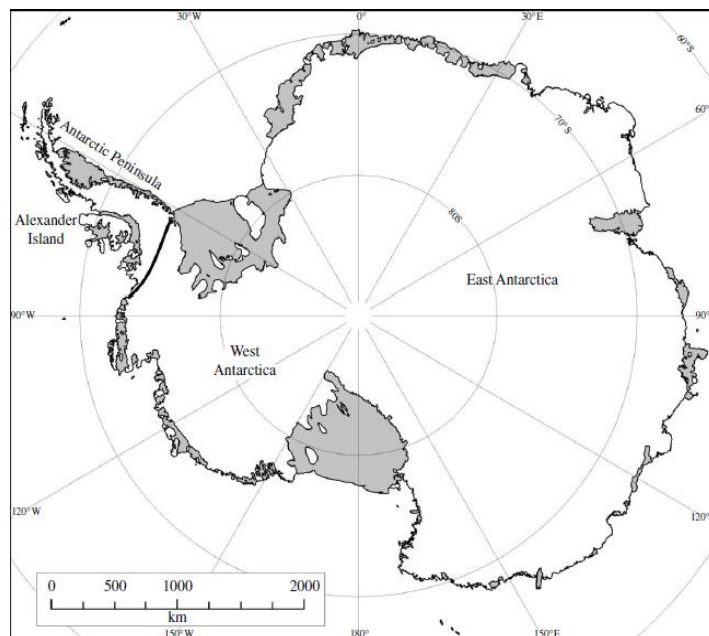
Obr. 1. Mapa Antarktického kontinentu a přilehlého Jižního oceánu, zobrazující biogeografické členění oblasti (Convey, 2010).

Maritimní Antarktida je oblast, zahrnující západní pobřeží Antarktického poloostrova po jižně položený Alexandrův ostrov, spolu s další skupinou ostrovů oblasti tzv. Skotského oblouku zahrnující Jižní Shetlandy, Jižní Orkneje, Jižní Sandwichovo souostroví a izolované ostrovy Bouvetøya a Peter I Øya (Peck et al., 2006). Všeobecně přijímaná klasifikace definuje maritimní oblast Antarktidy jako zónu zahrnující všechny zemské masy mezi 70° – 55° jižní šířky. Svým studeným klimatem ovlivněným oceánem je také nazývána Antarktidou studenou. Průměrná teplota zde vyšplhá nad bod mrazu pouze během čtyř měsíců. Roční

úhrn srážek se pohybuje mezi 350 až 500 mm vodního ekvivalentu. V této oblasti najdeme pouze dva druhy cévnatých rostlin. Naproti tomu jsou zde poměrně bohatě zastoupená společenstva mechorostů a lišejníků (Prošek et al., 2013).

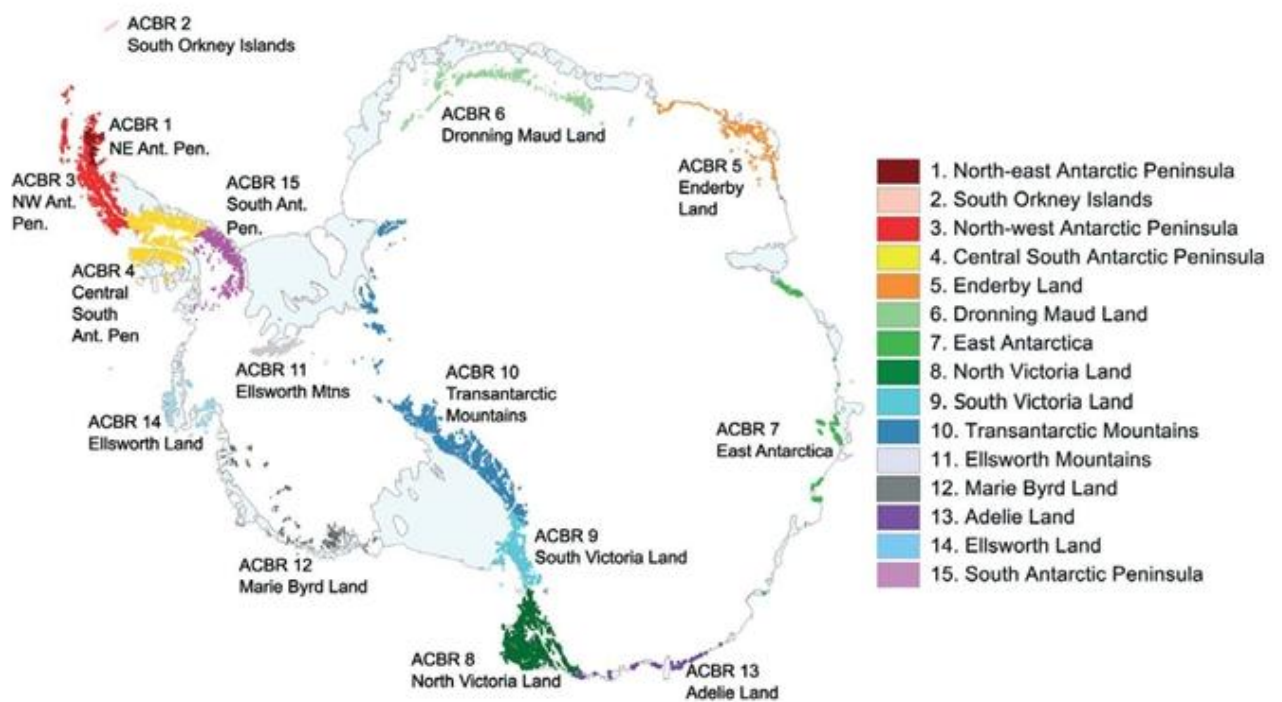
Kontinentální Antarktida je zdaleka největší z oblastí a zaujímá veškerou pevninu včetně východního pobřeží Antarktického poloostrova a jižní části Alexandrova ostrova (Prošek et al., 2013). Antarktický kontinent má rozlohu 45 milionů km<sup>2</sup> a pouze 2 % povrchu v létě nejsou pokryta ledem. Habitaty pro terestrické organismy jsou v této oblasti velice limitované a často extrémně izolované (Peck et al., 2006). Většina z těchto odledněných území jsou strmé a nepřístupné skály ve vnitrozemí tzv. nunataky. Největší odledněná oblast kontinentální Antarktidy se nachází v oblasti Dry Valleys ve Viktoriině zemi. Klima je zde velice drsné s průměrnými teplotami nepřekračujícími bod mrazu v žádném ročním období. Roční úhrn srážek zpravidla nepřesahuje 150 mm (Prošek et al., 2013).

Velmi významnou a starodávnou biogeografickou hranicí je takzvaná Gressittova linie nacházející se při bázi Antarktického poloostrova (Obr. 2), která odděluje maritimní a kontinentální oblast. Toto rozhraní svědčí o prastarých a rozdílných evolučních původech prvků bioty vyskytující se na obou stranách (Chown and Convey, 2007) a lze jej svým významem přirovnat k Wallaceově linii v JV Asii (Convey et al., 2008).



Obr. 2. Geografické dělení Antarktidy a poloha Gressittovy linie při bázi Antarktického poloostrova (Chown and Convey, 2006).

Nedávné studie ukazují na složitější biogeografické dělení Antarktické oblasti. Za použití nejkomplexnějších dostupných biologických údajů z terestrických habitatů v kombinaci s environmentálními daty bylo možné definovat 15 biologicky odlišných oblastí, takzvaných ACBRs (Antarctic Conservation Biogeographic Regions), zahrnující odledněné oblasti celého kontinentu a přilehlých ostrovů (Obr. 3) (Terauds et al., 2012).



Obr. 3. Mapa zobrazující 15 nově definovaných antarktických bioregionů (Antarctic Conservation Biogeographic Regions), které mají sloužit jako podklad pro strategii ochrany ekosystémů oblastí (Terauds et al., 2012).

Dalším možným typem dělení kontinentu čistě dle geografického hlediska je dělení na východní a západní část. Hranicí mezi východní a západní Antarktidou tvoří Transantarktické pohoří. Východní Antarktida má celkem pravidelný polokruhovitý tvar a nachází se zde přibližně 90 % ledu Antarktidy. Nezaledněné části představují zejména nunataky (skalnaté vrcholy hor, které vystupují z ledovce) a holé skály, které jsou charakterizovány specifickým ekosystémem „chalicosystem“, habitat z lithosolu, skály a šterku. Západní Antarktida je o poznání menší a zahrnuje také Antarktický poloostrov dosahující až k Jižní Americe (Prošek et al., 2013).

### **3 Faktory ovlivňující endemismus**

Současná biodiverzita v Antarktické oblasti je výsledkem působení mnoha faktorů, které působí na různých prostorových a časových škálách. Od rozpadu Gondwany prošla krajina i klima Antarktidy dramatickými změnami. V současnosti ji od ostatních oblastí světa odlišuje kombinace řady extrémů – extrémní izolace, extrémní periodická ztráta vhodných habitatů v souvislosti se zaledněním a extrémní selekční tlak v souvislosti s nízkými teplotami a nedostatkem kapalné vody. Výsledkem působení těchto faktorů je velmi nízká diverzita na druhové úrovni spojená s vysokou mírou endemismu u některých skupin organismů (Bergstrom et al., 2006).

#### **3.1 Podmínky prostředí**

Antarktida je území ovládané ledem (Allegrucci et al., 2012). Jedná se zároveň o nejizolovanější pevninu na Zemi (Morgan-Kiss et al., 2006).

Díky dlouho-trvající izolaci a extrémním podmínkám se v Antarktidě vyskytují ekosystémy s velice jednoduchou strukturou (Cannone et al., 2013). Antarktický kontinent je nejchladnější, nejsušší a zároveň největrnější kontinent na planetě Zemi. Veškerý život je tedy omezen na několik málo odledněných území, která ale zabírají pouze méně než 2 % plochy kontinentu (Robinson et al., 2003). Antarktické suchozemské ekosystémy jsou vystaveny mnoha stresovým vlivům prostředí a pocíťují některé z nejextrémnějších podmínek pro život na Zemi. Klimatické podmínky jsou zde drsnější než na stejných zeměpisných šířkách severní polokoule. Jsou charakterizovány nedostatkem vody v kapalném skupenství, nízkými teplotami, vysokými intenzitami viditelného UV záření, krátkou vegetační dobou, silně sezónním klimatem, neustálým světlem uprostřed léta a velice častými a silnými větry. V takových podmínkách je zcela přirozené, že organismy jsou vystaveny více stresovým faktorům najednou (Robinson et al., 2003). Kombinace nízkých teplot a stálého světla je pro organismy jedním z nejvíce škodlivých stresových faktorů (Dolhi et al., 2013). Vegetace je proto na fyziologických mezích přežití a v důsledku toho i drobné změny růstových podmínek budou mít pravděpodobně velký dopad. Kromě pobřežních útesů a horských hřebenů je většina habitatů pod stálou ledovou příkryvkou, která je sice ochraňuje před extrémními teplotami a větrnou abrazí, ale zároveň neumožňuje rozvoj vegetace a následně dalších organismů. Možná aktivita pod ledem na kontinentu je omezena pouze na týdny či dokonce jen dny v roce. Na relativně vlidnějším Antarktickém poloostrově a souostroví Scotia Arc se aktivní doba pro růst pohybuje mezi třemi až pěti měsíci. Půda je chudě vyvinutá, nestabilní a

ovlivněna aktivitou ledového tání s nízkým organickým obsahem. Hnědé půdy s vyšším obsahem organické složky se vyskytují velmi omezeně, a to pouze na lokalitách dvou druhů semenných rostlin v maritimní Antarktidě (Convey et al., 2008).

### **3.2 Geologický vývoj a existence refugií**

V době, kdy byla ještě součástí superkontinentu Gondwany, měla Antarktida klima podobné dnešním subtropickým oblastem (Morgan-Kiss et al., 2006). Během časného kenozoika se Gondwana začala rozpadat a zformovala se první významná bariéra pro pohyb terestrických druhů (McLoughlin, 2001). Antarktida je od ostatních kontinentů jižní polokoule izolována od doby vzniku Drakeova průlivu a Antarktického cirkumpolárního proudu, přinejmenším tedy 28 milionů let (Lawver and Gahagan, 2003). Tento proud, který oddělil Jižní oceán od ostatních hlavních oceánů tzv. antarktickou konvergencí, je největším mořským proudem na Zemi a hraje významnou úlohu v klimatickém systému celé planety. Izolace Antarktidy od okolního světa přispěla jak k vlastnímu zalednění, tak ke globálnímu ochlazení (Morgan-Kiss et al., 2006).

Významnou roli ve formování současného druhového složení hrál také odlišný vývoj Antarktického poloostrova, který ještě do poměrně nedávné geologické minulosti souvisel s jihoamerickým kontinentem a vznikl spojováním jednotlivých ostrovů (Prošek et al., 2013). Odrazem těchto dávných procesů je již zmiňovaná Gressittova linie, která rozděluje druhové složení Antarktického poloostrova od zbytku kontinentu na úrovni řady taxonomických skupin (Chown and Convey, 2006).

Změny klimatu hrají dlouhodobě důležitou roli v evoluci a ve struktuře biodiverzity na Zemi (Fraser et al., 2014). Paleobiologické přístupy odhalily, že antarktická terestrická, mořská i sladkovodní fauna byla dlouhodobě schopna přežívat v glaciálních refugiích (Newman et al., 2009). Ačkoliv je antarktická fauna chudá, fosilní nálezy potvrzují, že terestrická a sladkovodní společenstva přežívala v Transantarktickém pohoří až do nedávné doby. Taxony takto přežily zalednění v období středního pliocénu a dokonce i nedávné doby ledové v pleistocénu (Pugh and Convey, 2008). Nedávné studie ukázaly dávný původ velké řady druhů a potvrzují přežívání v izolaci více než desítky milionů let (Newman et al., 2009). Otázkou je, kde hledat vhodná refugia. Například kryokonitové jamky na povrchu ledovců mohou působit jako útočiště pro vodní i suchozemské mikroorganismy. V oblasti McMurdo Dry Valleys (kontinentální Antarktida) jsou tyto jamky často trvale pokryty ledem, zabraňující výměně materiálu a plynů s okolní atmosférou a vodním prostředím (Stanish et al., 2013). Tyto kryokonitové jamky jsou pouze přechodné, ale na podobném základě mohou

fungovat i dlouhodobá refugia. Geotermální aktivita, která může udržet zemský povrch bez ledu i v ledovcových oblastech, poskytuje další možné řešení pro přežívání organismů během zalednění. Několik na sobě nezávislých studií navrhlo možnost, že geotermální oblasti mohly fungovat jako dlouhodobá refugia pro řadu druhů v průběhu zalednění. Toto bylo navrženo například pro mechorosty na Jižních Sandwichových ostrovech (maritimní Antarktida) (Convey et al., 2000; Fraser et al., 2014). Terestrická vegetace v Antarktidě je převážně složena z kryptogamických rostlin. Dřívější studie rozdělovaly floru dle dvou lokalit výskytu, s vlivem geotermálního oteplování a bez něho. Na lokalitě bez vlivu oteplování se vyskytovala flora podobná jako v maritimní Antarktidě. V opačném případě byla zdokumentována flora unikátní pro Antarktidu (Convey et al., 2000).

Dalším možným způsobem přežívání glaciálů je přesídlování z jednoho kontinentálního útočiště do jiného. Mořský bentos mohl tento způsob využívat díky diachronicitě při změnách ledové pokrývky podél antarktického šelfu (Convey et al., 2008). Přímý důkaz o přežívání starobylé fauny je dostupný pro sladkovodní habitaty. Některá jezera přetrvávala i v průběhu posledního glaciálního maxima (Newman et al., 2009). Pozůstatky fauny v sedimentech jezera Reid ve východní Antarktidě dokazují, že např. perloočka *Daphniopsis studeri* Rühle a vířník *Notholca* sp. se zde trvale vyskytovali minimálně během posledních 130 000 let (Cromer et al., 2006). Toto byl první přímý důkaz o existenci pevninského jezerního refugia během posledního glaciálního maxima (Gibson and Bayly, 2007).

Nejen jezera, ale také nunatoky ukazují, že jejich fauna patří mezi potenciální přežívající staré taxony. Některé kontinentální nunatoky a pohoří skrývají důkazy o refugiální fauně zahrnující některé endemické druhy chvostoskoků a roztočů. Nejvýznamnější z tohoto hlediska je endemická čeleď pancířkovití (Maudheimiidae), jejíž zástupci se vyskytují ve východní Antarktidě (Convey et al., 2008). Má se za to, že tato čeleď zde trvale obývá horské oblasti minimálně od doby rozpadu superkontinentu Gondwany (Marshall and Coetzee, 2000). Je zřejmé, že některé oblasti kontinentální Antarktidy byly trvale odledněné minimálně od konce miocénu (Boyer, 1979).

Lze shrnout, že pro řadu taxonomických skupin existují doklady o přežívání v terestrických či sladkovodních refugiích minimálně z období před posledním glaciálním maximem (Obr. 4).

### 3.3 Úspěšnost kolonizace

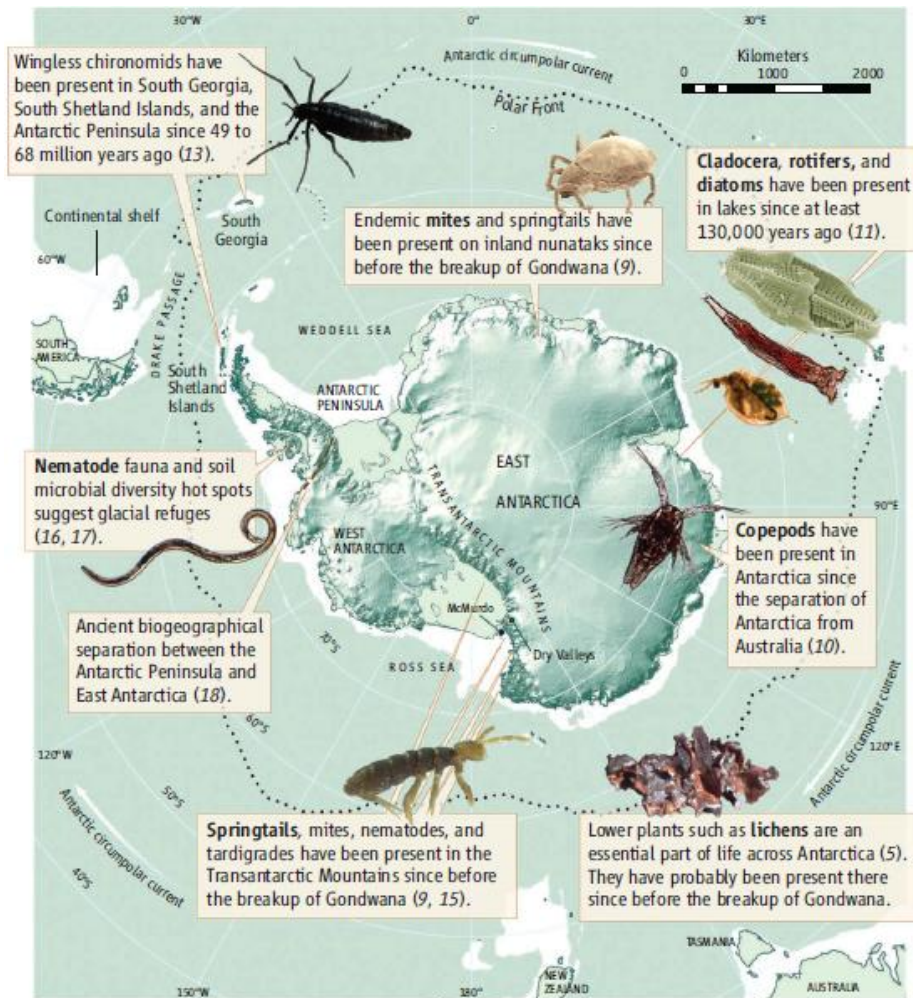
Kombinací vzniku Jižního oceánu a atmosférické cirkulace podél Antarktidy se zformovala efektivní bariéra pro kolonizaci terestrickými organismy. Přirozená kolonizace se

stala proto velmi vzácnou (Barnes et al., 2006). Mořské, stejně jako terestrické prostředí mohou v závislosti na typu kolonistů představovat značné překážky pro pohyb jednotlivých druhů. Hranice antarktické konvergence a Antarktického cirkumpolárního proudu v Jižním oceánu je zvláštním případem, protože překonat tuto přírodní bariéru je veliký problém. Přesto jsou však druhy stále v pohybu. Ve vzduchu, ve vodě, na jiných organismech a v posledních několika stoletích také na vektorech spojených s lidskou činností (Barnes et al., 2006). Původní prostředí Antarktidy, převážně povrch ledovců, vyžadovaly kolonizaci autotrofními organismy pro zformování základu současného ekosystému. Ve většině ekosystémů roli těchto prvních kolonizátorů zastali fotosyntetizující organismy, které fixovaly uhlík a poskytovaly organické látky nezbytné pro organismy na vyšších trofických stupních. V polárních oblastech tuto roli plnily sinice a řasy. V případě prvních kolonizátorů musely být propagule přenášeny větrem, vodou nebo přenosem na živočiších (Marshall and Chalmers, 1997).

Nedávné studie také dokazují, že relativně menší vzdálenost k oblastem s mírnějším klimatem, jako je například Jižní Amerika, a častější příznivé vzdušné proudy mají za následek vyšší druhovou diverzitu propagulí v maritimní Antarktidě v porovnání s kontinentální Antarktidou. Endemismus je proto pravděpodobnější v kontinentální Antarktidě, kde například kryptogamické organismy mohou představovat reliktní flóru, která přežila v refugiích bez ledu (Ellis-Evans and Walton, 1990). Mimo nunataků, které poskytovaly útočiště pro malé reliktní populace, byla většina povrchu Antarktidy během ledových dob zcela zbavena fauny i flory. Taková kombinace okolností je pravděpodobně jedinečná v celosvětovém měřítku a činí proto z Antarktidy zvláště vhodný objekt pro studium kolonizačních procesů (Ellis-Evans and Walton, 1990).

Kolonizace je složitý a různorodý proces, který ale může být rozdělen dle čtyř hlavních složek: Životaschopné propagule, vhodné transportní mechanismy, přijetí nového mikro stanoviště a úspěšný růst a rozmnožování. Je pravděpodobné, že kolonizující propagule musí být upraveny pro účinné šíření. Bez této strategie by neměly velkou šanci na dosažení nového habitatu. Druhým obecným rysem pro úspěšnou kolonizaci je fenotypová flexibilita. Tedy nejen schopnost existovat, ale také úspěšně růst a rozvíjet se na řadě stanovišť. Tato flexibilita umožňuje organismu rychle reagovat a vyprodukovat odolné stádium, které vydrží i přes nepříznivé podmínky. Za další důležitou vlastnost pro úspěšnou kolonizaci se považuje schopnost kolonizátora volně se reprodukovat (vegetativní, asexuální, sexuální) ve vhodných podmínkách prostředí. Diverzita přichozích propagulí je ale větší než druhová rozmanitost v současné maritimní Antarktidě, jak na souši, tak ve sladkovodních habitatech. Tím se

potvrzuje, že mnoho z kolonizujících propagulí nemají vhodné vlastnosti pro úspěšnou kolonizaci. Typickým příkladem je okřídlený hmyz. V nejméně frekventované cestě pro kolonizátory, tedy vzdušným prouděním, je okřídlený hmyz omezen tím, že nemůže létat v teplotách pod nulou (Wellington, 1945).



Obr. 4. Organismy vyskytující se v Antarktidě před posledním glaciálním maximem (Convey and Stevens, 2007).

## 4 Taxonomický přehled

Antarktida byla relativně izolována od zbytku světa od doby rozpadu Gondwany a později vytvořením antarktické konvergence. Geografická izolace Antarktidy v kombinaci s extrémními podmínkami prostředí činí tento kontinent ideálním místem pro hledání endemických organismů (Ruisi et al., 2007).

Biota Antarktického poloostrova a kontinentální Antarktidy vykazuje neobyčejnou diskontinuitu a zároveň vysoký stupeň regionálního endemismu. I když existují mnohé taxonomické nejasnosti a značné mezery v datech, je zřejmé, že mnoho skupin vykazuje vysokou úroveň endemismu (Convey et al., 2008). Míra endemismu je nejvyšší u členovců a řas, nižší u želvušek a vírníků a pravděpodobně nejnižší je u prvoků, houbových organismů a mechorostů (Richard et al., 2006). Výskyt dnešní terestrické a sladkovodní fauny i flóry je omezen na odledněné území o rozloze méně než 2 % pevniny rozkládající se většinou při pobřeží (Newman et al., 2009). Terestrická fauna se skládá z bezobratlých, jako jsou například členovci, prvoci, atd. Hmyz představují pouze dva druhy vyskytující se v maritimní Antarktidě. Zatím není znám záznam hmyzu z kontinentální Antarktidy. Druhá diverzita je nízká u všech skupin, potravní sítě jsou jednoduché a jsou tvořeny detritovory a mikroby s malým přispěním pravých herbivorů a predátorů (Morgan-Kiss et al., 2006).

Sladkovodní fauna má obdobně jednoduchou strukturu jako terestrická. Jsou zde zastoupeni klanonožci (např. *Boeckella poppei* Mrázek), žábřonožky, perloočky, pakomáři a další skupiny. Příznivé habitaty maritimní Antarktidy a v omezené míře i omezené odledněné oblasti kontinentální Antarktidy, hostí společenstva lišejníků a mechorostů. Semenné rostliny jsou zastoupeny pouze dvěma druhy (*Deschampsia antarctica* Desv. a *Colobanthus quitensis* Kunth), přičemž oba druhy se vyskytují na Antarktickém poloostrově nebo na okolních ostrovech (Jižní Shetlandy) (Convey et al., 2008).

Následující text představuje nekompletní přehled jednotlivých taxonomických skupin vyskytujících se v maritimní a kontinentální Antarktidě. Vybrány byly především skupiny, u nichž existují data umožňující posouzení míry endemismu.

### 4.1 Bakterie a archea

Prokaryotické organismy dominují většině antarktických ekosystémů (Battaglia et al., 1997). Kolonizují také slaná jezera, anaerobní prostředí jezerních hypolimnií, anaerobní sedimenty, solné kanálky v ledu, termální půdy, skály či povrch trávicího ústrojí většiny antarktických organismů (Wynn-Williams, 1990). Hrají velice důležitou roli v potravních

řetězcích a v biogeochemických cyklech. Klasifikace prokaryot ale stále vyžaduje funkční či fenotypické popisy pro ucelení taxonomie, biochemických a ekologických rolí (Battaglia et al., 1997).

Z 10 antarktických jezer v oblasti Vestfold Hills (Lakes Ace, Druzhby, Grace, Highway, Pendant, Organic a Watts), Larsemann Hills (jezero Reid) a McMurdo Dry Valleys, bylo izolováno 746 kmenů heterotrofních bakterií ze vzorků mikrobiálních nárostů (Van Trappen et al., 2002). Bakterie nalezené ve vzorcích nárostů z kontinentální Antarktidy a z Antarktického poloostrova náležely do pěti hlavních kmenů: Actinobacteria, Bacteroidetes, Proteobacteria, Firmicutes, Deinococcus-Thermus a objevovaly se i nové druhy. Při srovnání se sekvencemi z jiných oblastí světa se ukázalo, že značná část těchto druhů (36,9 %) (Peeters et al., 2012) je v současné době známa pouze z Antarktidy. Konkrétně se jednalo o kmeny ze skupin Bacteroidetes a Deinococcus-Thermus (kontinentální Antarktida), které nemají podstatné shody s jinými kmeny dosud známými z jiných oblastí. Kmen *Deinococcus-Thermus* se vyskytoval jak v terestrických tak ve sladkovodních vzorcích. Mezi rody s největším druhovým zastoupením patřily rody *Arthrobacter* a *Hymenobacter*. Dále se zde s klesajícím zastoupením se vyskytovaly rody *Brevundimonas*, *Flavobacterium*, *Polaromonas*, *Psychrobacter*, *Massilia*, *Sphingopyxis*, *Sphingomonas* a *Deinococcus*. Relativně vysoká diverzita může být vysvětlena tím, že většina vzorků pocházela z Antarktického poloostrova, který má mnohem příznivější podmínky pro život, než zbytek kontinentu (Peeters et al., 2012). V kontrastu s předchozími studii byla při porovnání jezer v Antarktidě a v Arktidě zjištěna vysoká míra podobnosti bakterioplanktonu v obou oblastech – byly zde zaznamenány identické sekvence a zdá se, že dominantní skupiny jsou totožné (Pearce et al., 2007). Je zřejmé, že celkové posouzení míry endemismu bakterií v Antarktidě není dosud možné.

Archea byla nalezena v zamrzlém jezeře Fryxell (Mc Murdo Dry Valleys). Dvě skupiny metanogenních organismů a skupina zřejmě metanotrofních Euryarchaeota se vyskytovaly v anoxickém vodním sloupci, těsně nad sedimenty. Jeden kmen, Crenarchaeote, byl nalezen ve vodě těsně pod hranicí výskytu kyslíku. Tato Archea jsou pravděpodobně zapojena do tamních biogeochemických cyklů (Karr et al., 2006). Informace o míře endemismu však vzhledem k nedostatku dat o rozšíření této skupiny chybí.

#### 4.1.1 Sinice

Sinice (Cyanobacteria) hrají významnou roli v polárních sladkovodních a terestrických ekosystémech (Genuário et al., 2013). Během antarktického léta se významná fotoautotrofní společenstva s dominantními sinicemi rozvíjejí v mělkých mokřadech (tzv. „seepages“)

v odledněných oblastech maritimní Antarktidy. Tato společenstva, představující jedinečnou biocenózu důležitou v procesech terestrické sukcese se jeví jako endemická pro pobřežní oblasti Antarktidy z hlediska sezónnosti, druhového složení a charakteristické struktury nárostů (Komárek and Komárek, 2003). Jedním z nejstudovanějších habitatů maritimní Antarktidy jsou jezera s minimálním množstvím specifických druhů, ale s vysokou dominancí několika málo druhů. Dalším habitatem, který není druhově příliš různorodý, jsou potoky. Ty jsou oproti mokřadům charakterizovány jako habitaty s vysokou disturbancí a s relativní hojností živin (Komárek and Elster, 2008).

Na základě tzv. polyfázického přístupu, tj. kombinace molekulárních a morfologických dat bylo zjištěno, že antarktické ekosystémy jsou osídleny jak endemickými, tak kosmopolitními druhy sinic (Genuário et al., 2013). Současné studie sinicové flóry prokázaly, že vysoké procento druhů je neznámých z jiných regionů (Komárek and Komárek, 2009). Výzkum diverzity sinic z jezer ve východní Antarktidě ukázal, že na základě molekulárních dat téměř 60 % tvořily potenciálně endemické druhy, které tak byly hojnější, než bylo možné odhadnout pomocí morfologických metod (35 %). Zhruba dvě třetiny z nich představovaly dosud neznámé taxony. Počet endemických druhů se tak stále zvyšuje (Taton et al., 2006). Podle současných odhadů se více než 150 endemických druhů nachází v kontinentální Antarktidě. Toto číslo ale zdaleka není konečné, protože velké množství ekotypů stále čeká na prozkoumání a popsání jejich taxonomické diverzity (Komárek and Komárek, 2009). Mezi endemické druhy patří například *Geitlerinema deflexum* West & West (jezero Reid, Larsemann Hills), *Leptolyngbya antarctica* West & West (nalezena ve vzorcích z více jezer, například v jezeru Ace, Vestfold Hills) nebo *Oscillatoria subproboscidea* West & West (jezero Reid, Larsemann Hills).

V Antarktidě se hojně vyskytuje důležitý typ extremofilních společenstev složený z endolitických organismů, zahrnujících sinice, v menší míře houbové organismy a řasy utvářející společenství s lišejníky. Kryptoendolitická společenstva se vyskytují pod povrchem kamenů vysoko v horách, nebo jako nárosty pod ledovou pokrývkou trvale zamrzlých jezer (Friedmann and Ocampo, 1976). Tam, kde většina organismů nemůže přežít, dominuje kryptoendolitická jednobuněčná sinice *Chroococcidiopsis* Geitler, jeden z nejprimitivnějších organismů (Banerjee et al., 2000). Další organismy adaptované na tyto extrémní životní podmínky patří do rodu *Gleocapsa*, což je další z kryptoendolitických rodů v Antarktidě (Friedmann and Ocampo, 1976).

## 4.2 Řasy

Řasy jsou vedle sinic v antarktických terestrických habitatech dominantními organismy, jak pokud jde o biomasu, tak pokud jde o druhovou diverzitu (Elster and Benson, 2004). V antarktickém izolovaném ekosystému hrají velice důležitou roli v koloběhu živin v půdě a díky fotosyntéze jsou zdrojem organické hmoty (Tscherko et al., 2003). Podobně jako u jiných skupin existují, pokud jde o jejich původ, dvě možnosti - mohly se rozšířit do Antarktidy z ostatních kontinentů, nebo mohou být pro Antarktidu endemické (Rybalka et al., 2009). V současné době existují záznamy o více než 300 taxonech řas náležejících do těchto skupin: Chlorophyta, Heterokontophyta (Bacillariophyceae, Xanthophyceae a Chrysophyceae), Dinophyta, Cryptophyta a Euglenophyta, přičemž první dvě skupiny představují více než 97 % veškeré flory řas v Antarktidě (Richard et al., 2006). Například na ostrově Livingston (Jižní Shetlandy, maritimní Antarktida) bylo nalezeno 302 taxonů náležejících do 106 rodů ze skupin: Bacillariophyta, Ochrophyta a Chlorophyta (ostatní náležely do Cyanoprokaryota). Rozsivky (156 druhů) patřily v této oblasti mezi druhově nejbohatší skupiny. Následovaly skupiny Chlorophyta (43 druhů) a Ochrophyta (16 druhů) (Zidarova, 2008). Ve Viktoriině zemi bylo nalezeno 63 taxonů náležejících do 3 hlavních skupin: Chlorophyta (46 %), Xantophyta (14,3 % a Bacillariophyta (4,8 %) (zbytek, 34,9 %, tvořili sinice) (Cavacini, 2001).

Jednou z nejrozšířenějších a druhově nejbohatších skupin v terestrických a sladkovodních ekosystémech v Antarktickém regionu jsou rozsivky (Vyverman et al., 2010). Rozsivky zde mají řadu důležitých rolí: Jsou významnými primárními producenty a jsou také využívány v paleolimnologii při sledování klimatických změn (Sabbe et al., 2003). Jejich charakteristickým znakem je specifická křemičitá schránka, zvaná frustula, která poskytuje velké množství ultrastrukturálních znaků na jejichž základě je založena tradiční morfologická klasifikace (Round et al., 1990). Díky tomu jsou znalosti o rozšíření druhů rozsivek v porovnání s ostatními skupinami řas podstatně rozsáhlejší.

Moderní studie ukazují, že antarktická společenstva rozsivek mohou být charakterizována jako vysoce endemická. Na základě analýzy 250 vzorků z různých typů habitatů (jezera, potoky, mělké mokřady a mechy) poloostrova Byers na ostrově Livingston a poloostrova Ulu na ostrově Jamese Rosse byla popsána poměrně bohatá rozsivková flóra složená ze 178 druhů zastupujících 43 rodů. Téměř 60 % druhů bylo možné označit jako endemické pro Antarktickou oblast, přičemž většina z nich byla charakteristická pouze pro maritimní Antarktidu (Kopalová, 2013). V oblasti Larsemann Hills (východní Antarktida) endemické druhy tvořily asi 40 % všech sladkovodních a brakických taxonů, zatímco

rozšíření zhruba 26 % druhů je neznámé především kvůli jejich nejisté taxonomické příslušnosti (Sabbe et al., 2003). Největší druhovou diverzitu v Antarktické oblasti má rod *Luticola*, zatímco nejrozšířenější je rod *Pinnularia*, který má nejvyšší počet druhů na ostrově Livingston (Kopalová, 2013). Vzorky z písčitých biofilmů v antarktických potocích také obsahují vysoký podíl endemických druhů. Při výzkumu prováděném na začátku jižního léta se ukázala velmi malá závislost druhového složení na typu substrátu a výrazná dominance endemických druhů (Pla-Rabes et al., 2013). Do dnešního dne však existuje jen malé množství rozsáhlejších molekulárních studií, které jsou nutné pro posouzení míry endemismu řasových kmenů (Wever et al., 2009) popsali ve vzorcích z antarktických jezer diverzifikovanou floru zelených mikroskopických řas a označili ji za endemickou. Problémem této interpretace ale může být nedostatečné množství sekvencí z jiných oblastí světa.

### 4.3 Lišejníky

Vegetace lišejníků se může vyskytovat za předpokladu splnění dvou hlavních požadavků: První a nejdůležitější předpoklad je dostupnost vody (roztátý sníh, rosa, vlhkost z mraků) (Richard et al., 2006). Lišejníky jsou aktivní, pouze pokud jsou vlhké, v suchém stavu mohou naopak odolávat i nejextrémnějším podmínkám Antarktidy. Druhým předpokladem je ochrana proti odírání navátými částicemi ve vzduchu (korové lišejníky jsou mnohem více odolné než keříčkovité či lupenité) (Ruprecht et al., 2012). Na základě současných odhadů se v Antarktidě nachází přibližně 260 druhů lišejníků, přičemž 38% druhů je endemických. Avšak tyto údaje se budou pravděpodobně v blízké budoucnosti měnit jako výsledek rozvíjejícího se lichenologického výzkumu (Battaglia et al., 1997). V nejnovějších studiích o lišejnících lecideovitého typu, zahrnujících Lecideaceae a Lecanoraceae, je uváděno, že 75 % těchto druhů lišejníků je endemických pro kontinentální Antarktidu. Mezi tyto druhy patří například *Carbonea* sp., *Lecanora fuscobrunnea* C.W.Dodge & G.E.Baker, *Lecanora physciella* Darb., Hertel a *Lecidella greenii* U.Ruprecht & Türk, *Rhizoplaca macleanii* (C.W.Dodge) Castello (Ruprecht et al., 2012). Přibližně 40 % flóry lišejníků z odlehlých a geologicky mladých Jižních Sandwichových ostrovů se skládá z druhů endemických pro Antarktidu. Z toho vyplývá, že antarktický kontinent mohl být zdrojem kolonizujících propagulí v průběhu pleistocénu. Touto skutečností se dá vysvětlit i vysoký stupeň endemismu flory lišejníků v kontrastu s nízkým stupněm endemismu u mechorostů (Convey et al., 2000, 2008). Taxonomie lišejníků je stále nejasná a znalosti rozšíření druhů v Antarktidě nejsou zdaleka kompletní (Battaglia et al., 1997). Je však zřejmé, že mezi nejrozšířenější a nejhojnější rody lišejníků patří *Usnea* ze skupiny Neurospogon. Čtyři

nejdůležitější druhy, *U. antarctica* Du Riet, *U. aurantiaco-atra* Jacq., Bory, *U. sphacelata* R. Br. a *U. subantarctica* F.J. Walker, byly dosud popsány pouze na základě morfologických dat (Seymour et al., 2007).

#### 4.4 Houbové organismy

Houbové organismy se snadno šíří, jsou schopné kolonizovat velmi širokou škálu substrátů a odolat rozdílným podmínkám prostředí (Ruisi et al., 2007). Antarktická mykobiota je diverzifikovaná v závislosti na rozdílech v místním klimatu a půdě. Přítomnost ptačích kolonií, bezobratlých populací a vegetace stejně jako geografická pozice ovlivňují výskyt a hojnost mikroskopických hub. Na základě současných omezených dat se zdá, že relativně málo houbových organismů je endemických pro Antarktidu (Möller and Dreyfuss, 1996). Jedná se například o rod *Friedmanniomyces* Onofri (popsán jako vůbec první houbový endemický druh v Antarktidě (Onofri et al., 2000), vyznačuje se dvěma druhy konidií: první má jednu nebo více kulovitých buněk a druhá má tvar kulovitý až hruškovitý), *Cryomyces*, *Thelebolus ellipsoideus* Brumm. & de Hoog a *Thelebolus globosus* Brumm. & de Hoog (Laichmanová et al., 2009). Dva posledně jmenované druhy byly nalezeny v jezerech, mají redukovanou morfologii, chybí mohutné vypouštění spor, naopak vytvářejí veliké množství konidií. Tento vývoj morfologie pravděpodobně souvisí s dramatickou změnou v životním cyklu během ztráty ptačích vektorů. Ukázalo se, že tento druh morfologie se vyvinul zhruba před 30-40 miliony lety, tedy v době, kdy Antarktida dosáhla své současné polohy (de Hoog et al., 2005). Endemický charakter druhů v rodu *Cryomyces* v Jižní Viktoriině zemi je neočekávaný, protože vlastně není žádný důvod, aby velmi odolné houby mely být méně rozšířené než ostatní druhy (Selbmann et al., 2005). Většina druhů (80 %) basidiomycetů, vyskytujících se v lokalitách s geotermálním vlivem, patří mezi endemické pro Antarktidu (Convey et al., 2000).

V nejextrémnější a nejizolovanější oblasti kontinentu, jako jsou Mc Murdo Dry Valleys, vykazují endemické druhy fyziologické a morfologické adaptace vyvinuté speciálně pro tuto oblast. Na skalních habitatech se vyskytují převážně askomycety zastoupené endemickými druhy černých meristemických hub (Gonçalves et al., 2012). Většina antarktických hub, stejně jako hub z jiných suchých a chladných stanovišť, je přizpůsobena nízkým teplotám, opakovanému zmrazení, velmi omezené dostupnosti vody, osmotickému stresu, vysychání, nedostatku živin a vysoké hodnotě UV záření (Ruisi et al., 2007). Například kvasinkový druh *Cryptococcus vishniacii* Vishniac a Hempfling, vyskytující se pouze v půdě, má distribuci potvrzující původ z Antarktidy a vykazuje vhodný psychrofilní charakter a energetické

požadavky pro život v tomto vysoce stresovém prostředí. Je to jediný druh houbových organismů nacházející se i v oblasti McMurdo Dry Valleys. Tento druh je pravděpodobně endemický v horách v Dry Valleys (Vishniac and Hempfling, 1979; Vishniac, 1996).

#### 4.5 Mechorosty

V celé Antarktické oblasti (kromě subantarktických ostrovů) se vyskytuje 113 druhů mechů náležících do 55 rodů (Ochyra and Singh, 2008). Největší diverzita mechorostů byla zaznamenána z oblasti ostrovů Jižní Shetlandy, kde bylo nalezeno 87 druhů (Su-Ping Li et al., 2009). Vysoká diverzita byla zaznamenána také z Antarktického poloostrova (Peat et al., 2007).

Mechorosty se v Antarktidě vyskytují jak na skalách, tak na půdě, což dokazuje například endemit *Schistidium antarctici* Card., L. Savic. & Smirn. (Ochyra et al. 2008). Druh *Schistidium deceptionense* Ochyra, Bednarek-Ochyra & Lewis-Smith, vyskytující se na ostrově Deception (Jižní Shetlandy), je popisován jako pátý endemit rodu *Schistidium*, což je rod zahrnující dvanáct druhů (Ochyra et al., 2003). Nejpočetnější a nejvíce rozšířený rod v kontinentální Antarktidě je rod *Bryum* (Seppelt and Green, 1998). Dva druhy endemických mechorostů z rodu *Bryum*, *B. orbiculatifolium* Cardot & Broth. a *B. archangelicum* Bruch & Schimp., které byly dodnes známy jen z oblasti Antarktického poloostrova (maritimní Antarktida), byly poprvé také zaznamenány i z kontinentální Antarktidy, konkrétně z Schirmacherovy oázy (země královny Maud). Dohromady má tedy flora mechorostů kontinentální Antarktidy nově 23 druhů (Ochyra and Singh, 2008). Mechorosty představují důležitou výjimku, která neumožňuje zobecnění vysokého stupně endemismu v Antarktidě. S nanejvýš 5 % antarktických endemických druhů je toto v současnosti jediná skupina přinášející data, která jsou v souladu s hypotézou o zániku druhů během zalednění a následné nedávné rekolonizaci při ústupu ledu (Convey et al., 2008).

#### 4.6 Semenné rostliny

V Antarktidě se vyskytují pouze dva druhy kvetoucích rostlin: *Deschampsia antarctica* Desv. a *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl., které byly schopny kolonizovat některé pobřežní oblasti maritimní Antarktidy a vyskytují se společně s komunitami mechů a lišejníků. Oba druhy jsou post-glaciálními přistěhovalci (Alberdi et al., 2002). Jejich výskyt je vázán na teplotně a srážkově nejpříznivější oblasti západního pobřeží Antarktického poloostrova a přilehlých ostrovů. Druh *D. antarctica* je hojnější, *C. quitensis* má více vyhraněné nároky na stanoviště. Vývoj květů a semen obou rostlin se liší podle stanoviště, na kterém se nacházejí (Vera et al., 2013). Studium přežívání těchto rostlin je velice důležitým

nástrojem pro výzkum adaptací na extrémní podmínky v Antarktidě (Mantovani and Vieira, 2000).

Na ostrově krále Jiřího (Jižní Shetlandy) byl zaznamenán výskyt nepůvodního druhu cévnaté rostliny, *Poa annua* L., která zde osídlila oblast v blízkosti polské výzkumné stanice Arctowski. Jedná se o první záznam kolonizace druhu za přispění aktivity lidí v Antarktidě (Chwedorzewska, 2008).

## 4.7 Živočichové

### 4.7.1 Želvušky

Přestože biogeografie želvušek je zatím málo prozkoumána, celkově je tento kmen považován za kosmopolitní (McInnes and Pugh, 1998). Želvušky jsou hojně rozšířené v půdě (vlhké, nebo i promáčené), kryptogamické vegetaci a sladkovodních habitatech napříč Antarktidou (Block, 1984). Studie o želvuškách uvádějí, že ve východní Antarktidě se nachází 18 druhů náležících do tří řádů (Apochela, Parachela a Echiniscoidea). Skupina Parachela zahrnuje 15 druhů v deseti rodech. Zbylé dvě skupiny jsou představovány rody *Echiniscus* a *Pseudoechiniscus* (Echiniscoidea) a dravými druhy jako je *Milnesium tardigradum* Doyère (Apochela, kosmopolitní druh) (Velasco-Castrillon et al., 2014). Některé ze současných kontinentálních antarktických druhů jsou pravděpodobně relikty, jejichž přítomnost mohla předcházet rozpadu superkontinentu Gondwana. Je tedy možné, že například *Echiniscus corrugicaudatus* je endemický druh pro oblast Behrendt Mountains a Quilty Nunataks (Ellsworthova země). Ovšem získávání nových upřesňujících dat je velice omezené díky odlehlosti potenciálních habitatů (McInnes, 2010). Dalším pravděpodobným endemitem je druh *Pseudoechiniscus* sp.. Bohužel bez dalších srovnání s druhy žijícími mimo Antarktidu nebude možné s jistotou určit, zda se jedná o endemický druh, či nikoliv (Utsugi and Ohyama, 1989).

### 4.7.2 Vířníci

Vířníci (Rotifera) je kmen převážně sladkovodních mikroskopických živočichů zahrnujících dvě hlavní skupiny: Monogononta (střídají partenogenezi a pohlavní rozmnožování) a výhradně partenogenetické Bdelloidea (Segers, 2008), přičemž Bdelloidea patří mezi nejrozšířenější a nejhojnější skupinu bezobratlých v oblasti východní Antarktidy vyskytující se v půdě (Velasco-Castrillon et al., 2014). Na základě 20 vzorků nasbíraných kolem celého kontinentu a na některých přilehlých ostrovech byl zjištěn výskyt více než 70 druhů vířníků (Everitt, 1981). Nejpočetnější a nejznámější endemický druh ze skupiny

Bdelloidea je *Philodina gregaria* Murray. Vyskytuje se často ve spojení s dalším endemickým druhem *Adineta grandis* Murray a dalšími dvěma kosmopolitními druhy, *Epiphanes senta* Müll. a *Cephalodella Stellina* Müll (Everitt, 1981). Ovšem většina druhů vířníků v Antartidě má pravděpodobně kosmopolitní rozšíření (Dartnall, 1995).

### 4.7.3 Členovci

Abiotický stres je jednou z hlavních překážek, které omezují výskyt a úspěšnost členovců, a nikde to není patrnější než v Antarktidě. Avšak členovci, stejně jako další organismy v extrémních podmínkách, si vyvinuli řadu adaptací, díky kterým se vyrovnávají s extrémními teplotami a s tím související velmi omezenou dostupností vody v kapalném skupenství. Roztoči a chvostoskoci nejsou odolní vůči zmrznutí, proto se spoléhají na hluboké podchlazení, nežádka dosahující i 30 °C pod bodem mrazu. Někteří jsou schopni také využít kryokonzervační dehydratace k tomu, aby zvýšili podchlazení a snížili tak riziko zmrznutí. Někteří se brání tím, že jejich kutikulární mechanismy minimalizují ztrátu vody skrz pokožku (Teets and Denlinger, 2014). Nejvíce endemických druhů se nachází právě v těchto dvou skupinách organismů. Je známo, že jejich výskyt je omezený na oblasti s vysokou vlhkostí půdy, nebo v blízkosti sladkovodních habitatů, například u potoků (Stevens and Hogg, 2002).

#### 4.7.3.1 Korýši

V dřívějších studiích bylo uváděno, že korýši (perloočky, klanonožci, žábronožky a lasturnatky) jsou velice hojně rozšířeni v jezerech subantarktických ostrovů, ale na kontinentě se vyskytují v mnohem menší míře. Avšak současná data ukazují, že korýši se vyskytují poměrně hojně i v jezerech maritimní Antarktidy, zahrnující i Antarktický poloostrov. Celkově se zde jedná o čtyři druhy, přičemž žádný není endemický. Větší zastoupení endemických druhů je v oblasti Subantarktidy, kde je celkem deset z 24 druhů endemických (Huiskes et al., 2006). V mělkých jezerech maritimní Antarktidy se vyskytuje i největší sladkovodní živočich Antarktidy, žábronožka *Branchinecta gaini* Daday. Dalším hojným druhem je vznášivka *Boeckella poppei* Mrázek. Areál výskytu obou těchto druhů zahrnuje i Jižní Ameriku (Pugh et al., 2002).

Jezera kontinentální Antarktidy jsou druhově velice chudá. Vyskytují se zde čtyři druhy korýšů a z toho dva druhy endemických klanonožců (*Gladioferens antarcticus* Bayly a *Acanthocyclops mirnyi* Borutsky a Vinogradov) (Huiskes et al., 2006). Druh *G. antarcticus* je skutečným antarktickým endemitem, jehož předci byli v Antarktidě přítomni v době před jejím oddělením od Austrálie (Bayly et al., 2003). Třetí druh *Boeckella poppei* Mrázek, byl nalezen v trvale zamrzlém epišelfovém jezeře Beaver (země Mac Robertsona). Předpokládá

se, že tento druh obývá Antarktidu již po delší dobu a není tedy vyloučeno, že se jedná o další reliktní populaci (Huiskes et al., 2006). Předpokládá se, že *B. poppei* byla přítomna v izolovaných populacích ve východní Antarktidě minimálně ještě z doby před posledním zaledněním (Bayly et al., 2003).

Kontinentální druh perloočky *Daphniopsis studeri* Rüche, vyskytující se ve Vestfold a Larsemann Hills (východní Antarktida), je endemickým druhem, který pravděpodobně přežil zalednění díky postupné kolonizaci subantarktických ostrovů během posledního ledového maxima (Huiskes et al., 2006).

Lze tedy shrnout, že v případě korýšů je druhové složení v oblasti Antarktického poloostrova a ve východní Antarktidě výrazně odlišné, jediným druhem vyskytujícím se v obou oblastech je *B. poppei*.

#### **4.7.3.2 Roztoči**

Tato skupina je zastoupena více než stovkou druhů a patří mezi nerozmanitější na antarktickém kontinentu. Zhruba polovina jsou parazitické druhy. Téměř všechny volně žijící druhy jsou endemické a usuzuje se, že se vyvinuly ještě před posledním glaciálním maximem (Teets and Denlinger, 2014). Z osmi rodů (30 druhů) roztočů žijících v současnosti v kontinentální Antarktidě je výhradně endemická čeleď pancířkovití (Maudheimiidae). Je zde zastoupena čtyřmi druhy: *Maudheimia wilsoni* Dalenius & Wilson, endemický druh v západní části země královny Maud. - *M. petronia* Wallwork, vyskytující se pouze na severu Viktoriiny země. *M. marshalli* Coetzee a *M. tanngardenensis* Coetzee. Celkově je čeleď pancířkovití v Antarktidě cirkumpolárně rozšířena. Geografické rozložení pancířkovitých v závislosti k jejich fylogenetickým vztahům podporuje hypotézu, že ke vzniku druhů po rozpadu Gondwany došlo v důsledku izolace během zalednění Antarktidy (Marshall and Coetzee, 2000). Roztoči vyskytující se ve vnitrozemí a na nunatacích kontinentální Antarktidy zahrnují pouze endemické druhy pocházející z období před pleistocénem. I přes to, že jak kontinentální, tak maritimní fauna roztočů je přímým potomkem druhohorních roztočů, tak se jejich původ liší (Marshall and Pugh, 1996).

#### **4.7.3.3 Chvostoskoci**

Z maritimní a kontinentální Antarktidy je známo 14 druhů chvostoskoků, z nichž osm je druhů původních (a zároveň endemických) a šest druhů je nepůvodních (Greenslade et al., 2012). Mezi původní druhy patří *Folsomotoma octooculata* Willem, *Tullbergia mixta* Wahlgren, *Cryptopygus antarcticus antarcticus* Willem, druhově nejpočetnější členovec v Antarktidě (Tilbrook, 1967). Dále jsou to druhy *Cryptopygus badasa* Greenslade, *Friesea*

aff. *grisea* Schäffer a *Archisotoma brucei* Carpenter (Greenslade et al., 2012). Chvostoskok *Gomphiocephalus hodgsoni* Carpenter je taktéž endemický a jeho výskyt je omezený pouze na malé území v jižní Viktoriině zemi (kontinentální Antarktida). Druh *Friesea woyciechowskii* Weiner (Neanuridae) byl původně popsán pouze ze dvou vzorků z ostrova krále Jiřího (Jižní Shetlandy), ale nyní je také znám ze souostroví Jižní Orkneje, jeden exemplář byl nalezen také ve východní části jezera Crater (ostrov Deception). V tomto vzorku byly ještě další dva druhy: *T. mixta* and *F. octooculata* (Greenslade et al., 2012).

#### 4.7.3.4 Hmyz

V maritimní Antarktidě se vyskytují pouze tři druhy dvoukřídleho hmyzu (*Diptera*) a všechny jsou endemické (Allegrucci et al., 2006). I přes to je překvapivě málo známo o jejich biologii (Convey and Block, 1996). Jedná se o pakomáry *Belgica antarctica* Jacobs (podčeleď Orthocladiinae), *Parochlus steinenii* Gerke (podčeleď Podonominae) a *Eretmoptera murphyi* Schaeffer (podčeleď Orthocladiinae). Poslední jmenovaný obývá subantarktický ostrov Jižní Georgie a byl pravděpodobně během 60. let 20. století náhodně zavlečen do oblasti ostrova Signy (Jižní Orkneje, maritimní Antarktida) (Allegrucci et al., 2006). Druhy *B. antarctica* a *P. steinenii* obývají poloostrov Byers na ostrově Livingston (Jižní Shetlandy, maritimní Antarktida), konkrétně některé z potoků v oblasti South Beaches a jezera v centrální náhorní plošině (Rico and Quesada, 2013). Monotypický pakomár *B. antarctica* má zakrnělá křídla a dosahuje délky asi 5 mm. Pravděpodobně jediná lokalita tohoto druhu je právě oblast South Beaches (ostrov Livingston). Jižní hranice rozšíření tohoto druhu je dána spíše výskytem vhodných vlhkých habitatů, než jako přímý fyziologický limit (Convey and Block, 1996). Přítomnost *P. steinenii* byla zdokumentována na jižních svazích Negro Hill (ostrov Livingston). Dále byl výskyt potvrzen v potocích tekoucích v oblastech s nárostí mechu *Sanionia unicata* (Rico and Quesada, 2013). Původně byl druh *P. steinenii* popsán na ostrově Jižní Georgie (Subantarktida), kde se jednalo o nejhojnější dvoukřídlelý hmyz (Convey and Block, 1996).

## 5 Budoucnost antarktické bioty

Antarktida je často popisována jako poslední původní ekosystém na Zemi, kde kombinace geografické izolace, omezené dostupnosti a extrémních podmínek prostředí zamezily přímému dopadu lidské činnosti a jejím následkům. Je to jediný kontinent na Zemi, který v historii nezaznamenal trvalý pobyt lidí a jakékoliv ovlivnění prostředí (Cowan et al., 2011). Unikátní antarktické ekosystémy se však v současnosti musí vypořádat s vlivem klimatických změn a také s přímými dopady lidských aktivit, které zahrnují především zavlečení nepůvodních druhů (Convey, 2011). Řada nedávných studií, zabývajících se proměnlivostí klimatu v Antarktidě, poukázala na výrazné oteplení pozorované zejména na západní straně Antarktického poloostrova (Marshall et al., 2002). Základní data z projektu READER (The Reference Antarctic Data for Environmental Research), tedy průměrná měsíční přízemní teplota, průměrný tlak na hladině moře a rychlost větru, jsou využívána ke zkoumání trendů těchto veličin za posledních 50 let na 19 stanicích. Jedenáct z nich vykazuje trend oteplování a sedm trend ochlazování (jedna stanice nemá dostatek dat pro zpracování). Indikuje to složitost změn, které nastaly v Antarktidě v posledních desetiletích (Turner et al., 2005).

Průměrná teplota vzduchu na povrchu Země se zvýšila o  $0.06^{\circ}\text{C}$  za desetiletí v průběhu 20. století a o  $0.19^{\circ}\text{C}$  za desetiletí od roku 1979 do roku 1998. Klimatické modely jednoznačně předpovídají oteplování v polárních regionech, jak je již pozorováno na Antarktickém poloostrově v průběhu druhé poloviny 20. století. Tato oblast je objektivně jednou z nejrychleji se oteplujících oblastí na Zemi (Vaughan et al., 2003). Dlouhodobý monitoring je v podmínkách Antarktidy logisticky velmi náročný, a proto existuje pouze malé množství přímých dokladů o změnách souvisejících se současnými klimatickými změnami. Výjimkou jsou například jezera na ostrově Signy, kde v období 1980–1995 průměrná roční teplota jezerní vody vzrostla o  $0.9^{\circ}\text{C}$ , o dva měsíce se prodloužilo letní období bez ledové pokrývky, zvýšila se koncentrace živin a koncentrace chlorofylu *a*, která je měřítkem množství biomasy sinic a řas, vzrostla v průměru čtyřnásobně. Výsledkem tedy byla komplexní změna fungování jezerních ekosystémů (Quayle et al., 2002). Sledování vybraných populací jediných dvou původních antarktických cévnatých rostlin (*Colobhantus quitensis* a *Deschampsia antarctica*) po dobu více než 27 let ukazuje jasný a celkem rychlý nárůst v počtu individuí v populacích na dvou vzdálených lokalitách v maritimní Antarktidě. Je to považováno za jasný důkaz odpovědi těchto druhů na trend oteplování (Smith, 1994).

Na druhou stranu studie naznačují mírné ochlazení v oblasti kontinentální Antarktidy, kde v létě a na podzim meteorologická data ukazují jasné ochlazení. V oblasti Mc Murdo Dry Valleys bylo pozorováno ochlazení o 0.7 °C za desetiletí mezi roky 1986 a 2000. Letní ochlazování má obzvláště velký význam pro antarktické suchozemské ekosystémy, které jsou závislé na skupenském rozhraní kapalné vody a ledu. Již byly zaznamenány důkazy o rychlé reakci terestrického ekosystému na ochlazení klimatu, například snížení primární produktivity jezer a klesající počty bezobratlých živočichů v půdě (Doran et al., 2002).

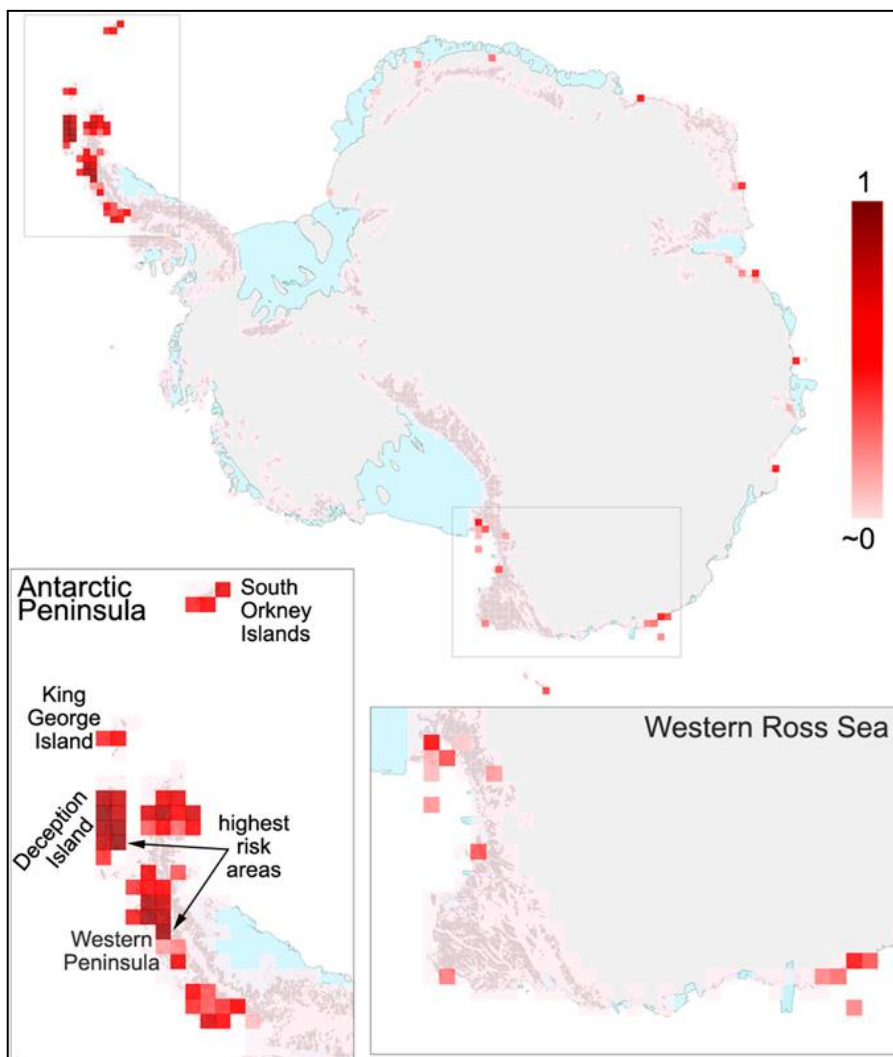
Rozsah antarktického mořského ledu se zvýšil a to hlavně na podzim. Velká část Antarktidy zažila malou změnu teploty v posledních 50 letech. Mírné ochlazení bylo patrné kolem pobřeží východní Antarktidy zhruba od roku 1980. Ozonová díra nad Antarktidou měla významný vliv na oceánské a atmosférické proudění izolující kontinent a zejména v létě a v zimě ovlivnila zesilující západní větry nad Jižním oceánem (Turner and Overland, 2009).

Kontinentální terestrické a sladkovodní habitaty obývá v současné době v porovnání se Subantarktidou a s ostatními terestrickými ekosystémy na Zemi pouze malé množství zavlečených druhů. Je to díky jedinečné kombinaci faktorů, jako je izolace kontinentu, drsné podnebí, geografické charakteristiky a krátká historie lidské činnosti. Nicméně, nedávný výrazný růst intenzity cestovního ruchu a vědeckých výzkumů zvyšuje riziko zavlečení nepůvodních propagulí do Antarktidy, přičemž globální oteplování napomáhá uchycení těchto druhů. Zdá se, že četnost lidské aktivity přispívá k zavlečení nových druhů více, než přírodní cesta (vítr, voda, ptáci, mořští savci). Smlouva o Antarktidě (Antarctic Treaty) a související dohody klade jasně za cíl zachovat a chránit životní prostředí Antarktidy a zejména stanovuje mechanismy k ochraně vzácných a ohrožených druhů organismů, společenstev a ekosystémů (Hughes and Convey, 2012).

Objevují se však obavy, že již existující kombinace zrychlujících se změn klimatu a rapidně se zvyšující intenzity vědeckých a turistických aktivit, povede k degradaci životního prostředí Antarktidy. Jedním z hlavních ukazatelů této změny se zdá být narůstající pravděpodobnost na uchycení terestrických invazivních nepůvodních druhů (Obr. 5.). Pochopení počáteční fáze šíření a usazování propagulí je zvláště významné pro následné řízení možných rizik, které tyto druhy představují pro původní ekosystémy (Chown et al., 2012).

Již existují záznamy o zavlečených cévnatých rostlinách a dalších druzích, které jsou schopny úspěšně kolonizovat jak maritimní tak kontinentální Antarktidu. Většinou se jedná o druhy zanesené ze Subantarktidy. Ukázalo se, že s největší pravděpodobností jsou propagule zaneseny do Antarktidy vědci a zaměstnanci v cestovním ruchu, méně často pak turisty samotnými (Chown et al., 2012). I přes intenzivní výzkum biologických invazí zůstává

způsob, jak snížit neúmyslný přenos propagulí, málo prozkoumaný. Nejčastěji jsou takto do Antarktidy zavečeny nové druhy mechů a lišejníků. Počet druhů introdukovaných do Antarktidy díky lidským aktivitám stále roste. Informace, které mohou přispět ke zmírnění možných dopadů těchto introdukcí, jsou proto zásadní (Huiskes et al. 2014).



Obr. 5. Mapa zobrazující relativní riziko kolonizace nepůvodními cévnatými rostlinami (roste s intenzitou červené barvy). Je zřejmé, že nejvíce je ohroženo západní pobřeží Antarktického poloostrova a přilehlé ostrovy (Chown et al., 2012).

## 6 Závěr

Antarktida je díky své poloze jednou z nejizolovanějších oblastí na Zemi. Díky rozsáhlému zalednění zde terestrické a sladkovodní habitaty zabírají jen velmi omezený prostor a vyznačují se extrémními podmínkami pro život organismů. Oproti původním představám se ukázalo, že velká část bioty obývající Antarktidu je reliktní a je spojena s kontinentem často z dob dlouho předposledním glaciálním maximem, některé skupiny dokonce minimálně od rozpadu Gondwany. Organismy zde mohly opakovaně zalednění přežít ve pouze ve vhodných refugiích, ze kterých posléze kolonizovali odledněné plochy Antarktidy. Terestrická refugia představovala pravděpodobně izolované nunataky, případně oblasti s geotermální aktivitou; sladkovodní organismy mohly přežít v některých jezerech. Holocenní kolonisté pocházející především z jihoamerického kontinentu tvoří větší část současné bioty v maritimní Antarktidě. Odlišný vývoj kontinentální Antarktidy a Antarktického poloostrova se odrazil v odlišném druhovém složení v těchto dvou oblastech, což bylo zohledněno ustanovením Gressittovy linie. Nejnovější studie však ukazují, že biogeografie Antarktické oblasti je mnohem komplexnější, než se dříve předpokládalo.

Vysoký stupeň endemismu zaznamenaný jak u bezobratlé fauny (želvušky, dvoukřídlý hmyz, roztoči a chvostokoci), tak ve floře sinic, rozsivek a lišejníků je mimo jiné jejich schopností přežít extrémní podmínky, které musely panovat v glaciálních refugiích, a malou pravděpodobností přirozené kolonizace antarktických habitatů z ostatních kontinentů. Nicméně skupiny s malým nebo nulovým podílem endemitů, jako jsou mechorosty nebo semenné rostliny, pravděpodobně nemohly v refugiích přežít a většina druhů musela Antarktidu kolonizovat v průběhu holocénu. Výsledkem je kombinovaný původ současné antarktické bioty. U řady taxonomických skupin však dosud nemáme k dispozici dostatečné množství dat, aby mohla být míra endemismu vůbec posouzena.

Pravděpodobnost zavlečení nových druhů do Antarktidy je v poslední době omezována hlavně díky Smlouvě o Antarktidě (Antarctic Treaty), která stanovuje podmínky na ochranu antarktických ekosystémů. Se stále více výraznějšími dopady lidské činnosti a globálního oteplování, které se nejvíce projevuje v oblasti Antarktického poloostrova, je nutné dbát na dodržování ochrany životního prostředí Antarktidy.

Na svoji bakalářskou práci bych ráda navázala prací diplomovou, ve které bych se věnovala taxonomickému složení bentických autotrofních společenstev v jezerech, mělkých mokřadech a v potocích na ostrově Vega (SV Antarktický poloostrov) a zjištění důležitých faktorů ovlivňujících jejich složení. Výsledky budou porovnány s již existujícím datasetem

z blízkého ostrova Jamese Rosse a sloužily by při studiu diverzity, ekologie a biogeografie sladkovodních sinic a řas v rámci celé Antarktické oblasti.

## Seznam použité literatury

- Alberdi, M., Bravo, L.A., Gutierrez, A., Gidekel, M., Corcuera, L.J., 2002. Ecophysiology of Antarctic vascular plants. *Physiol. Plant.* 115, 479–486.
- Allegrucci, G., Carchini, G., Convey, P., Sbordoni, V., 2012. Evolutionary geographic relationships among orthocladine chironomid midges from maritime Antarctic and sub-Antarctic islands. *Biol. J. Linn. Soc.* 106, 258–274.
- Allegrucci, G., Carchini, G., Todisco, V., Convey, P., Sbordoni, V., 2006. A molecular phylogeny of antarctic chironomidae and its implications for biogeographical history. *Polar Biol.* 29, 320–326.
- Banerjee, M., Whitton, B.A., Wynn-Williams, D.D., 2000. Phosphatase activities of endolithic communities in rocks of the Antarctic Dry Valleys. *Microb. Ecol.* 39, 80–91.
- Barnes, D.K.A., Hodgson, D.A., Convey, P., Allen, C.S., Clarke, A., 2006. Incursion and excursion of Antarctic biota: past, present and future. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 15, 121–142.
- Battaglia, B., Valencia, J., Walton, D.W.H., 1997. *Antarctic Communities: Species, Structure, and Survival*. Cambridge University Press.
- Bayly, I.A.E., Gibson, J.A.E., Wagner, B., Swadling, K.M., 2003. Taxonomy, ecology and zoogeography of two East Antarctic freshwater calanoid copepod species: *Boeckella poppei* and *Gladioferens antarcticus*. *Antarct. Sci.* 15, 439–448.
- Bergstrom, D.M., Hodgson, D.A., Convey, P., 2006. The physical setting of the Antarctic, in: *Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems*. Springer Netherlands., pp. pp. 15–33.
- Block, W., 1984. Terrestrial microbiology, invertebrates and ecosystems. 163–236.
- Boyer, S.J., 1979. Glacial geologic observations in the Dufek Massif and Forrestal Range. *Antarct. J. U. S.* 1978–79, 46–48.
- Cannone, N., Convey, P., Guglielmin, M., 2013. Diversity trends of bryophytes in continental Antarctica. *Polar Biol.* 36, 259–271.
- Cavacini, P., 2001. Soil algae from northern Victoria Land (Antarctica). *Polar Biosci.* 45–60.
- Chown, S.L., Convey, P., 2006. Biogeography, in: *Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems*. Springer Netherlands., pp. pp.55–69.
- Chown, S.L., Convey, P., 2007. Spatial and temporal variability across life's hierarchies in the terrestrial Antarctic. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 362, 2307–2331.
- Chown, S.L., Huiskes, A.H.L., Gremmen, N.J.M., Lee, J.E., Terauds, A., Crosbie, K., Frenot, Y., Hughes, K.A., Imura, S., Kiefer, K., Lebouvier, M., Raymond, B., Tsujimoto, M., Ware, C., Vijver, B.V. de, Bergstrom, D.M., 2012. Continent-wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 4938–4943.
- Chwedorzewska, K.J., 2008. *Poa annua* L. in Antarctica: searching for the source of introduction. *Polar Biol.* 31, 263–268.
- Convey, P., 2010. Terrestrial biodiversity in Antarctica – Recent advances and future challenges. *Polar Sci., Antarctic Biology in the 21st Century – Advances in and beyond IPY 4*, 135–147.
- Convey, P., 2011. Antarctic terrestrial biodiversity in a changing world. *Polar Biol.* 34, 1629–1641.
- Convey, P., Block, W., 1996. Antarctic Diptera: ecology, physiology and distribution. *Eur. J. Entomol.* 93, 1–14.

- Convey, P., Gibson, J.A.E., Hillenbrand, C.-D., Hodgson, D.A., Pugh, P.J.A., Smellie, J.L., Stevens, M.I., 2008. Antarctic terrestrial life – challenging the history of the frozen continent? *Biol. Rev.* 83, 103–117.
- Convey, P., Smith, R.I.L., Hodgson, D.A., Peat, H.J., 2000. The flora of the South Sandwich Islands, with particular reference to the influence of geothermal heating. *J. Biogeogr.* 27, 1279–1295.
- Convey, P., Stevens, M.I., 2007. Antarctic biodiversity. *Science* 317, 1877–1878.
- Cowan, D.A., Chown, S.L., Convey, P., Tuffin, M., Hughes, K., Pointing, S., Vincent, W.F., 2011. Non-indigenous microorganisms in the Antarctic: assessing the risks. *Trends Microbiol.* 19, 540–548.
- Cromer, L., Gibson, J. a. E., Swadling, K.M., Hodgson, D.A., 2006. Evidence for a lacustrine faunal refuge in the Larsemann Hills, East Antarctica, during the Last Glacial Maximum. *J. Biogeogr.* 33, 1314–1323.
- Dartnall, H.J.G., 1995. Rotifers, and other aquatic invertebrates, from the Larsemann Hills, Antarctica. *Pap. Proc. R. Soc. Tasman.* 129, 17–23.
- De Hoog, G.S., Gottlich, E., Platas, G., Genilloud, O., Leotta, G., van Brummelen, J., 2005. Evolution, taxonomy and ecology of the genus *Thelebolus* in Antarctica. *Stud. Mycol.* 33–76.
- Dolhi, J.M., Maxwell, D.P., Morgan-Kiss, R.M., 2013. Review: the Antarctic *Chlamydomonas raudensis*: an emerging model for cold adaptation of photosynthesis. *Extremophiles* 17, 711–722.
- Doran, P.T., Priscu, J.C., Lyons, W.B., Walsh, J.E., Fountain, A.G., McKnight, D.M., Moorhead, D.L., Virginia, R.A., Wall, D.H., Clow, G.D., Fritsen, C.H., McKay, C.P., Parsons, A.N., 2002. Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature* 415, 517–520.
- Ellis-Evans, J.C., Walton, D.W.H., 1990. The process of colonization in Antarctic terrestrial and freshwater ecosystems. *Proc NIPR Symp Polar Biol.*
- Elster, J., Benson, E.E., 2004. Life in the polar terrestrial environment with a focus on algae and cyanobacteria, in: *Life in the Frozen State*. Taylor and Francis. pp. pp. 111–150.
- Everitt, D.A., 1981. An ecological study of an Antarctic freshwater pool with particular reference to Tardigrada and Rotifera. *Hydrobiologia* 83, 225–237.
- Fraser, C.I., Terauds, A., Smellie, J., Convey, P., Chown, S.L., 2014. Geothermal activity helps life survive glacial cycles. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 5634–5639.
- Friedmann, E.I., Ocampo, R., 1976. Endolithic blue-green algae in the Dry Valleys: Primary producers in the Antarctic desert ecosystem. *Science* 193, 1247–1249.
- Genuário, D.B., Corrêa, D.M., Komárek, J., Fiore, M.F., 2013. Characterization of freshwater benthic biofilm-forming *Hydrocoryne* (Cyanobacteria) isolates from Antarctica. *J. Phycol.* 49, 1142–1153.
- Gibson, J.A.E., Bayly, I.A.E., 2007. New insights into the origins of crustaceans of Antarctic lakes. *Antarct. Sci.* 19, 157–163.
- Gonçalves, V.N., Vaz, A.B.M., Rosa, C.A., Rosa, L.H., 2012. Diversity and distribution of fungal communities in lakes of Antarctica. *FEMS Microbiol. Ecol.* 82, 459–471.
- Greenslade, P., Potapov, M., Russell, D., Convey, P., 2012. Global Collembola on Deception Island. *J. Insect Sci.* 12, 111.
- Hughes, K.A., Convey, P., 2012. Determining the native/non-native status of newly discovered terrestrial and freshwater species in Antarctica - Current knowledge, methodology and management action. *J. Environ. Manage.* 93, 52–66.
- Huiskes, A.H.L., Convey, P., Bergstrom, D.M., 2006. Trends in Antarctic terrestrial and limnetic ecosystems: Antarctica as a global indicator, in: *Trends in Antarctic*

- Terrestrial and Limnetic Ecosystems: Antarctica as a Global Indicator. Springer Netherlands., pp. pp. 1–13.
- Huiskes, A.H.L., Gremmen, N.J.M., Bergstrom, D.M., Frenot, Y., Hughes, K.A., Imura, S., Kiefer, K., Lebouvier, M., Lee, J.E., Tsujimoto, M., Ware, C., Van de Vijver, B., Chown, S.L., 2014. Aliens in Antarctica: Assessing transfer of plant propagules by human visitors to reduce invasion risk. *Biol. Conserv.* 171, 278–284.
- Karr, E.A., Ng, J.M., Belchik, S.M., Sattley, W.M., Madigan, M.T., Achenbach, L.A., 2006. Biodiversity of methanogenic and other archaea in the permanently frozen lake Fryxell, Antarctica. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 1663–1666.
- Komárek, J., Elster, J., 2008. Ecological background of cyanobacterial assemblages of the northern part of James Ross Island, Antarctica. *Pol. Polar Res.* 29, 17–32.
- Komárek, J., Komárek, O., 2003. Diversity of cyanobacteria in seepages of King George Island, maritime Antarctica. Backhuys Publishers, Leiden.
- Komárek, J., Komárek, O., 2009. Specificity of cyanobacterial microflora in Antarctica. *Struct. Funct. Antarct. Terr. Ecosyst.* October: 23–28, Brno.
- Kopalová, K., 2013. Taxonomy, ecology and biogeography of aquatic and limno-terrestrial diatoms (Bacillariophyta) in the Maritime Antarctic Region. Ph.D. thesis, Charles University in Prague, XXX p.
- Laichmanová, M., Selbman, L., Barták, M., 2009. Diversity of microfungi from James Ross Island, Antarctica, in: *Structure and Function of Antarctic Terrestrial Ecosystems. Book of Abstracts and Contributed Papers.* Brno, pp. 10–13.
- Lawver, L.A., Gahagan, L.M., 2003. Evolution of Cenozoic seaways in the circum-Antarctic region. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., Antarctic Cenozoic palaeoenvironments: geologic record and models* 198, 11–37.
- Mantovani, A., Vieira, R.C., 2000. Leaf micromorphology of Antarctic pearlwort *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. *Polar Biol.* 23, 531–538.
- Marshall, D.J., Coetzee, L., 2000. Historical biogeography and ecology of a Continental Antarctic mite genus, *Maudheimia* (Acari, Oribatida): evidence for a Gondwanan origin and Pliocene-Pleistocene speciation. *Zool. J. Linn. Soc.* 129, 111–128.
- Marshall, D.J., Pugh, P.J.A., 1996. Origin of the inland Acari of Continental Antarctica, with particular reference to Dronning Maud Land. *Zool. J. Linn. Soc.* 118, 101–118.
- Marshall, G.J., Lagun, V., Lachlan-Cope, T.A., 2002. Changes in Antarctic Peninsula tropospheric temperatures from 1956 to 1999: A synthesis of observations and reanalysis data. *Int. J. Climatol.* 22, 291–310.
- Marshall, W.A., Chalmers, M.O., 1997. Airborne dispersal of antarctic terrestrial algae and cyanobacteria. *Ecography* 20, 585–594.
- McInnes, S.J., 2010. *Echiniscus corrugicaudatus* (Heterotardigrada; Echiniscidae) a new species from Ellsworth Land, Antarctica. *Polar Biol.* 33, 59–70.
- McInnes, S.J., Pugh, P.J.A., 1998. Biogeography of limno-terrestrial Tardigrada, with particular reference to the Antarctic fauna. *J. Biogeogr.* 25, 31–36.
- McLoughlin, S., 2001. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism. *Aust. J. Bot.* 49, 271–300.
- Möller, C., Dreyfuss, M.M., 1996. Microfungi from Antarctic lichens, mosses and vascular plants. *Mycologia* 88, 922–933.
- Morgan-Kiss, R.M., Priscu, J.C., Pockock, T., Gudynaite-Savitch, L., Huner, N.P.A., 2006. Adaptation and acclimation of photosynthetic microorganisms to permanently cold environments. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 70, 222 – 252.
- Newman, L., Convey, P., Gibson, J.A.E., Linse, K., 2009. Antarctic paleobiology: glacial refugia and constraints on past ice-sheet reconstructions. *PAGES News* 17, pp. 22–24.

- Ochyra, R., Bednarek-Ochyra, H., Lewis Smith, R.I., 2008. New and rare moss species from the Antarctic. *Nova Hedwig*. 87, 457–477.
- Ochyra, R., Bednarek-Ochyra, H., Smith, R.I.L., 2003. *Schistidium deceptionense*, a new moss species from the South Shetland Islands, Antarctica. *Bryologist* 106, 569–574.
- Ochyra, R., Singh, S.M., 2008. Three remarkable moss records from Dronning Maud Land, continental Antarctica. *Nova Hedwig*. 86, 497–506.
- Onofri, S., Fenice, M., Cicalini, A.R., Tosi, S., Magrino, A., Pagano, S., Selbmann, L., Zucconi, L., Vishniac, H.S., Ocampo-Friedmann, R., Friedmann, F.I., 2000. Ecology and biology of microfungi from Antarctic rocks and soils. *Ital. J. Zool.* 67, 163–167.
- Pearce, D.A., Cockell, C.S., Lindstrom, E.S., Tranvik, L.J., 2007. First evidence for a bipolar distribution of dominant freshwater lake bacterioplankton. *Antarct. Sci.* 19, 245–252.
- Peat, H.J., Clarke, A., Convey, P., 2007. ORIGINAL ARTICLE: Diversity and biogeography of the Antarctic flora. *J. Biogeogr.* 34, 132–146.
- Peck, L.S., Convey, P., Barnes, D.K.A., 2006. Environmental constraints on life histories in Antarctic ecosystems: tempos, timings and predictability. *Biol. Rev.* 81, 75–109.
- Peeters, K., Verleyen, E., Hodgson, D., Convey, P., Ertz, D., Vyverman, W., Willems, A., 2012. Heterotrophic bacterial diversity in aquatic microbial mat communities from Antarctica. *Polar Biol.* 35, 543–554.
- Pla-Rabes, S., Toro, M., van de Vijver, B., Rochera, C., Antonio Villaescusa, J., Camacho, A., Quesada, A., 2013. Stability and endemism of benthic diatom assemblages from different substrates in a maritime stream on Byers Peninsula, Livingston Island, Antarctica: the role of climate variability. *Antarct. Sci.* 25, 254–269.
- Prošek, P., Barták, M., Gloser, J., Láška, K., Nedbalová, L., 2013. *Antarktida*. Academia, Praha.
- Pugh, P.J.A., Convey, P., 2008. Surviving out in the cold: Antarctic endemic invertebrates and their refugia. *J. Biogeogr.* 35, 2176–2186.
- Pugh, P.J.A., Dartnall, H.J.G., McInnes, S.J., 2002. The non-marine Crustacea of Antarctica and the Islands of the Southern Ocean: biodiversity and biogeography. *J. Nat. Hist.* 36, 1047–1103.
- Quayle, W.C., Peck, L.S., Peat, H., Ellis-Evans, J.C., Harrigan, P.R., 2002. Extreme responses to climate change in Antarctic lakes. *Science* 295, 645–645.
- Richard D. B., Hogg, I.D., Bamforth, S., Bargagli, R., Cary, C., Cavacini, P., Connell, L., Convey, P., Fell, J.W., Frati, F., Hogg, I.D., Newsham, K.K., O'Donnell, A., Russell, N., Seppelt, R.D., Stevens, M.I., 2006. Diversity and distribution of Victoria Land biota. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3003–3018.
- Rico, E., Quesada, A., 2013. Distribution and ecology of chironomids (Diptera, Chironomidae) on Byers Peninsula, Maritime Antarctica. *Antarct. Sci.* 25, 288–291.
- Robinson, S.A., Wasley, J., Tobin, A.K., 2003. Living on the edge – plants and global change in continental and maritime Antarctica. *Glob. Change Biol.* 9, 1681–1717.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., 1990. *The Diatoms – Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press.
- Ruisi, S., Barreca, D., Selbmann, L., Zucconi, L., Onofri, S., 2007. Fungi in Antarctica. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 6, 127–141.
- Ruprecht, U., Lumbsch, H.T., Brunauer, G., Green, T.G.A., Tuerk, R., 2012. Insights into the Diversity of Lecanoraceae (Lecanorales, Ascomycota) in continental Antarctica (Ross Sea region). *Nova Hedwig*. 94, 287–306.
- Rybalka, N., Andersen, R.A., Kostikov, I., Mohr, K.I., Massalski, A., Olech, M., Friedl, T., 2009. Testing for endemism, genotypic diversity and species concepts in Antarctic terrestrial microalgae of the Tribonemataceae (Stramenopiles, Xanthophyceae). *Environ. Microbiol.* 11, 554–565.

- Sabbe, K., Verleyen, E., Hodgson, D.A., Vanhoutte, K., Vyverman, W., 2003. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica. *Antarct. Sci.* 15, 227–248.
- Segers, H., 2008. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 49–59.
- Selbmann, L., de Hoog, G.S., Mazzaglia, A., Friedmann, F.I., Onofri, S., 2005. Fungi at the edge of life: cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert. *Stud Mycol* 51, 1–32.
- Seppelt, R.D., Green, T.G.A., 1998. A bryophyte flora for Southern Victoria Land, Antarctica. *N. Z. J. Bot.* 36, 617–635.
- Seymour, F.A., Crittenden, P.D., Wirtz, N., Øvstedal, D.O., Dyer, P.S., Lumbsch, H.T., 2007. Phylogenetic and morphological analysis of Antarctic lichen-forming *Usnea* species in the group *Neuropogon*. *Antarct. Sci.* 19, 71–82.
- Smith, R.I.L., 1994. Vascular plants as bioindicators of regional warming in Antarctica. *Oecologia* 99, 322–328.
- Stanish, L.F., Bagshaw, E.A., McKnight, D.M., Fountain, A.G., Tranter, M., 2013. Environmental factors influencing diatom communities in Antarctic cryoconite holes. *Environ. Res. Lett.* 8, 045006.
- Stevens, M.I., Hogg, I.D., 2002. Expanded distributional records of Collembola and Acari in southern Victoria land, Antarctica. *Pedobiologia* 46, 485–495.
- Su-Ping Li, Ochyra, R., Peng-Cheng Wu, Seppelt, R.D., Ming-Hong Cai, Hai-Ying Wang, Cheng-Sen Li, 2009. *Drepanocladus longifolius* (Amblystegiaceae), an addition to the moss flora of King George Island, South Shetland Islands, with a review of Antarctic benthic mosses. *Polar Biol.* 32, 1415–1425.
- Taton, A., Grubisic, S., Balthasart, P., Hodgson, D.A., Laybourn-Parry, J., Wilmotte, A., 2006. Biogeographical distribution and ecological ranges of benthic cyanobacteria in East Antarctic lakes. *FEMS Microbiol. Ecol.* 57, 272–289.
- Teets, N.M., Denlinger, D.L., 2014. Surviving in a frozen desert: environmental stress physiology of terrestrial Antarctic arthropods. *J. Exp. Biol.* 217, 84–93.
- Terauds, A., Chown, S.L., Morgan, F., Peat, H.J., Watts, D.J., Keys, H., Convey, P., Bergstrom, D.M., 2012. Conservation biogeography of the Antarctic. *Divers. Distrib.* 18, 726–741.
- Tilbrook, P.J., 1967. Arthropod ecology in the maritime Antarctic. *Am. Geophys. Union* pp. 331–356.
- Tscherko, D., Bolter, M., Beyer, L., Chen, J., Elster, J., Kandeler, E., Kuhn, D., Blume, H.P., 2003. Biomass and enzyme activity of two soil transects at King George Island, maritime Antarctica. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 35, 34–47.
- Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.A., Iagovkina, S., 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Climatol.* 25, 279–294.
- Turner, J., Overland, J., 2009. Contrasting climate change in the two polar regions. *Polar Res.* 28, 146–164.
- Utsugi, K., Ohyama, Y., 1989. Antarctic Tardigrada. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol* Vol. 2, pp. 190–197.
- Van Trappen, S., Mergaert, J., Van Eygen, S., Dawyndt, P., Cnockaert, M.C., Swings, J., 2002. Diversity of 746 heterotrophic bacteria isolated from microbial mats from ten Antarctic lakes. *Syst. Appl. Microbiol.* 25, 603–610.
- Vaughan, D.G., Marshall, G.J., Connolley, W.M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D.A., King, J.C., Pudsey, C.J., Turner, J., 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Clim. Change* 60, 243–274.

- Velasco-Castrillon, A., Schultz, M.B., Colombo, F., Gibson, J.A.E., Davies, K.A., Austin, A.D., Stevens, M.I., 2014. Distribution and diversity of soil microfauna from East Antarctica: Assessing the link between biotic and abiotic factors. *Plos One* 9, e87529.
- Vera, M.L., Fernández-Teruel, T., Quesada, A., 2013. Distribution and reproductive capacity of *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarct. Sci.* 25, 292–302.
- Vishniac, H.S., 1996. Biodiversity of yeasts and filamentous microfungi in terrestrial Antarctic ecosystems. *Biodivers. Conserv.* 5, 1365–1378.
- Vishniac, H.S., Hempfling, W.P., 1979. Evidence of an indigenous microbiota (yeast) in the Dry Valleys of Antarctica. *J. Gen. Microbiol.* 112, 301–314.
- Wellington, W.G., 1945. Conditions governing the distribution of insects in the free atmosphere. *Can. Entomol.* 77, 7–15.
- Wever, A.D., Leliaert, F., Verleyen, E., Vanormelingen, P., Gucht, K.V. der, Hodgson, D.A., Sabbe, K., Vyverman, W., 2009. Hidden levels of phylodiversity in Antarctic green algae: further evidence for the existence of glacial refugia. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* rspb20090994.
- Wynn-Williams, D., 1990. Ecological aspects of Antarctic microbiology. *Adv. Microb. Ecol.* 11, 71–146.
- Zidarova, R., 2008. Algae from Livingston Island (S Shetland Islands): a checklist. *Phytol. Balc.* 19–35.