

Tundra

- **krátké a chladné léto**
- **vysoký podíl mechů a lišejníků**



<http://www.8wwc.org/images/credits/river%20red%20tundra%20mt%20hartCopy.jpg>



The tundra near the town of Vorkuta. Photo P. Kuhry

Dva typy tundry

Arktická

- **sev. polokoule:** ca 15 miliónů km², asi 900 druhů (600 na Aljašce)
- **jižní polokoule:** fragmenty na Antarktidě, 2 druhy cévnatých rostlin

Alpinská (orobiom)

- do samostatného biomu vyčleňují orobiomy Prach et al. 2009.
- **sev. polokoule:** 9,5 miliónů km², druhově bohatá
- **jižní polokoule:** hory J. Ameriky a Nového Zélandu, asi 1 milión km².

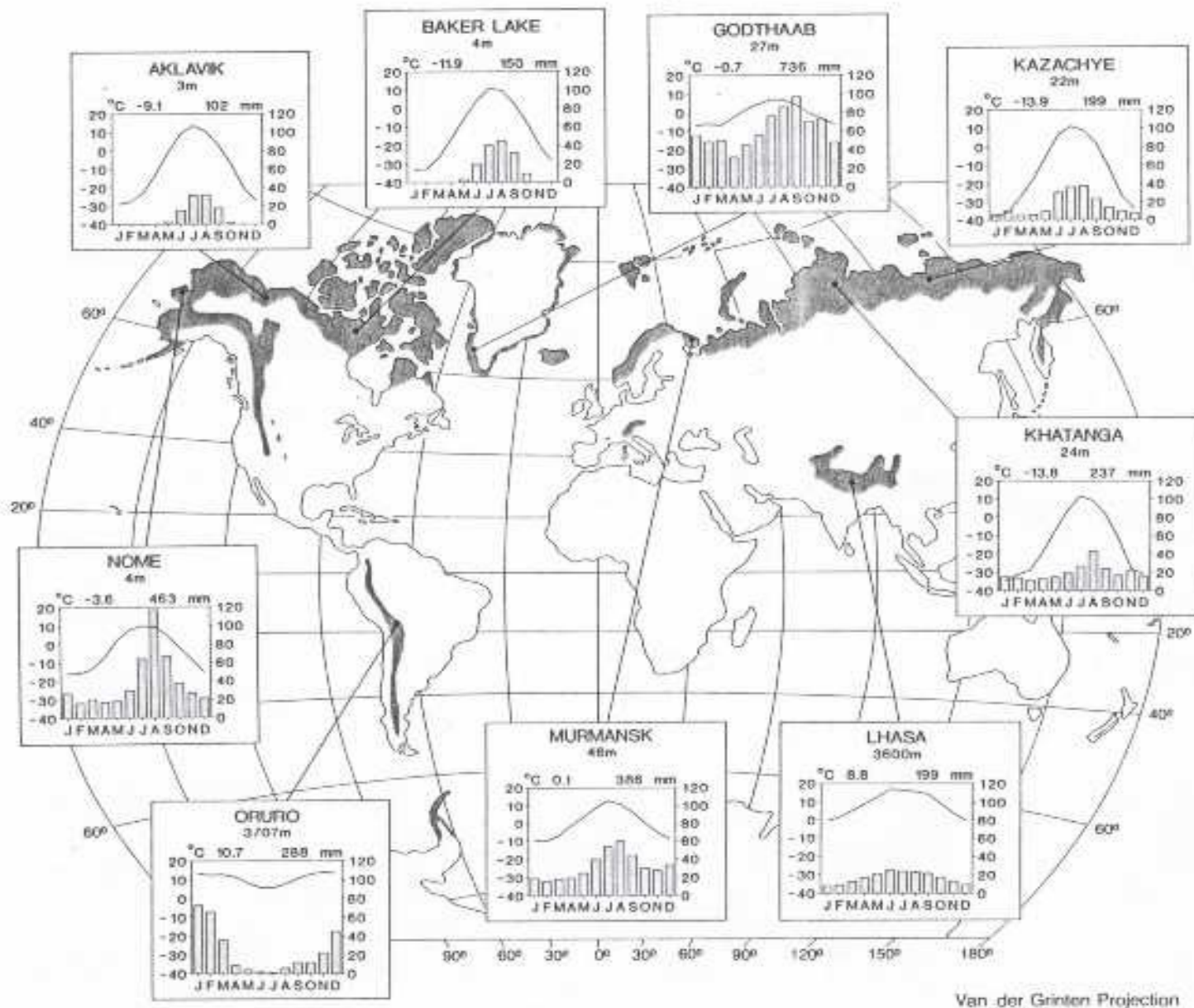


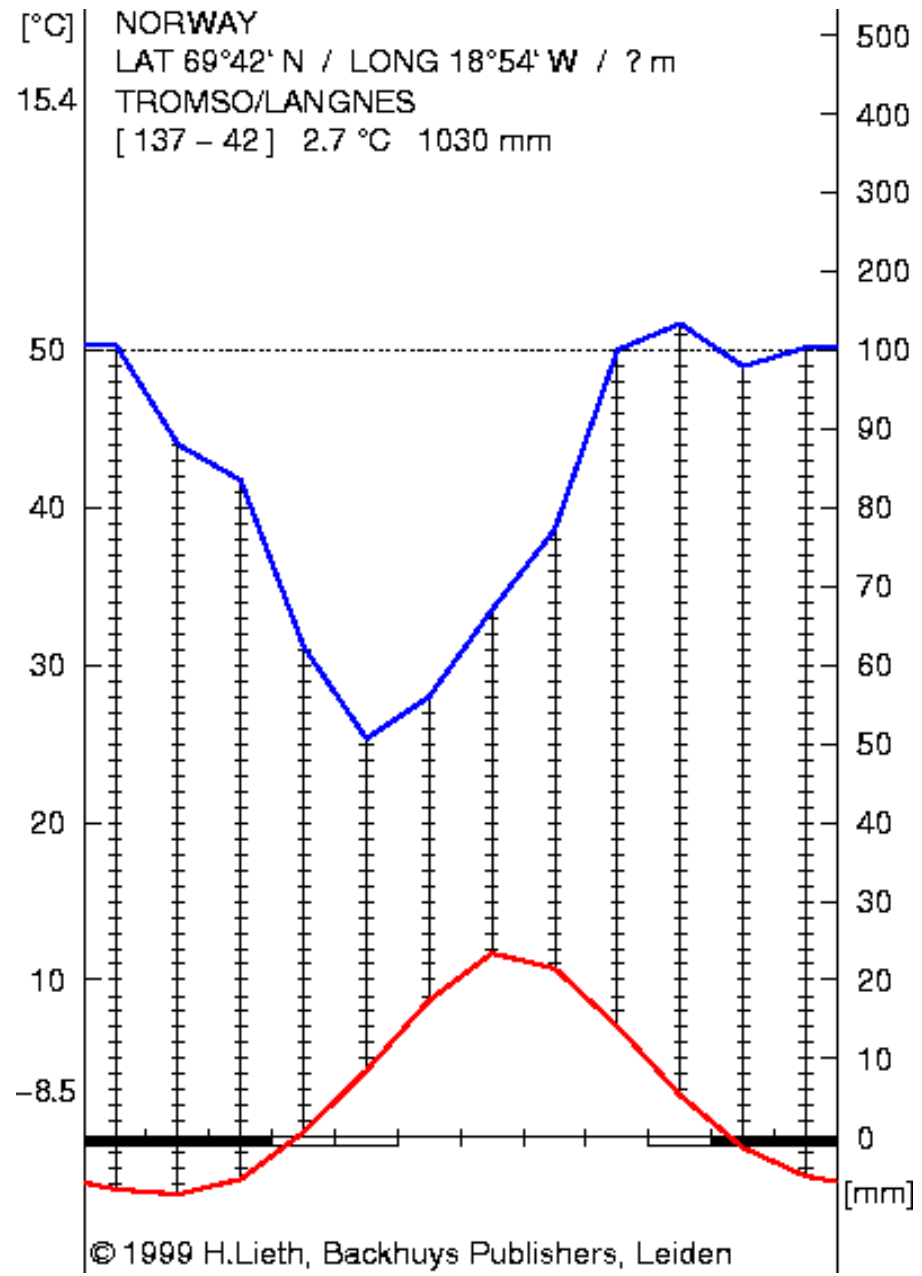
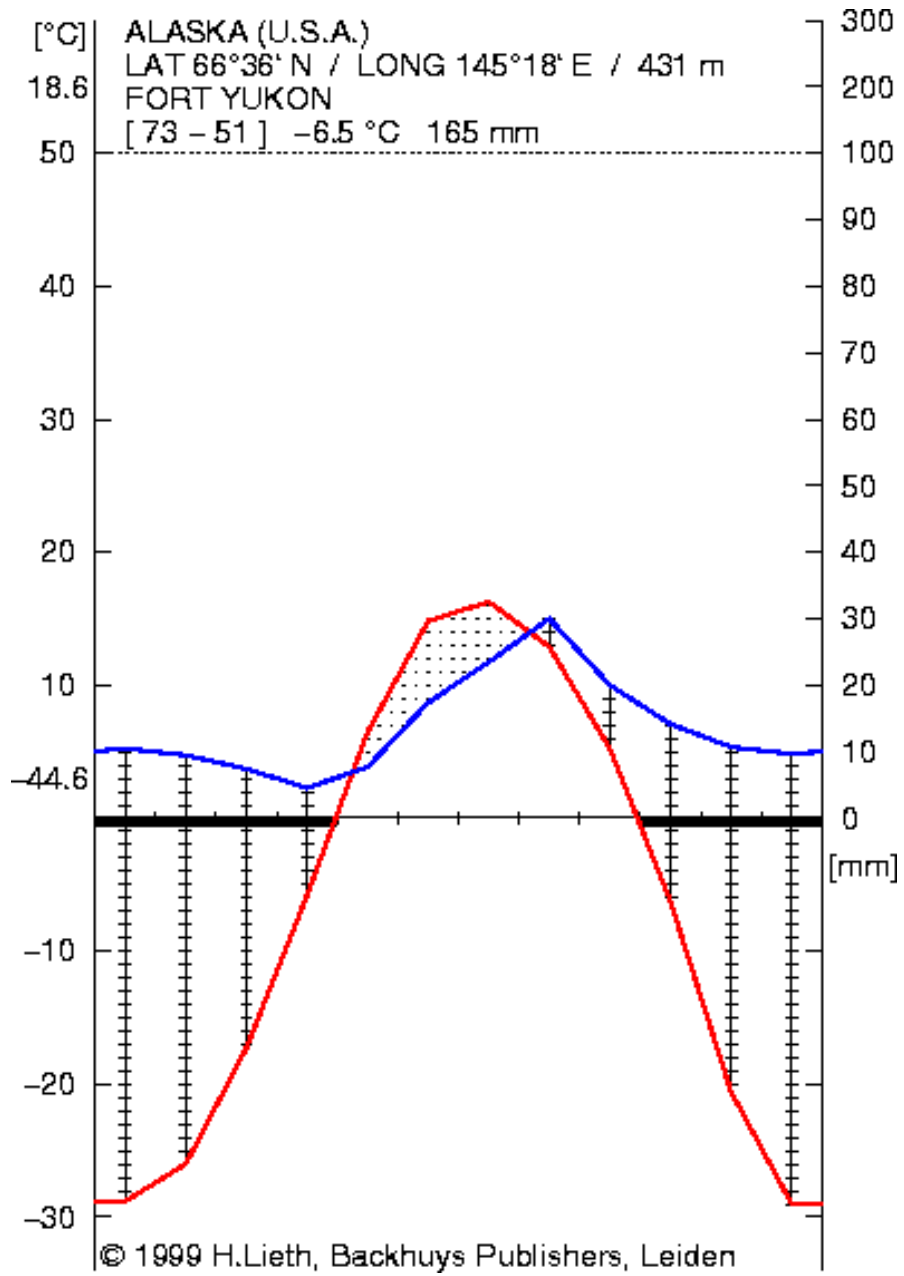
Figure 9.1 Distribution of polar and high mountain tundra ecosystems and representative climatic conditions. Mean monthly temperatures are indicated by the line and mean precipitation for each month is shown by the bars. Station elevation, mean annual temperature and mean annual precipitation appear at the top of each climograph.

Klima: arktická tundra

- ovlivňována masami chladného, suchého polárního vzduchu
- oceanický vliv (vyrovnanější klima) se projevuje jen v Grónsku, na Islandu a v severní Skandinávii (hranice tundry severněji).
- průměrná roční teplota pod 0°C , prům. t nejteplejšího měsíce pod 10°C
- ale povrch půdy zůstává nad 0°C ještě několik týdnů po uhození mrazů
- pouze 2-6 měsíců v roce je t nad 0°C , **pouze 3-4 měsíce nad 5°C .**
- srážky pod 250 mm/rok, 60% ve formě sněhu. + neměřitelné horizontální srážky a rosa. Sněhová pokrývka 20-40 cm, v depresích však až 3 m.
- **permafrost** brání vsakování roztáleného sněhu
- **polární poušť**: srážky pod 100 mm/rok, vegetace je v takovém případě omezena na místa, kde se sníh drží až do léta.
- v létě je vysoký přísun solární energie (dlouhý den). Střídání světlého léta a tmavé zimy (**rozdíl oproti alpské tundře**).

Klima: alpinská tundra, rozdíly

- výraznější diurnální fluktuace klimatu (den - noc)
- teplota roste se sklonem svahu
- srážky rostou s nadmořskou výškou (ale konvexní hřebeny jsou suché)
- rozdíl návětrná / závětrná strana
- mraky a mlha: vyšší podíl horizontálních srážek
- silné větry, ovlivňující rozmístění rostlinných společenstev (anemo-orografické systémy): množství sněhu, hromadění diaspor, vyfoukávaná místa
- hranice věčného sněhu: 5000 m n m: tropy
 3000 m n m: j. a stř. Evropa
 600 m n m.: boreální oblast
- střídání **světlý den - tmavá noc**. Tím výraznější, čím je ekosystém položen více na jihu.



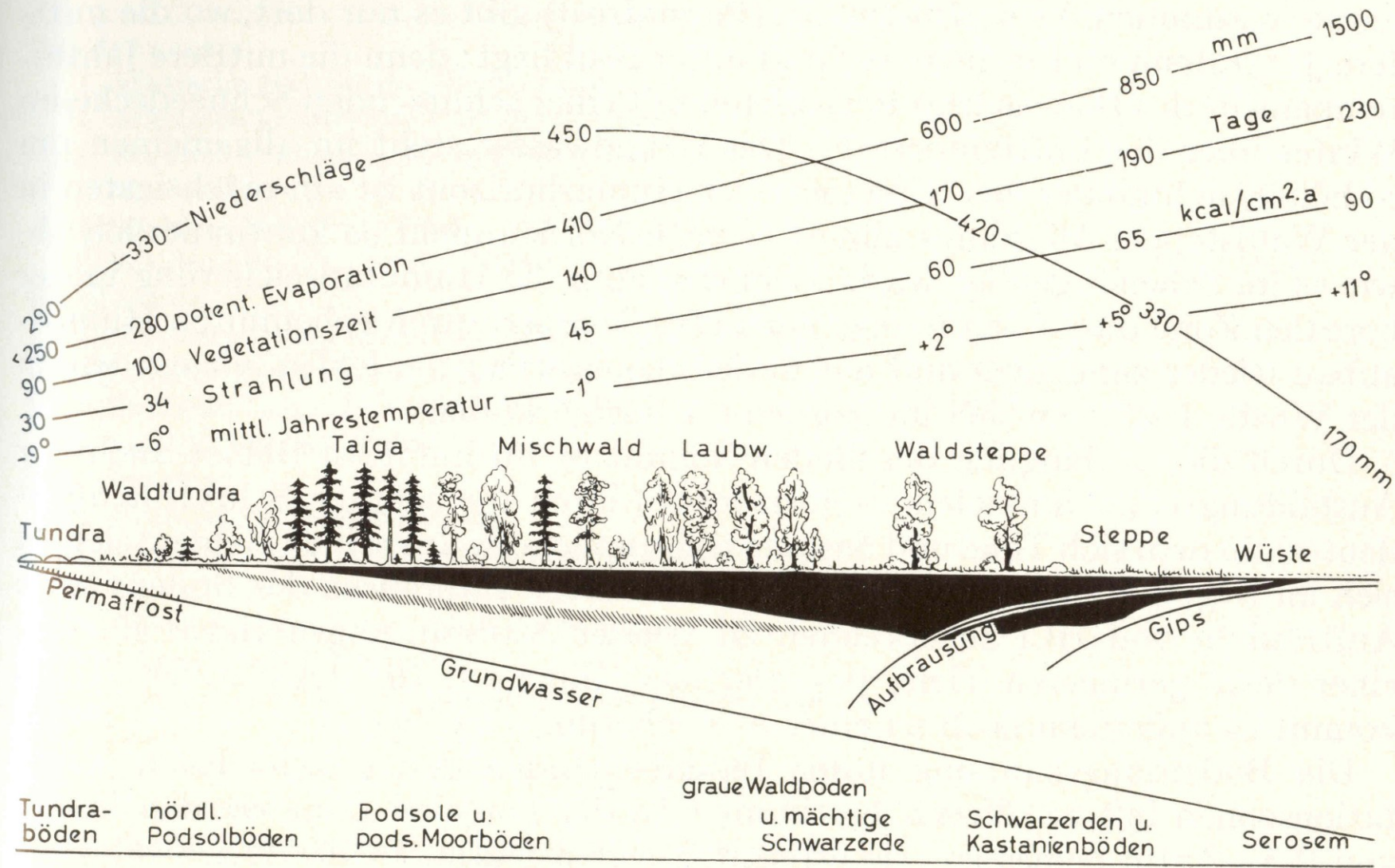


Abb. 487

Schematische Klima-, Vegetations- und Bodengliederung auf einem Profil durch Osteuropa von NW nach SE bis zur Kaspischen Niederung (nach SCHENNIKOW, verändert). Mächtige Schwarzerde entspricht der Waldsteppe. Schwarz = Humushorizont, gestrichelt = illuvialer B-Horizont.

Půdy

Rašelinné půdy

Kryosoly - velká vrstva opadu (pomalá dekompozice) nasedá na oglejený až glejový horizont.

- tvorba **polygonálních půd**. Vznikají mrazovými procesy, jsou to kola holé kamenité země 1-2 m v průměru.
- **soliflukce** na svazích (termokras)
- vyluhování bází z horních vrstev: pH roste s hloubkou.
- reakce kyselá, v aridnějších oblastech ale vzlínání bází a precipitace karbonátů a solí (polární poušť).
- rašelinná vrstva je rezervoárem živin, které mohou být vyplaveny dolů po svahu.

Entisoly - rankery (iniciální půdy v horách)

Inceptisoly, Molisoly, Spodosoly

Polygonální půdy



- hloubka roztátí půdy v létě je klíčovým ekologickým faktorem vysvětlujícím druhové složení

Adaptace rostlin na zimu

- dominantami jsou vytrvalé rostliny a zakrslé keříčky rostoucí při zemi - využívají teplo ve vegetačním období. Terofytů je málo (chlad a málo živin neumožňují rychlý růst a rychlý průběh životního cyklu)
 - trávy a ostřice tvoří většinou trsy - staré listy ochraňují před větrem (před vysycháním větrem, před ledovými krystaly). Širolisté byliny tvoří polštáře (*Primula acaulis*) nebo husté růžice (*Saxifraga*); vítr nefouká mezi listy a neochlazuje je, lepší využití tepla.
- keře, stromky a lesní druhy rostou v depresích, kde jsou v zimě celé překryté sněhem a nezmrznou.
 - výhodné jsou dlouhověkost, vegetativní šíření, polyploidie
- velké světlé květy (soustřeďuje paprsky do centra květu, kde je až o 10 C tepleji než v okolí)

Adaptace rostlin na chladné léto

- červené zbarvení (anthokyany): zvýšený příjem tepla
- rostliny začínají růst velmi brzy (často už pod sněhem)- jen několik druhů jsou terofyty (max. 11 druhů, Island), převaha **H** a **Ch**.
- vegetativní rozmnožování
- málo opylovačů, rozšířená apomixie a viviparie
- některé druhy, nejextrémněji *Braya humilis*, přerušují svůj



vývoj (i kvetení) v nepříznivém období, po oteplení pokračují

aperiodické druhy: rozdělují životní cyklus (do dozrání semen) do více let

Fyziognomie



Lišejníková tundra

(je sušší než mechová tundra)

Foto: jižní Island

Fysiognomie

Vegetační profil arktickým suchým trávníkem

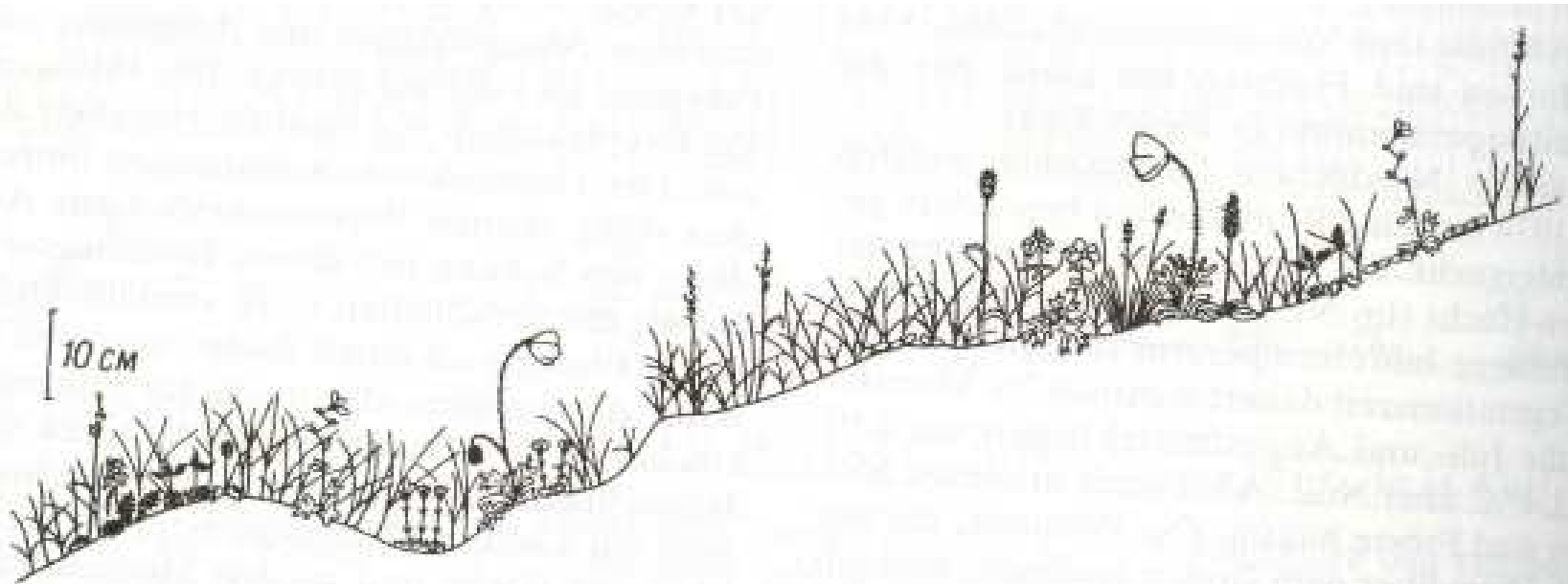


Abb. 9.6.6: Artenreicher Bestand an einem gut dränierten Südhang mit 35 Blütenpflanzenarten mit vorherrschenden *Poa alpigena*, *Alopecurus alpinus* und *Luzula* ssp. Deckung 90% Jahresproduktion $72 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, etwa 2,5 mal höher als bei der zonalen Vegetation.

Betula rotundifolia, Salix creativulis, Cladonia stellaris, Cetraria rivulalis



Regionální floristika

Celkem asi 900 druhů, většinou cirkumpolárních. Aljašská tundra 600 druhů; Grónsko 400 druhů, Špicberky 164. Místy ale velká α -diverzita.

Severní Amerika: *Poa arctica*, *Carex bigelowii*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum juniperinum*, *Cetraria nivalis*, *Cladonia* sp.

Suchá místa bez akumulace sněhu: vždyzelené keře *Cassiope tetragona*, *Arctostaphylos alpina*) + *Dryas octopetala*, *Silene acaulis*

Eurasia: *Vacciniaceae* (*V. myrtillus*), *Eriophorum vaginatum*, *Cassiope tetragona*, *Dryas* sp.; prostrátní modřín *Larix gmelinii*, zakrslá borovice *Pinus pumila*; *Betula nana*

Cassiope tetragona



Regionální floristika

Grónsko: ca 400 druhů, na suchých místech *Empetrum*

hermaphroditicum, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *Ledum groenlandicum*. Na fjordech *Alnus crispa*, *Salix* sp. div.

Na vlhčích místech *Ledum palustre*, *Salix arctophila*, *Oxycoccus microcarpus*; skalnatá suchá místa *Carex rupestris*, zasolená místa *Puccinellia deschampsoides*

Antarktida: 2 původní druhy cévnatých rostlin: *Deschampsia*

antarctica, *Colombanthus quitensis*, lišejníky. **Na ostrovech v okolí**

Antarktidy větší počet druhů, endemismus (*Pringlea antiscorbutica*),

běžné jsou *Azorella selago*, *Phleum alpinum*

Regionální floristika - alpinské flóry

Severní polokoule: Vysoká druhová bohatost, endemismus. Rody *Rhododendron*, *Oxytropis*, *Primula*, *Minuartia*, *Hierochloe (alpina)*, *Carex*, *salix*, *Potentilla*, *Gentiana*, *Kobresia*, *Dryas*, *Saxifraga*

Jižní polokoule:

Nový Zéland - *Chionochloa*, *Acilphylla*, *Dracophyllum*, *Gaultheria*

Tropy - *Senecio*, *Lobelia*, *Helichrysum*, *Espeletia*, *Festuca*

Azonální biomy v zóně tundry

Prameniště, Rašeliniště



<http://www.painetworks.com/photos/et/et2930.JPG>



<http://www.shunya.net/Pictures/NorthPole/tundra-vegetation.jpg>

Původ arкто-alpínské flóry

Před pleistocénem jsou z oblastí dnešní tundry doloženy lesy s *Metasequoia*, *Glyptostrobus*, *Ginkgo*. Dnešní tundrové druhy (jejich příbuzní?) se vyskytovaly v horách severní polokoule.

V ledových dobách původní lesy vytlačeny, tundru pokrýval ledovec, horské druhy rostly v nižších polohách na kontaktu se stepmi (migrovaly v závislosti na oscilaci klimatu).

Nunataky: vyvýšené kopečky, kde horské a tundrové druhy v některých oblastech přečkávali glaciální maxima.

Po oteplení divergence arкто-alpínské flóry: arktida, hory.

Antarktida: Před zaledněním byla asi pokryta tundrou, která ustoupila do hor J. Ameriky.

Fenologie

- tundrové druhy jsou \pm vždyzelené, nechávají alespoň část zelených listů na lodyze přes zimu. Zčásti vždyzelené jsou i rostliny s přízemní růžicí. Rostou hned, jak to podmínky dovolí.

Vegetační období začíná pozdě, v závislosti na tání sněhu. Kvetení začíná na konci června, optimum má v druhé polovině července, začátkem srpna kvetení ustává.

Růst kořenů má hlavní aktivitu v létě. Největší produkce kořenů je při $t + 10^{\circ}\text{C}$, záleží i na aeraci půdy.

Fenologie

Jarní tání



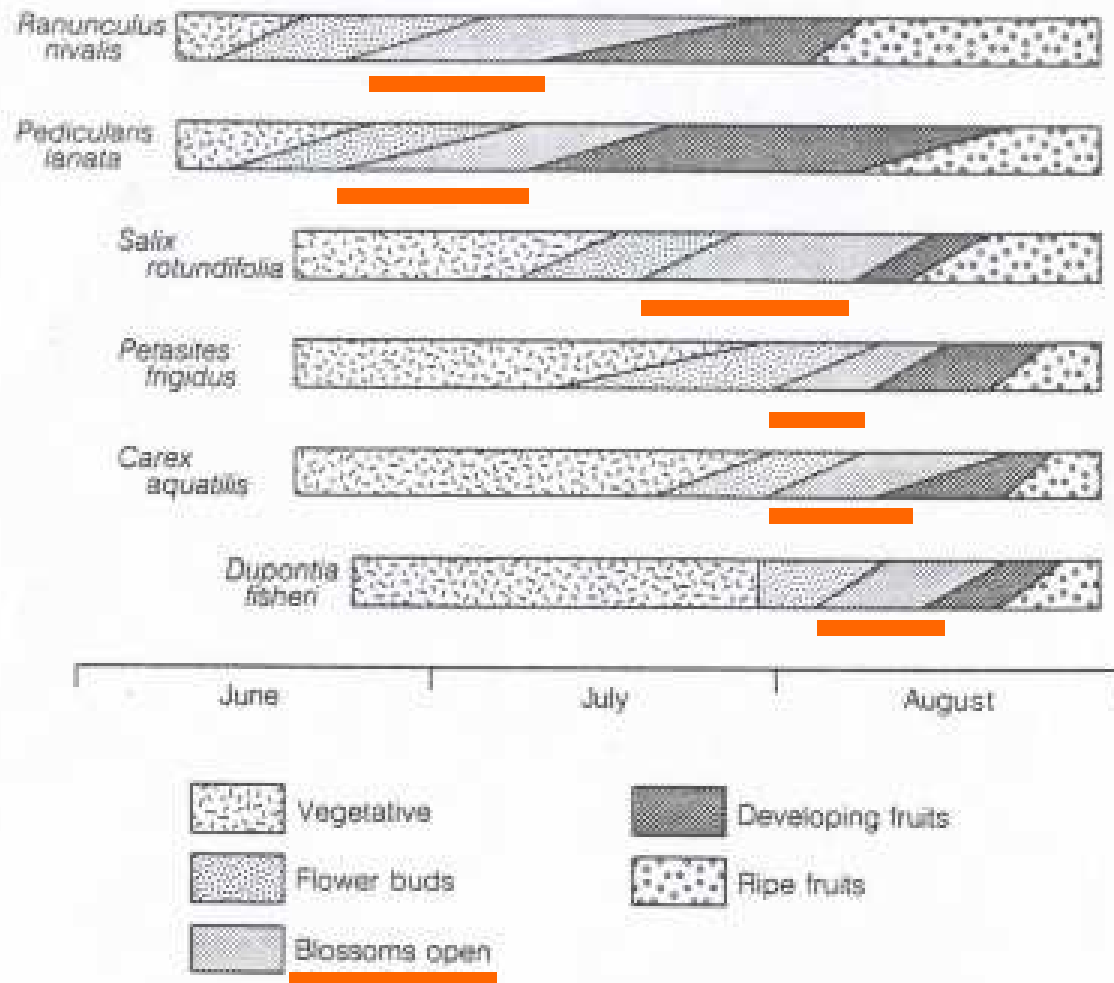
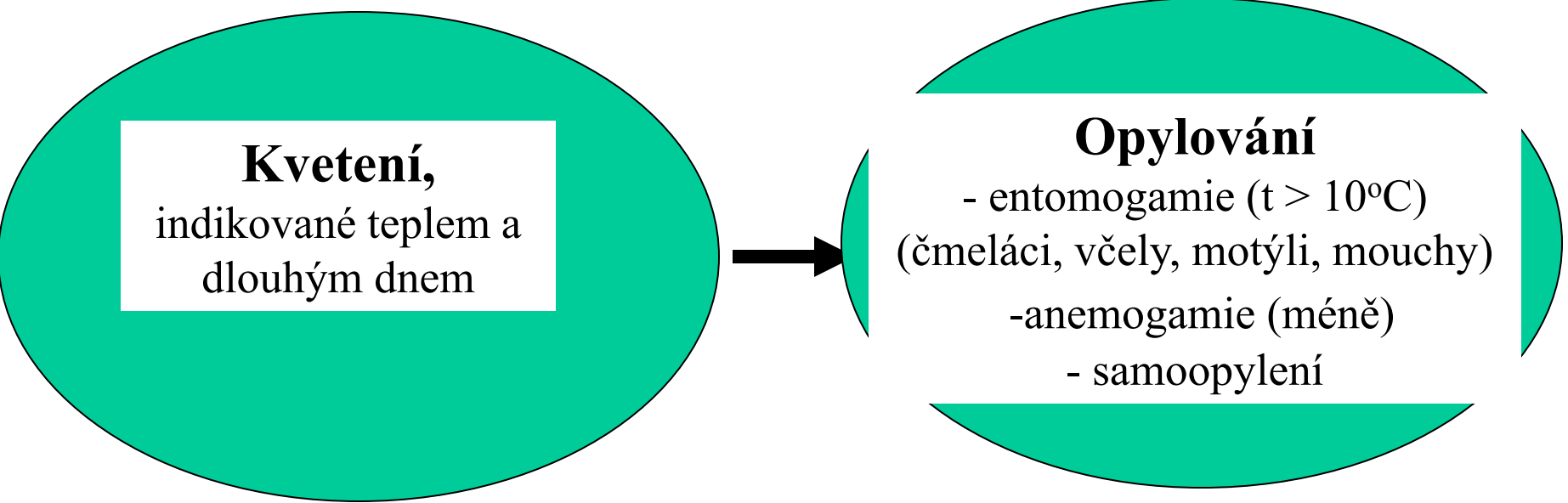


Figure 9.27 Phenology of common tundra species at Barrow, Alaska. (After Webber, 1978.) (Redrawn from P. J. Webber, Spatial and temporal variation of the vegetation and its production, Barrow, Alaska, in *Ecological Studies 29 – Vegetation and Production Ecology of an Alaskan Arctic Tundra*, ed. L. L. Tieszen; published by Springer-Verlag N.Y. Inc., 1978.)

Životní cyklus

Převažuje vegetativní rozmnožování. Generativní množení představuje velké metabolické náklady a velkou nejistotu při přežívání semenáčků.



Kvetení,
indikované teplem a
dlouhým dnem

Opylování

- entomogamie ($t > 10^{\circ}\text{C}$)
(čmeláci, včely, motýli, mouchy)
- anemogamie (méně)
- samoopylení

Životní cyklus

Převažuje vegetativní rozmnožování. Generativní množení představuje velké metabolické náklady a velkou nejistotu při přežívání semenáčků.

Opylování

- entomogamie ($t > 10^{\circ}\text{C}$)
(čmeláci, včely, motýli, mouchy)
- anemogamie (méně)
- samoopylení



Tvorba semen

- malá produkce semen
- některé druhy semení hned, jiné až příští léto
- rozšiřování větrem, ptáky při migraci

Životní cyklus

Převažuje vegetativní rozmnožování. Generativní množení představuje velké metabolické náklady a velkou nejistotu při přežívání semenáčků.

Tvorba semen

- malá produkce semen
- některé druhy semení hned, jiné až příští léto
- rozšiřování větrem, ptáky při migraci



Klíčení

- optimum 20-30 °C
- ale kvůli vlhkosti se děje hlavně na jaře a na začátku léta
- mokřadní druhy mají tvrdá semena, klíčí později
- I když některé roky nevyklíčí nic, semenná banka je malá
- rarita: *Lupinus arcticus* vyklíčil z permafrostu po 10 000 letech

Životní cyklus

Převažuje vegetativní rozmnožování. Generativní množení představuje velké metabolické náklady a velkou nejistotu při přežívání semenáčků.

Klíčení

- optimum 20-30 °C
- ale kvůli vlhkosti se děje hlavně na jaře a na začátku léta
- mokřadní druhy mají tvrdá semena, klíčí později
- I když některé roky nevyklíčí nic, semenná banka je malá
- rarita: *Lupinus arcticus* vyklíčil z permafrostu po 10 000 letech



Přežívání

- ochrana semenáčků v polštářích mechů, lišejníků a polštářkovitých cévnatých rostlinách
- 50% semenáčků vyschne při prvních mrazech
- rostlinky i jejich kořeny rostou velmi pomalu
- slabý kořenový systém je v zimě náchylnější ke zmrznutí

Životní cyklus

Převažuje vegetativní rozmnožování. Generativní množení představuje velké metabolické náklady a velkou nejistotu při přežívání semenáčků.

Přežívání

- ochrana semenáčků v polštářích mechů, lišejníků a polštářkovitých cévnatých rostlinách
- 50% semenáčků vyschne při prvních mrazech
- rostlinky i jejich kořeny rostou velmi pomalu
- slabý kořenový systém je v zimě náchylnější ke zmrznutí

Život v tundře je těžký

Fotosyntéza, produkce, biomasa

- C3 fotosyntéza; v tropické alpinské tundře se objevují i C4 trávy
- optimum pro fotosyntézu je 15-20 °C, ale některé druhy asimilují i při -5 °C a méně
- arktické druhy mají málo tzv. podpůrných, neasimilujících pletiva nechlorofylových buněk
- tundrové druhy vykazují pokles fotosyntetické kapacity se vzrůstajícím vodním stresem; ale na mokřích místech je fotosyntéza „bržděna“ malými průduchy

Fotosyntéza, produkce, biomasa

- trsnaté graminoidy (mokrú stanoviště, např. *Deschampsia caespitosa*) jsou citlivější k vodnímu stresu. Při půdním i atmosférickém vodním stresu poklesá fotosyntéza *Deschampsia* na 10% maxima. Naopak, například u *Geum rossii* pokračuje fotosyntéza i při vodním stresu.

Za optimální vlhkosti ale dosahují mokřadní rostliny větší biomasy.

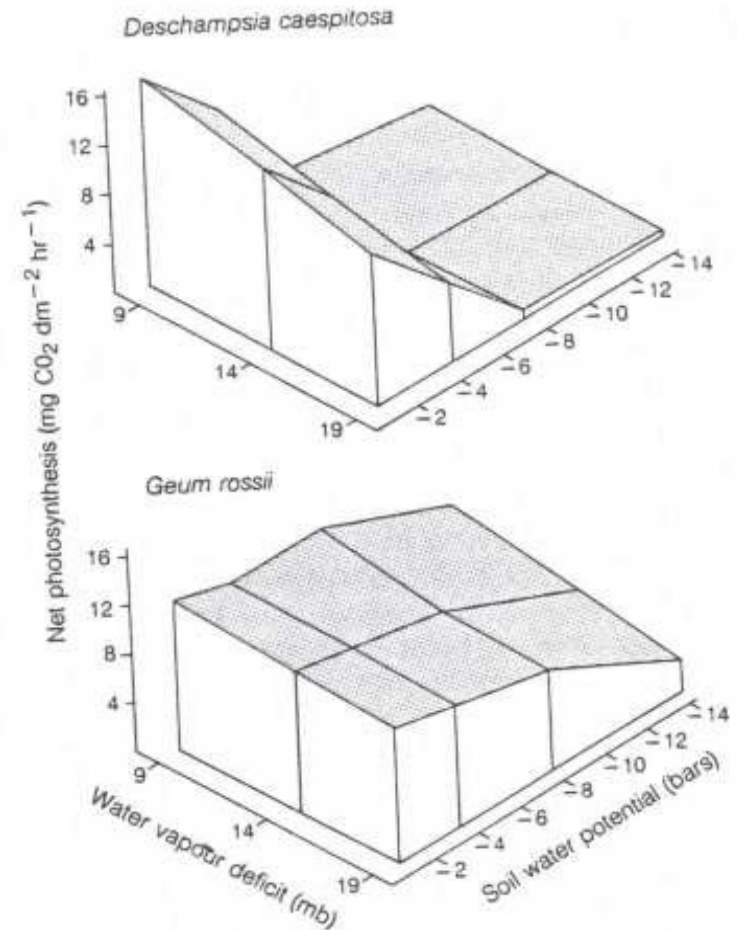


Figure 9.29 Net photosynthesis of *Deschampsia caespitosa* and *Geum rossii* as a function of water vapour deficit and soil moisture stress at a leaf temperature of 20 °C and PAR light intensity of 900 $\mu\text{E m}^{-2} \text{sec}^{-1}$. (After Johnson and Caldwell, 1975.) (Reproduced with permission from D. A. Johnson and M. M. Caldwell, Gas exchange of four arctic and alpine tundra plant species in relation to atmospheric and soil moisture stress, *Oecologia*, 1975, 21, 96.)

Fotosyntéza, produkce, biomasa

- limitace produkce dusíkem
- biomasa a produktivita klesá k severu a do vyšších nadmořských výšek podél gradientu teplot a délky vegetační sezóny.

Nejextrémnější tundra

	cévnaté rostliny	mechorosty, lišejníky
biomasa	5-100 g/m ²	> 1200 g/m ²
produkce	7-54 g/m ²	

Ostřicovomechová společenstva

	cévnaté rostliny	kořeny	mechorosty, lišejníky
biomasa	85-372 g/m ²	353-3727 g/m ²	23-2335 g/m ²
produkce	7-281 g/m ²		

Nejproduktivnější tundra (nízké keře)

	cévnaté rostliny
biomasa	až 2240 g/m ² (Grónsko)
produkce	až 1605 g/m ² (jižní Georgia)

Kořenová biomasa

R : S poměr

R:S 0,9 (polární poušť, lesotundra)

R:S 21 (mokrú ostrícovomechová stanoviště)

R:S 5 (mezická až suchá tundra)

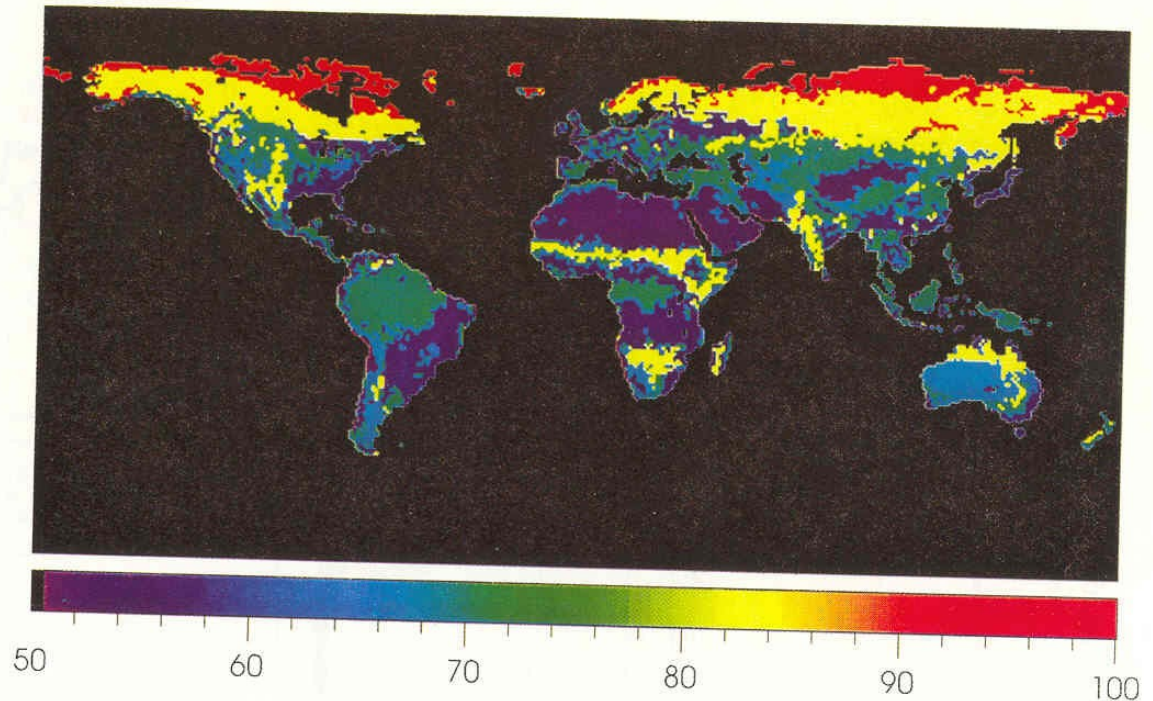
R:S 2-3 (keřová tundra)

392

OECOLOGIA 108 (1996) © Springer-Verlag

Fig. 2 A global map of the percentage of root biomass found in the upper 30 cm of soil plotted on a $1^\circ \times 1^\circ$ grid scale for the land-cover classifications of Wilson and Henderson-Sellers (1985). *White areas* indicate a lack of information; see Table 1 and Methods for additional information

Procento kořenové
biomasy nacházející
se do 30 cm
hloubky



Živiny - limitace dusíkem

Produkce je často limitována dusíkem, který zůstává v nepřístupné organické formě a ani nemůže být uvolňován zvětráváním (permafrost). Jeho hlavní vstup do ekosystému je **fixací**, v poslední době i depozicí. Fixátoři jsou sinice rostoucí epifyticky na meších, lišejníky, ale i cévnaté rostliny (*Fabaceae: Oxytropis, Dryas*).

Roční fixace	23-380 mg/m ²
--------------	--------------------------

Roční depozice (! ale před 25 lety)	23-75 mg/m ²
-------------------------------------	-------------------------

Příjem dusíku a fosforu mykorrhizou.

Lokální přísun dusíku - zvířecí exkrementy, vznikají plošky s vyšší produktivitou.

Živiny

- reabsorbce a translokace živin do dřevních tkání u opadavých druhů
- relativně malé zásoby v kořenech: rozsáhlost kořenových systémů spíše svědčí o jejich dlouhodobém přežívání
- zásoby živin v nadzemních částech rostlin jsou největší u dvouděložných, širolistých bylin, zejména fixátorů (až 4,5% N), nejnižší v erikoidních keříčcích.
- % N, P a K v rostlinách vzrůstá od jara a po dosažení maximální biomasy zase klesá.
- koncentrace méně mobilních Ca a Mg vzrostou na jaře a pak až do senescence zůstávají stabilní.
- asi 14% N a P v lodyhách a velkých kořenech je použito k tvorbě nových listů, z toho polovina se ztratí z těla rostliny při opadu listů.

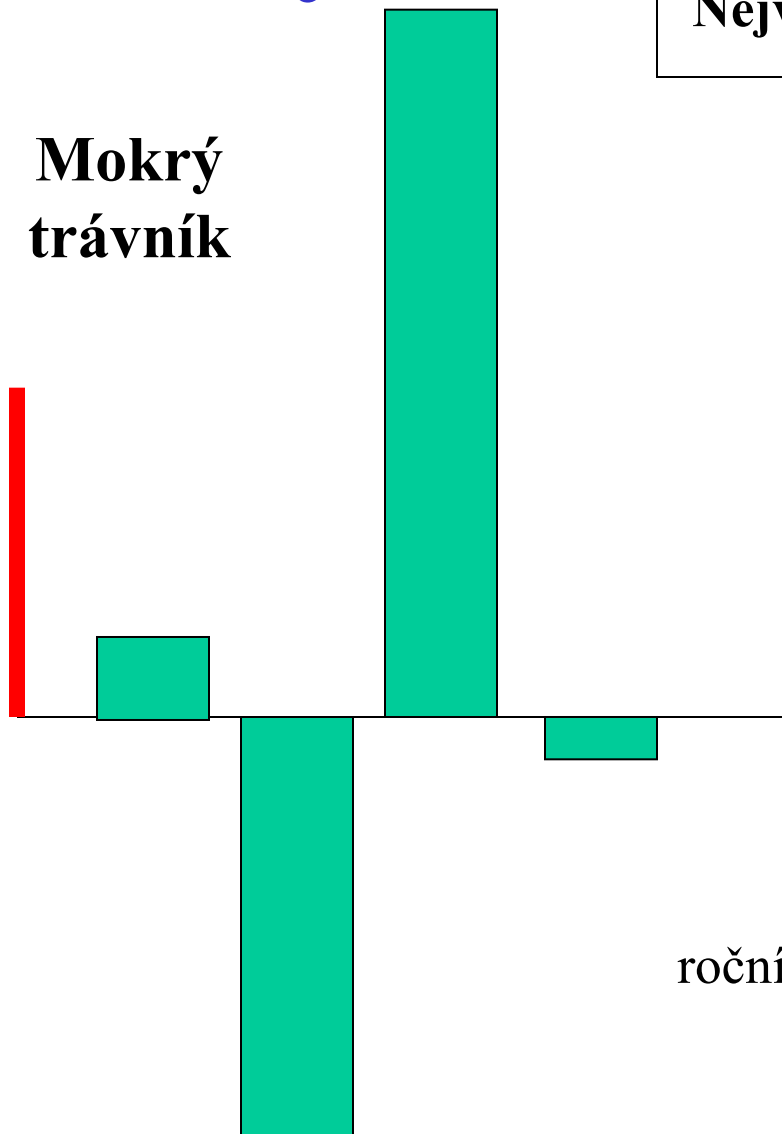
Živiny

Nejmenší konc. živin ve vegetaci:

oligotrofní suché trávníky, vřesoviště

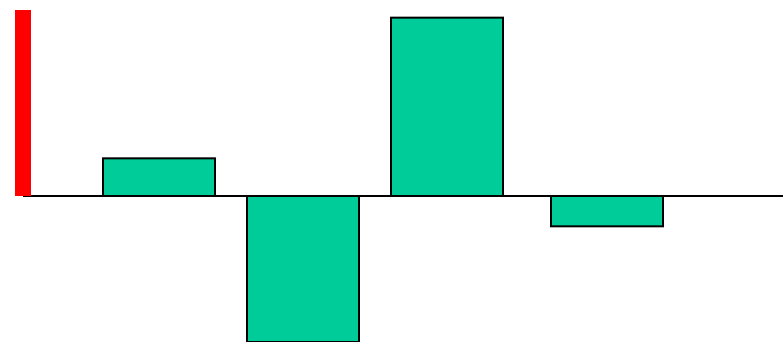
Největší: mokré trávníky, nízké křoviny

**Mokrý
trávník**



Nadz. Podz. Mrtvé rs. Půda

Suchý trávník



Nadz. Podz. Mrtvé rs. Půda

roční „uptake“

Dekompozice

- pomalá dekompozice (chlad, kyselé prostředí, inhibující látky v meších, hemicelulóza v lišejnících).
- ALE ve vlhčích teplejších oblastech může dekompozice dosáhnout až 50%.

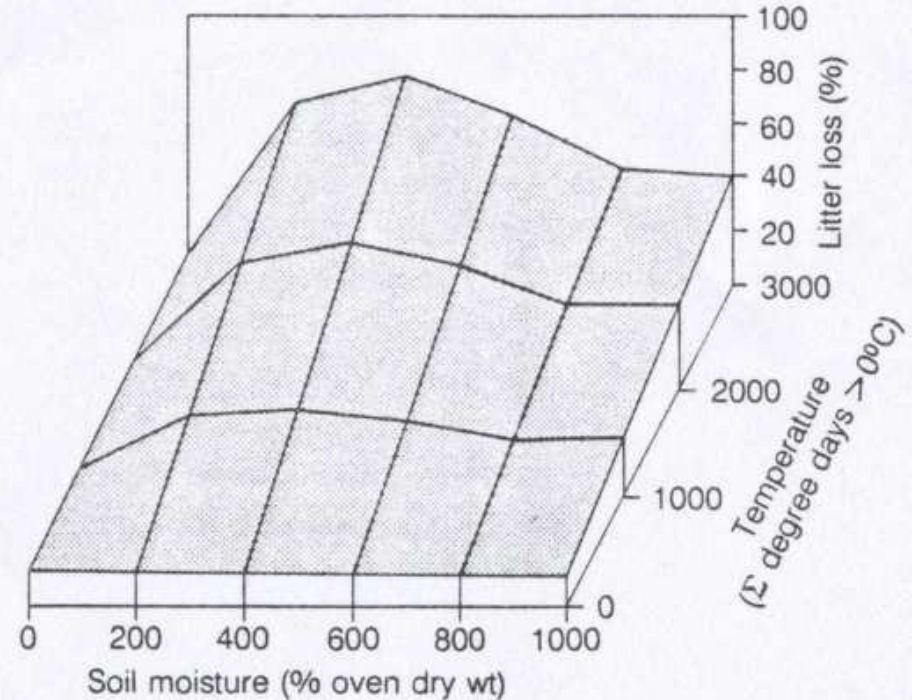


Figure 9.36 The effect of annual soil heat accumulation above 0 °C and soil moisture on first-year litter losses in tundra sites. (After Heal and French, 1974.) (Adapted with permission from O. W. Heal and D. D. French, Decomposition of organic matter in tundra, in *Soil Organisms and Decomposition in Tundra* (eds A. J. Holding *et al.*), published by the Tundra Biome Steering Committee, Stockholm, 1974.)

Dekompozice

- růst tundrových hub klesá s vlhkostí a je limitován při pH nad 4,5-5,0
- jen 20% druhů tundrových hub je psychrofilní (pracují při -7 až -10°C), zbývajících 80% druhů má optimum růstu při vyšších teplotách.

Zoedafon

Nejhojnější jsou *Nematoda* (0,1-10 milionů jedinců/m²), vzácné jsou žížaly.

Na vlhčích místech (i rašeliniště) jsou *Oligochaeta*, které tam tvoří až 60-75% biomasy půdní fauny.

Méně zastoupeny jsou *Acarina* a *Collemboda*.

Vliv herbivorů a fyzikálních procesů na disintegraci opadu je malý.

Herbivoři

- **bezobratlí:** málo kořenových herbivorů, malá konzumace nadzemní biomasy hmyzem. Vyskytuje se ale květní (pupenová) herbivorie.
- **lumíci:** známé populační cykly 3-6 let.
- **velcí obratlovci:** sob, pižmoň, muflon, kozy, kamzíci (horská tundra)

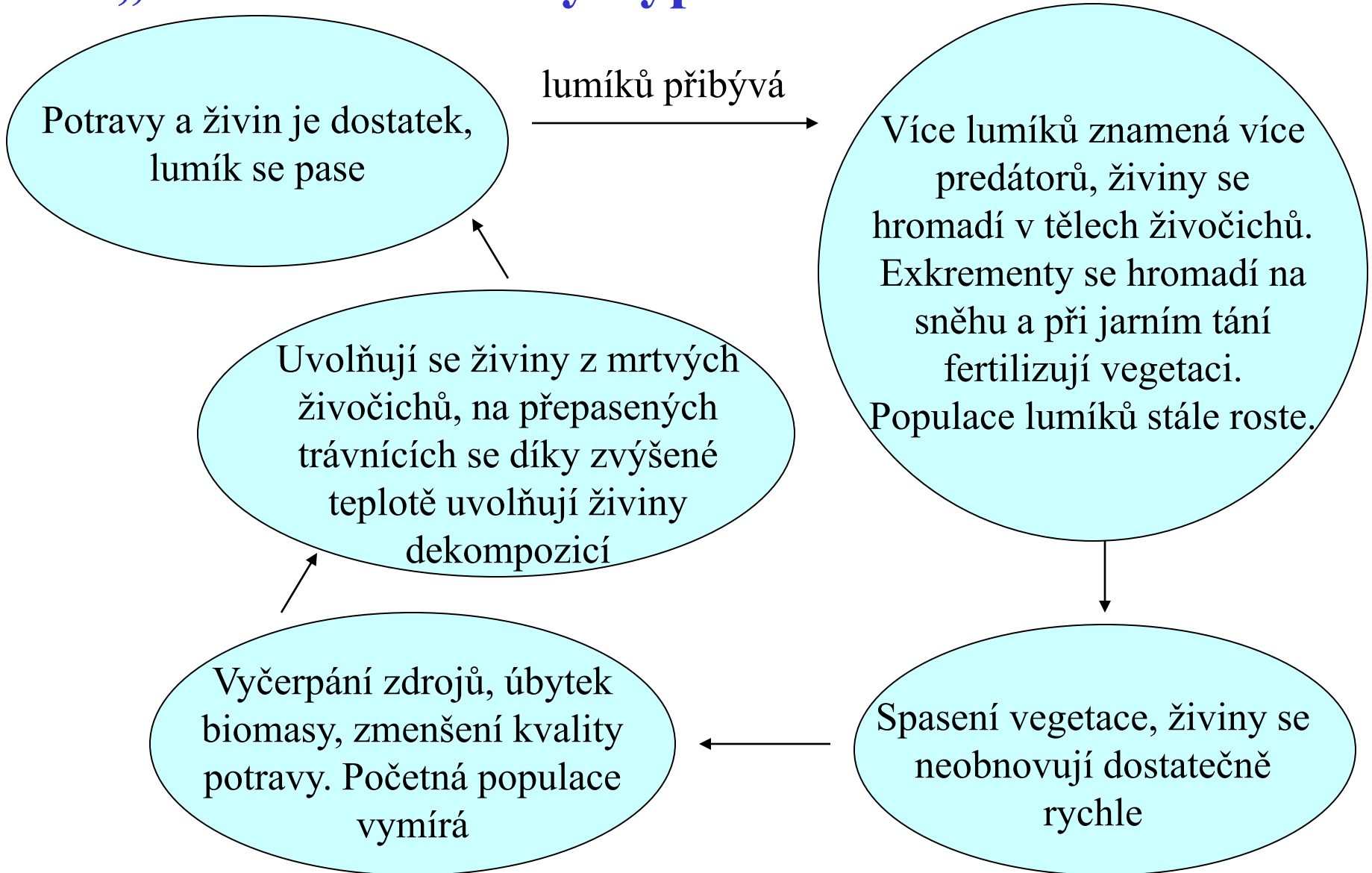
↙
40-80 h tundry užíví jednoho soba

Sekundární konzumenti

- **hmyzožraví ptáci**
- **semenožraví ptáci** (zobají *Vacciniaceae*)
- **predátoři** (sněžná liška)

Cykly lumíků

tzv. „nutrient recovery hypothesis“



Adaptace bezobratlých

-motýl *Oporinia autumnata* má populační cykly, související i s cykly lumíků. Živí se *Betula tortuosa*, při kombinaci mírné zimy a chladného léta je žír téměř totální a bříza neobnoví, keř uhynie a vyrazí výmladky, prosvětlí se přízemní patro a exkrementy housenek obohatí půdu – více biomasy pro lumíky.



-*Gynaephora groenlandica* dokončuje svůj životní cyklus až za 15 let.

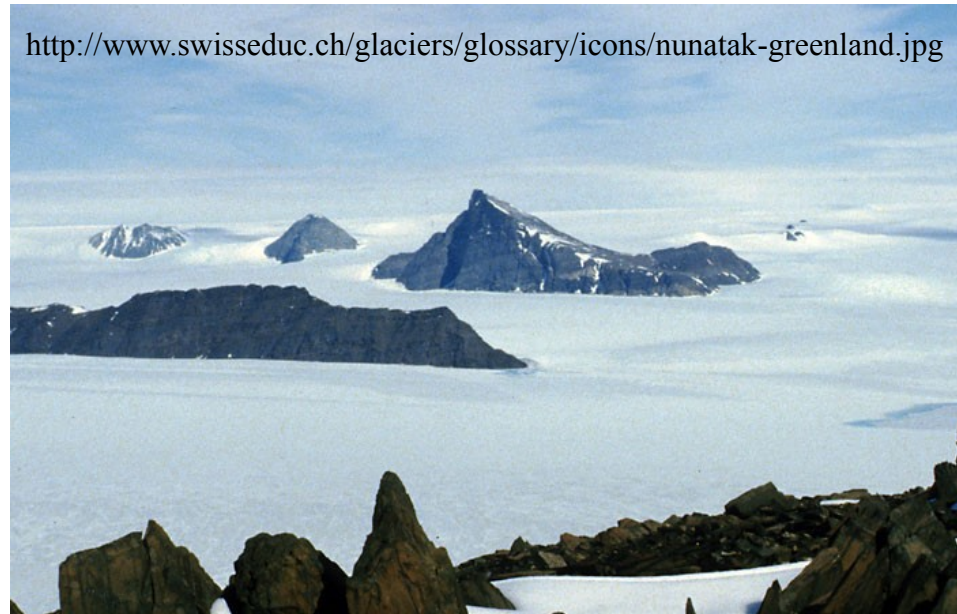


-u jiných bezobratlých: zpožděné časování líhnutí (vajíčka musí projít mrazem a následnou velkou vlhkostí; líhnou se při oblevě)
- tmavé zbarvení hmyzu (muchničky – *black fly*)

Historie

- fosilní nálezy tundrových rostlin – 3 miliony let
- ve třetihorách dnešní tundra byla pokryta lesem
- během glaciálů byla tundra zaledněna, s výjimkou částí Aljašské tundry (proto je druhově nejbohatší). **Nunataky** – skály vyvýšené nad ledovec, kde mohly přežít některé druhy. Podobně strmé pobřežní skály fjordů.
- v Antarktidě totální extinkce (druhy nepřešly moře)

<http://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/icons/nunatak-greenland.jpg>



Vliv člověka

- původně: domestikace sobů (40-80 ha tundry na 1 soba), rybolov, nověji i domestikace pižmoně
- nyní: intenzivní pastva muflonů (Amerika), v horách introdukce kamzíků, vysokohorská pastva
- těžba uranu (radionuklidy do potravních řetězců)
- těžba ropy a plynu. Prosycení půdy ropou.
- globální oteplování (vznik termokrasu, kolapsu palzy apod.)
- spady dusíku a polutantů (větší v alpinské tundře)
- mořské proudy přináší DDT a jiné sajrajty, ty se pak kumulují v potravních řetězcích.

Vliv člověka - disturbance

- disturbance technikou - vede k oteplení povrchu (černá barva) a tání permafrostu. Ztráta druhů disturbancí.

Může mít lokální vyhynutí druhu při disturbanci vliv na ekosystém?

Arktická tundra: málo druhů, takže vyhynutí 1 druhu může mít větší následky, ALE velká rozloha stejného společenstva - je šance ke znovuuchycení druhu.

Alpínská tundra: více druh, ale více fragmentovaná a proto náchylná k mizení druhů při disturbanci.

Vliv člověka - Shrnutí

