

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Katedra botaniky



Bakalářská práce

České Budějovice 2011

Analýza vegetace a růstových parametrů druhu *Dryas octopetala* na transektu v arktické tundře na Špicberkách.

Alena Bartošová

Školitel: prof. RNDr. Karel Prach, CSc., PŘF JU + BÚ Třeboň

Konzultantka: doc. RNDr. Jitka Klimešová, CSc., BÚ Třeboň

Bartošová A. (2011): Analýza vegetace a růstových parametrů druhu *Dryas octopetala* na transektu v arktické tundře na Špicberkách. [Vegetation analysis and growth characteristics of *Dryas octopetala* on transect in Arctic tundra of Svalbard. Bc. Thesis, in Czech]. - 31 pp., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

Annotation:

In this work I try to describe vegetation variability on altitudinal gradient in High Arctic tundra of Svalbard and dendrochronological characteristics of dwarf-shrub *Dryas octopetala*. Field experiments have been made near Petuniabukta (central part of Spitsbergen, Svalbard).

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

.....
V Českých Budějovicích

.....
Alena Bartošová

Obsah:

1. Úvod	1
1. 1. Limitující faktory a adaptace rostlin v tundře	1
1. 2. Vegetační studie na výškových gradientech	1
1. 3. Dendrochronologické studie v Arktidě	2
1. 4. Vegetační analýzy a klimatická změna	3
1. 5. Cíle práce.....	3
2. Studované území	4
3. Studovaný druh	6
4. Metodika.....	7
4.1. Sběr dat v terénu.....	7
4. 2. Zpracování a analýza dat.....	8
5. Výsledky.....	10
5. 1. Vegetace na výškovém gradientu.....	10
5. 2. Výsledky: Letokruhová analýza <i>Dryas octopetala</i>	15
6. Diskuze.....	19
6. 1. Druhové složení vegetace.....	19
6. 2. Význam trvalých ploch	20
6. 3. Letokruhová analýza <i>Dryas octopetala</i>	21
7. Závěr.....	23
8. Poděkování	24
9. Literatura	25
10. Přílohy	30

1. Úvod

1. 1. Limitující faktory a adaptace rostlin v tundře

Arktida je ohraničena přibližně 10°C izotermou průměrné teploty nejteplejšího měsíce v roce (Archibold 1995, Baskin & Baskin 1998). Tundra (arktická, alpínská i antarktická) je biot s nejnižší evaporací (Archibold 1995) a je charakterizována též jako oblast s průměrnou roční teplotou pod -4°C, což je teplotní hranice, pod kterou se stromy nejsou schopné rozmnožovat (Moore 2006), a to jak díky neschopnosti vyklíčit, tak díky minimální schopnosti semenáčků po vyklíčení přežít (Hobbie & Chappin 1998). Jedním z jejích dalších charakteristických znaků je relativně chudá flora, která je selektována nepříznivým prostředím (Bliss 1962) a historickým vývojem, kdy druhy během každé doby ledové buď vyhynuly, nebo musely ustupovat na jih, přežít v nezaledněných refugiích na ostrovech či podél pobřeží a po ústupu ledovců tundu znovu kolonizovat (Archibold 1995). Nízké teploty, krátká vegetační sezona, těžce přístupné živiny, silné a časté větry, nedostatek opylovačů, to vše je příčinou velmi silného tlaku na adaptace rostlin a jejich extrémně pomalého růstu (Bliss 1962, Archibold 1995).

Nejsevernější zóna arktické tundry, vysoká Arktida, má tyto environmentální faktory extrémně vyhraněné, cévnaté rostliny tu proto rostou jen na nejpříznivějších místech (Archibold 1995). Na Svalbardu jsou tato místa převážně na centrálním ostrově Spitsbergen, a to především na západním pobřeží a v oblastech vnitřních fjordů (Rønning 1996); proto mnoho vědeckých vegetačních studií probíhalo právě zde (např. Polunin 1945, Virtanen 1997, Elvebakk 1994, Vanderpuye 2002, Hodkinson et al. 2003, Cannone et al. 2004, Prach et al. 2010).

1. 2. Vegetační studie na výškových gradientech

Studiem výškových gradientů lze sledovat změny vegetační skladby a vliv prostředí na vegetaci, především klimatických faktorů, a to obzvláště tehdy, jsou-li zbývající faktory prostředí konstantní (Körner 2007). Je tak možné zjišťovat vliv např. teploty, atmosférického tlaku, slunečního a UVB záření, z faktorů ne zcela ovlivňovaných nadmořskou výškou např. vliv srážek, rychlosti větrů a sezonality (Körner 2007). Tyto výškové gradienty lze studovat z hlediska složení např. lesních společenstev (Majila & Kala 2010), vegetace horské (Klimeš 2002, Grytnes & Beaman 2006, Zhang & Mi 2007) či subarktické (Lloyd et al. 1994, Sundquist et al. 2011) a arktické tundry (Virtanen et al. 1997). V případě výškového gradientu

v horách nižších zeměpisných šířek se mění celé vegetační formace (např. les, subalpínské keřové formace, alpínské trávníky), zatímco v arktické oblasti je formace zpravidla pouze jedna – tundra, která se ale může na výškovém gradientu výrazně měnit (*Virtanen et al. 1997*).

Na Špicberkách, které jsou z velké části hornaté a kde je okolo 60 % rozlohy pevniny pokryto ledovci (*Elvevold et al. 2007*) lze na relativně krátkém gradientu postihnout velkou část výškové variability tamější vegetace.

1. 3. Dendrochronologické studie v Arktidě

Absence stromů, a v tundře vysoké Arktidy i absence jakýchkoli dřevnatých rostlin vyšších než pár desítek centimetrů, značně omezuje možnosti dendrochronologického výzkumu. Přesto však existuje několik studií věnujících se dendrochronologii jednotlivých druhů zakrslých keříčků, a to jak jejich potenciálu pro tuto oblast výzkumu (*Woodcock & Bradley 1994, Bär et al. 2006,; Owczarek 2009, 2010*), tak již i praktickému využití v dendroklimatologii (*Schmidt et al. 2010*) či dendroekologii (*Au 2006*). U druhu *Cassiope tetragona* bylo v posledních letech experimentováno s metodami měření ročních přírůstků na základě morfologických charakteristik stonku (*Rayback & Henry 2005, Rayback & Henry 2006*) a později na základě tzv. „wintermarksepta“ – tmavě zbarvených přepážek v pletivu jádrového dřeva vytvářené každou zimu a dobře viditelné na podélném řezu (*Rozema et al. 2009, Weijers et al. 2010*).

Na Svalbardu se vyskytuje devět druhů zakrslých, povětšinou plazivých, keříčků (*Betula nana, Dryas octopetala, Cassiope hypnoides, C. tetragona, Salix arctica, S. herbacea, S. polaris, S. reticulata* a *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*), ne vyšších než 15 cm; běžně rozšířené jsou pouze *Dryas octopetala, Cassiope tetragona, Salix polaris* a *S. reticulata* (*Rønning 1996*). Dendrochronologické práce na druzích *Salix polaris, S. reticulata* (*Owczarek 2009, 2010*) i na *Cassiope tetragona* (*Rayback & Henry 2005, 2006, Rozema et al. 2009, Weijers et al. 2010*) již byly publikovány. Dendrochronologii druhu *Dryas octopetala* ještě pozornost věnována nebyla, proto byla zvolena za předmět této studie.

Růst arktických keříčků je v důsledku klimatických podmínek velmi pomalý, jednotlivé letokruhy jsou proto obvykle velmi úzké (*Schweingruber 1996*), velmi častá je excentricnost jádra, jizvy a nepravidelné, mrazem poškozené či chybějící letokruhy (*Woodcock & Bradley 1994, Bär et al. 2006, Owczarek 2009, 2010, Schmidt et al. 2010, Au 2006*), což dělá dendrochronologické analýzy dřevin těchto extrémních podmínek velmi pracnými.

1. 4. Vegetační analýzy a klimatická změna

Arktické vegetaci se poslední dobou věnuje mnoho pozornosti především v souvislosti s globálním oteplováním. Podle *Moritz et al. (2002)* jsou jakékoli změny klimatu v Arktidě výrazně silnější než kdekoli jinde na severní polokouli. Spousta autorů ve svých publikacích se silným vlivem globálního oteplování na vegetaci v arktické oblasti souhlasí (např. *Rachlewitz et al. 2007*), nicméně existují i autoři naznačující, že by tomu tak zcela být nemuselo (např. *Hudson & Henry 2010, Prach et al. 2010, Karlén 2005*).

Podle současných výzkumů bude pravděpodobně vliv oteplování minimální v tropických oblastech a maximální ve vysokých nadmořských výškách (*Körner 2003*). Vzhledem k podobným reakcím jak rostlinných společenstev (*Walker et al. 2006*), tak jednotlivých druhů (*Arft et al. 1999*) z arktických i alpínských oblastí na simulaci zvýšených teplot lze očekávat, že podobný charakter bude mít oteplování i v arktické tundře. Podle současných studií nereagují všechna arktická rostlinná společenstva a ekosystémy na globální oteplování stejně (*Hudson & Henry 2010, Prach et al. 2010*), nicméně obecně platí, že napříč arktickou i alpínskou tundrou pokryvnost listnatých keřů a trav roste, zatímco lišejníků a mechorostů klesá (*Walker et al. 2006*).

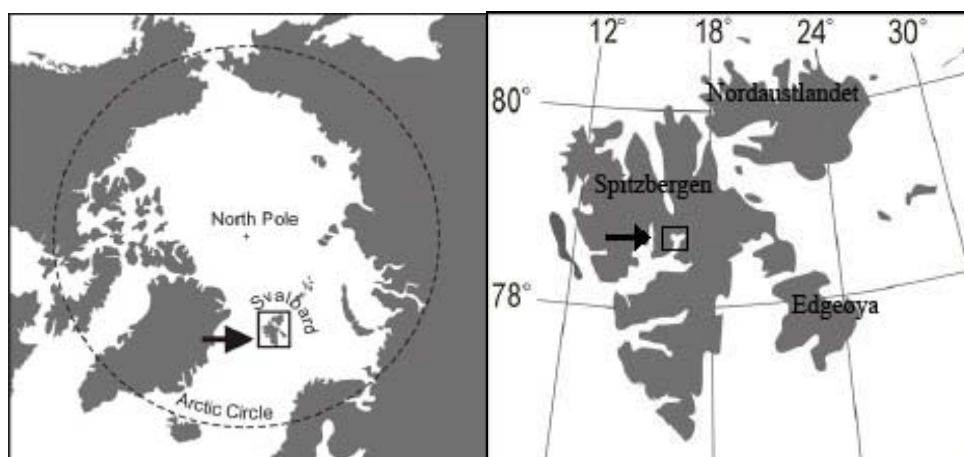
Většina studií zabývajících se vlivem globálního oteplování na arktickou tundru užívá tzv. open top chambers (OTCs), jež jsou schopné simulovat vliv zvýšené teploty na vegetaci, ale pravděpodobně už nikoli další průvodní jevy oteplování (*Hudson & Henry 2010*). Proto sledování změn vegetace pomocí trvalých pokusných ploch zůstává nejjednodušším a nejspolehlivějším způsobem, jak sledovat vliv globálního oteplování na vegetaci. Vyžaduje to však dlouhodobá studia, případně je alespoň nutné mít k dispozici starší, dobře opakovatelné údaje (vegetační mapy, fytoecologické snímky apod.).

1. 5. Cíle práce

- postihnout vegetační variabilitu na transektu podél nadmořské výšky
- založit trvalé pokusné plochy pro studium změn vegetace v důsledku globálního oteplování
- osvojit si dendrochronologickou metodu zpracování zakrslých keříčků ve vysoké Arktidě na druhu *Dryas octopetala*
- analyzovat průběhy růstových křivek jedinců druhu *Dryas octopetala* mezi sebou a v souvislosti s klimatologickými daty

2. Studované území

Výzkumné plochy jsou situovány v SZ části zátoky Petunia, která leží v centrální části ostrova Spitsbergen – součást souostroví Svalbard (GPS souřadnice 78°43' N; 16°24'-16°26' E) (Obr. 1, Obr. 2).



Obr. 1: Zeměpisná poloha souostroví Svalbard a zátoky Petunia (převzato a upraveno z Owczarek 2009).



Obr. 2: Umístění trvalých ploch v zátoce Petunia. Trvalé plochy znázorňuje zelený pruh uprostřed horní třetiny obrázku. Červená barva odpovídá kompaktnější vegetaci. (ERSDAC 2005)

Plochy pro mapování vegetace a hodnocení růstových parametrů druhu *Dryas octopetala* jsou na východním svahu s výškovým gradientem 13 – 222 m n. m. Nejnižší umístěné plochy leží v místě s výskytem tufurů (povrchové kopečkové útvary vzniklé působením mrazu), poté se reliéf zvedá, přes terasy, kde nejvyšší terasa postupně přechází v suťovitý svah, u kterého lze rozlišit mírnější a prudší část (**Obr. 3**). Na konci 19. století (konec malé doby ledové) byla velká část těchto teras pokrytá ledovcem (*Rachlewicz et al. 2007*). Geologický substrát oblasti je tvořen vícebarevnými slepenci a pískovci (*Dallmann et al. 2004*).

Za období 1988-2002 byla průměrná roční teplota, měřená meteorologickou stanicí poblíž města Longyearbyen (asi 50 km JZ od zátoky Petunia), $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, průměrná teplota nejteplejšího měsíce roku (červenec) $+6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a průměrná teplota nejchladnějšího měsíce (únor) $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Během stejného období byl průměrný roční úhrn srážek 190 mm, na srážky nejhojnější byl měsíc září (25 mm) a nejchudší byl měsíc květen (6 mm); většina srážek padá během zimních měsíců v podobě sněhu (www.svalbard.com/weather).



Obr. 3: Studované území. Pohled seshora.

3. Studovaný druh

Dryas octopetala L. (dryádka osmiplátečná; Mountain Avens) (**Obr. 4**) – vždyzelený, poléhavý, zakrslý keřík z čeledi Rosaceae, s cirkumpolárním rozšířením v arktických, subarktických a alpinských regionech Evropy, Asie a Severní Ameriky (*Elkington 1971*); na Svalbardu široce rozšířená povětšinou na suchých místech, zvláště na vápenitých substrátech (*Rønning 1996*) a v místech s nízkou sněhovou pokrývkou (*Welker et al. 1997*).

Větve jsou poléhavé, dlouhé a dřevnaté, vytváří rozsáhlé trsy nebo polštáře (*Rønning 1996*), což je způsobeno zakládáním bočních větví na krátkém hlavním výhonku, jenž jsou rozprostřeny po zemi a zakořeněny (*Rauh 1937*). Dřevo je roztroušeně pórovité, letokruhy jsou zřetelné, průměr cév 20-30 μm (www.wsl.ch/dendro/xylemdb/index.php). Nejstarším jedincem tohoto druhu běžně zmiňovaným v literatuře je 108-letá rostlina nalezená na poloostrově Kola v roce 1890 (*Rauh 1937, Wookey et al. 1995, Elkington 1971*).

Dryádka je důležitým pionýrským druhem (*Rauh 1937, Elkington 1971*), jenž přispívá ke zpevňování suti, k čemuž je přizpůsobena silným hlavním kořenem, špalírovitou formou růstu a kořenicími výhonky. Při vytrhnutí rostliny dochází k tvorbě charakteristických „schodů“, jejichž níže po svahu umístěná část je tvořena kořenem se zbytkem trsu a výše umístěná část nakupenou suti (*Rauh 1937*). Její výskyt v kompaktní tundře je považován za druhotný (*Elkington 1971*). Na Svalbardu vytváří svou vlastní vegetační zónu (*Elvebakk 2005*).



Obr. 4: *Dryas octopetala* L. Vlevo kvetoucí jedinec, vpravo klasická růstová forma.

4. Metodika

4.1. Sběr dat v terénu

Sběr dendrochronologických vzorků a snímkování ploch probíhalo ve dvou sezonách. Během července a srpna 2009 byly založeny trvalé pokusné plochy pro studium změn vegetace v důsledku globálního oteplování, na nichž bylo provedeno vegetační snímkování. Na konci srpna a v září roku 2010 byly sebrány kmínky druhu *Dryas octopetala* pro letokruhovou analýzu.

4. 1. 1. Fytocenologické snímkování

Podél 840 metrů dlouhého a 45 m širokého, východním směrem orientovaného území byly v 20 m rozestupech vytyčeny 3 řady čtverců 5x5 m. V každé řadě je 43 čtverců vzdálených od sebe 20 m, celkem je tedy 129 vegetačních snímků, kde pokryvnost pro jednotlivé druhy byla odhadována na procenta se zaokrouhlením na 5 %. Při pokryvnosti menší jak 1 % byl rozlišován stupeň r (1 až 2 jedinci s nepatrnou pokryvností) a + (méně jak 1 %) (*Kent & Coker 1992*). U každého snímku byla navíc určena pokryvnost kamení, holé půdy a lišejníků, pokryvnost mechtů a sinice *Nostoc commune* (E₀), celková pokryvnost bylinného patra (E₁), sklon svahu a nadmořská výška. Při určování cévnatých rostlin byla respektována nomenklatura užívaná v *Rønning 1996*.

Jednotlivé snímky byly dále podle zastoupení druhů rozřazeny podle dříve vylišených vegetačních jednotek (*Prach et al. 2011*) a zpracovány statistickou analýzou.

4. 1. 2. Sběr kmínků pro dendrochronologickou analýzu

V roce 2010 bylo celé studované území rozděleno na 5 částí podle obecně dominantního, příp. kodominantního druhu:

- 1) *Carex subspathacea* (tufury); 13 – 15 m n. m.
- 2) *Cassiope tetragona* (terasy); 15 – 66 m n. m.
- 3) *Saxifraga oppositifolia* + *Dryas octopetala* (horní terasa); 66 – 87 m n. m.
- 4) *Dryas octopetala* + *Salix polaris* (suťový svah); 87 – 153 m n. m.
- 5) *Salix polaris* + *Saxifraga oppositifolia* (strmější suťový svah); 153 – 222 m n. m.

Z částí 2-4 bylo sebráno 15 jedinců druhu *Dryas octopetala*, tedy celkem 45 jedinců.

Pro sběr dendrochronologických dat v terénu je třeba kvůli malému průměru kmínku (do 2 cm) a množství poškození použít metodu destruktivní pro celého jedince – odběr co největší podzemní dřevnatělé části. Odběry jsou komplikované především z míst s vysokou pohyblivostí půd (např. suťové svahy), kde je velmi časté, že na jednom dlouhém podzemním kmínku vyrůstá po svahu dolů několik olistěných polštářů. Z těchto míst většinou nebyl odebrán celý jedinec, ale jen podzemní stonek s jedním či dvěma polštáři.

4. 2. Zpracování a analýza dat

4. 2. 1. Analýza vegetačních dat pomocí programu Canoco

Jednotlivé hodnoty pokryvností byly nejprve transformovány podle Tüxen-Ellenbergovy transformace (*van der Maarel 1979*). Poté byly pomocí programů Canoco for Windows 4.5. (*ter Braak & Šmilauer 2002*) a CanoDraw for Windows (*ter Braak & Šmilauer 2002*) vyhodnoceny. Nejprve byla použita metoda DCA (*Detrended Correspondence Analysis*), po zjištění délky gradientu byly zvoleny metody unimodálního rozdělení DCA a CCA (*Canonical Correspondence Analysis*).

4. 2. 2. Zpracování řezů, analýza letokruhových sérií pomocí Past32

Vzorky pro finální analýzy byly zpracovány na „sáňkovém“ mikrotomu (*Sledge microtome*) G.S.L. 1 na mikrořezy o tloušťce 3-7 μm .

Ty byly dále pro zvýraznění kontrastů barveny podle následujícího protokolu (www.woodanatomy.ch):

- 1) preparát byl ponořen do „javel water“ (slabý roztok NaClO) na 15-30 minut
- 2) preparát byl propláchnut destilovanou vodou 2-3x (dokud nezmizel zápach chemikálie „javel water“)
- 3) poté byl barven roztokem 1 % safraninu po dobu 3-5 minut
- 4) 1x byl propláchnut destilovanou vodou
- 5) 1x byl propláchnut 50 % ethanolem
- 6) 2-3x byl propláchnut 96 % ethanolem (dokud nezmizelo přebytečné barvivo)
- 7) 1x byl propláchnut 100 % ethanolem
- 8) preparát byl ponořen do xylénu. Pokud se roztok zakalil, byl propláchnut znovu 100 % ethanolem

9) preparát byl umístěn na podložní sklíčko a zalit pomocí balsámu na trvalé preparáty Caedex

10) poté byl zatížen pomocí 50 g závaží, umístěn přibližně na 2 dny na zapnuté topení a poté asi týden sušen za pokojové teploty.

Preparáty byly nafoceny pod mikroskopem s 4-násobným zvětšením (světelný mikroskop Olympus BX 51, digitální kamera Olympus DP 71) a poté v programu Adobe Photoshop CS3 (*Adobe Systems Incorporated 2007*) byly jednotlivé části pospojovány do jednoho celku. Následně byla v programu AutoCAD (*Autodesk 2006*) změřena a zaznamenána šířka letokruhů z alespoň 3 směrů. Pomocí programu TriCycle (*Brewer et al. 2011*) byla data transformována do formátu Hiedelberg a v programu Past32 (*Knibbe 2003*) bylo provedeno křížové datování jednotlivých letokruhových sérii. Všechny růstové křivky potom byly navzájem porovnány.

Ze 45 sebraných jedinců bylo na trvalé preparáty zpracováno a poté vyfotografováno 33 jedinců. Zbýlých 12 bylo především ze začátku zničeno špatnou manipulací, případně nebyla nalezena žádná část použitelná pro měření letokruhů. Z těch zpracovaných bylo vybráno 5 nejčitelnějších pro práci se šířkou letokruhů. Jedinci s označením *CasTet12* a *CasTet14a* byli odebráni v horní části teras s kompaktní vegetací a obecně dominantním druhem *Cassiope tetragona*, z horní vyfoukávané terasy s dominantními druhy *Saxifraga oppositifolia* + *Dryas octopetala* byli odebráni jedinci *SaxOpo03b* (z části terasy blíže po transektu) a *SaxOpo15* (dále po transektu). Jedinec *Kam04* byl odebrán ze suťového svahu s vegetací, v níž dominují druhy *Dryas octopetala* a *Salix polaris*.

5. Výsledky

5. 1. Vegetace na výškovém gradientu

Na výškovém gradientu nebyl pouze na 2 plochách ze 129 zaznamenán žádný výskyt cévnatých rostlin. Ve zbylých 127 vegetačních snímcích bylo nalezeno dohromady 23 rodů cévnatých rostlin s 34 druhy, 2 rody nebyly do druhů rozlišeny (*Draba*, *Pedicularis*). Druhy náležely ke 12 čeledím (**Tab. 1**, viz Příloha), nejpočetněji zastoupená byla čeleď *Caryophyllaceae* (4 rody, 7 druhů) a *Cyperaceae* (2 rody, 7 druhů).

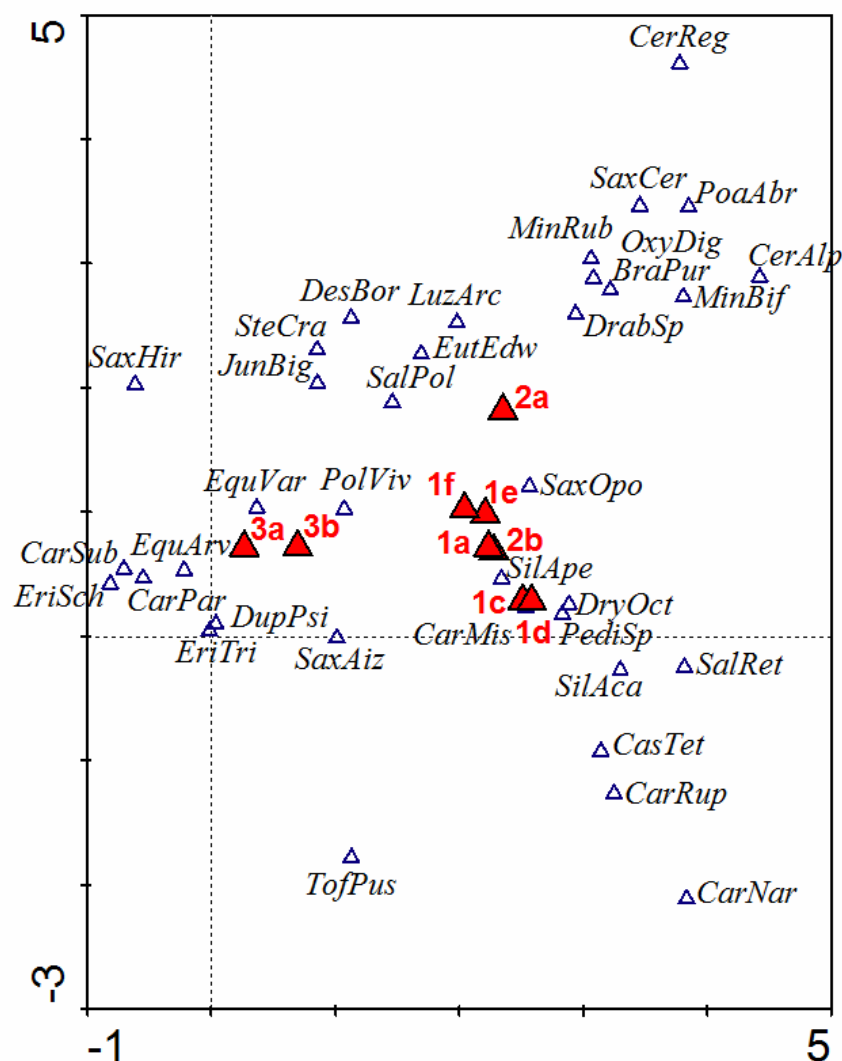
Největší frekvenci výskytu ve snímcích měly druhy *Saxifraga oppositifolia* (výskyt v 94 % vegetačních snímků), *Salix polaris* (92 %), *Polygonum viviparum* (86 %), *Dryas octopetala* (73 %), *Carex misandra* (59 %) a *Saxifraga aizoides* (53 %). Ostatní druhy byly zastoupeny v méně jak 50 % případech (**Tab. 2**, viz Příloha).

Co se týče pokryvnosti, nejvýznamnějším druhem je *Dryas octopetala*, jejíž pokryvnost se z přibližně 24 % podílí na celkové pokryvnosti bylinného patra všech vegetačních snímků. Další významné druhy jsou *Saxifraga oppositifolia* (16 %), *Cassiope tetragona* (12 %), *Salix polaris* (9 %) a *Carex rupestris* (7 %). Celková pokryvnost těchto 5 druhů se podílí z 68 % na celkové pokryvnosti E₁. Ostatních 29 druhů se podílí každý méně jak 5 % na celkové pokryvnosti (**Tab. 2**, viz Příloha).

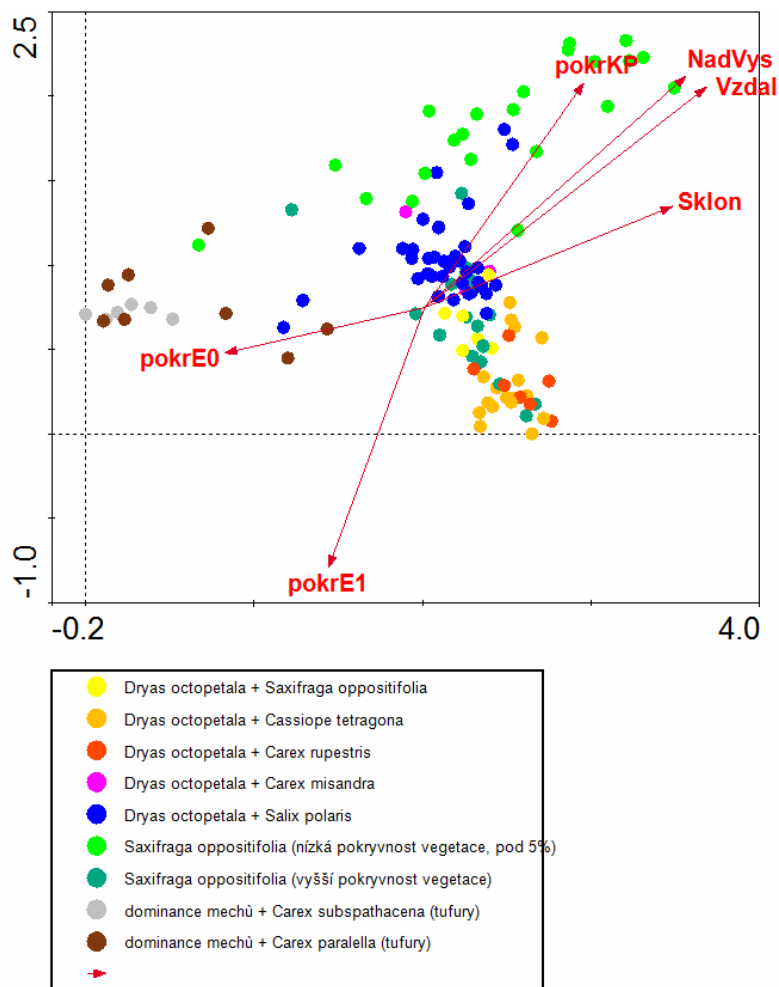
Při užití nepřímé metody DCA vyšla délka gradientu 3,491 SD a po zhodnocení charakteru výškového gradientu vegetace byly zvoleny metody unimodálního rozdělení DCA a CCA.

Analýza vegetace pomocí DCA ukazuje určité trendy v uspořádání druhů. Na grafu (**Obr. 5**) jsou patrné 4 výraznější shluky. Vpravo nahoře je skupina druhů (*Cerastium regelii*, *C. alpinum*, *Saxifraga cernua*, *Poa abbreviata*, *Minuartia rubra*, *M. biflora*, *Oxyria dygina*, *Braya purpurascens*, *Draba* sp.), jenž jsou typické pro vegetaci mladších sukcesních stádií a narušovaných míst. Vpravo dole jsou druhy kompaktní (trvalé) mezické tundry (*Silene apetala*, *S. acaulis*, *Dryas octopetala*, *Carex misandra*, *C. rupestris*, *C. nardina*, *Pedicularis* sp., *Salix reticulata*, *Cassiope tetragona*). Skupina druhů *Carex subspathacea*, *C. parallela*, *Eriophorum scheuchzeri*, *E. triste*, *Equisetum arvense*, *E. variegatum*, *Polygonum viviparum*, *Dupontia psilosantha*, *Saxifraga aizoides* reprezentuje vlhkou rašelinnou tundru. Nad touto skupinkou je shluk druhů (*Deschampsia borealis*, *Luzula arctica*, *Stellaria crassipes*, *Juncus biglumis*, *Salix polaris*, *Eutrema edwardsii*), jenž by bylo možné

charakterizovat jako druhy vegetace míst rovněž sukcesně mladších, ale o něco méně extrémních a celkově vlhčích, než je tomu u prvně zmíněné skupiny.



Obr. 5: Ordinační diagram DCA druhů. Vyneseny jsou centroidy reprezentující vegetační jednotky: 1a – *Dryas octopetala* + *Saxifraga oppositifolia*; 1c – *Dryas octopetala* + *Cassiope tetragona*; 1d – *Dryas octopetala* + *Carex rupestris*; 1e – *Dryas octopetala* + *Carex misandra*; 1f – *Dryas octopetala* + *Salix polaris*; 2a – *Saxifraga oppositifolia* (nízká pokryvnost vegetace, pod 5 %); 2b – *Saxifraga oppositifolia* (vyšší pokryvnost vegetace); 3a – dominance mechů + *Carex subspathacena* (tufury); 3b – dominance mechů + *Carex parallella* (tufury) (podle Prach et al., 2011). Plné názvy druhů, zde popsanych pouze zkratkami, jsou uvedeny v **Tab. 2**, viz Příloha.



Obr. 6: Ordinační diagram DCA vyjadřující vztah mezi výskytem jednotlivých vegetačních jednotek a faktory prostředí. Faktory prostředí byly vyneseny jako pasivní proměnné.

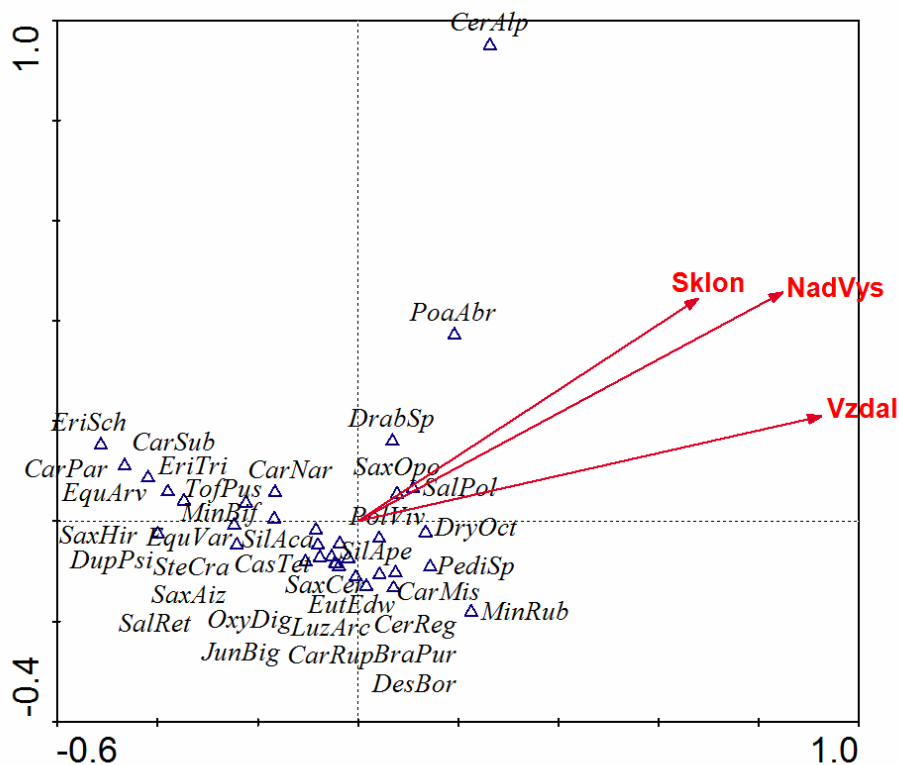
Vysvětlivky: „pokrKP“ – pokryvnost kamenní a holé půdy; „NadVys“ – nadmořská výška; „Vzdal“ – vzdálenost od počátku transektu; „Sklon“ – sklon svahu; „pokr E1“ – pokryvnost bylinného patra; „pokrE0“ pokryvnost mechového patra a sinice *Nostoc commune*.

S tímto rozlišením skupin druhů souvisí vztah faktorů prostředí a složení a rozmístění vegetace, jak je patrné na dalším grafu (**Obr. 6**). Všechny 4 uvažované abiotické faktory ukazují na silnou pozitivní korelaci s výskytem druhů raných sukcesních stádií či narušovaných míst, jenž tvoří vegetační jednotky *Dryas octopetala* + *Salix polaris* a *Saxifraga oppositifolia* (nízká pokryvnost vegetace, pod 5 %), a na negativní korelaci s pokryvností jak bylinného, tak mechového patra. Se sklonem svahu je velmi silně negativně korelována pokryvnost mechového patra a vegetace spojená s dominancí mechů, což ukazuje, že vlhká, rašelinná tundra se vyskytuje téměř jen v nejnižších nadmořských výškách, kde je

sklon svahu minimální. S výskytem vegetačních jednotek typických pro kompaktní tundru je spojena vyšší pokrývnost E_1 a zvyšující se hodnota sledovaných abiotických faktorů, především však sklonu svahu.

Do analýzy pomocí metody CCA byly zahrnuty pouze abiotické faktory nadmořská výška, vzdálenost na transektu a sklon svahu, faktor pokrývnost kamení, holé půdy a lišejníků do analýz zahrnut nebyl, protože tato pokrývnost je velmi úzce spjata s pokrývností vegetace, jíž se snažím touto analýzou charakterizovat.

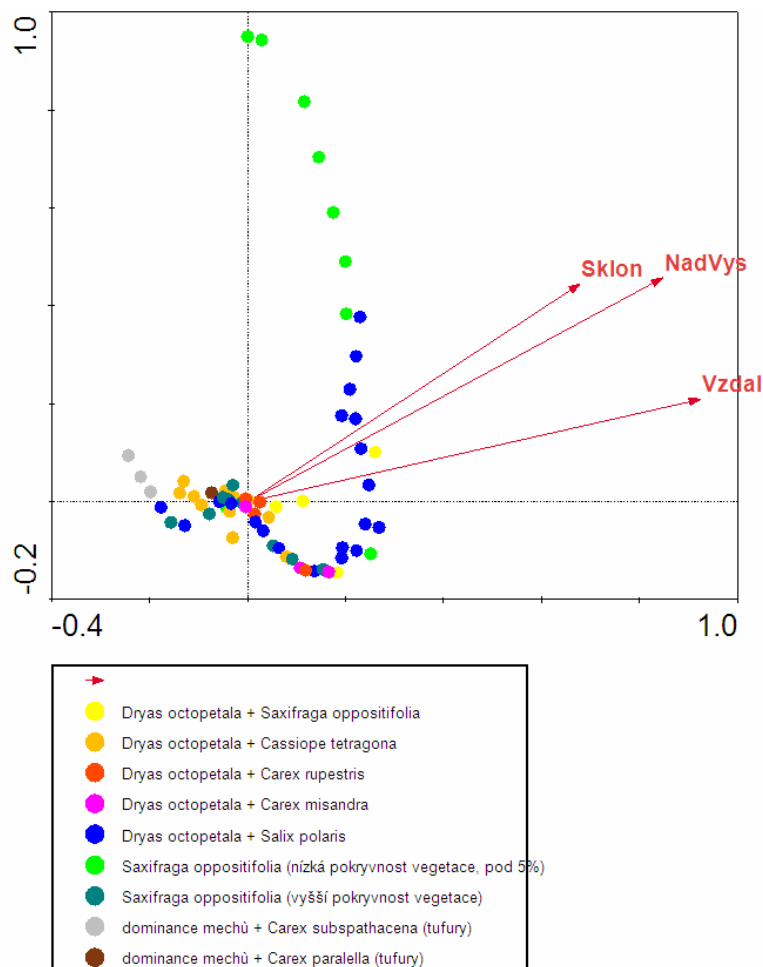
Všechny faktory zahrnuté do této analýzy (vzdálenost na transektu, nadmořská výška a sklon svahu) vyšly při použití metody *forward selection* průkazně ($p=0,002$) a celkově vysvětlily 46,2 % variability. Nejvíce variability, 25,5 % ($p=0,002$; $F=14,575$), vysvětlila proměnná vzdálenost na transektu, nadmořskou výškou bylo vysvětleno 11,8 % ($p=0,002$; $F=7,104$) a sklonem svahu 8,9 % ($p=0,002$; $F=5,560$) variability druhového složení vegetace.



Obr. 7: Ordinační diagram CCA vyjadřující vliv faktorů prostředí na výskyt druhů. Vysvětlivky: „Sklon“ – sklon svahu; „NadVys“ – nadmořská výška; „Vzdal“ – vzdálenost od počátku transektu

Většina druhů je v negativním vztahu ke vzrůstajícím hodnotám všech do analýzy zahrnutých faktorů prostředí (**Obr. 7**), kromě druhů jako např. *Cerastium alpinum*, *Poa abbreviata*, *Draba* sp., *Saxifraga oppositifolia*, *Salix polaris*, *Dryas octopetala*, *Polygonum viviparum*, *Pedicularis* sp. a *Minuartia rubra*, jež jsou s těmito faktory v pozitivním vztahu.

Druhý diagram CCA (**Obr. 8**) ukazuje uspořádání vegetačních jednotek podél gradientu od vlhké tundry (vegetační jednotky „dominance mechů + *Carex subspathacea*“ a „dominance mechů + *Carex parallela*“), jež je v negativním vztahu ke všem sledovaným faktorům, přes kompaktní mezickou tundru („*Dryas octopetala* + *Saxifraga oppositifolia*“, „*Dryas octopetala* + *Cassiope tetragona*“, „*Dryas octopetala* + *Carex rupestris*“, „*Dryas octopetala* + *Carex misandra*“ a „*Saxifraga oppositifolia* (vyšší pokryvnost vegetace)“), až po narušovaná stanoviště s řídkou vegetací („*Dryas octopetala* + *Salix polaris*“ a *Saxifraga oppositifolia* (nízká pokryvnost vegetace, do 5%)“), jejíž výskyt je naopak s těmito faktory spojen pozitivně.

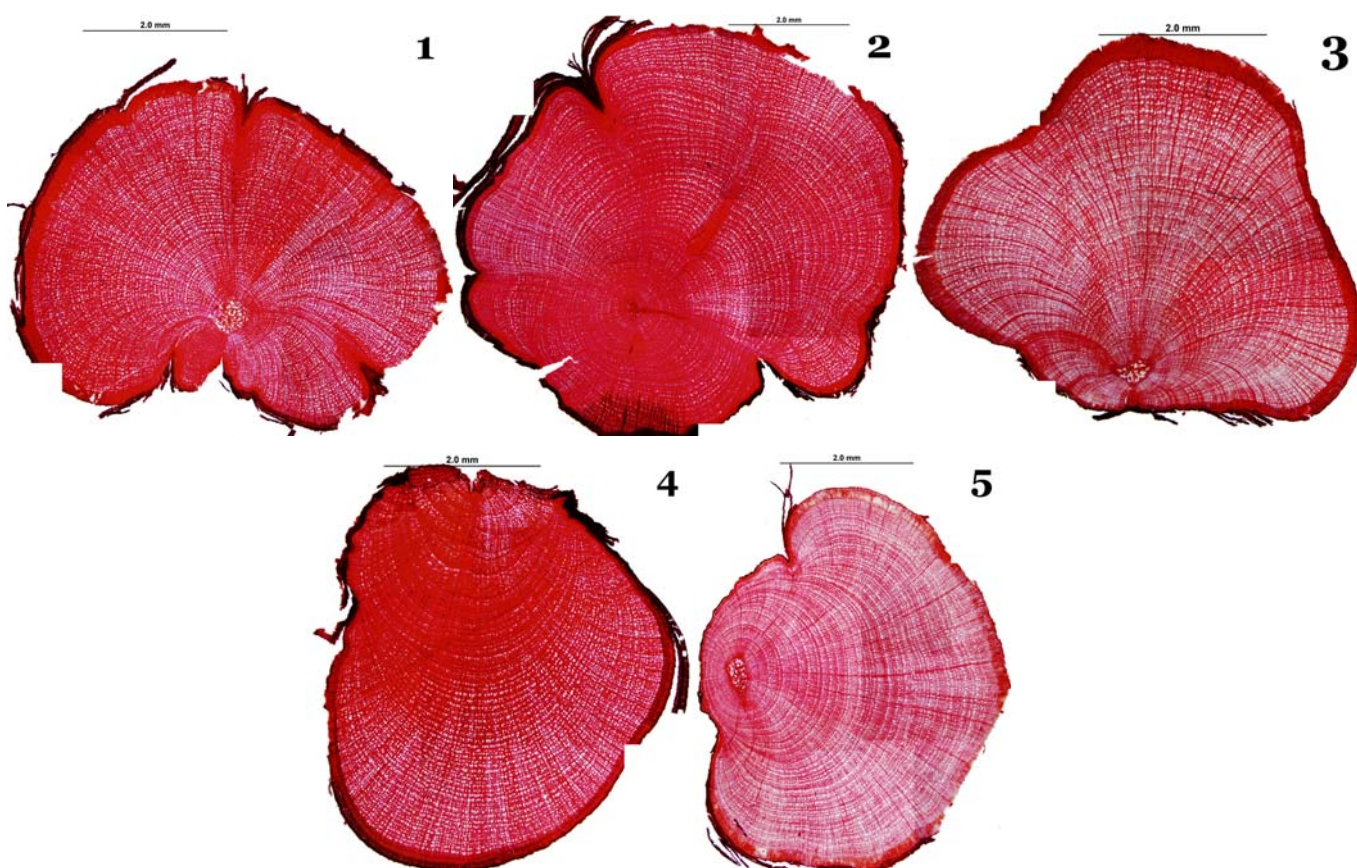


Obr. 8: Ordinační diagram CCA vyjadřující vztah faktorů prostředí a rozlišených vegetačních jednotek.

5. 2. Výsledky: Letokruhová analýza *Dryas octopetala*

Průměrná šířka letokruhů jednotlivých řezů byla velmi variabilní; pohybovala se od 35.0 μm (Obr. 9 - 1) do 65.9 μm (Obr. 9 - 4). Nejmenší letokruh měřil přibližně 9.4 μm (Obr. 9 - 1), největší 322 μm (Obr. 9 - 4).

Nejstarší z pěti změřených jedinců byl 83 let starý (Obr. 9 - 1), nejmladší měl 54 let (Obr. 9 - 5). U ostatních jedinců se věk pohyboval mezi 60 a 70 lety.



Obr. 9: Řezy stonkem druhu *Dryas octopetala*. Barvivo: safranin, zvětšení: 4x.

1 – *CasTet12*; 2 – *CasTet14a*; 3 – *SaxOpo03b*; 4 – *SaxOpo15*; 5 – *Kam04*

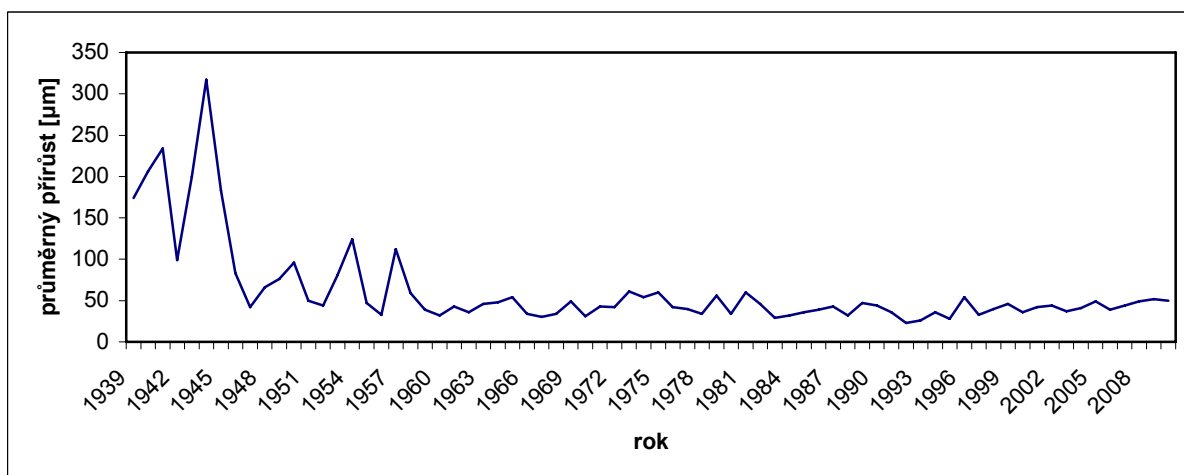
Jak lze vidět na růstových křivkách (Obr. 10 – Obr.14), je velmi časté, že v počátcích růstu jsou průměrné přírůsty výrazně vyšší, než po zbývající část života. Ke konci růstových křivek jsou naopak přírůsty obvykle výrazně nižší.

Výraznější trend růstu lze vidět pouze u jedince *SaxOpo15* (Obr. 10), kdy v prvních přibližně 7 letech jsou velmi výrazné přírůsty, do roku 1957 jsou přírůsty sice menší, ale pořád zřetelně vyšší než po zbytek života jedince. Mírný trend ve zmenšování letokruhů lze vidět u jedince *Kam04* (Obr. 12). Růstové křivky jedinců *CasTet12* (Obr. 13) a *CasTet14a*

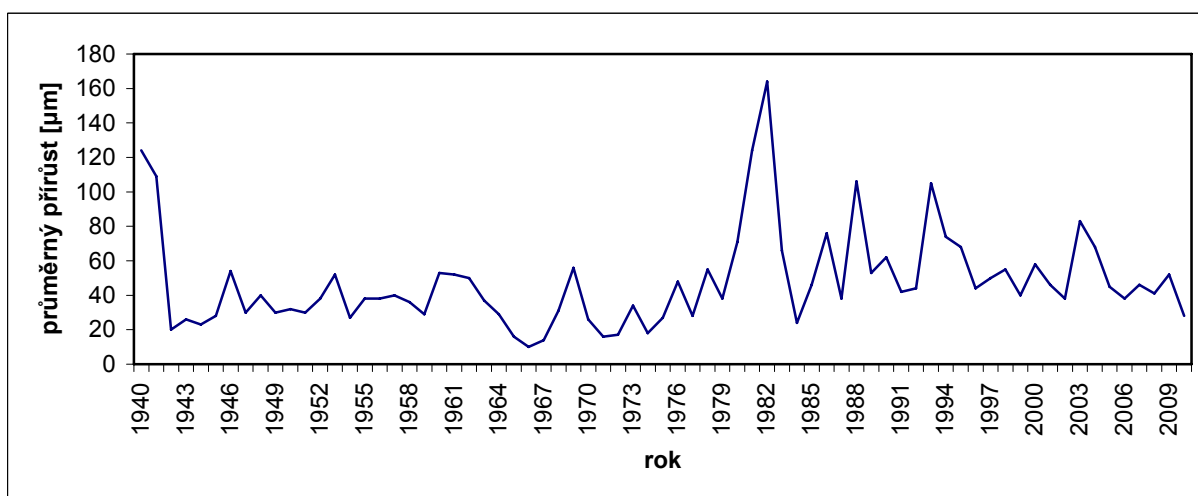
(Obr. 14) vykazují výrazné a časté výkyvy ve velikostech přírůstků mezi jednotlivými roky. Jedinec *SaxOpo03b* (**Obr. 11**) taktéž vykazuje výraznější přírůsty na začátku růstu, a to pouze během prvních dvou let. Do roku 1979 je pak trend růstu vyrovnaný, poté nastupuje období častých výrazných výkyvů.

Srovnání růstových křivek všech jedinců ukazuje velkou variabilitu v přírůstech jednotlivých let mezi jedinci (**Obr. 15**).

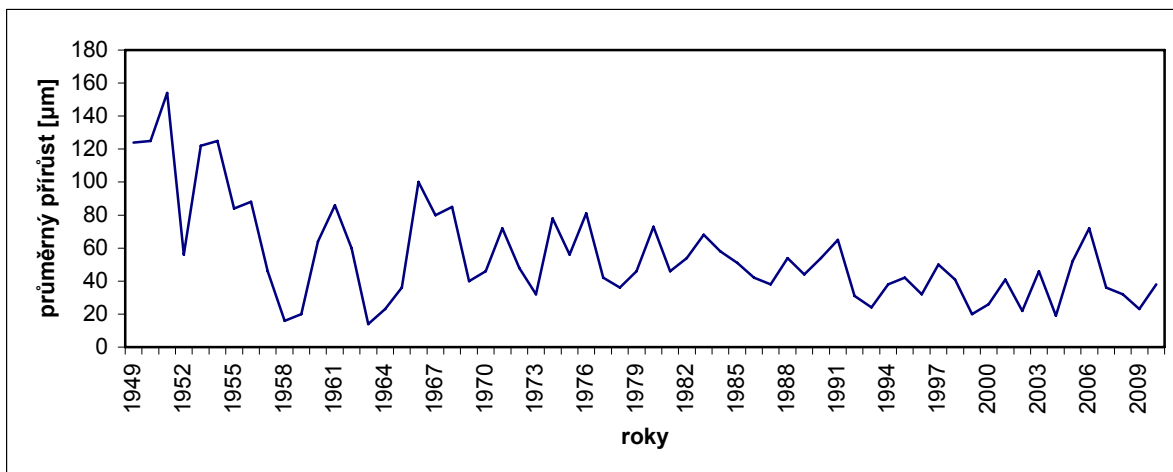
Při srovnání růstových křivek došlo v letech 1961 a 1987 k výraznějším přírůstkům u všech 5 jedinců. Podle <http://data.giss.nasa.gov/> byly letní teploty na Svalbardu v letech 1960 a 1961 výrazně vyšší (**Obr. 16**). Rok 1987 nebyl teplotně nijak výjimečný, ale v letech 1984-1986 byly teploty opět výrazně vyšší (**Obr. 16**). I další výrazné přírůsty často odpovídají pozitivním teplotním výkyvům (**Obr. 15, Obr. 16**).



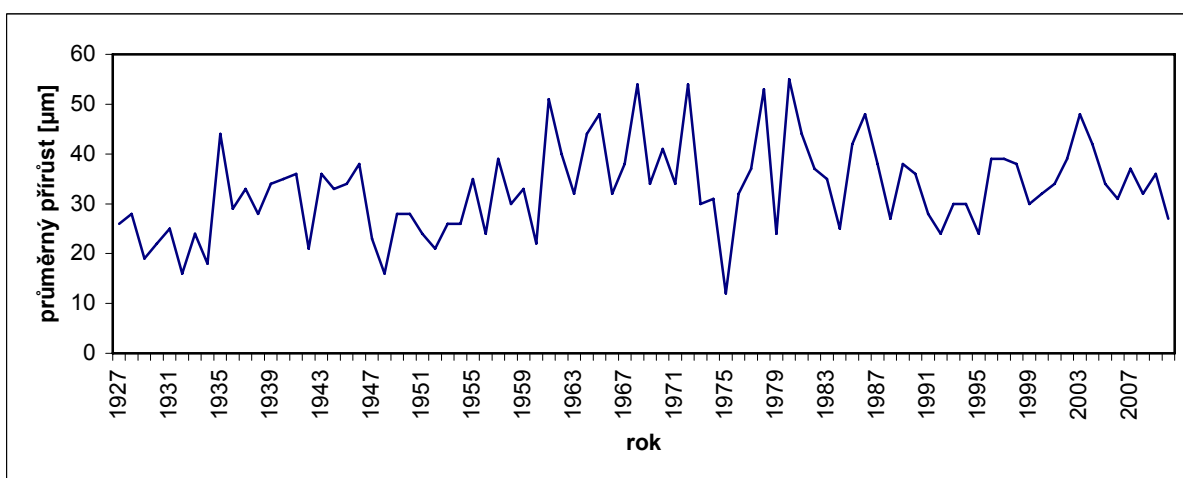
Obr. 10: Růstová křivka jedince *SaxOpo15*.



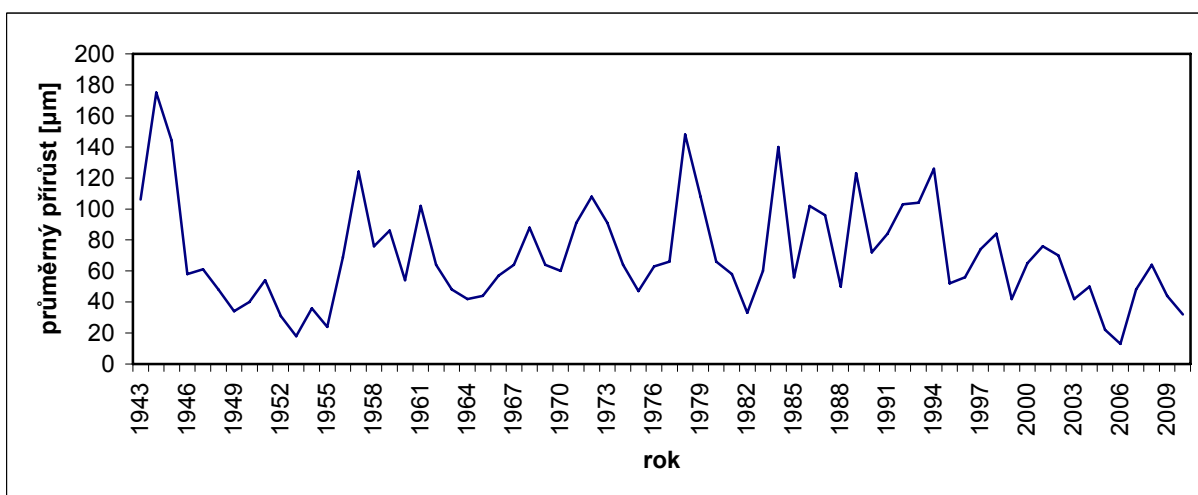
Obr. 11: Růstová křivka jedince *SaxOpo03b*.



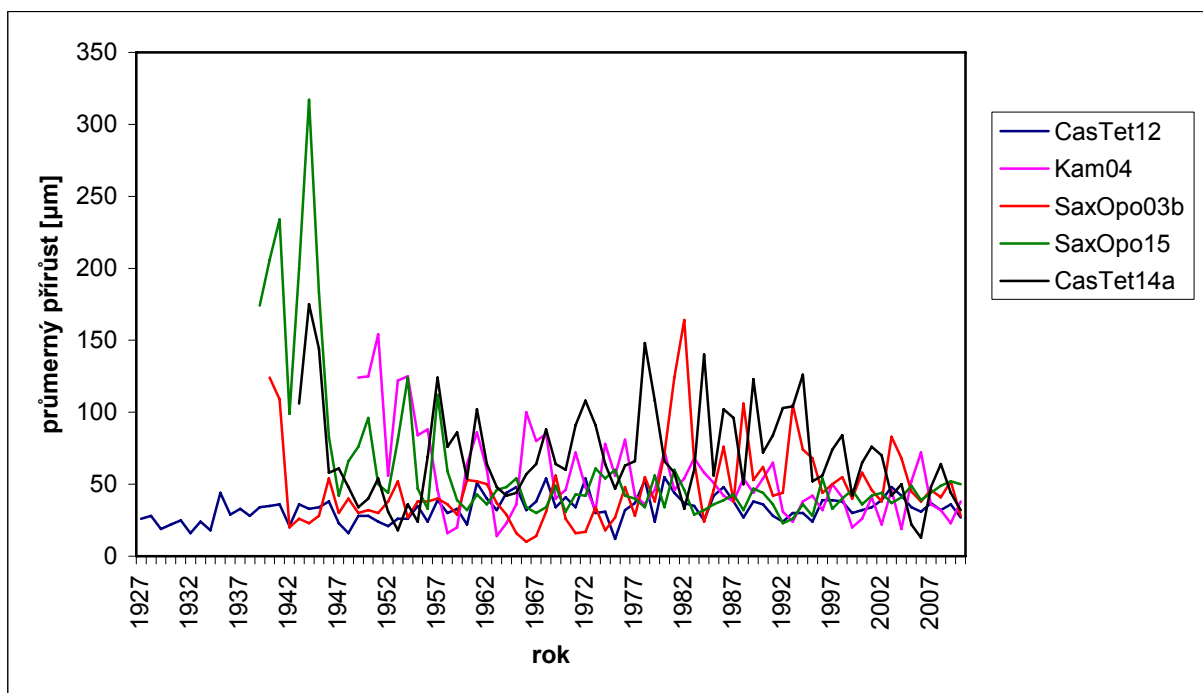
Obr. 12: Růstová křivka jedince *Kam04*.



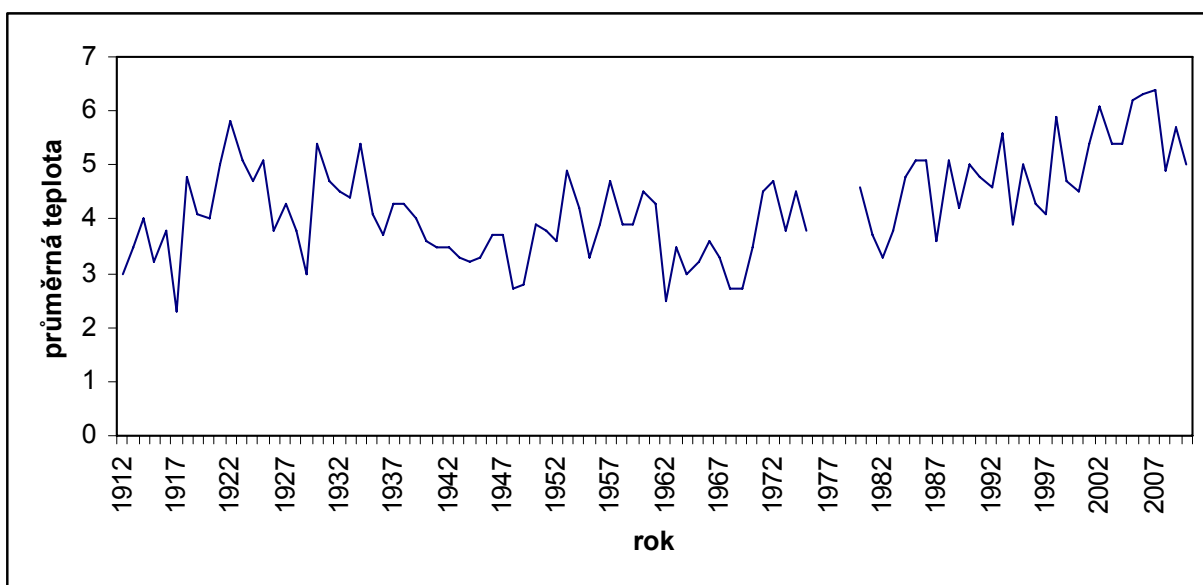
Obr. 13: Růstová křivka jedince *CasTet12*.



Obr. 14: Růstová křivka jedince *CasTet14a*.



Obr. 15: Srovnání růstových křivek všech jedinců.



Obr. 16: Křivka průměrných letních teplot (červen-červenec-srpen). Mezera mezi roky 1975 – 1980 je způsobena chybějícími zdrojovými daty (<http://data.giss.nasa.gov/>).

6. Diskuze

6. 1. Druhové složení vegetace

Druhy s největší frekvencí výskytu, nad 70 % (*Saxifraga oppositifolia*, *Salix polaris*, *Polygonum viviparum* a *Dryas octopetala*) se vyskytují jak ve vegetaci vlhké tundry, tak v kompaktní tundře a ve vegetaci suťového svahu, což ukazuje na jejich širokou ekologickou niku. Tyto druhy jsou také zobrazeny ve středu DCA diagramu, jehož výrazná shlukovitost jinak ukazuje na vyhraněnost druhů k určitým typům vegetace.

V DCA diagramech horizontální osa zřejmě zastupuje vlhkostní gradient a osa vertikální gradient stability substrátu či sukcesního stáří, čemuž odpovídají jak charakteristické výskyty druhů (*Rønning 1996*), tak vegetačních jednotek (*Prach et al. 2011*).

Horní hranice výskytu vegetace je v literatuře spojována s nadmořskou výškou 450-600 m n. m. a výskytem druhu *Papaver dahlianum* (*Virtanen et al. 1997*). V mém případě se v nejvyšších nadmořských výškách (kolem 222 m n. m.) nacházela vegetace s dominancí *Saxifraga oppositifolia* při nízké pokryvnosti bylinného patra (do 5 %). Tento rozdíl je zřejmě dán tím, že na transektu této studie se výše již vyskytovaly pouze sádrovcové skály, kde už se vegetace, zřejmě díky extremitě prostředí, žádná nevyskytovala. Na výskyt vegetace s dominancí *Saxifraga oppositifolia* při nízké pokryvnosti bylinného patra (do 5 %) má pravděpodobně pozitivní vliv rostoucí sklon svahu a s ním, v důsledku geomorfologie oblasti (mořský záliv s exponenciálně se zvedajícími svahy hor), korelující nadmořská výška. Vysoká hodnota sklonu svahu silně ovlivňuje nestabilitu substrátu, na což jsou druhy tohoto vegetačního stupně adaptovány (např. *Dryas octopetala* schopností tvořit „schodovitou“ formu vznikající v důsledku tlaku pohyblivé suti, *Rauh (1937)*). Vliv na výskyt vegetace má zřejmě i zvyšující se klimatická extrémita v důsledku rostoucí nadmořské výšky. S vyšší nadmořskou výškou například klesá teplota, snižuje se výška sněhové pokrývky v zimě, mění se síla větru, což jsou všechno faktory, jež ovlivňují výskyt rostlin (*Körner 2003*).

Na méně strmém svahu se vyskytuje vegetace s dominancí *Dryas octopetala* a kodominancí *Salix polaris*, na níž by také mohla mít vliv nadmořská výška silně korelovaná se vzdáleností na transektu. *Virtanen et al. (1997)* tento typ vegetace popsali jako vegetaci chionofóbních míst a středních nadmořských výšek (okolo 100-200 m n. m.) s řídkým vegetačním pokryvem jako důsledek kryoturbace.

Zdá se, že vegetace kompaktní tundry na tyto faktory výrazněji nereaguje či reaguje lehce negativně. Vegetační jednotky tohoto typu tundry se v diagramech dále výrazněji nerozlišily pravděpodobně proto, že se vzájemně prolínají podle mikrostanovištních podmínek (Rønning 1996). Nicméně se lehce vylišila vegetační jednotka s dominancí *Dryas octopetala* a kodominancí *Cassiope tetragona*, která reprezentuje více méně klimaxovou vegetaci Svalbardu (Prach et al. 2011). Na abiotické faktory zřejmě reaguje o něco negativněji, což by mohlo být dáno tím, že pro svůj výskyt vyžaduje vyšší sněhovou pokrývku (Rønning 1996, Prach et al. 2011) a do určité míry vlhkou půdu (Prach et al. 2011), jenž často negativně koreluje s nadmořskou výškou a sklonem svahu (Archibold 1995).

V nejnižších polohách se vyskytuje vegetace vlhké tundry s dominancí mechů. Ta zřejmě reaguje na sklon svahu a nadmořskou výšku (s nimiž je silně korelovaná proměnná vzdálenost na transektu), a to zřejmě negativněji než vegetace kompaktní tundry, což by mohlo být způsobeno tím, že vegetace tohoto druhu tundry požaduje ještě vyšší půdní vlhkost (Rønning 1996). Většina druhů cévnatých rostlin v tomto typu tundry je z čeledi *Cyperaceae* a *Poaceae*, což ukazuje na příslušnost ke společenstvu vlhké travinné tundry (Rønning 1996). Jak studie Vanderpuye et al. (2002), tak má práce připisují podstatný vliv na formaci tohoto druhu tundry sklonu svahu.

Pravděpodobně velmi silný vliv na výskyt druhů má také vlhkost půdy, výška sněhové pokrývky, síla větru a délka vegetačního období vymezená dobou odtátí sněhové pokrývky (Körner 2007). Kromě vlhkosti půdy jsou to faktory vzhledem k poloze Svalbardu obtížně změřitelné, proto je třeba se prozatím spokojit pouze s obecným tvrzením, že pravděpodobně vliv mají. Vlhkost půdy bude měřena pomocí dataloggerů od vegetační sezony roku 2011, proto v této studii zahrnuta není.

6. 2. Význam trvalých ploch

Pro vyznačení transektu a jednotlivých ploch byla zvolena kombinace jak pomocí GPS souřadnic, tak pomocí tzv. mužiků; toto značení velmi zrychluje dohledávání jednotlivých ploch v terénu, nicméně jsou každoročně lehce poškozené pohybem zvířat, větrem či pohybem nestabilních suťových svahů a je nutné je opravovat.

Tento transekt je možné v budoucnu využít pro opakované analýzy. Vzhledem k pravděpodobně pomalým reakcím tundry na oteplování, kdy ani 15 let simulovaného oteplování (Hudson & Henry 2010) ani 75 let změn klimatu (Prach et al. 2010) nezanechalo na skladbě vegetace výrazné změny, by bylo vhodné sledovat případné změny vegetace

nejdříve po 10 letech. Případné změny by pak mohly být vztahovány ke změnám klimatu. Při opakované analýze dat je nutné brát ohled na to, že v místech výskytu trvalých ploch došlo k destruktivnímu sběru jedinců druhu *Dryas octopetala* a *Salix polaris*. Druh *Dryas octopetala* byl odebírán v roce 2009 přibližně v množství 3 jedinci z jedné plochy (přibližně 1-5% pokryvnosti každé plochy), v roce 2010 mohlo ojedinelé dojít k odběru jedinců druhů *Dryas octopetala* a *Salix polaris* z těchto ploch.

6. 3. Letokruhová analýza *Dryas octopetala*

Barvení řezů získaných z kmínků druhu *Dryas octopetala* pomocí safraninu je velmi vhodná metoda, letokruhy jsou poté výrazné a dobře čitelné. Čitelnost letokruhů není během celé letokruhové řady stejná – výrazně se povětšinou mění s věkem, okolo jizev a většinou úplně nerozeznatelné jsou na kratší straně od excentrického jádra (*Schweingruber 1996*). Excentricita jádra je velmi častá a znemožňuje tak měření letokruhů z protisměrných stran, čímž dochází ke zkreslení průměrné šířky letokruhů (*Cook & Kairiukstis 1990*). Ke zkreslení skutečné šířky jednotlivých letokruhů dochází také již při používání sáňkového mikrotomu, kdy jsou přibližně 2 cm části kmínků připevňovány do malého svěráku. Při tomto upevňování není nikdy možné dosáhnout, aby všechny kmínky byly seřezávány pod stejným úhlem, pouze je možné toto zkreslení minimalizovat. Nicméně každý kmínek je seřezáván pod stejným zkosením, proto je možné porovnávat průběhy jednotlivých růstových křivek mezi jedinci.

Dalším, velmi častým, problémem jsou nepravidelné či díky malé šířce a absenci cév nečitelné letokruhy. Ani při užití metody křížového datování v rámci jednoho jedince nebylo možné vytvořit zcela přesnou růstovou křivku jedince. Nicméně i přes množství nepravidelností v průběhu růstu letokruhů a obtížné čitelnosti se jedná o křivky s velmi dobrou přesností.

Zjištěné vyšší přírůsty letokruhů v prvních letech růstu jedinců jsou běžné u všech stromů (*Schweingruber 1996, Frelich 2002*). Malé hodnoty prvních přírůstů na růstové křivce jedince *CasTet12* jsou pravděpodobně způsobeny špatnou čitelností těchto letokruhů.

Průběh růstových křivek má v průměru vyrovnaný trend, což by mohlo ukazovat na určitou stabilitu podmínek prostředí. Je ale zajímavé, že přibližně od roku 1960 je patrný nárůst průměrných letních teplot červen-srpen (<http://data.giss.nasa.gov/>) a přesto, že teplota je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím růst dřevin (*Schweingruber 1996*), zdá se, že na něj jedinci v mém případě nijak nereagují. To by mohlo být dáno buď tím, že přírůsty jsou natolik

malé, že tento trend na nich nelze vidět a zprůměrováním tří směrů se vyrovná ještě více, nebo v těchto extrémních podmínkách existuje ještě nějaký další limitující faktor, jenž růst dřevin ovlivňuje více než teplota.

Po srovnání růstových křivek a teplotní křivky se zdá, že dřevina výrazně reaguje na letní teploty. Už studie *Woodcock & Bradley (1994)* ukázala, že zakrslý arktický keřík *Salix arctica* v Kanadě prokazatelně reaguje na výrazné příznivé podmínky. Druh *Dryas octopetala* zřejmě výrazně reaguje na zvýšení teplot byť jen po jedinou předcházející vegetační sezonu, jak ukazují i studie na jiných dřevinách (např. *Lo et al. 2010*).

Tři jedinci ze čtyř, jenž byli sebráni na terasách, jsou přibližně stejně staří, což by mohlo znamenat, že hlavní kolonizace teras po ústupu ledovců po malé době ledové (*Rachlewicz et al. 2007*) jedinci druhu *Dryas octopetala* proběhla kolem roku 1940. Podle *Prach & Rachlewicz (2011)* tento druh kolonizuje odledněné plochy nejdříve po 40 až 50 letech, což by mohlo naznačovat, že by věk těchto sebraných keříčků mohl souviset s ústupem ledovců Hørbye a Sven. Vzhledem k opravdu malému počtu jedinců se jedná pouze o myšlenku, které by se, s odpovídající metodikou a počtem opakování, mohlo být zajímavé věnovat v navazující diplomové práci.

7. Závěr

I přes extremitu prostředí je vegetace na výškovém transektu docela pestrá a druhově bohatá. Je zde vytvořena vegetace vlhké, mechové tundry, kompaktní tundry i vegetace míst s nestabilním substrátem. Vegetace reaguje jak na sklon svahu, tak na nadmořskou výšku; v závislosti na typu vegetace je tato reakce pozitivní, neutrální či negativní. Vzhledem k variabilitě vegetace jsou tyto plochy vhodné k opakování vegetačních analýz v budoucnu, což by mohlo i odhalit případné změny vegetace ve vazbě na klimatickou změnu.

Dendrochronologické analýzy druhu *Dryas octopetala* jsou díky nepravidelnému průběhu růstu letokruhů komplikované, nicméně i přes to je to druh, jenž lze pro toto odvětví výzkumu použít a jenž dobře reaguje na zvýšení letních teplot a je vhodný pro dendroklimatologické studie.

8. Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat svému školiteli Karlu Prachovi a konzultantce Jitce Klimešové za vedení a motivaci v průběhu mé práce a závěrečné opravy a rady. Za závěrečné opravy nejen dendrochronologické části, rady a podporu bych ráda poděkovala Honzovi Altmanovi. Můj velký dík taktéž patří mé rodině za celostudijní podporu a trpělivost, bratrovi Radkovi za pomoc s programem Adobe Photoshop, tátovi za pomoc především s programem AutoCAD. Tomáši Tymlovi za trpělivost při vymýšlení způsobu barvení řezů. Piotru Owczarkovi za úvod do zpracování a dendrochronologických analýz zakrslých keříčků. Tomáši Plenerovi a Vítkovi Pejchovi za pomoc s dendrochronologickými programy. Pavlu Kúrovi za počáteční nakopnutí při zpracovávání dat v Canocu, Janu Š. Lepšovi a Alči Jírové za průběžné konzultace. Martinu Haisovi za zobrazení mých ploch v GISu. A dále všem, co mi všelijak v průběhu mého tápání radili a podporovali mne.

A samozřejmě v neposlední řadě můj velký dík patří Pepovi Elsterovi za možnost účastnit se Svalbardského projektu. Všem účastníkům obou expedic za trpělivost s mou maličností. A Olegovi Ditrichovi za postrčení k zásadní změně směru mého života.

Tato práce je součástí projektu MŠMT LA341 Biologická a klimatická diverzita centrální části arktického souostroví Svalbard.

9. Literatura

- Adobe Systems Incorporated (2007): Adobe Photoshop CS3 User Guide for Windows and Macintosh.
- Arft A. M., Walker M. D., Gurevitch J., Alatalo J. M., Bret-Harte M. S., Dale M., Diemer M., Gugerli F., Henry G. H. R., Jones M. H., Hollister R. D., Jónsdóttir I. S., Laine K., Lévesque E., Marion G. M., Molau U., Mølgaard P., Nordenhäll U., Raszhivin V., Robinson C. H., Starr G., Stenström A., Stenström M., Totland Ø., Turner P. L., Walker L. J., Weber P. J., Welker J. M. & Wookey P. A. (1999): Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment. – *Ecol. Monogr.* 69: 491–511
- Archibald W. A. (1995): Ecology of world vegetation. – Chapman & Hall, London
- Au R. (2006): Dendroecology of the dwarf shrub *Dryas integrifolia* near Churchill, Manitoba. – Department of Biology, The University of Winnipeg.
- Autodesk, Inc. (2006): AutoCAD 2007, user's guide.
- Bär A., Bräuning A. & Löffler J. (2006): Dendroecology of dwarf shrubs in the high mountains of Norway – A methodological approach. – *Dendrochronologia* 24: 17–27
- Baskin C. C. & Baskin J. M. (1998): Seeds. – Academic Press, San Diego
- Bliss L. C. (1962): Adaptations of arctic and alpine plants to environmental conditions. – *Arctic* 15: 117–144
- Brewer P., Murphy D. & Jansma E. (2011): TRiCYCLE users manual. Version 0.2.1. – Cornell University, Ithaca, New York
- Cannone N., Guglielmin M. & Gerdol R. (2004): Relationships between vegetation patterns and periglacial landforms in northwestern Svalbard. – *Pol. Biol.* 27: 562-571
- Cook E. R. & Kairiukstis L. A. (1990): Methods of dendrochronology. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Dallmann W. K., Piepjohn K. & Blomeier D. (2004): Geological map of Billefjorden 1:50,000, with excursion guide. – Norsk Polarinstitut, Oslo
- Elkington T. T. (1971): *Dryas octopetala* L. – *J. Ecol.* 59: 887-905
- Elvebakk A. (1994): A survey of plant association and alliances from Svalbard. – *J. Veget. Sci.* 5: 791-802
- Elvebakk A. (2005): A vegetation map of Svalbard on the scale 1 : 3.5 mill.. *Phytocenologia* 35: 951-967

- Elvevold S., Dallmann W. & Blomeier D. (2007): *Geology of Svalbard*. – Norsk Polarinstitut, Oslo
- ERSDAC, 2005. *ASTER Users Guide, Part 1 General, Version 4*.
- Frelich, L. E. (2002): *Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests*. – Cambridge, MA: Cambridge University Press
- Grytnes J. A. & Beaman J. H. (2006): Elevation species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu Borneo. – *J. Biogeogr.* 33: 1838-1849
- Hobbie S. E. & Chappin III S. F. (1998): An experimental test of limits to tree establishment in arctic tundra. – *J. Ecol.* 86: 449-461
- Hodkinson I. D., Coulson S. J. & Webb N. R. (2003): Assembly along proglacial chronosequences in the High Arctic: Vegetation and soil development in North-West Svalbard. – *J. Ecol.* 91: 651-663
- Hudson J. M. G. & Henry G. H. R. (2010): High Arctic plant community resists 15 years of experimental warming. – *J. Ecol.* 98: 1035-1041
- Karlén W. (2005): Recent global warming: an artefact of a too-short temperature record? – *Ambio* 34: 263–264
- Kent M. & Coker P. (1992): *Vegetation description and analysis – a practical approach*. Belhaven Press, London
- Klimeš L. (2002): Life-forms and clonality of vascular plants along an altitudinal gradient in E Ladakh (NW Himalayas). – *Basic Appl. Ecol.* 4: 317–328
- Knibbe, B. (2003): *Past32 Build 700 User Manual*. – Scienc, Wien.
- Körner Ch. (2003): *Alpine plant life (2. vydání)* – Springer, Berlin
- Körner Ch. (2007): The use of ‘altitude’ in ecological research. – *Trends Ecol. Evol.* 22: 569-574
- Lloyd A. H., Ambruster W. S. & Edwards M. E. (1994): Ecology of a steppe-tundra gradient in interior Alaska. – *J. Veget. Sci.* 5: 897-912
- Lo Y.-H., Blanco J. A., Seely B., Welham C. & Kimmins J. P. (2010): Relationships between climate and tree radial growth in interior British Columbia, Canada. – *Forest Ecol. Manag.* 259: 932-942
- Majila B. S. & Kala Ch. P. (2010): Forest structure and regeneration along the altitudinal gradient in the Binsar Wildlife Sanctuary, Uttarakhand Himalaya, India. – *Russ. J. Ecol.* 41: 75-83
- Moore P. D. (2006): *Tundra. Biomes of the Earth*. – Chelsea house, New York

- Moritz R. E., Bitz C. M. & Steig E. J. (2002): Dynamics of recent climate change in the Arctic. – *Science* 297: 1497–1502
- Owczarek P. (2009): Dendrogeomorphological potential of *Salicaceae* from SW Spitsbergen (Norway). in: Kaczka R., Malik I., Owczarek P., Gärtner H., Helle G., Heinrich I. (eds.) (2009): TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol. 7: Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2008, April 27th – 30th 2008, Zakopane, Poland. GFZ Potsdam, Scientific Technical Report STR 09/03, Potsdam, p. 181 - 186.
- Owczarek P. (2010): Dendrochronological dating of geomorphic processes in the High Arctic. – *Landform Analysis* 14: 45–56
- Polunin N. (1945): Plant life in Kongsfjord, West Spitsbergen. – *J. Ecol.* 33: 82-108
- Prach K., Košnar J., Klimešová J. & Hais M. (2010): High Arctic vegetation after 70 years: a repeated analysis from Svalbard. – *Pol. Biol.* 33: 635-639
- Prach K., Klimešová J., Košnar J., Redčenko A. & Hais M. (2011): Variability of contemporary vegetation around Petuniabukta central Svalbard. – *Pol. Polar Res.* (submitt.)
- Prach K. & Rachlewicz G. (2011): Vegetation succession in front of retreating glaciers in central Svalbard. – *Pol. Polar Res.* (submitt.)
- Rachlewicz G., Szczuciński W. & Ewertowski M. (2007): Post-„Little Ice Age“ retreat rates of glacier around Billefjorden in central Spitsbergen, Svalbard. *Pol. Polar Res.* 28: 159-186
- Rauh W. (1937): Beiträge zur Morphologie und Biologie der Holzgewächse. – *Nova Acta Leopoldiana N. F.* 5: 289 - 348
- Rayback S. A. & Henry G. H. R. (2005): Dendrochronological potential of the arctic dwarf-shrub *Cassiope tetragona*. – *Tree-ring Research* 61: 43–53
- Rayback S. A. & Henry G. H. R. (2006): Reconstruction of summer temperature for a canadian High Arctic site from retrospective analysis of the dwarf shrub, *Cassiope tetragona*. – *Arct. Antarct. Alp. Res.* 38: 228-238
- Rønning O. (1996): Flora of Svalbard. – Norsk Polarinstitut, Oslo
- Rozema J., Weijers S., Broekman R., Blokker P., Buizer B., Werleman Ch., el Yaqine H., Hoogedoorn H., Fuertes M.M. & Cooper E. (2009): Annual growth of *Cassiope tetragona* as a proxy for Arctic climate: developing correlative and experimental transfer functions to reconstruct past summer temperature on a millennial time scale. – *Glob. Change Biol.* 15: 1703–1715

- Schmidt N. M., Baittinger C., Kollmann J. & Forchhammer M. C. (2010): Consistent dendrochronological response of the dioecious *Salix arctica* to variation in local snow precipitation across gender and vegetation types. – *Arct. Antarct. Alp. Res.* 42: 471–475
- Schweingruber F. H. (1996): *Tree rings and environment dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt
- Sundquist M., Geisler R., Graae B. J., Wallender H., Fogelberg E. & Wardle D. A. (2011): Interactive effects of vegetation type and elevation on aboveground and belowground properties in a subarctic tundra. – *Oikos* 120: 128-142
- ter Braak C. J. F. & Šmilauer P. (2002): *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. – Microcomputer Power, Ithaca NY, USA
- Turner P. L., Tweedie C. E., Webber P. J. & Wookey P. A. (2006): Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. – *PNAS* 103: 1342–1346
- van der Maarel E. (1979): Transformation of Cover-Abundance values in phytosociology and its effect on community similarity. *Vegetatio* 39/2: 97-114
- Vanderpuye, A. W., Elvebakk A. & Nilsen L. (2002): Plant communities along environmental gradients of high-arctic mires in Sassendalen, Svalbard. – *J. Veget. Sci.* 13: 875-884
- Virtanen R. J., Lundberg P. A., Moen J. & Oksanen L. (1997): Topographic and altitudinal patterns in plant communities on European arctic islands. – *Pol. Biol.* 17: 95-113
- Walker M. D., Wahren H., Hollister R. D., Henry G. H. R., Ahlquist L. E., Alatalo J. M., Bret-Harte M. S., Calef M. P., Callaghan T. V., Carroll A. B., Epstein H. W., Jónsdóttir I. S., Klein J. A., Magnússon B., Molau U., Oberbauer S. F., Rewa S. P., Robinson C. H., Shaver G. R., Suding K. N., Thompson C. C., Tolvanen A., Totland O., Turner P. L., Tweedie C. E., Webber P. J. & Wookey P. A. (2006): Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *PNAS* 103: 1342–1346
- Weijers S., Broekman R. & Rozema J. (2010): Dendrochronology in the High Arctic: July air temperatures reconstructed from annual shoot length growth of the circumpolar dwarf shrub *Cassiope tetragona*. – *Quat. Sci. Rev.* 29: 3831-3842
- Welker J. M., Molau U., Parsons A. N., Robinson C. H. & Wookey P. A. (1997): Responses of *Dryas octopetala* to ITEX environmental manipulations: a synthesis with circumpolar comparisons. – *Global Change Biol.* 3: 61–73
- Woodcock H. & Bradley R. S. (1994): *Salix arctica* (Pall.): Its potential for dendroclimatological studies in the High Arctic. – *Dendrochronologia* 12: 11-22

- Wookey P. A., Robinson C. H., Parsons A. N., Welker J. M., Press M. C., Callaghan T. V. & Lee J. A. (1995): Environmental constraints on the growth, photosynthesis and reproductive development of *Dryas octopetala* at a high Arctic polar semi-desert, Svalbard. – *Oecologia* 102: 478-489
- Zhang J.-T. & Mi X. (2007): Diversity and distribution of high-mountain meadows across elevation gradient in Wutai Mts (North China). – *Pol. J. Ecol.* 55: 585-593

Internetové zdroje:

www.svalbard.com/weather (16.4.2011) - The Svalbard pages. Weather information

www.woodanatomy.ch (10.1.2011) - Microscopic wood anatomy of central European species

www.wsl.ch/dendro/xylemdb/index.php (15.4.2011) - The xylem database

http://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data/ (24.4.2011) - GISS surface temperature analysis

10. Přílohy

Tab. 1: Počty rodů a druhů v jednotlivých čeledích

Brassicaceae	3 rody, 2 druhy (+1 neurčený)
Cyperaceae	2 rody, 7 druhů
Ericaceae	1 rod, 1 druh
Caryophyllaceae	4 rody, 7 druhů
Poaceae	3 rody, 3 druhy
Rosaceae	1 rod, 1 druh
Equisetaceae	1 rod, 2 druhy
Juncaceae	2 rody, 2 druhy
Polygonaceae	2 rody, 1 druh (+1 neurčený)
Salicaceae	1 rod, 2 druhy
Saxifragaceae	1 rod, 4 druhy
Melanthiaceae	1 rod, 1 druh

Tab. 2: Plné názvy druhů, frekvence výskytu jednotlivých druhů ve vegetačních snímcích a jejich procentuální podíl na celkové pokryvnosti E₁.

Plný název druhu	Užívaná zkratka	výskyt - počet snímků (max. 129)	Frekvence (129=100%)	Procentuální zastoupení (4690,4=100%)
Braya purpurascens	BraPur	27	20,9%	0,37%
Carex misandra	CarMis	76	58,9%	4,53%
Carex nardina	CarNar	3	2,3%	0,05%
Carex paralella	CarPar	14	10,9%	2,81%
Carex rupestris	CarRup	37	28,7%	6,71%
Carex subspathacea	CarSub	11	8,5%	2,98%
Cassiope tetragona	CasTet	41	31,8%	12,09%
Cerastium alpinum	CerAlp	13	10,1%	0,14%
Cerastium regelii	CerReg	1	0,8%	0,02%
Deschampsia borealis	DesBor	18	14,0%	0,38%
Draba sp.	DrabSp	45	34,9%	0,67%
Dryas octopetala	DryOct	94	72,0%	24,24%
Dupontia psilosantha	DupPsi	1	0,8%	0,02%
Equisetum arvense	EquArv	21	16,3%	4,45%
Equisetum variegatum	EquVar	52	40,3%	4,09%
Eriophorum scheuchzeri	EriSch	6	4,7%	0,13%
Eriophorum triste	EriTri	16	12,4%	0,94%
Eutrema edwardsii	EutEdw	23	17,8%	0,29%
Juncus biglumis	JunBig	25	19,4%	0,50%
Luzula arctica	LuzArc	14	10,9%	0,35%
Minuartia biflora	MinBif	6	4,7%	0,13%
Minuartia rubella	MinRub	5	3,9%	0,04%
Oxyria dygina	OxyDig	3	2,3%	0,05%
Pedicularis sp.	PediSp	60	46,5%	0,95%
Poa abbreviata	PoaAbr	14	10,9%	0,25%
Polygonum viviparum	PolViv	111	86,1%	4,33%
Salix polaris	SalPol	119	92,3%	9,08%
Salix reticulata	SalRet	2	1,6%	0,04%
Saxifraga aizoides	SaxAiz	68	52,7%	1,65%
Saxifraga cernua	SaxCer	3	2,3%	0,05%
Saxifraga hirculus	SaxHir	1	0,8%	0,00%
Saxifraga oppositifolia	SaxOpo	121	93,8%	15,67%
Silene acaulis	SilAca	35	27,1%	1,53%
Silene uralensis	SilApe	22	17,1%	0,33%
Stellaria crassipes	SteCra	2	1,6%	0,04%
Tofieldia pusilla	TofPus	4	3,1%	0,07%