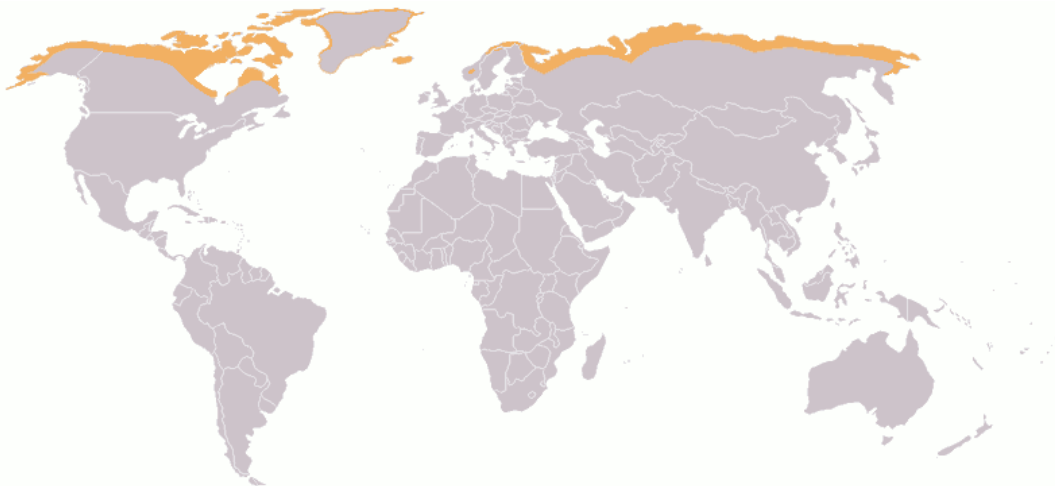


Tundra

Bióm tundry (Obr. 1.1) sa nachádza vo veľmi chladných podmienkach, ktoré sú automaticky spájané s polárnymi oblasťami. Tundra vytvára v určitej vzdialenosti okolo oboch pólů akýsi kruh, čo znamená že je rozšírená cirkumpolárne. Cirkumpolárne je rozšírená iba na severnej pologuli, pretože na južnej pologuli sú v príslušných zemepisných šírkach oceány, preto ju nájdeme iba na juhu Patagónie, na pobreží Antarktídy a na subantarktických ostrovoch. V pohoriach smerujúcich k severnému polárnemu kruhu (v Škandinávii, na Urale, na Aljaške) sa zonálny ekosystém **arktiskej tundry** stretáva s orobiómom **alpínskej tundry**. Alpínsku tundru nájdeme aj v iných pohoriach sveta nad hranicou pásma alpínskych lúk a pod hranicou večného snehu a ľadu, tam sa však nestretá so zonálnou tundrou (Obr. 1.2). Celková rozloha tundry je asi 5 miliónov km². Charakterizuje ju bezstromový rastlinný kryt (prevládajú hemikryptofyty a chamefyty), rozľahlé močariská a dlhodobozmrznutá pôda – permafrost. Slovo tundra je odvodené z laponského slova tunturi, ktorým sa označujú chrbty hôr nad hornou hranicou lesa porastené tundrou.



Obrázok 1.1: Výskyt biómu tundry vo svete. Arktická tundra sa nachádza v Severnej Amerike na pobreží Aljašky, Aleutách a severných častiach Kanady, pobreží Hudsonovho zálivu, severného okraja Newfoundlandu, pokrýva okraje Grónska a Island. V rámci Európy ho možno nájsť na severnom pobreží Nórska, severnom okraji Ruskej federácie až po Beringovo more. Na južnej pologuli sa vyskytuje tzv. antarktická tundra, ktorá sa vďaka hrubej vrstve ľadu nachádza iba na izolovaných fragmentoch pobrežných oblastí a ostrovov, najmä na okraji Antarktického polostrova.



Obrázok 1.2: Výskyt alpínskej tundry vo svete. V severnej Amerike sa nachádza v oblasti Aljašky, v západnej časti Kordiler v Skalnatých vrchoch, Kaskádových vrchoch a v Sierre Nevade. V južnej Amerike sa nachádza v Andách. V Európe možno alpínsku tundru nájsť v Škandinávii, Škótsku, Alpách, Karpatoch a Pyrenejach. V Ázii ju možno nájsť na Kaukaze, Himalájach, Tibetskej náhornej plošine odkiaľ prechádza východne pozdĺž Mongolska na Ural. V Afrike je prítomná v pohorí Atlas na severe, Dračích vrchoch na juhu kontinentu avšak vysoké pohoria sa nachádzajú aj v oblasti rovníka vo východnej Afrike a Etiópii.

Podnebie

Najmarkantnejšou vlastnosťou tundry je, že sa nachádza v chladnom podnebí a to v prípade arktickej, antarktckej, či alpínskej tundry. Podnebie arktickej tundry pozostáva z dlhej extrémne studenej zimy a krátkeho chladného leta. Rozpätie teplôt počas roka je značné a vzniká najmä v dôsledku nedostatku slnečnej energie počas zimy. Na druhej strane denné rozpätie teplôt je relatívne malé v dôsledku nízkeho sklonu Slnka, polárnej noci v zime a polárneho dňa v lete. Antarktická tundra sa v porovnaní s arktickou vyznačuje ešte nižšími. Vo všeobecnosti platí, že priemerné ročné teploty sú pod hranicou -4°C . Takáto nízka teplota zabraňuje klíčeniu semien stromov (napr. breza, smrek, borovica) a tým vo všeobecnosti ich rastu. Vďaka tomu výskyt stromov zvyčajne označuje hranicu výskytu tundry. Teplota ale nie je jediným faktorom, ktorý zabezpečuje jej vytvorenie. Existujú totiž miesta na Zemi s horúcimi letami a mrazivými zimami, kde sa priemerná teplota približuje k typickým pre tundru. Priemerná teplota teda nedáva úplnú predstavu o podnebí v danej oblasti. Tá sa počas jedného dňa v júli (zvyčajne najteplejší mesiac v roku) môže vyšplhať na 30°C najmä na kontinentoch (napr. vo východnej Kanade alebo Sibíri), avšak v noci sú teploty nízke a tak sa priemerné mesačné teploty pohybujú pod 10°C . Hranica tundry s boreálnou zónou je daná menej ako 30 dňami s priemernou teplotou pod 10°C . Dôležité teda nie sú nízke zimné teploty, ale dĺžka vegetačnej doby. Tá je veľmi dôležitá pre rastlinstvo a živočíšstvo tundry, pretože za krátku dobu musia dokončiť svoje reprodukčné cykly.

Polárna tundra severnej pologule sa nachádza v oblasti, kde sa podnebie veľmi výrazne líši - od lesa vyskytujúceho sa na juhu, po ľad na severe. Kvôli tomu bolo dané pásmo rozdelené na dve odlišné časti – južnú Arktídu a severnú Arktídu (Obr. 1.3). Severná Arktída zahŕňa najsevernejšie skupiny ostrovov medzi Severným pólom a Kanadou, Ruskom, Škandináviou a Grónskom nad 75° severnej zemepisnej šírky. Pojem južná Arktída sa používa pre južnejšie položené kontinentálne oblasti tundry. Obdobie rastu v južne položenej Arktíde môže trvať 3 – 5 mesiacov s júlovou priemernou teplotou pohybujúcou sa medzi $8 - 10^{\circ}\text{C}$ avšak v severne položenej Arktíde je to menej ako 2,5 mesiaca s júlovou priemernou teplotou $3 - 6^{\circ}\text{C}$. V dôsledku toho dochádza k výrazným odlišnostiam v zložení vegetácie, ktorá v jednotlivých oblastiach rastie.



Obrázok 1.3: Rozdelenie arktickej tundry.

Okrem teploty je dôležitým faktorom, ktorý určuje výskyt tundry vietor. Všetky oblasti, v ktorých sa tundra vyskytuje sú vystavené silným vetrom, ktoré často prenášajú aj čiastočky ľadu, čo môže byť extrémne ničivé pre vegetáciu, ktorá by sa vyskytovala vysoko nad pôdnym krytom. Kry sú sústavne orezávané a vyššie stromy sú rýchlo eliminované. Pôda je po väčšiu časť roka zmrznutá alebo pokrytá snehom. Klíčenie je potlačené snehovou pokrývkou a rozvoj koreňového systému je obmedzený prítomnosťou ľadu.

V prípade tundry by sa mohlo zdať, že prítomnosť vody nie je limitujúcim faktorom, keďže sa tu nachádza veľké množstvo snehu a ľadu. Avšak problém je v skupenstve, v ktorom je voda prítomná, pretože zmrznutá nie je vhodným zdrojom pre organizmy. Oblasť tundier sa prirovnáva ku chladným púšťam, pretože priemerný ročný úhrn zrážok v polárnej tundre nepresiahne 250 mm, často to je menej ako 200 mm.

Podnebie alpínskej tundry je v porovnaní s polárnou tundrou komplikovanejšie, keďže nadmorskú výšku, v ktorej alpínska tundra začína ovplyvňuje veľa faktorov. Poloha tundier v pohoriach vo vyšších zemepisných šírkach (nachádzajúce sa bližšie k pólom) bude v nižších nadmorských výškach, ako tomu bude v pohoriach nachádzajúcich sa v trópech, pretože teplota na úpätí pohoria bude od začiatku nižšia. Každým stupňom zemepisnej šírky smerom k rovníku stúpa hranica lesa o 110 m. V tropických veľhorách sa bióm tundry sa nachádza vo výškach nad 3 500 - 4 000 m n. m. Priemerné ročné teploty v alpínskej tundre sú podobné tým, vyskytujúcim sa v polárnej tundre. Avšak denné rozpätie teplôt býva extrémne. Napr. denná teplota v Méridských Andách vo Venezuele vo výške 4 200 m môže dosahovať 15°C, avšak v noci môže poklesnúť až na -5°C, čo predstavuje vážne problémy pre rastliny, ktoré s na takýchto stanovištiach vyskytujú. V polárnej tundre takéto veľké rozdiely teplôt počas dňa a noci neexistujú. Vietor zohráva významnú úlohu aj v alpínskej tundre. Silný vietor totiž

premiestňuje vrstvu vzduchu, ktorá sa nachádza pri povrchu. Zvyčajne ide o najteplejšiu vrstvu, kde sa nachádza vegetácia a ktorá vzniká vďaka zvýšenej absorpcii tepla tmavými povrchmi. Ak je takáto vrstva vzduchu odviata zostáva vegetácia a pôda pod vplyvom chladného vzduchu, čo výrazne formuje prítomnosť jej rôznych foriem. Smer prevládajúcich vetrov môže byť často určený na základe prítomnosti hornej hranice lesa. Napr. V pohorí Sierra Nevada v Kalifornii pod vplyvom Tichého oceánu tundra nachádza v nižších nadmorských výškach na západnej strane v porovnaní s východnou. Na západnej strane je hranica lesa vo výške 3 200 m, kým na chránenej východnej strane je to okolo 3 600 m.

Silné vetry najmä v blízkosti oceánov môžu úplne eliminovať stromy a vytvoriť vegetáciu podobnú tej, ktorá sa vyskytuje v tundre nižších zemepisných šírok. Takúto vegetáciu možno nájsť v Newfoundland, severnom Škótsku a na Ohňovej Zemi. Mikroklima pohorí je však komplikovaná aj zložitou topografiou. Strmé stúpanie a orientácia voči svetovým stranám ovplyvňujú, koľko slnečného žiarenia dopadne na konkrétne miesto. Južný svah na severnej pologuli so sklonom 10° dostane podobné množstvo energie ako rovina o 10° južnejšie, takže na južných svahoch je hranica tundry posunutá do vyššej nadmorskej výške.

Ako už bolo spomenuté polárna tundra predstavuje chladnú púšť, pretože vzdušné masy do oblastí pólův prinášajú malé množstvo zrážok. Avšak v horských lokalitách je vzduch z nížinných oblastí alebo z oceánov často tlačенý a vytláčaný vetrom aj cez pohoria. Pri ochladzovaní vzduchu sa jeho kapacita zadržiavania vody znižuje, obsah vody kondenzuje a vytvárajú sa oblaky; kondenzovaná voda môže následne spadnúť v podobe dažďa alebo, ak je teplota dostatočne nízka, snehu. Náveterná strana pohorí dostáva najväčšie množstvo zrážok, naopak na záveternej strane tlak vzduchu klesá, čo vedie k oveľa menšiemu množstvu zrážok. Keďže sa nachádza v zrážkovom tieni vytvárajú sa tu suchšie podmienky. Vo všeobecnosti platí, že s narastajúcou nadmorskou výškou stúpa aj množstvo zrážok. V tropických veľhorách to platí až po hornú hranicu oblakov, po ktorú zvyčajne rastú hmlové lesy. Nad ňou množstvo zrážok opäť klesá, preto je tam alpínska tundra pomerne suchá.

Ďalším faktorom, ktorý musí byť v súvislosti s ekosystémami vyskytujúcimi sa vo vysokých nadmorských výškach spomenutý, je nízky tlak vzduchu a s tým súvisiaca nízka dostupnosť kyslíka. Prítomnosť kyslíka je extrémne dôležitá pre aktívne živočíchy, ktoré ho využívajú, ako hlavný dýchací plyn. Tlak vzduchu a množstvo kyslíka sú v nadmorskej výške 5 500 m n. m. iba polovičné v porovnaní s podmienkami na úrovni mora. Prítomnosť väčšiny cicavcov je kvôli tomu výrazne limitovaná po hranicu 5 800 m n. m. Avšak vtáky a bezstavovce dokážu existovať aj vo vyšších nadmorských výškach.

Vo vysokých nadmorských výškach je vysoká radiácia. Intenzita UV žiarenia rastie s nadmorskou výškou. Na každých 1000 m výšky rastie intenzita UV žiarenia asi o 10 %.

Pôdy

Pôdy vyskytujúce sa v tundrách sú ovplyvnené viacerými parametrami. Najdôležitejším z nich je prítomnosť trvalo zamrznutej pôdy - permafrostu. Vo všeobecnosti je ucelený a nachádza sa na celom území tundry s výnimkou oblastí pokrytých vodou. Hrúbka permafrostu môže byť až 600 m, avšak závisí od viacerých faktorov, ako sú priemerná ročná teplota, typ pôdy a materskej horniny, vzdialenosť od oceánu a topografia. V lete dochádza k topeniu jeho najvrchnejšej časti. Výsledkom tejto drastickej zmeny sú výrazne odlišné medzisezónne pôdne podmienky. Hĺbka rozmŕzania permafrostu je dôležitá pre druhové zloženie tundrovej vegetácie. Keďže v tundre je nízka evapotranspirácia, aj pri nízkych zrážkach dochádza k zamokreniu pôd. Navyiac, permafrost v malej hĺbke spôsobuje, že voda nezasakuje.

Permafrost v krajine vytvára špecifické, tzv. polygonálne útvary, ktorých vznik je spôsobený rozdielnym zamŕzaním aktívnej vrstvy pôdy. Jemnozrnné pôdy sa v dôsledku vyššieho obsahu vody vďaka meniacim sa teplotám sťahujú a rozťahujú viac, ako pôdy s hrubou textúrou. Ako pôda zamŕza, akékoľvek väčšie častice sú tlačené smerom nahor. Praskanie v dôsledku

vysychania, podobné vysychaniu bahna, je v tundre ďalším významným činiteľom pri pôdnom procese.

Tvorba ľadu znamená, že pôdy sú permanentne zdvíhané, premiešavané a narúšané, čo vedie k značnej miere nestability. Vrchné vrstvy pôdy sú na svahoch počas letného rozpúšťania vysoko pohyblivé, pretože sa kľžu po spodných zamrznutých vrstvách. Pôda sa takýmto spôsobom zosúva na nižšie položené územia, kde sa zhromažďuje. Ide o proces nazývaný soliflukcia a pôdy sa takto môžu zosunúť o 1 - 5 cm ročne. K premiešavaniu však dochádza aj na rovine, pretože vplyvom neustáleho zmrazovania a roztápania sa kamene dvíhajú k povrchu, čo vedie k neustálemu miešaniu vrchných vrstiev.

Fyzikálne zvetrávanie vedie k rozdrobovaniu a mechanickému poškodzovaniu hornín. Zmrazenie a rozmrazenie spôsobuje aj rozpad skál ich padanie, čo vedie v horských oblastiach k tvorbe masy kamenných sutín na svahoch pod útesmi. Fyzikálne zvetrávanie prebieha aj v aktívnej vrstve pôdy, kde sa častice horniny štiepia na menšie časti činnosťou vody, ktorá preniká do trhlín a zamŕza. Chemické látky obsiahnuté v horninách sa postupne uvoľňujú a sú tak dostupné pre rastliny. Okrem fyzikálneho zvetrávania môžu na horniny vyplývať aj živé organizmy, ktoré napomáhajú pri rozklade hornín. Napríklad lišajníky na povrchu exponovaných hornín aktívne vplývajú na horniny vylučovaním kyslých zlúčenín, ktorými povrch hornín rozpúšťajú tzv. exfoliaciou (odlupovanie vrstvičiek horniny). Povrch skál môžu pokrývať riasy. Ulitníky, ktoré sa nimi živia môžu pri prijímaní potravy jazykmi zoškrabovať i samotnú horninu. Korene rastlín, vrátane koreňov zakrpatených stromov môžu preniknúť do trhlín v skalách a rastom ich zväčšovať, pričom sila vyvíjaná koreňmi je plne dostatočná i na štiepenie samotných hornín.

Biologické a chemické zvetrávanie hornín a pôd prebieha v tundrových pôdach pomaly. Pôsobením baktérií a húb v pôde sa vytvárajú korozívne materiály, ktoré napomáhajú rozkladu minerálnych i organických látok, ale tento proces je v tundre pomalý, navyiac sa uskutočňuje iba v obdobiach roka s dostatočne vysokou teplotou na rast baktérií a húb. Obmedzená aktivita baktérií a húb v pôde znamená, že organická hmota produkovaná odumretými časťami rastlín sa rozkladá pomaly, v dôsledku čoho pôdy vytvárajú zásoby organického materiálu. Na vlhších miestach sa táto organická hmota môže hromadiť v podobe rašeliny. V tejto podobe dokáže zadržiavať vodu, čím bráni nadmernému vysychaniu pôdy v lete. Efektívne tiež udržiava živiny esenciálne pre rastliny. Väčšina arktických hornín je totiž relatívne chudobná na minerálne látky (najmä fosfor a dusík) a vďaka nízkemu množstvu zrážok sa do pôdy nedostávajú ani z atmosféry.

Pôdne typy

Pôdy tundry možno rozdeliť na dva hlavné typy - rankery a rašelinové pôdy. Rankery obsahujú množstvo kamenných úlomkov rôznych veľkostí a veľmi malé množstvo organického materiálu. Rozvíjajú sa na bohato zamokrených miestach, napr. na vrcholoch eskérov (Obr. 1.4).

Pozn. Eskér je geomorfologická forma vznikajúca činnosťou ľadovca. Vzniká ukladaním sedimentov podľadovcových riek pri ich ústí alebo výplňou podľadovcových tunelov. Eskéry majú tvar vlniacich sa úzkych chrbtov, pripomínajúcich železničný násyp.



Obrázok 1.4: Eskér.

Vegetácia na nich sa vyskytuje ojedinele a limitované množstvo vody zo zrážok nimi prechádza rýchlo. Rozklad materiálu je inhibovaný množstvom vody, takže sa akumuluje a vytvára rašelinisko nachádzajúce sa nad materskou horninou. Ide o mladé nevyzreté pôdy. Pôdny profil

je veľmi jednoduchý pozostávajúci s rozdrobených kameňov ležiacich nad bazálnou horninou alebo permafrostom. Rankery sa nachádzajú na miestach, kde nedávno ustúpili ľadovce, alebo na svahoch a suchých vyvýšeninách, často s malým alebo žiadnym vegetačným krytom. Na niektorých miestach Arktídy, kde vegetácia vytvára súvislý kryt, môže pôda vyzrieť a vytvoriť zložitejší profil.

Vegetácia tejto oblasti pozostáva z rastlín patriacich do čeľade vresovité (*Ericaceae*; napr. čučoriedky a vresy). Tieto rastliny sú zodpovedné za tvorbu kyslej vrstvy z odumretých listov. Mŕtvy rastlinný materiál sa zvyčajne hromadí ako vrstva pomaly sa rozkladajúcej organickej hmoty (humusu) na povrchu pôdy. Minerálna pôda pod humusom sa skladá z dvoch odlišných vrstiev: vrchnej vybielenej vrstvy a tmavšej červenkasto sfarbenej spodnej vrstvy. Organický vrchný kryt a vybielená vrstva sa nazývajú horizont A, spodná červená vrstva, je horizont B. Pod nimi je materská hornina, často ležiaca v permafroste. Takáto pôda sa nazýva podzol. Je veľmi častý v zóne tajgy, ale zasahuje aj do južných častí tundry, kde sa nachádza porast zakrpatených krov a stromov. Podzol je zvyčajne kyslý a chudobný na živiny, takže má vplyv na vegetáciu a následne na herbivory. Podmienky potrebné na vytvorenie vrstiev podzolu sú dosť komplikované. Voda z topiaceho sa snehu alebo dažďa sa vplyvom gravitácie cez pôdu posúva smerom nadol. Pri prechode vrstvou organického materiálu voda zachytáva rôzne organické látky, vrátane polyfenolov, pochádzajúcich z rozkladu rastlinných pletív. Tieto kyslé zlúčeniny napomáhajú pri rozpúšťaní množstva anorganických látok v horných vrstvách pôdy, vrátane železa a hliníka a tiež spôsobujú, že jemné ílovité častice sa stávajú mobilnými a migrujú pôdnym profilom nadol. Všetky tieto pohyblivé materiály sa ukladajú v horizonte B, kde vytvárajú kvôli farbe prítomných oxidov železa tmavočervenú zónu. Na trvale podmäčianých lokalitách sa vyskytujú glejové pôdy, charakteristické modro-šedým vzhľadom, spôsobeným absenciou kyslíka.

Pozn. Väčšina zdravých pôd má v sebe vzdušné priestory a prienik vzduchu do pôdy umožňuje kyslíku dostať sa k baktériám, plesniam, dážďovkám, koreňom rastlín a iným živým organizmom, ktoré v pôde prebývajú a závisia od kyslíka. Keď je pôda úplne nasýtená vodou, všetky vzduchové priestory a kanály smerujúce na povrch sú blokovanie stojatou vodou a vzduch nedokáže prenikáť do spodných vrstiev. Aj keď sa kyslík vo vode rozpúšťa a môže sa pohybovať difúziou, jeho rýchlosť pohybu je pri rozpustení vo vode asi 10 000-krát pomalšia, ako je tomu vo vzduchu. V prostredí nasiaknutom vodou je teda množstvo kyslíka často nedostatočné, mikroorganizmy, zvieratá a korene rastlín sú bez kyslíka a v takomto zložitom prostredí sa doslova topia.

Nedostatok kyslíka ovplyvňuje aj chemické procesy a to najmä tie, ktoré od jeho prítomnosti závisia. Ide najmä o reakcie zahŕňajúce prvok železo. Železo je veľmi častým prvkom vo všetkých pôdach. V dobre prevzdušnenej pôde je zvyčajne prítomné v oxidovanej forme (Fe^{3+}), ktoré sa často ďalej kombinuje s kyslíkom za vzniku oxidov železa majúcich červenkastú (hrdzavú) farbu, čo často dodáva pôde bohatú, tmavú farbu. Ak je však kyslíka nedostatok, podobne ako je tomu v glejových pôdach, železo sa redukuje (Fe^{2+}) a získava modro-šedú farbu. Takže podmáčané pôdy tundry nadobúdajú sivý charakter vďaka forme železa obsiahnutého v prostredí chudobnom na kyslík. Dôkladné preskúmanie profilu pôdy v gleji niekedy odhalí škvrny alebo čiary červenkastej farby. Hrdzavé škvrny a pruhy sú zvyčajne spojené s kanálmi, cez ktoré prenikli korene rastlín, ktoré uhynuli a rozpadli sa. Takto vznikajú prístupové cesty vzduchu do pôdy, čo vedie ku tvorbe Fe^{3+} a charakteristickej farbe hrdze.

Zhoršená priepustnosť pôd nemusí byť spôsobená len charakterom uloženia a zloženia pôdneho materiálu. Za takéto pôdy môžeme považovať kryosoly severných oblastí Eurázie a Severnej Ameriky. Kryosoly sa vyvinuli na permafroste, to znamená, že súčasťou pôdy je aj nikdy nerozmrzajúca vrstva ľadu alebo jeho úlomkov.

Ekosystém tundry

Rovnako ako vo väčšine ekosystémov, energia vstupuje do ekosystému tundry v podobe slnečného žiarenia. Polárna tundra je ovplyvnená distribúciou slnečného žiarenia počas roka. Počas polárneho dňa sú dni veľmi dlhé a noci veľmi krátke. Medzi pólmi a antarktickým resp. arktickým kruhom nie je tma určitú časť roka vôbec. Naopak, počas polárnej noci je veľmi málo, resp. žiadne svetlo. Dĺžka dňa vo vysokohorskej tundre sa sezónne líši podľa toho, ako ďaleko od rovníka sa nachádza. V blízkosti rovníka je veľmi malá variabilita v dĺžke dňa a noci. Trvanie denného svetla ovplyvňuje množstvo fotosyntézy, ktoré môžu zelené rastliny dosiahnuť. Dýchajú sústavne (teda aj počas tmy), takže ak je dĺžka dňa veľmi krátka môžu stratiť viac energie, ako si dokážu vyrobiť. Vtedy musia čerpať energiu z rezerv, aby prežili. Veľa rastlín kvôli tomu vstupuje počas polárnej noci do stavu dormancie, vďaka čomu znižujú mieru dýchania a limitujú straty energie na minimum. Podobne môžu reagovať na nízke teploty a snehovú pokrývku aj rastliny vyskytujúce sa v alpínskej tundre, pretože je to výhodnejšie ako by mali udržiavať nízke hladiny produktivity.

Krátke vegetačné obdobie ekosystému tundry znamená, že celkové množstvo primárnej produkcie počas roka je v porovnaní s ostatnými ekosystémami relatívne malé. Avšak presné zhodnotenie množstva primárnej produkcie nie je jednoduché z viacerých dôvodov. Časť energie, ktorá sa hromadí, je vo forme koreňov a rast koreňov sa nemeria jednoducho; časť rastlín sa rozloží, časť je skonzumovaná organizmami (teda prechádza do vyšších úrovní potravného reťazca) a pod. Vegetácia tundry je veľmi variabilná. Existujú miesta, kde vegetácia nie je schopná prežiť a preto budú mať tieto oblasti nulovú primárnu produkciu. Množstvo ročnej produkcie sušiny v arktickej tundre, kde sa rastlinstvo vyskytuje sa pohybuje od 0, 14 do 0, 23 kg/m². Produkcia alpínskej tundry je podobná, zvyčajne sa nachádza pod hodnotou 0, 3 kg/m². V porovnaní s tropickým dažďovým lesom je táto produkcia o rád nižšia, keďže ten má ročnú primárnu produkciu okolo 3 kg/m². Taktiež je nižšia aj v porovnaní s opadavým listnatým lesom s výnosom 1 kg/m². Avšak primárna produkcia je veľmi podobná ročnej produkcii nachádzajúcej sa v púšťach. Z hľadiska produktivity je teda ekosystém tundry rovnocenný ekosystému púšte.

Ekosystémy s nízkou primárnou produkciou majú vo všeobecnosti obmedzené množstvo živočíšnych druhov a relatívne chudobnú biodiverzitu, čo platí aj pre tundu. Na jar, akonáhle sú podmienky priaznivé, začnú rásť rastliny. Tieto podmienky hneď využívajú bezstavovce vrátane húseníc, koníkov, či herbivorných chrobákov. Následne sa začínajú rozvíjať populácie dravých bezstavovcov (pavúky, chrobáky, kosce), ktorým slúžia ako zdroj potravy bylinožravé bezstavovce spomenuté vyššie. Tundra je povestná aj obrovským množstvom krv cicajúceho vodného hmyzu. V stojatých vodách sa liahnu larvy komárov (Culicidae), v tečúcich zasa muškovitých (Simuliidae). Vo vode sa vyvíja množstvo ďalšieho vodného hmyzu, napr. vážky (Odonata), pošvatky (Plecoptera), potočníky (Trichoptera) a pakomáre (Chironomidae). Výhody narastajúceho počtu hmyzu využívajú aj väčšie živočíchy. Niektoré druhy vtákov, ako napr. snehula horská (*Lagopus mutus*) a snehula kapcavá (*Lagopus lagopus*), sú permanentnými obyvateľmi tundry a väčšinu roka sa živia vegetáciou. Avšak na jar po vyliahnutí mláďat sa preorientujú na rozvinutý hmyz, ktorý slúži ako zdroj potravy bohatej na bielkoviny. Ostatné druhy vtákov prichádzajú do arktickej tundry po prečkaní zimy v južnejších oblastiach. Na zvýšenie svojho reprodukčného úspechu využívajú dlhé dni a bohaté množstvo bezstavovcov slúžiacich ako zdroj potravy, napr. kulíky (*Charadrius*), breháre (*Limosa*) a pobrežníky (*Calidris*). Taktiež granivorné druhy vtákov (živiace sa semenami), napr. snehulka severská (*Plectrophenax nivalis*), ostrohárka severská (*Calcarius lapponicus*) sa v tomto období roka menia na insektivorné (hmyzožravé), práve vďaka vysokému obsahu proteínov, ktoré využívajú pred znáškou vajec. Spolu s predĺžovaním svetelnej časti dňa prilietajú do arktickej tundry aj kačice a husi živiace sa vegetáciou, ktoré tiež obohacujú svoju potravu o bielkoviny z bezstavovcov. Stáda sobov arktických (*Rangifer*

tarandus) sa vracajú z juhu na preferované rozmnožovacie lokality pričom sa živia novovyrastenou vegetáciou bohatou na živiny. Malé bylinožravé cicavce vrátane lumíkov (rod *Lemmus*), vnímajú zvýšený prísun čerstvej potravy ako podnet na začiatok rozmnožovacej sezóny.

Zvyšujúci sa počet stavovcov poskytuje potravný zdroj pre predátory. Sokol poľovnícky (*Cherrug rusticolus*) loví najmä iné vtáky. Belaňa tundrová (*Nyctaea scandiaca*), myšiak severský (*Buteo lagopus*) a líšky polárne (*Alopex lagopus*) sa sústreďujú na malé cicavce. Veľké cicavce, najmä soby arktické, sú lovené vlkmi dravými (*Canis lupus*).

Tento potravný reťazec je výlučne suchozemský, ale existuje aj tok energie z morí, ktoré ekosystém polárnej tundry obklopujú. Primárna produkcia v oceánoch je zabezpečená najmä rastom fytoplanktónu, ktorý pláva vo vyšších vrstvách oceánu. Ten je zdrojom potravy pre zooplanktón, najmä kôrovce, ktoré zase slúžia ako zdroj potravy rybám a niektorým druhom veľrýb. Ryby konzumujú tulene a tiež množstvo morských druhov vtákov. Obe skupiny organizmov (tulene i morské vtáky) využívajú na rozmnožovanie suchú zem, či už otvorenú tundru, útesy a pláže alebo ľadovec. Na zemi sa môžu stať korisťou jedného z vrcholových predátorov arktickej tundry, medveďa bieleho (*Ursus maritimus*). Morské vtáky poskytujú zdroj potravy pre polárne líšky a dravé vtáky.

Ktorýkoľvek z týchto organizmov, od rastlín až po medvede biele, môže uniknúť nepriateľom alebo uhynúť prirodzenou cestou. Telesné pozostatky, ako i výlučky organizmov vstupujú do pôdy, kde sú spotrebované rozkladačmi. Dážďovky, larvy chrobákov, tipule, či chvostoskoky, všetky pôsobia ako rozkladače využívajúc odumretý materiál, stále obsahujúci energiu, ktorú uvoľňujú štiepením. Posledný stupeň rozkladu zabezpečujú huby a baktérie, využívajúce posledné zbytky energie z odumretého materiálu premieňajúc ju na teplo.

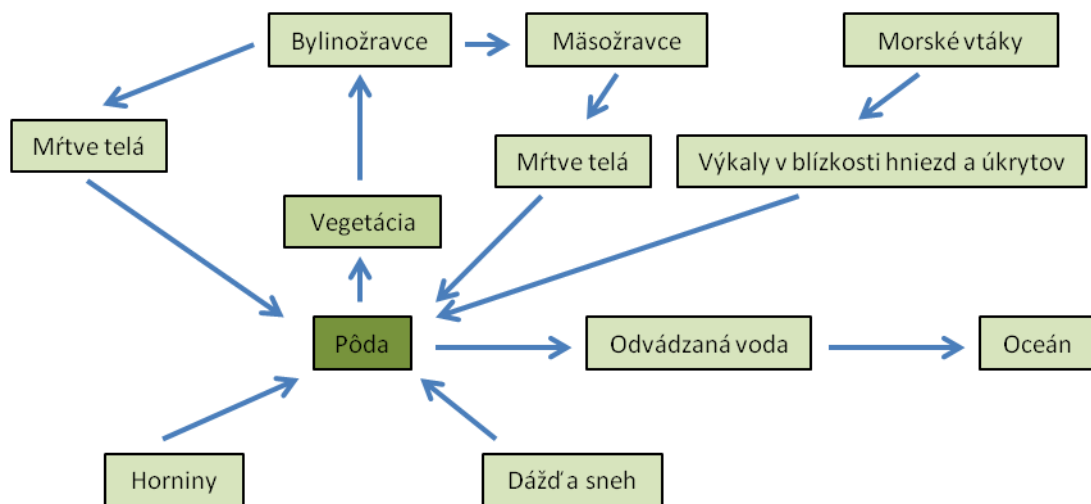
Nízka primárna produkcia tundry znamená, že do ekosystému vstupuje iba obmedzené množstvo energie využívané konzumentami, takže potravné siete bývajú pomerne jednoduché v porovnaní s biómami s vysokou primárnou produkciou, ako napríklad tropické lesy. Potravné siete sa môžu rozširovať alebo zužovať v závislosti od sezóny a dostupnosti energie, čo v praxi znamená, že zima predstavuje vypnutie ekosystému. Dokonca ani rozkladače nie sú schopné zostať trvalo aktívne z dôvodu intenzívneho chladu. V období polárnej noci, keď je teplota veľmi nízka mnohé druhy opúšťajú tundru alebo vstupujú do stavu dormancie.

Kolobeh živín v tundre

Chemické prvky nachádzajúce sa v rôznych častiach prostredia môžu byť živými organizmami neustále využívané a po uvoľnení zo zabudovanej štruktúry (organizmu po jeho smrti) opätovne používané. Uhlík, ktorý je najhojnejšie zastúpeným prvkom v živých organizmoch, je z atmosféry odoberaný fotosyntetizujúcimi rastlinami a neustále sa prostredníctvom dýchania rastlín, živočíchov a mikroorganizmov vracia nazad. Medzi živými a neživými zložkami ekosystému prebieha nekonečný kolobeh výmeny. To isté platí pre všetky prvky, ktoré sa v živých telách organizmov nachádzajú. V spoločenstve je mimoriadne dôležitá prítomnosť organizmov viažucich dusík (baktérie a sinice), pretože umožňuje celému ekosystému využívať zásobu plynného dusíka. Atmosféra je teda zdrojom určitých životne dôležitých prvkov pre udržanie života. V ekosystémoch existujú ďalšie dva veľké zásobníky chemických prvkov. Jedným je pôda a druhým živé organizmy, teda biomasa. Pôdy v tundrových oblastiach sú tvorené rozpadom materskej horniny, takže ich chemické zloženie závisí najmä od jej povahy. Mnohé z nich sú chudobné na chemické prvky, ale skutočnosť, že sú neustále zmrazovaním a rozmrazovaním rozbíjané znamená neustály prísun nového materiálu. Taktiež odumreté pozostatky rastlín a živočíchov slúžia ako zdroj prvkov v pôde. Keď rozkladače získajú energiu z organických zložiek mŕtveho materiálu zanechávajú po sebe tiež zvyškové prvky, ako sú dusík, fosfor, vápnik, draslík, horčík a mnoho ďalších, ktoré boli kedysi súčasťou živých organizmov. Po ich uvoľnení sa tieto prvky dostávajú do pôdy. Živočíchy ukladajú niektoré

materiály do pôdy ešte pred smrťou v podobe svojich výlučkov. Moč je odpadovým produktom, ktorý umožňuje živočíchovi zbaviť sa toxických prvkov ako i materiálov, ktoré sa v organizme nachádzajú v nadmernom množstve, teda najmä dusíka.

Najmä predátori prijímajú viac bielkovín ako potrebujú, takže z tela odstraňujú dusíkatú zložku a zvyšok premieňajú na sacharidy alebo tuky. Cicavce vylučujú dusík vo forme močoviny, zatiaľ čo vtáky a plazy ho vylučujú ako kyselinu močovú, obe však pôde zabezpečujú zdroj dusíka. Fekálny materiál je zložitejší, pretože pozostáva z čiastočne strávených organických látok. Rovnako, ako moč, je však rýchlo využívaný pôdnymi hubami a baktériami, ktoré uvoľňujú veľa jeho zložiek do pôdy. Niektoré časti ekosystému tundry môžu byť silne ovplyvnené prísunom exkrementov a to najmä v oblastiach, kde sa zokupujú alebo rozmnožujú morské vtáky. Prvky pochádzajúce z morských potravných sietí sú tak následne ukladané vo veľkom množstve okolo hniezd a miest na hniezdenie, čo výrazne zvyšuje obsah dusíka a fosforu v miestnych pôdach (Obr. 1.5).



Obrázok 1.5: Kolobeh látok v ekosystéme tundry. Živiny sa sústavne pohybujú medzi pôdou, vegetáciou, bylinožravcami a mäsožravcami. Exkrécia, smrť a rozklad vďaka dekompozítorom zabezpečujú, že živiny môžu byť opakovane použité.

Ďalším zdrojom chemických prvkov, ktoré sa dostávajú do pôdy sú dážď a sneh. Ako zrážky prechádzajú cez atmosféru nabaľujú na seba prach a iné suspendované materiály, vrátane kryštálov solí alebo kvapôčok pochádzajúcich z oceánu. Zrážky tak zabezpečujú prísun sodíka a chlóru, spolu s vápnikom a horčíkom prítomných v morskej vode. V regiónoch tundry ležiacich blízko oceánu môžu byť vstupy týchto prvkov extrémne vysoké, avšak izolovanejšie a kontinentálne oblasti dostávajú len zlomok.

Tundrové pôdy živiny nielen získavajú, ale aj strácajú zabudovaním do biomasy a vylúhovaním do susedných vodných ekosystémov. Vo väčšine suchozemských ekosystémov je veľká väčšina biomasy vo forme vegetácie. Vegetácia preto predstavuje hlavný rezervoár chemických prvkov. Avšak tundra nepodporuje rast objemnej vegetácie. Dokonca aj v tej najluxusnejšej podobe, kde je zem pokrytá zakrpatenými stromami brezy a vrbí celkové množstvo sušiny dosahuje maximálne 0,6 kg/m². Takže aj keď je vegetácia tundry dôležitým rezervoárom živín, nie je veľkým. Vegetáciu spásajú živočíchy, ktoré z nej získavajú energiu i živiny. Látky sa v procese kolobehu nestrácajú, ale sú recyklované prostredníctvom exkrécie, smrti a rozkladu. Rozkladače preto majú v procese kolobehu látok veľmi dôležitú úlohu. Rozklad je v ekosystéme tundry obzvlášť dôležitý, pretože celkové množstvo prítomných živín je nízke a recyklácia je kritická. Rozklad je však často limitovaný nízkou teplotou a množstvom vody v pôde. Zamokrenie pôd spôsobuje nedostatok kyslíka a nízke teploty znižujú mikrobiálnu

aktivitu. Preto je rozklad organickej hmoty v tundre pomalý, čo vedie ku jej akumulácii napr. v podobe rašeliny, čím sa stáva nedostupnou pre organizmy a vytráca sa z kolobehu živín v ekosystéme. Populačné explózie bylinožravcov (napr. lumíkov), môžu súvisieť so zmenami v dostupnosti životne dôležitého a limitujúceho prvku - fosforu. V prípade, že sa fosfor stane dostupným v dôsledku intenzívnejšieho rozkladu, vegetácia rastie rýchlejšie a produkuje bohatší zdroj potravy, čo vedie ku rýchlejšiemu populačnému rastu bylinožravcov.

Nízke hodnoty biomasy a pomalý kolobeh živín v ekosystéme tundry môže vyústiť do jej zraniteľnosti. Vo všeobecnosti platí, že ekosystémy s veľkým množstvom biomasy (s obrovskými zásobníkmi živín uložených v rastlinných tkanivách, ako napr. v prípade lesa) sú prípadnými výkyvmi ťažšie narušiteľné, než ekosystémy s nízkym množstvom biomasy.

Biodiverzita tundry a adaptácie

Nie je pochýb o tom, že život v ťažkých podmienkach tundry je drsný a veľmi náročný. Dokázalo sa mu prispôbiť iba málo druhov, ale tie, ktorým sa to podarilo sú zaujímavé z ekologického i evolučného hľadiska. Organizmy žijúce v tundre musia byť extrémne odolné, čo viedlo k vytvoreniu nezvyčajných vlastností, ktoré im pomáhajú prežiť. Nízke teploty majú najväčší vplyv na poikilotermné organizmy. Keďže enzýmy pracujú najefektívnejšie pri vyšších teplotách, chemické reakcie u nich prebiehajú pomalšie. Rastú, rozmnožujú a pohybujú sa pomalšie. To vedie k zníženiu ich schopnosti viesť kompetičný boj alebo napr. zabrániť útoku predátora.

V prípade polárnej tundry je problémom aj množstvo slnečného žiarenia, ktoré chýba počas polárnej noci. Bez svetla sú rastliny neschopné rasti a teda by mali byť schopné prežiť v štádiu dormancie. Živočíchy, ktoré potrebujú svetlo napr. na hľadanie potravy sú v nevýhode. Buď tiež prechádzajú do nejakej formy dormancie alebo si vytvoria alternatívnu stratégiu v podobe migrácie do vhodnejších podmienok a následného návratu na jar, kedy sú podmienky opäť vhodné.

Silný vietor spôsobuje znižovanie telesnej teploty odoberaním teplého vzduchu, ktorý sa nachádza na povrchu organizmov. Tvorba ochlpenia u rastlín i živočíchov napomáha udržaniu tejto jemnej vrstvy a chráni tak organizmy pred zvýšenou stratou tepla.

Napadnutý sneh, ktorý prechádza štádiami topenia a zamŕzania vytvára drobné čiastočky ľadu, ktoré sa vďaka silnému vetru dostávajú do vzduchu, čo má ničivý vplyv na všetky organizmy tundry od rastlín až po veľké cicavce. Ich vplyvom dochádza ku prerážaniu listov, pokožky a pod., čo vedie k poškodeniu integrity organizmov a zvýšenej náchylnosti na infekciu.

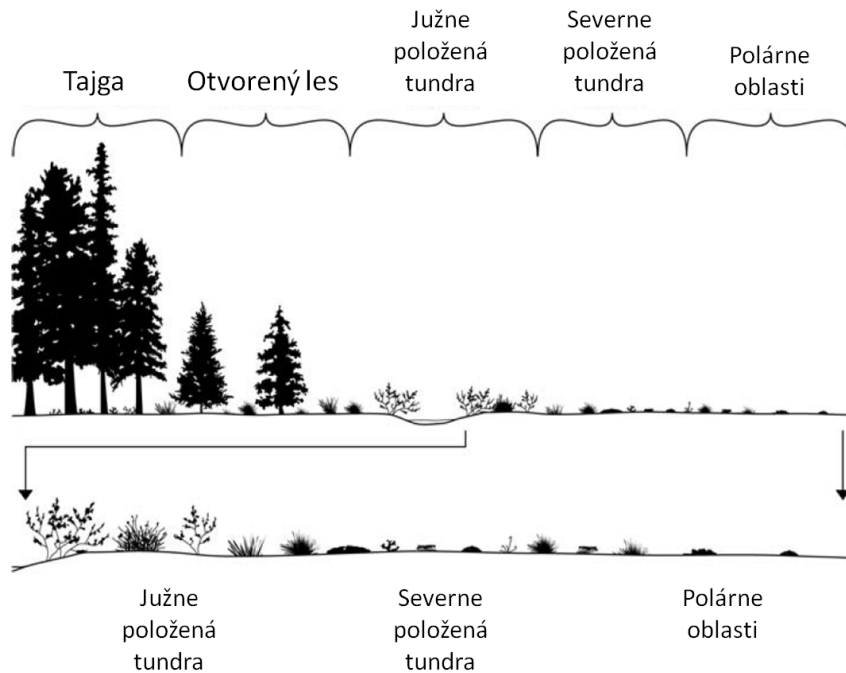
Snehová pokrývka môže byť nápomocná alebo zničujúca. Pridáva totiž na už aj tak dlhej dobe tmy a vedie ku skráteniu obdobia kedy sa rastliny rozmnožujú a rastú. Iba malé množstvo rastlín dokáže prežiť v takýchto podmienkach. Na druhej strane sneh poskytuje izolačnú vrstvu pred chladom a vetrom, z čoho profitujú najmä hibernujúce živočíchy a rastliny v dormantnej fáze.

Sucho predstavuje tiež významný problém v bióme tundry. Oblasťami so skalnatou pôdou preteká voda rýchlo a tak sú rastliny a bezstavovce so zníženou mobilitou (nap. slimáky a dážďovky) odsúdené na vyschnutie a to najmä v prípade nízkeho množstva zrážok, či už v podobe snehu alebo dažďa. Tento problém je typický najmä pre polárnu tundru. Rastliny si preto vyvinuli adaptácie napr. v podobe vždyzelených listov s pevnou a voskovitou pokožkou. Zima môže spôsobiť, že voda i keď sa v prostredí nachádza nedokáže byť organizmami využívaná, pretože je v podobe snehu a ľadu. Vtedy dochádza v prípade rastlín k tzv. fyziologickému suchu, čo znamená, že hoci sa v okolí nachádza veľké množstvo vody je v nevyhovujúcej podobe a preto sa nedokáže dostať do pôdy, čo vedie ku vodnému stresu.

Rastlinstvo

Tundra je vlastne vlhké arktické trávnaté spoločenstvo, v ktorom prevládajú lišajníky, trávy, ostrice a zakrpatené dreviny, najmä brezy a krovinaté vŕby. Chladné podnebie a častý vietor

spôsobujú, že v tundre dominujú hemikryptofty a chamaefyty. Chamaefyty sú nízke kry a trvalky vytvárajúce plazivé, vankúšovité a kobercovité porasty rastúce do výšky zhruba 25 cm, s púčikmi nachádzajúcimi sa blízko povrchu. Výhodou tejto rastovej formy je, že sú chránené pred silným vetrom, ktorý je intenzívnejší vyššie nad zemou, takže vyššia vegetácia sa v tundre neuplatní (Obr. 1.6). Tesne nad povrchom pôdy je udržiavaná vyššia teplota v porovnaní s chladným vzduchom alebo permafrostom. Vo vankúši sa lepšie drží voda a živiny. Táto rastová forma je tiež veľmi dôležitá pre bezstavovce, ktorým poskytuje ochranu.



Obrázok 1.6: Pokles výšky vegetácie od tajgy až po polárne oblasti (Zdroj: Jeff Dixon, upravené).

Podobne, ako nadzemné časti rastliny nerastú vysoko nad povrchom, ani korene neprenikajú hlboko do pôdy. Pôda býva často slabo štruktúrovaná a skalnatá, čo zabraňuje penetrácii koreňov. Ale i keď napr. v rašelinovej pôde môžu korene prenikať ľahko, trvalo zamrznuté vrstvy pôdy zabraňujú rozvoju koreňovej sústavy. Korene prenikajú iba pár centimetrov pod povrch.

Počas krátkeho leta musia tundrové rastliny musia využiť krátke leto, preto veľmi rýchlo vykvitnú a tundra sa rozíhľa všetkými farbami kvitnúcich páperníkov, silenky bezbyľovej, iskerníkov, lomikameňov, všivcov, nezábudok či vresovcov. Rastliny sa na život v tundre adaptujú dlhovekosťou (prevládajú trvalky), vegetatívnym šírením, živorodosťou a polyploidiou. Ochrana pred vysychaním zabezpečujú určité modifikácie rastlín. U rastlín tundry prevažujú vždyzelené listy, ktoré však musia znížovať stratu vody na minimum. Zvyčajne sú hrubé, okrúhle, lesklé vďaka prítomnosti voskov v pokožke a môžu obsahovať chlípky. Všetky tieto adaptácie zabezpečujú znížovanie strát vody, znížením jej evaporácie prieduchmi. Okrem hospodárenia s vodou, napr. prítomnosť striebriстых chlípok na povrchu listov zabezpečuje odrážanie slnečného žiarenia a ochraňuje tak list pred prehriatím. Ak sa totiž v liste akumuluje teplo stráca vodu rýchlejšie, takže udržať list chladným počas horúceho dňa predstavuje výhodu.

Alternatívou sú opadavé rastliny. Keďže majú počas obdobia s nedostatkom vody (jeseň, zima) menej listov, potrebujú menej vody. Ročné rastliny, tzv. terofyty, sa v tundre objavujú zriedkavo. Problémom totiž je, že celý životný cyklus (klíčenie, rast, tvorba kvetov a semien) sa musí uskutočniť za jednu sezónu. Na miestach, kde je táto sezóna veľmi krátka je dosiahnutie úspechu veľmi náročné.

Tundrové rastliny často majú veľké nápadné kvety, aby zaujali opel'ovačov na mieste, kde je málo času a kompetícia o opel'ovače vysoká. Niektoré kvety sa počas dňa otáčajú za slnkom, čo zvyšuje ich teplotu a následne povzbudzuje aktivitu hmyzu. Kvety môžu fungovať ako parabolické zrkadlo, ktoré sústreďuje slnečné lúče do stredu kvetu, kde sú tyčinky a piestik. V centre kvetu dryádky (*Dryas octopetala*) bola nameraná teplota o 10 °C vyššia ako v okolí.

Typickou adaptáciou rastlín tropickej alpínskej tundry je vysokohorský gigantizmus rodov *Senecio*, *Lobelia* a juhoamerického rodu *Espeletia*. Vytvárajú stonky podobné kmeňu stromu, u niektorých druhov vysoké aj niekoľko metrov, zakončené rastie ružicou listov s hrubou voskovitou a ochlpenou pokožkou. Stonky sú obalené kompaktnou hmotou odumretých listov, ktoré vytvárajú izolačnú vrstvu okolo živých buniek byle. Keďže teplota, ktorá sa môže v nadmorskej výške 3 800 m n. m. v noci vyskytovať klesá pod nulu aj v rovníkovej oblasti, vrstva listov na kmeňoch zabezpečuje, že i keď teplota vzduchu klesne na -4°C, pod izolačnou vrstvou zostáva okolo 2°C. Takéto rastliny sú dominantami tropickej alpínskej tundry. V Andách od severného Ekvádoru po severnú Kolumbiu a Venezuelu sa takéto ekosystémy volajú páramos.

Očividne najväčším problémom rastlín tundry je zvládnutie chladu. Preto sú častokrát obalené v odumretých listoch alebo majú vysokú denzitu chlpkov. Skutočným problémom živých buniek po vystavení chladu je vysoký obsah vody v ich štruktúrach, ktorý ich vystavuje nebezpečenstvu zamrznutia. Zamrznutie bunky znamená tvorbu kryštálov ľadu v jej vnútri. Keďže voda v rastlinnej bunke zaberá veľký objem môže dôjsť k zničeniu jej jednotlivých častí, najmä membrán, ktoré obklopujú jemné organely (jadro, chloroplasty, mitochondrie, atď.). Keď dôjde k rozmrazeniu poškodenie sa naplno prejaví a často vedie ku smrti bunky. Rastliny si preto vytvorili nemrznúce zlúčeniny, ktoré im napomáhajú pri vyrovnávaní sa s nízkou teplotou. Niektoré aminokyseliny môžu predstavovať určitý typ nemrznúcich produktov. Napr. aminokyselina prolín funguje na podobnom princípe u rastlín, ako i niektorých druhov rýb. Iné rastliny používajú glycerol, manitol a sorbitol. Pomocou nich môžu bunky znížiť bod mrznutia a zvýšiť tým tak šancu na prežitie.

Typické pre tundru sú machy. Nemajú voskovitú ochranu, ktorá by zabránila ich vysušeniu, avšak veľa druhov je schopných prežiť v suchom stave mnoho rokov bez toho, že by stratili schopnosť opätovného rastu. Tiež dokážu fotosyntetizovať a rásť pri nízkych teplotách. Úspech machov môžeme posudzovať aj na základe jednoduchého porovnania rastlín, ktoré sa v polárnej tundre vyskytujú.

Mikroorganizmy

Mikrobiálna biodiverzita tundry je v porovnaní s biómami s teplejšou klímou, veľmi nízka. Niektoré mikroorganizmy prežívajú extrémny chlad vo forme rezistentných spór, čím zabraňujú vysušeniu alebo narušeniu buniek kryštálmi ľadu. Iné uhynú a na dané miesto sa dostanú vzduchom nasledujúcu jar. Niektoré sú schopné zachovať svoju aktivitu aj pri veľmi nízkych teplotách a tieto pravdepodobne dokážu prežiť aj zimu v tundre. Enzýmy týchto mikróbov musia fungovať aj pri nízkych teplotách a zároveň bránia molekulárnemu rozpadu, ktorý by za daných okolností prebiehal u väčšiny rastlín a živočíchov. Využívajú nemrznúce zlúčeniny podobne, ako rastliny. Môžu takto využívať cukor, glycerol, rôzne tuky, ktoré im pomáhajú znižovať bod zamrznutia v dôsledku čoho nezamrzajú ani pri teplote -15°C.

Veľmi dôležitou skupinou mikroorganizmov tundry sú sinice. Možno nájsť na povrchoch skál, pôdy alebo v spojení s hubami v lišajníkoch. Ich úlohou nie je len fixovanie slnečnej energie v procese fotosyntézy, ale sú zodpovedné aj za fixáciu vzdušného dusíka a jeho následného zabudovania do organických molekúl vrátane proteínov, čím sa stávajú dostupnými pre rastliny i živočíchy. Kvôli tomu majú nezastupiteľnú úlohu vo fungovaní tundrového ekosystému.

Lišajníky predstavujú dôležitú súčasť biómu tundry. Mnoho ich druhov je silno pigmentovaných a majú žiarivé farby, čo má však aj praktickú stránku. Pigmenty ochraňujú jemné bunky pred vysokou intenzitou slnečného žiarenia, najmä jeho ultrafialovej zložky. Lišajníky rastú veľmi pomaly, takže sú citlivé na vysokú intenzitu spásania (napríklad sobmi) a na zošliapanie. Na druhej strane sú veľmi húževnaté, takže dokážu fotosyntetizovať aj pri nízkych teplotách. Lišajník *Umbilicaria aprina*, dokáže fotosyntetizovať pri teplote -17°C .

Bezstavovce

Množstvo bezstavovcov žije v pôde, pretože jej povrchové vrstvy sú počas letných mesiacov teplé a vlhké. Nachádzajú sa tu hlístovce (Nematoda) a obrúčkavce (Annelida), pričom hlístovce sú najpočetnejšie a najrozmanitejšie v rámci všetkých živočíchov tundry. Väčšina z nich je detritofágna, teda sa živí odumretou organickou hmotou. Niektoré sa živia riasami alebo baktériami nachádzajúcimi sa v pôde. Sú medzi nimi predátory, ktoré aktívne napádajú iné bezstavovce, iné sa živia hubami alebo rastlinami. Niektoré druhy sú tolerantné voči nízkym teplotám. Napr. *Panagrolaimus davidi* vďaka nemrznúcim zlúčeninám nezamrzá pri teplote -40°C . Obrúčkavce sú najmä detritofágne a nachádzajú sa najmä v organických rašelinových pôdach. Ďalšími detritofágnymi predstaviteľmi bezstavovcov sú chvostoskoky (Collembola). Herbivorný hmyz reprezentujú chrobáky z čeľ. Curculionidae, motýle a dvojkrídlovce z čeľade tipulovité (Tipulidae). Množstvo múch a motýľov má funkciu opel'ovačov kvitnúcich kvetov. Taktiež sa tu nachádza prekvapivo veľké množstvo nočných motýľov, ktoré sú tiež opel'ovačmi. O opel'ovanie tundrových rastlín sa starajú aj čmele a malé dvojkrídlovce. Arktické čmele vytvárajú iba majú kolónie, pretože sa počas krátkeho leta nestačia viac rozmnožiť. Niektoré druhy neprodukujú robotnice, pretože majú čas iba na jedno potomstvo. To môžu zaručiť iba samce a kráľovné. Niektoré motýle zasa potrebujú pre veľký chlad na dosiahnutie dospelosti až dva roky. Rekordérom je motýľ *Gynaephora groenlandica*, ktorého vývin môže trvať až 15 rokov. Veľmi nepríjemné sú muchy strečky (Oestridae). Niektoré druhy strečkov kladú vajíčka sobom pod kožu. Z vajíčok sa vyvíjajú larvy, ktoré sa neskôr prevrtávajú cez kožu, vypadnú z tela hostiteľa na zem, a tam metamorfujú na dospelého strečka. Iné druhy strečkov napádajú nosovú dutinu sobov, kde aj znášajú vajíčka. V tundre sa nachádza množstvo mokradí, ktoré predstavujú habitaty pre množstvo bezstavovcov. Z dvojkrídlovcov to sú najmä krv cicajúce komáre (Culicidae) a početné pakomáre (Chironomidae). Motýle čeľade Satyridae sú dobrým príkladom predominancie tmavých farieb u hmyzu tundry. Tmavé farby efektívne pohlcujú teplo zo slnka, ktoré u studenokrvných živočíchov predstavuje významný zdroj energie. Hmyz v tundre je pomerne malý. Malý jedinec má väčšiu plochu na jednotku veľkosti tela, takže teplo zo slnečnej energie sa ľahšie šíri do všetkých častí tela.

U niektorých muškovitých, pakomároch a pošvatiek bola pozorovaná partenogenéza. Samce sú extrémne vzácne alebo sa vôbec nevyskytujú a samice kladú vajíčka nevyžadujúce oplodnenie.

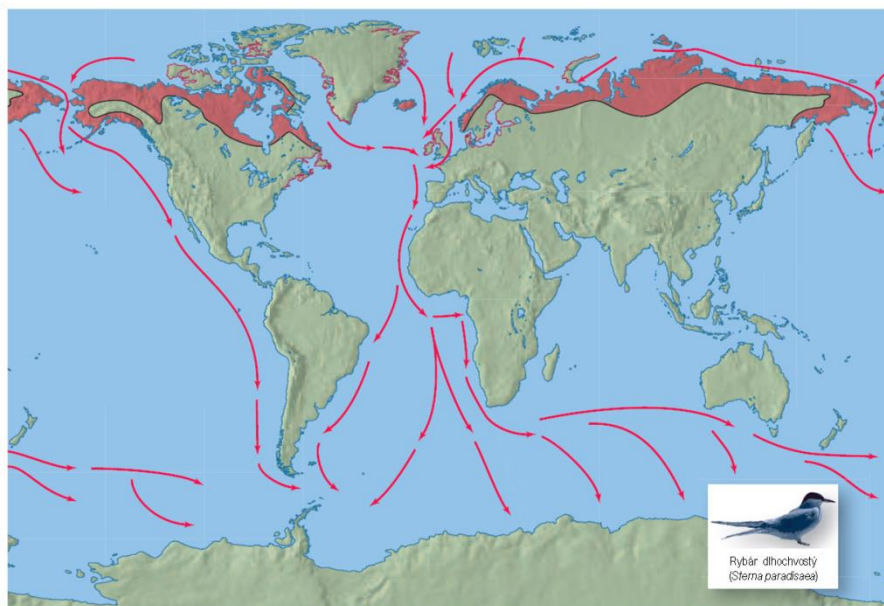
Vtáky

Arktická polárna tundra je veľmi atraktívne miesto pre migrujúce vtáky, ktoré tu hniezdia a privádzajú na svet potomstvo. Využívajú dlhé dni, obrovskú biomasu hmyzu a morských živočíchov. Na Aljaške sa vyskytuje 113 druhov, v kanadskej tundre 105 a v ruskej tundre 136 druhov hniezdiacich vtákov. Avšak iba veľmi málo z nich zostáva v tundre aj počas zimy. Antarktída je chudobná na vegetáciu, možnosti vtákov, ktoré sa neživia v oceáne sú tu preto obmedzené. Alpínska tundra poskytuje miestne zdroje potravy pochádzajúce z alpínskej vegetácie, avšak nedokáže poskytnúť také dlhé dni, aké sa vyskytujú v polárnej tundre počas polárneho leta. Príkladmi skutočných obyvateľov tundry z radov vtákov sú snehuľa kapcavá (*Lagopus lagopus*) a snehuľa horská (*L. mutus*). Počas zimy sú oba druhy snehovo biele s tmavším chvostom, avšak počas letných mesiacov tmavnú a iba krídla zostávajú biele, čo slúži ako kamufláž pred predátormi. Počas zimy sa zdržiavajú spolu, avšak počas letných mesiacoch

sa oddeľujú a vytvárajú hniezdiace páry. Zaujímavosťou je, že majú operené nohy, čo zabraňuje stratám tepla pri kontakte so snehom alebo chladným povrchom. Belaňa tundrová (*Nyctea scandiaca*), sokol poľovnícky (*Falco rusticolus*) a sokol sťahovavý (*F. peregrinus*) sú tiež permanentnými obyvateľmi tundry, avšak patria k predátorom. Sokoly sa živia najmä už spomínanými snehuľami (88% potravy na Aljaške a 96% v Grónsku). Koristiť môžu však aj morské vtáky a malé cicavce (napr. lumíky). Naopak hlavným zdrojom potravy belane sú lumíky a početnosť ich populácií (belaňa vs. lumík) je na seba silne naviazaná. Orliak morský (*Haliaetus albicilla*) je tiež často spájaný s tundrou, avšak živí sa prevažne rybami a iba príležitostne loví vtáky alebo cicavce žijúce v tundre.

V arktickej tundre trávi leto množstvo druhov vodných vtákov, kde sa ďaleko od ľudských obydľí v pokoji rozmnožujú. Patria k nim napríklad brodivé druhy ako pobrežníky (*Calidris*), či kačice a husy. Niektoré druhy si vyvinuli špecifické adaptácie na lov vodných bezstavovcov. Napr. lyskonohy (*Phalaropus*) rýchlo plávajú v kruhoch, čím vytvárajú vodný vír. Zvírená voda vynáša ku hladine blato a hmyz, ktorý sa v ňom nachádza a slúži ako potrava lyskonoha. Vodné vtáky na rozmnožovanie využívajú otvorenú tundru, ako i útesy hornatejších oblastí. Niektoré z nich, napr. čajka ružová *Rhodostethia rosea* alebo čajka biela (*Pagophila eburnea*) nemigrujú, avšak väčšina druhov na zimu odlieta.

Najdlhšie migrácie spomedzi tundrových hniezdičov boli pozorované u rybára dlhochvostého (*Sterna paradisaea*). Rozmnožuje sa v arktickej tundre. Následne sa vydáva na dlhú cestu smerom na juh k pobrežiu Antarktídy (Obr. 1.7). Rybáre zo Severnej Ameriky a východného Ruska sa presúvajú pozdĺž západného pobrežia Severnej, Strednej a Južnej Ameriky. Kým rybáre z Grónska, Európy a západného Ruska sa presúvajú západným pobrežím Európy a Afriky. Následne sa roztrúsia v okolí Antarktídy kde sa v chladných vodách živia drobnými rybami, až kým svoju cestu opäť nezopakujú. Celková vzdialenosť, ktorú rybár ročne preletí je približne 36 tisíc km. Výsledkom tejto náročnej a dlhej cesty je, že si užíva najviac denného svetla zo všetkých živočíchov.



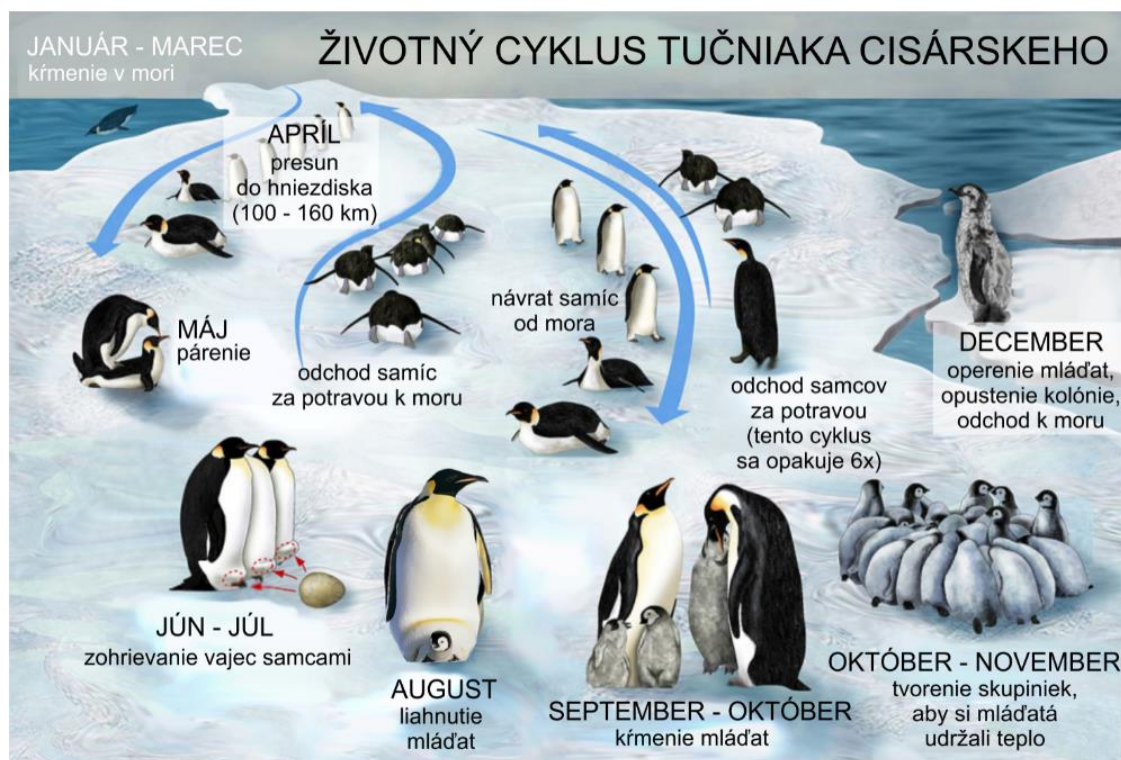
Obrázok 1.7: Migračné trasy rybára dlhochvostého (*Sterna paradisaea*) počas roka.

Jediným druhom, ktorý by ako tak mohol konkurovať rybárovi je pomorník príživný (*Stercorarius parasiticus*). Podobne ako rybáre hniezdia v otvorenej arktickej tundre a po vyvedení potomstva migrujú na juh pozdĺž pobreží kontinentov. Môžu dosiahnuť Nový Zéland, južnú Austráliu, či Ohňovú zem. Daný druh je však zaujímavý aj spôsobom akým získava

potravu. Napáda totiž iné druhy vodných vtákov, najmä čajky a rybáre, a otravuje ich až do chvíle kým nevyvrátia obsah svojich žalúdkov. Následne svoju obeť opustia, aby pozbierali potravu a niekedy ju dokonca zachytia ešte vo vzduchu. Tieto „šikanujúce“ vtáky málokedy reálne napadnú a zabijú svoju obeť, avšak môžu ich chytať za krídla a chvosty, čím im spôsobujú bolesť.

Pravdepodobne najznámejšími vtákmi vyskytujúcimi sa v Antarktíde sú albatrosy (čel'ad' *Diomedidae*) a tučniaky (čel'ad' *Spheniscidae*). Albatrosy sú veľké vtáky s rozpätím krídel dosahujúcim až 3,5 m. Počas svojho letu plachtia s dokonale pevnými krídlami, čím zachytávajú stúpajúci vzduch, ktorý ich posúva ďalej. Je to veľmi efektívny spôsob letu, ktorý nezahŕňa mávanie vďaka čomu môžu lietať na obrovské vzdialenosti. V priebehu týždňa dokážu pri hľadaní potravy pre svoje potomstvo preletieť 8 000 km. Na ostrovoch južnej pologule v blízkosti Antarktídy možno nájsť až 8 druhov albatrosov.

Tučniaky, ktorých je 17 druhov, sa rozmnožujú na pobrežných okrajoch Antarktídy. Najväčším z nich je tučniak cisársky (*Aptenodytes forsteri*) s výškou dosahujúcou približne 120 cm. Živia sa rybami, za ktorými sa potápajú do veľkých hĺbok. Na jeden dych, ktorý trvá zhruba 9 minút sa dokážu potopiť až do hĺbky 400 m. Ich veľká veľkosť tela im poskytuje obrovskú výhodu vo veľmi chladných podmienkach, pretože majú menší povrch na jednotku objemu. Rozmnožujú sa na antarktických pláňach a samec je zodpovedný za inkubáciu vajíčka. Samica po znesení zhruba 1/2 kg vajca a jeho opatrnom odovzdaní (aby sa nedotklo ľadového povrchu) odchádza do oceánu na lov, ktorý trvá približne 2-3mesiace. Inkubácia vajca prebieha počas polárnej zimy, kedy samce stoja tesne jeden vedľa druhého v tme a pri teplote dosahujúcej -60°C a navzájom sa špeciálnymi pohybmi zohrievajú. Po vyliahnutí jedinca sa samice vracajú s veľkým obsahom potravy v hrvole a preberajú starostlivosť o mláďa (Obr. 1.8).



Obrázok 1.8: Životný cyklus tučniaka cisárskeho (*Aptenodytes forsteri*). Zdroj: Marcela Pekarčíková, upravené.

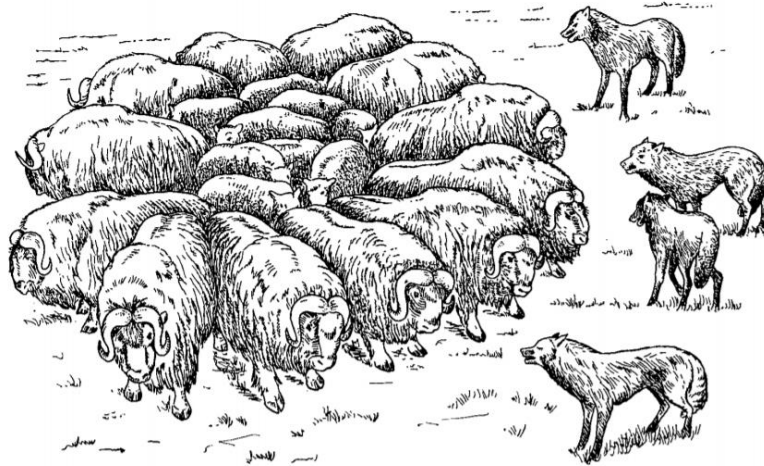
Cicavce polárnej tundry

V tundre sa nenachádza veľa druhov cicavcov. Niektoré sú charakteristické sezónnymi migráciami v rámci arktických regiónov, avšak väčšina sa musí vyrovnat' s podmienkami mrazivej tundry. Najvýraznejším cicavcom typickým pre arktickú tundru je medveď biely (*Ursus maritimus*). Je to živočích dorastajúci do veľkých rozmerov, často dorastá do 2,8 m a 700 kg. Je striktným karnivorom živiacim sa tuleňmi. Má veľmi hrubú srst', ktorá ho ochraňuje pred chladom a dokonca mu dovoľuje plávať niekoľko hodín v ľadovej vode bez akejkoľvek ujmy. Chodidlá má medveď ochlpené, čo zabraňuje ich omrzaniu pri chôdzi po ľade. Jeho biela srst' mu umožňuje dokonalé splynutie s prostredím, čo je výhodou pri love koristi. Izolačné vlastnosti srsti medveďa bieleho sú také efektívne, že ľad, ktorý sa vytvára na jej koncoch sa neroztopí, pretože k nim nepreniká telesné teplo. Jednotlivé chlpy sú duté, čo ešte zvyšuje izolačné schopnosti srsti a okrem toho umožňuje priame prenikanie slnečného žiarenia až ku tmavej pokožke, kde je absorbované a napomáha pri udržiavaní telesnej teploty. Ďalšou zaujímavosťou je, že Inuiti, nekonzumujú jeho pečeň, pretože obsahuje veľké množstvo vitamínu A, takže je jedovatá. Samice medveďa bieleho počas polárnej noci hibernujú zahrabané pod snehom, čo im poskytuje ochranu pred chladom. Ak bola samica na jar oplodnená, tak počas polárnej zimy (zvyčajne december - január) privedie na svet mláďatá vo veľkosti potkana. Živia sa mliekom bohatým na tuky až do príchodu jari. Počas tohto obdobia býva samica v ľahkom spánku a rýchlo sa v prípade nebezpečenstva prebudí.

Kým medveď biely prečkáva zimu v nehostinných podmienkach, sob arktický (*Rangifer tarandus*), migruje pred nepriaznivými podmienkami polárnej zimy do južnejšie položených oblastí s bohatšími zásobami potravy. V rámci arktickej tundry sa vyskytuje vo vysokých počtoch. Napriek tomu, že existuje iba jeden druh soba arktického, rozlišujeme viacero poddruhov, ktoré sa navzájom odlišujú. Napr. v Sibíri a Severnej Amerike sa vyskytuje poddruh, ktorý pred tundrou preferuje život v lese. Avšak väčšina poddruhov uprednostňuje tundru. Samce zvyčajne dorastajú do 120 cm vo výške ramena a 270 kg. Samice sú menšie. Podobne ako medveď biely, aj sob má telo pokryté hustou srst'ou, ktorej chlpy sú duté a zabezpečujú tak extra izoláciu. V lete sú soby sivé alebo hnedé, avšak v zime ich farba zbledne až obelie. Kopytá majú špongiovité ukončenia, ktoré efektívne rozkladajú váhu a umožňujú tak prechod cez mäkké, rašelinové pôdy. V zime kopytá stvrdnú a obrastú chlpmi, ktoré slúžia ako izolácia pred mrazom a zároveň slúžia ako protišmyková podložka na snehu a ľade. Vďaka týmto adaptáciám môže sob rýchlo behať a dosiahnuť rýchlosť až 80 km/h, čo mu umožňuje únik pred predátormi (napr. vlkami). Migrujúce čriedy sobov bývajú často sprevádzané svorkami vlkov, ktoré si za svoje obeť vyberajú staré alebo mladé jedince. Soby nepohrdnú listami brezy, či vrby, ale preferujú mladé výhonky tráv a ostríc. Taktiež sa živia lišajníkmi, najmä rodu dutohlávka (*Cladonia*), ktoré sú veľmi bohaté na živiny. Soby sa kvôli potrave presúvajú tundrou, a poskytujú tak vegetácií priestor na regeneráciu. Keďže zdroje sú obmedzené umožňujú prežitie len 1 soba na 60 ha plochy.

Jedným z najväčších bylinožravcov nachádzajúcich sa v alpínskej tundre je pižmoň severský (*Ovibos moschatus*). Dosahuje dĺžku 2 m a hmotnosť približne 410 kg. Obe pohlavia majú rohy. Medzi očami sa im nachádza žľaza produkujúca pižmový odór, na základe ktorého získali pomenovanie. Dlhá čierno hnedá srst' dosahujúca takmer po zem spolu s jemnou vlnenou podsadou zabezpečuje vynikajúcu izoláciu. V prípade, že si jedinec ľahne na zem neprepúšťa ani toľko tepla, aby sa pod ním roztopil sneh. Jedince žijú v tundre počas celého roka živiak sa rôznymi trávami a krami. V lete pozostáva črieda z 10 jedincov, avšak v zime svoju početnosť zvýši na 15 - 20 jedincov. V čriede je jeden dominantný samec rozmnožujúci sa so všetkými samicami, pričom každá na svet na jar privedie jedno mláďa. Mláďa dospieva rýchlo a je schopné samostatného príjmu potravy v priebehu jedného týždňa, avšak materským mliekom sa živí po dobu jedného roka. Typickým obranným správaním pižmoňov pred predátormi je vytvorenie kruhu, v ktorého strede sa nachádzajú mladé jedince. Hlavy s rohami majú pritom vystrčené dopredu a sú schopné kedykoľvek napádajúceho predátora odraziť. Takýmto

spôsobom dokážu efektívne čeliť napr. útokom vlkov (Obr. 1.9). Podobne, ako všetci permanentní obyvatelia tundry, aj pižmoň v zime čelí problému so získavaním potravy. V lete sa črieda pasie na energeticky bohatých trávach, pričom v zime sú hlavným zdrojom obživy zakrpatené stromy. Najväčší tlak je vyvíjaný na samice, ktoré musia svoje tukové zásoby využívať nie len na samotné prežitie, ale i výživu plodu a tvorbu mlieka. Za priaznivých podmienok môže byť miera donosenia plodu až 90%, avšak ak podmienky nie sú vyhovujúce (napr. príliš hlboký sneh) nemusí byť donosené ani jedno mláďa.



Obrázok 1.9: Obranný útvar pižmoňa severského pred útočníkmi. Keď sa vlky priblížia, pižmone vytvoria kruh s rohmi nasmerovanými von.

Veľmi dôležitými cicavcami polárnej tundry sú lumíky (*Lemmus*, *Dicrostonyx*). Charakteristický je fluktuáciami v početnosti približne každé 3-4 roky. Keď je populácia na maxime môže mať až 400 jedincov/ ha. Tento enormný nárast je pravdepodobne spôsobený množstvom kvalitnej rastlinnej potravy. Keď lumíky zožerú nadzemnú rastlinnú biomasu, populácia sa zrúti, čo vedie k obnove zničeného porastu. Obnova je podporená živinami z exkrementov lumíkov, ktoré dodávajú niektorých esenciálnych prvkov (napr. fosfor), čo vedie k nárastu biomasy a k opätovnej populačnej explózii lumíkov. Tieto drobné hľadavce predstavujú významný zdroj potravy pre predátorov tundry, ktorých počty klesajú spolu s poklesom populácie lumíkov. Napr. belaňa tundrová je počas vysokej početnosti lumíkov schopná vyviešť až 10 mláďat, avšak počas úbytku tohto zdroja potravy nemusí uspieť vôbec. Predácia nie je zodpovedná za kolaps populácií lumíkov, pretože predátory zožerú najviac 10% jedincov.

Ďalším bylinožravcom vyskytujúcim sa v tundre je zajac polárny (*Lepus arcticus*), ktorý má v rámci dvojitozubcov najsevernejšie rozšírenie. Je jedným z najväčších zajacov dosahujúcich približne 5,5 kg. Čo sa týka potravy je dosť vyberavý koncentrujúci sa na vrby, čo obmedzuje jeho distribúciu. Keďže je aktívnym aj počas zimy musí dokázať prežiť v nepriaznivých podmienkach. Rozmnožovanie je sústredené do leta a na svet privádza 5 - 6 mláďat. Matka zostáva s mladými 2 - 3 týždne, následne vytvoria malé skupinky, ku ktorým sa matka pravidelne vracia a stará sa o ne. Po 9 týždňoch je potomstvo schopné postarať sa samé o seba. V lete sú zajace solitérne, avšak na jeseň začínajú vytvárať skupiny o počte niekoľkých stoviek, čo im poskytuje ochranu pred predátormi. Zajace dokážu vyvinúť intenzívny tlak na vegetáciu tundry a dokonca prevýšiť aj niektoré iné bylinožravce ako napr. soby, či pižmone a to najmä v období vysokej početnosti populácie. Podobne ako lumíky sú charakteristické fluktuáciami populácie s vrcholom početnosti každých 9 rokov.

Antarktické cicavce sú skôr morskými živočíchmi, ako živočíchmi žijúcimi v tundre. Veľryby, delfíny, sviňuchy, tulene a mrože prežijú väčšinu svojho života v oceáne alebo v prípade plutvonožcov na antarktických plážach. Žiadny suchozemský cicavec nebol schopný kolonizácie a prežitia na tak nehostinnom kontinente.

Cicavce alpínskej tundry

Relatívne málo druhov sa nachádza v polárnej i alpínskej tundre. Na miestach, kde sa pohoria stretávajú s rovinami je severoamerický rosomák severský (*Gulo gulo*).

Jedným z najtypickejších cicavcov vyskytujúcich sa v pohoriach sú svište (*Marmota*). Sú bylinožravé, vysoko sociálne a spolupracujúce, tvoriace rozvetvené rodinné skupiny, pričom si ale bránia svoje teritórium. Žijú v norách pod zemou, kde počas zimy hibernujú. Sú aktívne počas dňa. Rozmnožovanie prebieha na jar a mláďatá sú privedené na svet o 6 týždňov. Rodina zostáva spolu niekoľko rokov. Počas krátkeho obdobia leta strávia väčšinu času prijímaním potravy, keďže si musia vytvoriť bohaté zásoby tuku, ktoré im pomáhajú prežiť počas hibernácie. To spolu s hustou srstou slúžiacou ako izolačná vrstva udržuje telo v teple. Svišť (*Marmota camschatica*) je jedným z najdokonalejších spáčov v zvieracej ríši. Môže prespať až 9 mesiacov z roka. V polovici septembra je pokrytý hrubou vrstvou tuku a váži približne 5kg. Vlezie do nory spolu s ďalšími členmi rodiny a stočí sa do kľbka. Keď vonkajšia teplota klesne, klesne aj telesná teplota svišťa často až na 4°C a niekedy dokonca pod bod mrazu, srdce mu udrie 1-krát za 2-3 minúty a nadýchne sa raz za 10 minút. Napriek tejto veľmi nízkej telesnej aktivite produkuje odpadové látky, takže sa zohreje a zobudí každé 3 týždne, aby mohol močiť. V máji sa konečne zobudí a keďže stratil polovicu hmotnosti začína hneď hľadať potravu.

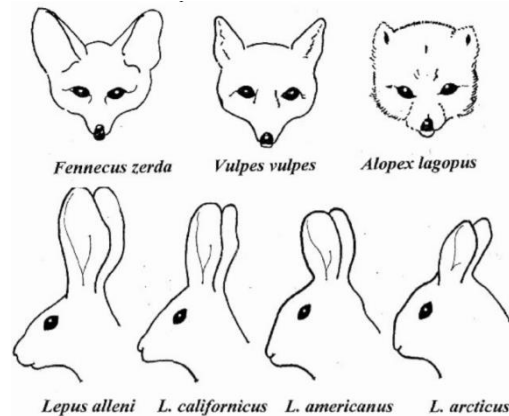
V európskych a západoázijských pohoriach žije kamzík vrchovský (*Rupicapra rupicapra*). V lete žije vysoko v horách, na zimu zostupuje nižšie. Výnimkou je náš poddruh kamzíka vrchovského tatranského (*Rupicapra rupicapra tatraica*), ktorý aj zimu prežíva vo vysokohorskom teréne. V pohoriach Severnej Ameriky sa vyskytuje ovca hruborohá (*Ovis canadensis*). V lete žije v skupinách o 15 členoch (väčšinou samice a mladé jedince), avšak na zimu sa zoskupujú a dosahujú početnosti 100 kusov. V pohoriach južnej Európy, severnej Afriky a Ázie možno nájsť kozorožca vrchovského (*Capra ibex*). Ide o veľký druh kozy dorastajúci do 90 cm s výraznými dozadu stočenými rohmi dosahujúcimi až 75 cm.

Vo všeobecnosti možno povedať, že živočíchy žijúce v alpínskej tundre boli pod väčším tlakom poľovníctva, ako živočíchy polárnej tundry. Keďže sú pohoria ľahšie dostupné ľuďom sú ich obyvatelia zraniteľnejšími. Avšak s rozvojom turizmu a ťažbou nerastných surovín v polárnych oblastiach sa disturbance, strata habitatov a poľovníctvo začínajú prejavovať aj v týchto častiach sveta.

Adaptácie cicavcov tundry

Cicavce v polárnej, ako i alpínskej tundre podliehajú rovnakému typu stresu - obdobiam s veľmi nízkou teplotou. Prežitie závisí od schopnosti vyrovnáť sa s týmto problémom. V dôsledku toho mnoho živočíchov tundry zdieľa niekoľko všeobecných vlastností:

1. Cicavce žijúce v tundre majú zaguľatený tvar tela a malé telesné výbežky (chvosty, uši). Musia zabezpečiť ich prekrvenie, aby ich udržali teplé a zabránili tak vzniku omrzlín. Guľatý tvar tela je výhodnejší pri udržiavaní telesnej teploty a zabraňovaní straty tepla (Obr. 10).



Obrázok 1.10: Porovnanie telesných výbežkov živočíchov toho istého rodu vyskytujúcich sa v odlišných oblastiach. V ľavo na obrázku jedince z najteplejších oblastí, v pravo z najchladnejších.

2. Množstvo chlpcov zabezpečuje, že horúca pokožka cicavcov obsahujúca bohatú sieť krvných ciev zabráňuje úniku tepla do okolitého prostredia. To je zabezpečené vytvorením vrstvy zachytávajúcej vzduch v blízkosti pokožky, ktorý sa následne stáva teplým. Množstvo cicavcov tundry má duté chlpy, ktoré sú efektívnejšie pri zadržiavaní tepla. Ochlpenie je tiež vlastnosť charakteristická pre mnoho druhov hmyzu v tundre, napr. motýľov alebo čmeliakov. U vtákov je samozrejme srst nahradená perím.

3. Zmena farby počas sezóny (zvyčajne biela počas zimy a tmavá v lete) má mnoho výhod v súvislosti s maskovaním. Taktiež živočíchom umožňuje v lete absorbovať teplo zo Slnka efektívnejšie a zabráňuje problému s vyžarovaním energie v zime.

4. Hibernácia predstavuje zníženie biochemickej telesnej aktivity v čase veľkej zimy a napomáha živočíchom eliminovať nároky na potravu a prežiť z naakumulovaného zásobného tuku. Vedie k problému s odstraňovaním odpadových látok, avšak znížené hodnoty telesnej aktivity ho čiastočne odstraňujú.

5. Migrácia predstavuje alternatívu hibernácie. Umožňuje živočíchovi využiť výhody množstva potravy, ktoré sa v tundre v letných mesiacoch nachádzajú a zároveň sa vyhnúť stresu spojenému s príchodom zimy. V prípade alpínskej tundry sa živočichy vyhýbajú tomuto problému pohybmi nadol resp. nahor spolu s meniacami sa sezónami.

6. Rozmnožovanie v lete je pre živočichy žijúce v tundre všeobecným pravidlom, avšak niektoré z najúspešnejších organizmov (napr. lumíky) sú schopné celoročného rozmnožovania. Takýto spôsob rozmnožovania je umožnený len malým organizmom so schopnosťou vytvorenia vlastnej mikroklímy nachádzajúcej sa pod snehom, ktorý izoluje a chráni pred chladom. Privádzanie potomstva na svet v zime (napr. medvede biele) má výhodu v tom, že jedince sú s príchodom krátkeho leta, ktoré poskytuje množstvo zdrojov potravy dostatočne odrašené, aby dokázali tieto zdroje využiť pre svoj ďalší rast a vývin.

Človek a tundra

Lov predstavoval základ pre ľudský život odkedy sa ľudia do tundry dostali. Keďže rastlinstvo poskytuje len obmedzený zdroj potravy a poľnohospodárstvo v daných podmienkach neprichádza do úvahy, znamenal lov živočíchov nachádzajúcich sa vo veľkých čriedach dostupný zdroj obživy. Inuiti pochádzajúci z Aljašky a severnej Kanady boli orientovaní na život na pobreží. Neskôr, keď prišli na územie Severnej Ameriky Európania prenikli cez boreálne lesy Kanady do oblastí tundry a objavili obrovské čriedy cicavcov, ktorých kože predstavovali veľký zisk lebo boli súčasťou módnych doplnkov v bohatých mestách. Podobný trend bol zaznamenaný aj na Sibíri, odkiaľ boli kože ulovených cicavcov vyvážené do Moskvy

a Petrohradu. V Európe predstavoval sob hlavný zdroj obživy pre Laponcov. Nasledovali migrujúce skupiny sobov po tundre a následne ich využívali ako zdroj mäsa a kože. Chránili čriedy pred predátormi (napr. vlkami), čím zabezpečili prežitie potomstva a zväčšovanie počtu jedincov. Takýmto spôsobom vytvárali akýsi symbiotický vzťah medzi sobmi a ľuďmi, čo vyústilo do ich čiastočnej domestikácii.

Lov v alpínskej tundre tvyústil k drastickým úbytkom populácií niektorých cicavcov. Ovca hruborohá v Severnej Amerike, kamzík vrchovský a kozorožec vrchovský v Európe zaznamenali citeľný pokles v početnosti. Našťastie pod vplyvom ochrany začali ich počty opäť narastať. Lov je stále povolený a i keď je kontrolovaný často sa upriamuje na veľké reprodukčné samce kvôli vidine trefoje. To môže mať dopad na genetickú štruktúru populácií, ktoré neustále prichádzajú o dominantných samcov v najlepšej kondícii.

V tundre sa nachádzajú zásoby fosílnych uhl'ovodíkov, ktoré svedčia o teplej klíme v minulosti. Napríklad na Špicbergách (Svalbard) sa v minulosti ťažilo čierne uhlie. Ťažba nerastného bohatstva nevyhnutne zahŕňa geologické narušenie a má za následok kontamináciu a zanášanie potokov a riek. V oblastiach severnej tundry sú veľké zdroje ropy a zemného plynu. Ťaženie ropy v tundre má množstvo negatívnych vplyvov, od narušenia vegetácie po znečistenie ropou počas ťažby a prepravy. Ťažba ropy v tundre zahŕňa aj tvorbu osídlenia a rozvoj ciest alebo iných dopravných systémov. Osady vytvárajú odpad a keďže rozklad odpadových látok je v tundre pomalý môže dôjsť k jeho hromadeniu. Odpad okrem toho priťahuje živočíchy. Ropovody a plynovody môžu vytvárať bariéry pre väčšie zvieratá, napr. migrujúce soby. Táto fragmentácia môže ovplyvniť prežitie niektorých stád, geneticky ich izolovať a možno ich vystaviť novým úrovniam predácie.

Tundra je kvôli spomaleným procesom rozkladu spôsobených chladnými podmienkami úložiskom uhlíka. Tundra je domovom pre množstvo vysoko špecializovaných rastlín a živočíchov, ktoré si vyvinuli vlastnosti nevyhnutné na prežitie v extrémnom prostredí. Napriek odolnosti jej obyvateľov, je tundra veľmi krehkým ekosystémom. Má nízku biodiverzitu, takže aj vyhynutie jedného druhu môže mať vážne následky pre celý ekosystém. Množstvo živín a produktivita sú tiež nízke, takže ekosystém môže byť citlivý na zmeny, či už klimatické alebo spôsobené človekom. Pôdy sú nestabilné, ľahko zničiteľné a erodovateľné.

Bióm tundry, či už polárny alebo alpínsky stojí pred množstvom problémov, z ktorých niektoré ohrozujú jeho samotné prežitie. Otepľovanie bude s určitosťou pokračovať, čo bude mať vplyv na najchladnejší bióm Zeme. Tundra leží v blízkosti pólou alebo najvyšších častí pohorí. Neexistuje žiadne miesto, kam by sa tundra presunula v prípade, že bude otepľovanie pokračovať. Môže byť odstránená z vrcholov pohorí a obmedziť sa na čoraz užší pás krajiny nachádzajúcej sa južne od Severného ľadového oceánu. Pravdepodobnosť zvýšenia hladiny svetového oceánu v teplejšom svete to môže iba zhoršiť. Okrem toho sa zdá, že v 21. storočí polárne oblasti zažijú rýchlejší nárast teploty, ako väčšina miest na Zemi. Mnohé z vysoko adaptovaných chladu odolných druhov rastlín a živočíchov sa ocitnú pod klimatickým a priestorovým stresom a budú eliminované silnejším, konkurencieschopnejším, teplomilným druhom. Organizmy tundry sú nielen vysoko adaptované, ale aj vysoko adaptabilné a to sa môže prejavovať ako životne dôležité pre ich prežitie.

Literatúra

Bedrna Z., Jenčo M. 2016. Pedogeografia. Zákonitosti priestorovej diferenciácie pedosféry. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 125 s.

Crawford R.M.M. 2013. Tundra – Tajga Biology. Humant, Plant, and Animal Survival in the Arctic. Oxford University Press, 270 s.

- Goldstein M.I., DellaSala D.A. 2020. Encyklopedia of the World's Biomes. Volume 2 - Ice Sheets and Polar Deserts - Ice of Life. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 274-285.
- Jeník J. 1998. Ekosystémy (Úvod do organizace zonálních a azonálních biomu). Nakladatelství UK, Karolínium, Praha, 135 s.
- Keddy P.A. 2017. Plant Ecology. Origins, Processes, Consequences. 2nd Edition. Cambridge University Press, 604 s.
- Kováč V. Ekosystémy Zeme - tundra a polárne oblasti. Učebné materiály k predmetu. https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/biol/kek/ekozem/8_tundra_a_polarne_oblasti.pdf
- Moore P.D. 2006. Biomes of the Earth. Tundra. Chelsea House, New York, 220 s.
- Quinn J.A. 2008. Arctic and Alpine Biomes. In: Greenwood Guides to Biomes of the World (Woodward S.L. Ed.). GREENWOOD PRESS, Westport, Connecticut, London. 219 s.
- Plesník, P. 2004. Všeobecná biogeografia. UK Bratislava, 428 s.
- Prach K., Štech M., Říha P. 2009. Ekologie a rozšíření biotů na Zemi. Scientia, Praha, 151 s.
- Woodward S.L. 2003. Biomes of the Earth. Greenwood Press, Westport, CT, USA, 435 pp.
- Saniga M. 2017. Mrazuvzdorní otužilci. Quark, 1: 22-25.
- Weigel M. 2008. U.X.L. Encyclopedia of Biomes. Second edition. Gale, Cengage Learning. 510 s.