

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY
Katedra fyzické geografie a geokologie

**HORNÍ HRANICE LESA V POHOŘÍCH SVĚTA
– VAZBA JEJÍCH NEJVYŠŠÍCH POLOH
NA TEPLTNÍ UKAZATELE**
(bakalářská práce)

Martin JANDA

Vedoucí práce: Mgr. Václav Tremel

PRAHA 2006

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval sám
a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje.

Praha 22.5.2006

podpis

M. Janda
.....

ABSTRACT

In this Bachelor's thesis I first give a summary of upper timberline attributes with main focus on its genesis, geographical factors controlling its position and other actual research topics. Major part of the thesis attempts to answer several questions linked to thermal characteristics of mountain timberlines. To be able to assume definite attitude towards such topic I had to go through literature and gather up basic information on upper timberline across the world (position, taxon, exact definition). Then I stressed thermal indicators which I gained by counting thermal values related to timberline close climate stations. Standard even territorial (and actual) lapse rates were used during the calculation. It is suggested that compiled data sets contain mountain timberline locations which can be found climatic or just thermal determined. Finally, I considered only extratropical sites.

As to goal respond, the least varying thermal quantity at upper timberline is mean temperature of months with mean temperature above 5°C – its coarse isotherm (mean almost 9°C, standard deviation 1,5°C) can be matched with upper timberline vertical position. My results assume that existing variability of this indicator (together with other thermal quantities related to warm period – mean temperature of the warmest and four warmest months) can not be significantly explained by different latitudinal position, taxon characteristics and continental position of timberline. Commonly, use of three mentioned „best“ thermal quantities as indicators of mountain timberline altitude is competent in extratropical regions. However, variability still exists and is supposed to be explained by „secondary“ environmental factors whose including in detailed analysis is difficult. Other considered thermal indicators express direct influence on timberline taxon form and are accurately localized with respect to oceanity/continentality gradient.

OBSAH

ABSTRACT	3
OBSAH	4
1. ÚVOD	6
1.1. CO JE TO HORNÍ HRANICE LESA	6
1.2. CÍLE PRÁCE.....	8
2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA HORNÍ HRANICE LESA	10
2.1. GENEZE HORNÍ HRANICE LESA	10
A. <i>Všeobecně přijímané důvody formování horní hranice lesa.....</i>	<i>10</i>
B. <i>Modulativní činitelé vytvářející horní hranici lesa.....</i>	<i>13</i>
2.2. GEOGRAFICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POZICI HORNÍ HRANICE LESA	15
A. <i>Zeměpisná šířka a míra kontinentality.....</i>	<i>15</i>
B. <i>Hmotnatost a výška pohoří</i>	<i>17</i>
C. <i>Expozice vůči Slunci, údolní fenomén.....</i>	<i>18</i>
2.3. ASPEKTY VEGETAČNÍHO SLOŽENÍ EKOTONU HORNÍ HRANICE LESA	18
2.4. KOLÍSÁNÍ HORNÍ HRANICE LESA	19
3. METODY ZPRACOVÁNÍ.....	21
3.1. SESTAVENÍ DATOVÉHO ZÁKLADU	21
A. <i>Základní vlastnosti horní hranice lesa.....</i>	<i>21</i>
B. <i>Teplotní údaje</i>	<i>21</i>
C. <i>Konečná podoba datového podkladu.....</i>	<i>23</i>
3.2. STATISTICKÝ PŘÍSTUP K VYHODNOCENÍ VZTAHU TEPLOTNÍCH UKAZATELŮ HORNÍ HRANICE LESA A JEJÍ PODOBY A UMÍSTĚNÍ	33
A. <i>Hledání nejlepšího teplotního ukazatele horní hranice lesa.....</i>	<i>33</i>
B. <i>Posouzení vlivu vegetační formy horní hranice lesa na teplotní ukazatele, analýza variance</i>	<i>33</i>
C. <i>Zhodnocení míry závislosti teplotních charakteristik horní hranice lesa na faktoru kontinentality.....</i>	<i>35</i>
D. <i>Posouzení vlivu „timberline“ a „treeline“ na hodnoty teplotních charakteristik</i>	<i>35</i>
4. VÝSLEDKY	36
4.1. TEPLOTNÍ VELIČINA NEJLÉPE VYSTIHUJÍCÍ POLOHU HORNÍ HRANICE LESA	36
4.2. VLIV VEGETAČNÍ FORMY NA HODNOTY TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK.....	39
4.3. ZÁVISLOST TEPLOTNÍCH UKAZATELŮ HORNÍ HRANICE LESA NA MÍŘE KONTINENTALITY KLIMATU.....	43
4.4. EXISTUJÍ ROZDÍLY V TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIKÁCH MEZI ODLIŠNÝMI FORMAMI HORNÍ HRANICE LESA?	45
5. DISKUSE.....	48
6. ZÁVĚR	51
7. LITERATURA	53
PŘÍLOHY	

SEZNAM TABULEK UMÍSTĚNÝCH V TEXTU

Tab. 1. Charakteristika vybraných termínů popisujících horní (alpínskou) hranici lesa	7
Tab. 2. Databáze lokalit horní hranice lesa hodnocených ve vlastní práci (včetně tropů)	25
Tab. 3. Základní přehled teplotních charakteristik horní hranice lesa	36
Tab. 4. Výsledné hodnoty analýzy variance teplotních charakteristik ve vztahu k vegetační formě (hladina spolehlivosti 95%)	39
Tab. 5. Korelační koeficienty popisující závislost roční teplotní amplitudy a vybraných teplotních charakteristik	43

SEZNAM OBRÁZKŮ UMÍSTĚNÝCH V TEXTU

Obr. 1. Nadmořská výška 215ti lokalit horní hranice lesa ("timberline") v závislosti na zeměpisné šířce	16
Obr. 2. Vybrané teplotní charakteristiky horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)	37
Obr. 3. Vybrané teplotní charakteristiky horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)	37
Obr. 4. Závislost nejvýstižnějších teplotních charakteristik horní hranice lesa na zeměpisné šířce (databáze „místní gradient“)	38
Obr. 5. Závislost nejvýstižnějších teplotních charakteristik horní hranice lesa na zeměpisné šířce (databáze „standardní gradient“)	38
Obr. 6. Průměrná teplota 4 nejteplejších měsíců ve vztahu k odlišným vegetačním formám	40
Obr. 7. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným vegetačním formám	41
Obr. 8. Průměrná teplota nejteplejšího měsíce ve vztahu k odlišným vegetačním formám	41
Obr. 9. Průměrná teplota nejchladnějšího měsíce ve vztahu k odlišným vegetačním formám	42
Obr. 10. Průměrná roční teplota ve vztahu k odlišným vegetačním formám	42
Obr. 11. Průměrná roční teplotní amplituda ve vztahu k odlišným vegetačním formám	43
Obr. 12. Závislost roční teplotní amplitudy a nejlepších teplotních ukazatelů horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)	44
Obr. 13. Závislost roční teplotní amplitudy a nejlepších teplotních ukazatelů horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)	44
Obr. 14. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným formám horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)	46
Obr. 15. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným formám horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)	47

1. ÚVOD

1.1. CO JE TO HORNÍ HRANICE LESA

Horní hranice lesa jako významná přírodní hranice je častým předmětem zájmu v odborných pracích. Při své komplexitě však zároveň dává tento přírodní prvek podněty ke sporům a diskusím. Již od počátků výzkumu horní hranice lesa tvoří stěžejní oblast vědeckého zájmu vazba její výškové polohy a klimatických, zejména teplotních podmínek. Většina autorů, pokud hovoří o problematice spojené s horní hranicí lesa, neopomene uvést příklad jejího vztahu s konkrétním teplotním ukazatelem. Vesměs se ale odkazují na několik málo svých kolegů, kteří se klimatické podmíněnosti horní hranice lesa, popřípadě jejímu ztotožnění s izotermou určitého teplotního ukazatele věnovali podrobněji. V poslední době zvýšený zájem o horní hranici lesa bohužel nijak výrazně nerozšířil řadu těch publikací a příspěvků, které se snaží o komplexní přístup a skutečně širší analýzu teplotního podmínění této hranice. V tomto stavu vidím základní odůvodnění vzniku mé práce.

Terminologie vlastní hranice lesa uvažovaná v anglickém jazyce je komplikovaná a činí nemalé problémy zpracování tohoto tématu. Odlišnost prvního řádu mezi pojetím liniovým a ekotonovým je v literatuře o horní hranici lesa jasně patrná a odůvodnitelná. Jak uvádí Armand (1992), „každá přírodní hranice je ve skutečnosti přechodná zóna, která má dvě svá ohraničení, jež se také chovají jako přechodné oblasti atd.“ Neexaktnost horní hranice lesa jako linie však je z praktických důvodů opomíjena a ve většině konkrétních studií se uplatňuje liniové pojetí (menší množství hranic lesa ve skutečnosti opravdu představuje náhlý přechod). Nejčastěji užívaným termínem je pojem „timberline“. Ve většině případů, pokud není spojován s ekotonovým pojetím, se charakterizuje jako hranice zapojeného lesa. Körner (1998, 1999) upřednostňuje termín „treeline“ jako linii spojující nejvyšší místa výskytu lesního porostu (ostrůvky) na svazích o podobném sklonu. Posuzuje jej jako jakýsi střed rozmezí mezi níže ležící hranicí zapojeného lesa („timberline“) a výše položeným limitem výskytu již hodně deformovaných jedinců stromových druhů („tree species limit“). To se již dotýká nutnosti rozlišovat mezi křovitými dřevinami geneticky původními (pravý „krummholz“) a klimaticky zapříčiněnými (stromové druhy bez stromovitého vzrůstu = bez dané výšky; Holtmeier 2003). Ale zpět k vlastní hranici lesa, při přesném definování této konvenční linie se využívají standardní ukazatele, charakterizující lesní prostředí, často ale o rozdílných hodnotách (především v pojetí termínu „timberline“). Tab. 1. ukazuje pro

přehlednost pojmy z vybraných významných prací o horní hranici lesa a snaží se je vzájemně porovnat.

Tab. 1. Charakteristika vybraných termínů popisujících horní (alpickou) hranici lesa

Autor	Rok	Originální název		Podobnost a smysl	Standardní ukazatele
Holtmeier	2003	timberline	↔	široká přechodná zóna	---
Holtmeier Broll	2005	treeline	↔	přechodná zóna (mezi zapojeným lesem a nejvýše položenými jedinci stromových druhů formujících les)	---
Schickhoff	2005	timberline	↔	ekotonový aspekt	---
Hermes	1955	Waldgrenze	↑	linie spojující přirozená nejvyšší místa lesa (jako seskupení zakmeněných stromů s korunovou formou)	min. výška stromu 3-5 m
Jeník Lokvenc	1962	forest line = timber line (překlad)	↑	horní limit zapojeného lesního porostu	min. výška stromu 5 m, min. zápoj 0,5, min. plocha 1 ar
Plesník	1971	timberline (překlad)	↑	linie spojující nejvýše položená místa zapojeného lesa	min. výška stromu 5 m, min. zápoj 0,5, min. plocha 10 ar
Körner	1998 1999	treeline	↑	linie spojující nejvyšší místa výskytu ("ostrůvky") lesního porostu (na svazích o podobném sklonu)	min. výška stromu 3 m
Jobbágy Jackson	2000	forest line	↑	horní limit souvislého lesního zápoje	---
Grabherr Nagy Thompson	2003	treeline	↑	spojení mezi nejvýše položenými skupinami stromů, které vytvářejí zřetelné výstupky	min. výška stromu 3 m (sensu Körner 1998,1999)

Má se však hovořit o horní či alpické hranici lesa? Plesník (1971) považuje druhý výraz za geograficky výstižný. Nehodí se ale pro vysoká pohoří bez alpického charakteru, a přesto, že jím popisované Tatry tento charakter mají, kloní se ke karpatské tradici a užívá výraz horní hranice lesa. Podle Trolla (1973) je nevhodné mluvit o alpické hranici lesa v celosvětovém měřítku, neboť klimaticko-ekologické podmínky, rostlinné formace a životní formy stromů při hranici lesa jsou v různých zeměpisných šířkách a klimatických zónách dosti rozdílné. Naráží tím na zásadní problém, tedy na přesný význam a genetické souvislosti samotného termínu alpická(y). Podobně i Holtmeier (2003) upřednostňuje ve své komplexní monografii pojem horní hranice lesa. Les tedy není uvažován pouze jako konkurent vegetace alpické zóny (srovnej Jeník 1961), a zároveň existují výhrady k uplatnění výrazu „alpický“ v tomto kontextu jak pro světový průřez, tak i pro vždy nehomogenní přechod horského lesa do luk v konkrétním pohoří. Z tohoto důvodu používám termín „horní hranice lesa“.

V 19. století byla horní hranice lesa dávána do souvislosti s průměrnou teplotou vzduchu nejteplejšího měsíce okolo 10°C. To odpovídá temperátnímu pásu, ne však horstvům tropickým a na druhou stranu ani pohořím dosti oceánickým (Nový Zéland, Japonsko; Körner 1998, 1999). Menší diference je možno najít u charakteristik typu teplotních sum, počtu dní s minimální teplotou 5°C nebo průměrnou teplotou 3 nebo 4 nejteplejších měsíců (Holtmeier 2003). Körner (1998, 1999) hodnotí nejvíce příznivě průměrnou teplotu (vzduchu) ve vegetačním období. Poukazuje na to, že celosvětové hodnoty 5,5 – 7,5°C jsou prakticky nezávislé na době trvání vegetačního období napříč šířkovými pásy na zeměkouli (od 2,5 měsíce v arktických oblastech až po 12 měsíců v tropech; tato zajímavá odlišnost je částečně vysvětlena dále v kapitole 2.1., části o hypotéze nepříznivé uhlíkové bilance) a obecně se velmi blíží průměrné půdní teplotě ve vegetačním období (Körner 1998, 1999; Körner, Paulsen 2004). Ač je toto rozmezí dostatečně úzké (a tedy i poskytující dostatečný obraz o všeobecném základním hybateli), je nutné si uvědomit neexaktnost jakékoliv linie jako přírodní hranice (Armand 1992). Holtmeier (2003) shrnul tuto problematiku slovy, že „hranice lesa je biologický předěl, více či méně široký ekoton, který je nutno brát jako k prostoru a času vztážený fenomén, jenž neodpovídá lineárně na měnící se teploty či jiné environmentální faktory“ (viz dále kapitola 2.4.). Navíc podle něj už samotný charakter průměrné teploty jako v přírodě se nevyskytujícího jevu rozhoduje o popisu průměrné teploty ve vegetačním období (jako i ostatních teplotních ukazatelů) v podobě indikátoru popisujícího aktuální teplotní podmínky horní hranice lesa, ne v podobě příčinného faktoru. Jak ale bude ukázáno (kapitola 2.1.), existuje opravdu fyziologické odůvodnění výše uvedeného vztahu (Körner 1998, 1999).

1.2. CÍLE PRÁCE

Tato práce si klade dva základní cíle, odlišné ve své podstatě. Tím prvním je rešeršní metodou zpracovat a sjednotit dosavadní poznatky o nejzásadnějších vlastnostech horní hranice lesa s důrazem na současné problémy a směry výzkumu. Základní kostru práce však tvoří směřování za druhým cílem. Je snahou odpovědět na několik otázek vázaných na vztah horní hranice lesa a klimatu, respektive teploty. Zaprvé chci najít takovou teplotní veličinu, která nejlépe vystihuje polohu horní hranice lesa, respektive přímo potvrdit vhodnost teplotního ukazatele spojeného s vegetačním obdobím při hranici lesa. Pro řešení této otázky bylo nutné předpokládat, že analyzované pozice hranice lesa jsou teplotně determinovány.

Dále si práce klade otázku, zda existují určité rozdíly v teplotních charakteristikách hranice lesa napříč šířkovými pásy na Zemi a v rámci hranic lesa s odlišnými vegetačními formami (listnatý, jehličnatý, smíšený les). Snažím se také popsat, jaký dopad má na teplotní ukazatele, opět s důrazem na ty „nejtypičtější“, míra kontinentality dané lokality, vyjádřená pomocí roční teplotní amplitudy. Nakonec chci prokázat, zda je či není třeba při popisování horní hranice lesa teplotními veličinami činit významný rozdíl mezi jejími odlišnými formami („timberline“ a „treeline“; blíže již kapitola 1.1.). Celkově řečeno, prvotním cílem je najít teplotní ukazatel s nejmenší variabilitou a, pokud to bude oprávněné, vysvětlit jeho variabilitu na základě polohy z hlediska zeměpisné šířky, vegetační charakteristiky či míry kontinentality, a tím zpřesnit vazbu horní hranice lesa a takové teplotní veličiny.

Na tomto místě bych rád poděkoval těm, bez jejichž pomoci by nebylo možné tuto práci v předkládaném rozsahu plně realizovat. Především směřuji poděkování vedoucímu této práce, Mgr. Václavu Tremlovi, který nejenže mi poskytl počáteční impuls a myšlenky vztahované k tomuto tématu, ale věnoval i nemálo ze svého času na diskuse o problémech a směřování práce a byl kdykoliv ochoten poskytnout jinak nedostupnou literaturu či umožnit přístup ke statistickým výpočetním aplikacím. Dále tímto děkuji všem svým nejbližším, kteří v průběhu tvorby vyjadřovali veškerou potřebnou podporu a dodávali i tolik potřebný klid.

2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA HORNÍ HRANICE LESA

2.1. GENEZE HORNÍ HRANICE LESA

Je možné odlišovat příčiny vzniku a faktory ovlivňující polohu horní hranice lesa? Při uvažování formování jedné obecné hranice lesa umístěné v pevném geografickém prostředí jistě ne. Vždyť když je ovlivňována poloha takové hranice lesa, jsou zároveň, jako u fenoménu se základní složkou v podobě nadmořské výšky, ovlivňovány její genetické podmínky v širším slova smyslu. Faktory ovlivňující polohu se zde proto vyčleňují uměle a označují se jako geografické (bližší kapitola 2.2.). Tranquillini (1979) hovoří o třech možných příčinách vzniku horního limitu stromů v sezónním klimatu. Zdůrazňuje silnou vzájemnou propojenost záporné uhlíkové bilance (nízká produkce rostlinné hmoty), omezeného fenologického cyklu (pod vlivem environmentálních i genetických podmínek obecný rámec pro nedostatečný rozvoj habitu stromů) a nepříznivých klimatických faktorů (důraz na pozdní či brzký mráz a sucho z mrazu). Körner, který z Tranquilliniho vychází, ve svých zásadních pracích (1998, 1999) rozlišuje 5 hypotéz způsobujících vznik hranice lesa. Prohlašuje, že nepříznivá uhlíková bilance a teplotní omezení růstu, zasazené do rámce krátké vegetační doby v sezónním klimatu, může vést k nedostatečné tvorbě pletiv, a tak přispět k poškození rostliny vlivem mrazových stresových faktorů a disturbancí či k omezení reprodukce (dále v textu podrobněji zhodnoceno). Dá se využít Körnerem a Paulsenem (2004) nepřilíši zdůrazněné myšlenky a vytvořit dvě kategorie faktorů vysvětlujících formování horní hranice lesa. Jsou to činitelé zásadní, všeobecné, přítomné ve všech pohořích, a činitelé doplňující, s různou regionální až lokální důležitostí.

A. Všeobecně přijímané důvody formování horní hranice lesa

Jak už bylo naznačeno, horní hranice lesa je všeobecně svázána s určitými prahovými hodnotami v rámci vzrůstající nepříhodné teplotní bilance se stoupající nadmořskou výškou (Tranquillini 1979). Nedostatek tepla je při základním pohledu jednoznačným důvodem existence horní hranice lesa. Avšak to, co stojí uprostřed, mezi hlavní příčinou a hlavním důsledkem, tedy určité vnitřní reakce stromů, vždy představovalo složitou oblast vědeckého zájmu. V současné době je nejvíce přijímána **hypotéza omezení růstu** interpretovaná Körnerem (1998, 1999), ačkoliv jí lze vytknout nedostatky v podobě omezeného množství přímých důkazů.

Při hledání odpovědi na otázku, proč v určité výšce končí výskyt lesních porostů, respektive stromových jedinců, ale život alpinských společenstev není omezen, je podstatné uvažovat specifické vzájemné působení rostlin a klimatu. Stromy a jejich koruny, zažívající teploty velmi blízké teplotě okolního vzduchu, neumožňují při své morfologii ohřátí aktivních růstových pletiv prýtů a hlavně kořenů narozdíl od bylin (Körner 1998, 1999). Také Holtmeier (2003) uvádí, že teplota v kořenové zóně je rozhodující pro růst a přežití rostlin. Důkazem je i Körnerovo (1999) tvrzení, že při zastavení růstu kořenů se nerozvíjí ani dělivá pletiva nadzemních částí těl stromů. Tento autor po uvedení několika příkladů kritických teplot kořenové zóny prohlašuje následující – „kritické teploty pro zastavení růstu jsou vyšší než 3°C a nižší než 10°C, což se nápadně přibližuje k hodnotám 5,5 – 7,5°C, které jsou běžně spojovány s pozicemi hranice lesa“. Z kontextu vyplývá, že prvním rozmezím myslí autor kritické teploty zjištěné v kořenové zóně a druhým pak teploty vztažené ke vzduchu. Tyto dvě různé kategorie teplot může dohromady dávat z následujících důvodů. Již předtím uvádí, že se půdní teploty pod porosty při hranici lesa jen málo liší od teplot vzduchu (z globální perspektivy teploty v kořenové zóně (-10 cm) odpovídají těm, které strom zažívá nad povrchem (Körner, Paulsen 2004)), a zdůrazňuje hrubé rysy. Z tohoto faktu plyne neoddiskutovatelná přímá vazba na teplotní poměry v jediném souvislém období, kdy stromy jako i ostatní rostliny tvoří zásobní látky a strukturní pletiva. Limitní hodnoty průměrné teploty ve vegetačním období by měly být díky Körnerem zdůrazněným fyziologickým souvislostem nejlepší teplotní veličinou charakterizující horní hranici lesa. Jako jednu z mála věcí lze tomuto autorovi vytknout nevhodné označení tohoto mechanismu – je příliš obecné. Neodráží totiž zásadní vnitřní situaci odehrávající se ve stromových jedincích – neschopnost zabudovávat do pletiv asimiláty fotosyntézy, tedy tvořit, diferencovat a zvětšovat nové buňky (Körner, 1998, 1999). Potvrzením nevhodného pojmenování je naopak jasně označená hypotéza uhlíkové bilance, ze základního hlediska též propojitelná s teplotním omezením růstu. Avšak, jak bude dále ukázáno, život stromů ve vysokých nadmořských výškách je limitován právě spíše možnostmi zabudovávání než vlastní tvorbou asimilátů.

Mnoho studií odhalilo široké teplotní rozmezí pro průběh fotosyntézy, fotosyntetická kapacita stromů při alpínské hranici lesa je relativně vysoká, obnovení fotosyntézy po chladných nocích je rychlé a doplňování vody jako vstupního aspektu pro fotosyntetické procesy je dokonce méně omezující než v nižších nadmořských výškách. Dýchání nepřipravuje rostlinám v průběhu období, kdy je fotosyntéza neaktivní kvůli nedostatku slunečního záření (noci) nebo již omezujících nízkých teplot v zimě, významné ztráty uhlíku. Navíc je transpirace díky teplotním podmínkám panujícím v ekotonu horní hranice lesa

oslabena oproti nižším polohám (Körner 1998, 1999). Nepodporuje to tedy dříve uvažovanou ideu, že **nedostatečná fotosyntetická aktivita** v průběhu vegetační sezóny nebo **nadměrné ztráty uhlíku transpirací** mají hlavní podíl na vytváření hranice lesa (logicky uvažované pro sezónní klima, hlavně temperátní zónu). Poměr uhlíkového příjmu a výdeje okolo hodnoty 30 jasně vylučuje působení tohoto faktoru jako zásadního na tropické hranici lesa, v tomto případě u rodu *Polylepis* (Körner 1999). Podle tohoto autora se situace zisku uhlíku na temperátní hranici lesa vůči tropům vyrovná, když budeme uvažovat až o čtvrtinu delší období denního slunečního svitu, navzdory značně kratší vegetační době. Příznivé hodnocení neomezení růstu v závislosti na uhlíkových poměrech podporuje příklad z centrálních Alp, kde respirační ztráta v průběhu tří nejchladnějších měsíců v prýtech borovice limby může být nahrazena jediným dnem fotosyntetického zisku uhlíku ve vegetační sezóně (Körner 1998, 1999). Také prokázaná hojnost nestrukturálních, tedy na růst nespotřebovaných sacharidů a lipidů zřetelně upřednostňuje hypotézu teplotního omezení růstu před hypotézou uhlíkové bilance (Körner 1998, 1999). Na druhou stranu je zde nutné vzpomenout práci Germina a Smithe (1999), která se zabývá fotosyntetickou aktivitou semenáčků. Autoři odhalují zásadní omezení výskytu takových jedinců, které se děje vlivem propadu fotosyntézy, jež dospělým stromům nečiní potíže. Svůj podíl na tom mají nízké teploty a vysoký příjem slunečního záření, jež se přes vodní stres může stát též fyziologickým stresovým faktorem.

Zvláštního postavení v rámci této kapitoly se dostává mechanismu **generativního zmlazování stromů** ve studovaném ekotonu. Pravdou jistě je tvrzení Holtmeierovo (2003), že podmínky na úspěšné vyklíčení přeživších semínek se s nadmořskou výškou zhoršují. Možnosti generativního rozmnožování při horní hranici lesa jsou omezeny nízkou a proměnlivou produkcí klíčivých semen, nedostatkem příhodných míst na jejich uchycení a vyklíčení, konkurencí alpinských druhů či závislostí na druhu transportního média. Na druhou stranu ale Körner (1998) tuto hypotézu zavrhuje jako primární, když uvádí, že formování hranice lesa nemá být spojováno s limitací generativního rozmnožování, ale spíše s následným bojem neapatného množství takto vzniklých semenáčků se stále nepříznivějšími podmínkami nad povrchem země. Germino, Smith (1999) potvrzují vysokou úmrtnost nejmladších jehličnatých semenáčků vysokou hodnotou až přes 90%. Tím dokazují, že nejtěžší životní etapa stromů v ekotonu hranice lesa nastupuje právě brzy po vyklíčení. Je proto příhodnější nahlížet na nyní popisovanou teorii jako na teorii čistě rozmnožovací, jelikož termín generativní zmlazení (respektive jeho limitace) je širší a v souvislosti s bojem semenáčků splývá s předcházejícími prezentovanými příčinami formování horní hranice lesa. Zpět k reprodukci, stromy navíc s narůstající nadmořskou výškou využívají více a více

vegetativního způsobu rozmnožování, které detailně popisuje opět Holtmeier (2003). Zdůrazňuje, že skupinky stromů vyrůstajících vegetativně z jednoho základu jsou při stabilitě prostředí téměř nesmrtelné a teplotní omezení tohoto rozmnožování je minimální, čímž vegetativní reprodukci vylučuje jako zásadní faktor.

B. Modulativní činitelé vytvářející horní hranici lesa

Narozdíl od mnoha citovaných autorů, tato podkapitola začíná zmínkou o hybatele, jenž je jakýmsi společným jmenovatelem většiny dále zmíněných modulativních činitelů. Vliv topografie v mikroměřítku je považován za klíčový predispoziční faktor vůči intenzitě působení následujících environmentálních projevů. Jeví se tak i jako důležitý soupeř působení klimatických změn v rámci dynamiky horní hranice lesa (Holtmeier, Broll 2005). Specifické environmentální projevy pak působí různě silně na „vyladění“ horní hranice lesa zejména formou fyziologického stresu (mráz, sucho z mrazu), průběžného upravování klimatických podmínek (vůdčí role větru, sněhu), diferencovaných edafických poměrů, náhlých a ostře omezených geomorfologických rysů, ale i formou umělou, v podobě vlivu lidského činitele.

Tranquillini (1979) dává hlavní důraz na komplexní **stresový faktor mrazu**, jenž nepovažuje pouze za doplňujícího hybatele. Přímý mráz je modulativní faktor mající spíše vliv na stromy tropické hranice lesa. Přestože některé druhy tropických keřů mohou ve vysokých pohořích existovat díky specifickým fyziologickým vlastnostem, které se vyznačují nezapornými teplotami tělních tekutin při teplotách vzduchu pod -10°C (Holtmeier 2003), jsou stromové porosty vystaveny každodenní možnosti nočního mrazu, jenž je může i vážně poškodit. Nesezónnost klimatu totiž tyto stromové druhy nemůže obohatit o odolnost vůči mrazu. Opakem je vysoká mrazová odolnost temperátních druhů, které těžší ze souvislého výskytu nízkých teplot. Proto se v mírném pásu děje poškození mrazem nejvíce v pozdním jaře a též brzy na podzim v souvislosti s nedostatečně vyvinutými mladými jehlicemi, listy a prýty. Dochází však pouze k lokálním poškozením. Fyziologicky se jedná o náhlou dehydrataci (Holtmeier 2003). Sucho z mrazu nebo též fyziologické sucho je důležitým činitelem v mimotropických pohořích. Je způsobeno postupnou transpirační ztrátou vody v průběhu celé zimy. Kritická je především nemožnost kompenzace v pozdní zimě, kdy je půda stále ještě zmrzlá a kdy je vodní bilance zhoršována zvýšením kutikulárního dýchání při velkých rozdílech teplot radiačně ohříváných zelených orgánů stromů a okolního vzduchu (Holtmeier 2003). Z toho lze snadno usoudit, že takto trpí hlavně neopadavé jehličnany. Potvrzením je podle Körnera (1999) formování většiny horních i polárních hranic lesa ve vyšších severních zeměpisných šířkách druhy břízy a modřínu, tj. opadavými dřevinami.

Vítr je dosti komplexním činitelem. Působí na růst stromů nejen ovlivněním místních teplotních, vlhkostních a sněhových podmínek, ale i fyziologicky (silné větry oslabují fotosyntézu, zesilují intenzitu fyziologického sucha) a mechanicky přes tlak na stromy a jejich obrušování. Holtmeier (2003) uvádí, že větry jsou výrazně ovlivňovány ekologické podmínky ekotonu hlavně ve vysokých pásemných pohořích s převládajícími silnými větry z jednoho směru (Skalnaté hory, Skandy, Novozélandské Alpy). Od větru se nemůže oddělit činnost sněhu, jak naznačil svojí teorií již Jeník (1961). Körner (1999) však upozorňuje, že je sice snadné vyhodnotit ochranné účinky sněhu, ale složité pojednávat o jeho účincích negativních. Holtmeier (2003) podává rozsáhlý výčet těchto účinků. Mezi negativními je nutné zdůraznit posun fenologického rozvoje stromů s dopadem na nedostatečně dlouhou vegetační sezónu pro plný rozvoj zejména mladých stromků. Holtmeier (2003) důrazně uvádí také negativní faktor v podobě infekcí parazitických sněhových hub v extrémně bohatých místech na sních, málo mluvíc o mechanickém působení sněhu. Naopak pozitivní dopad má sněhová pokrývka na nízké stromy v zimě, kdy je chrání hlavně před mrazovým stresovým faktorem.

Edafické poměry působí nepříznivě na rozvoj lesních porostů podle Plesníka (1971) chemicko-fyzikálními vlastnostmi, jako je nedostatek jemnozeme a nedostatek živin. Tento autor zdůrazňuje pro oblast Tater prvně jmenované a začíná tím spojovat edafické s orografickým, což se jeví jako logické, byť poměrně nešťastné spojení. Holtmeier (2003) hovoří spíše o vlivu vegetace na půdu než půdních podmínek na podobu horní hranice lesa, to je víceméně v souhlasu s pedogenezí. Nicméně se věnuje dopadu edafických poměrů hlavně ve vulkanických pohořích. Výškový rozdíl 450 m na neaktivní sopce Mauna Kea a aktivním vulkánu Mauna Loa připisuje nutně rozdílným půdním podmínkám. V rámci vulkánu Mauna Loa popisuje vyšší polohu horní hranice lesa na „vlhkých“ lávových proudech než „suchých“ vrstvách tefry. Přidává také další pohled na vysoce položené porosty rodu *Polylepis*, když mluví o mykorrhize. Tato symbióza hub s kořeny stromových druhů působí jako významný pozitivní edaficko-biotický faktor. Jak logicky vyplývá z kontextu, nelze v případě výrazných edafických vlastností převyšujících úlohu klimatu jako celku hovořit o klimatické hranici lesa, ale o edafické hranici lesa.

Lokálně **výrazné geomorfologické prvky** způsobují detailní výkyvy horní hranice lesa, které jsou pro mnohá pohoří typické. Proto například Plesník (1971) při popisu hranice lesa v Tatrách věnuje tomuto tématu značnou pozornost. Výskyt různých skalních a suťových mezo- a mikroforem reliéfu ovlivňuje průběh hranice lesa však zejména nepřímo, hlavně přes edafické podmínky. Jedná se ale o natolik výrazné modelace, že se v tomto kontextu užívá termínu orografická (což je samo o sobě nepřesné, příliš obecné) hranice lesa, v souhlasu

s názorem Plesníkovým (1971). Do tohoto rámce je možné zasadit víceméně statické „orografické“ rysy jako kamenná moře, suťoviska a suťové kužele nebo „zlomiska“ (v Tatrách známé uložení skalního říčení). Komplexnější je působení mur a lavin, které rozrušují svými mechanickými účinky lesní porosty v ekotonu i pod ním, ale též ovlivňují edafické (mury) a klimatické (laviny) poměry zvláště v akumulární zóně. Jelikož má hranice lesa primárně způsobená lavinami výrazné rysy a jelikož je správné ji dávat do souvislosti i s povětrnostními podmínkami, je vhodné držet se postoje Plesníka (1971) a vyčleňovat tento typ hranice lesa jako lavinový.

Dříve nebyla **lidskému faktoru** přisuzována taková významnost, což dokazují Holtmeierova (2003) slova, že je třeba vnímat antropogenní dopad podstatněji. Vliv člověka se přitom nemůže asociovat jen s klasickými problémy v pohořích rozvojových zemí centrální Asie, východní Afriky či tropické jižní Ameriky (odlesnění vytěžením či vypalováním, pro zisk nových pastvin, ...). Je třeba se zabývat aspekty snížené hranice lesa i ve vyspělých oblastech, především ku prospěchu obnovy lesů v blízké budoucnosti. Člověk navíc zapříčiňuje snížení výškového limitu lesních porostů nejen přímo, ale i nepřímo nevhodným využíváním alpinské zóny, které působí přes nárůst nebezpečí půdní eroze, lavin a dalších svahových procesů. Holtmeier (2003) považuje ovlivnění horní hranice lesa lidskou činností v tropických oblastech při nejmenším za stejné jako v temperátních a boreálních pohořích.

2.2. GEOGRAFICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POZICI HORNÍ HRANICE LESA

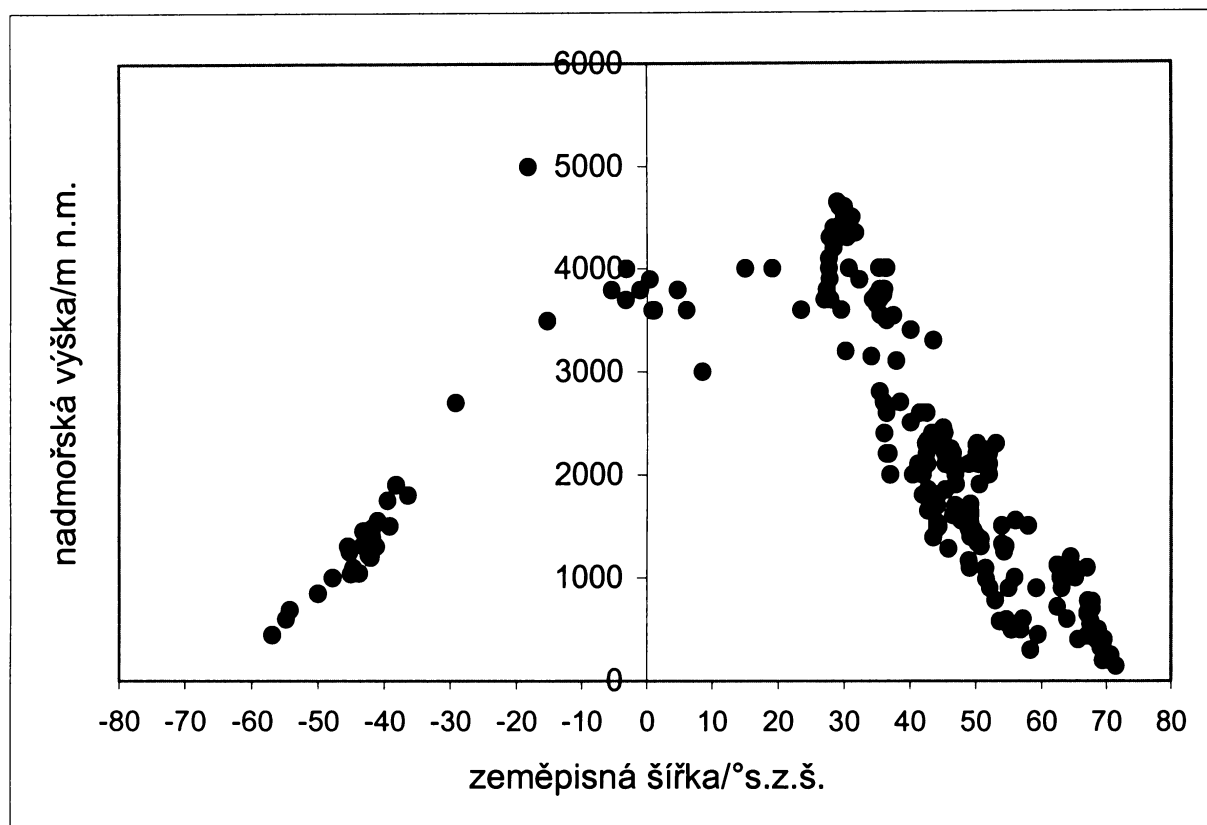
Mají-li být posuzováni činitelé ovlivňující pozici horní hranice lesa, je vhodné sledovat jednoznačné rozdíly tohoto jevu zasazené do proměnného geografického prostředí. V úvahu se proto berou globální prostorové efekty, jež jednoznačně působí na klimatické, zvláště rozhodující teplotní poměry, a ty pak na výšku horní hranice lesa. Mezi tyto efekty, od největšího po nejmenší měřítko, náleží vliv zeměpisné šířky a gradientu oceanity a kontinentality, fenomén hmotnatosti a výšky pohoří, aspekt převládající expozice vůči slunečnímu záření a konečně tzv. údolní fenomén.

A. Zeměpisná šířka a míra kontinentality

Nadmořská výška klimatické hranice lesa klesá sice ve směru k pólům, avšak své maximum nedosahuje na rovníku, nýbrž ve vysokých pohořích subtropů až vnějších tropů (Obr. 1.). Klimatické důvody této nepravidelnosti jsou stejné jako v případě pravidelného intrazonálního vzrůstu pozice horní hranice lesa ve směru od oceánického podnebí ke

kontinentálnímu. Humidní klima rovníkových oblastí stejně jako ostrovů a pobřežních oblastí se projevuje vyšším množstvím oblačnosti a srážek, a tím pádem nižšími denními teplotami při častěji zatažené obloze – lesní porosty sahají do nižších nadmořských výšek.

Obr. 1. Nadmořská výška 215ti lokalit horní hranice lesa ("timberline") v závislosti na zeměpisné šířce



Zdroj: Blyakharkuch, et al. 2004; Camarero, Gutiérrez 2002; Camarero, Gutiérrez, Fortin 2000; Carrer, Urbinati 2001; Cuevas 2000; Davi, et al. 2002; Didier, Brun 2001; Doležal, Šrůtek 2002; Gamisans 2003; Hermes 1955; Hofgaard 1997; Hoch, Popp, Körner 2002; Jobbágy, Jackson 2000; Miede, Miede 1996; Migala 2005; Ohsawa 1990; Plesník 1991; Plesník 1971; Richter 1996; Schickhoff 2005; Takahashi, et al. 2005; Treml (ústní sdělení); Treml 2004a; Treml 2004b; Troll 1973

Körner (1998, 1999) přidává ke zdůvodnění relativně nízkých pozic tropických hranic lesa vliv permanentního nebezpečí poškození mrazem. Dále udává názorný příklad mohutného vzrůstu pozice s kontinentalitou, když mluví o rozmezí 1600 až 2300 m jen v samotných Alpách, na 47. stupni severní šířky. Výsledkem propojení pozitivních účinků obou výše uvedených efektů jsou pak rekordní nadmořské výšky horní hranice lesa těsně pod 5000 metrů. V subtropickém a kontinentálním východním Tibetu a v severním Chile a západní Bolívii dosahují vitální stromoví jedinci přes 5000 m n.m. (Holtmeier 2003; Körner

1998,1999). Relativně vysoký stupeň aridity v těchto oblastech potvrzuje výše uvedené zdůvodnění a projevuje se mimo jiné také výraznou zvláštností oproti pohořím v ostatních klimatických zónách – výskyt lesa bývá, z vertikálního pohledu, omezen i zesponu. Hodnoty průměrné roční teploty (při hladině moře) a sezónní teplotní amplitudy (rozdíl mezi průměrnou teplotou nejteplejšího a nejstudenějšího měsíce) vysvětlují 80% pozic horní hranice lesa v mimotropických oblastech, v souhlasu s výše uvedeným (Jobbágy, Jackson 2000). Zásadní je pozitivní efekt teplotní amplitudy na výšku hranice lesa, což směřuje opět k uvědomění si klíčové role teplot v teplé části roku (Jobbágy, Jackson 2000).

B. Hmotnatost a výška pohoří

Fenomén hmotnatosti a výšky pohoří je také považován za významný. V základních rysech jej popisuje Holtmeier (2003). Větší hmotnatost a výška přispívá k většímu zahřívání povrchu a transformaci na dlouhovlnnou energii, nepřímo tak zvyšuje pozici horní hranice lesa. Jako typický příklad se uvádí porovnání pro severní, centrální a jižní pásmo východních Alp (Holtmeier 2003). Velká většina autorů klade jen malý důraz na skutečnost, že v mnoha případech bývá tento efekt silně nadhodnocen působením regionálního klimatického gradientu oceanity a kontinentality. Již Jeník, Lokvenc (1962) připisují zřetelné zvýšení pozice horní hranice lesa ve východní části Krkonoš oproti západní části větší hmotnatosti a relativně patrnějšímu subkontinentálnímu zabarvení klimatu této části pohoří. Je zarážející, že poměrně značný výškový rozdíl zhruba 40 – 50 metrů dávají na prvním místě do souvislosti s hmotnatostí, neboť podíl tohoto efektu je nutně nižší než podíl vzrůstající subkontinentality a klesajícího zachycování větrů západních směrů. Též Plesník (1971) hovoří o tomto efektu v rámci západních Karpat. Snaží se svá tvrzení dokázat argumenty v podobě rozdílných teplotních charakteristik míst o zhruba stejné nadmořské výšce položených relativně blízko hranice lesa. Důkaz je však znehodnocen volbou stanic – vyšší teplota oblasti Skalnatého plesa, tedy výše položená hranice lesa v mohutném pohoří, než oblasti masívu Babie hory a jihovýchodního svahu Nízkých Tater pod Ďumbierem je nesměrodatná. Oravské Beskydy mají dosti oceáničtější klima než Skalnaté pleso, které představuje místo na okraji pohoří velmi úzce napojené na podtatranskou oblast o vysoké subkontinentalitě. Částečným potvrzením faktu, že i zde autor přeceňuje význam efektu hmotnatosti a výšky pohoří, jsou následující údaje. Průměrný roční úhrn srážek na stanici Skalnaté pleso za období 1901 až 1950 činí 1412 mm, z oblasti Babie hory jsou tato data dostupná jen z polské strany a představují, za období 1951 až 1970, 1475 mm, a to i přesto, že nadmořské výšky stanic jsou značně rozdílné – 1778 m, respektive 1180 m (Hydrometeorologický ústav 1960, Obrębska-

Starklowa 1983). Posuzovat zde diskutovaný efekt je nevhodnější na příkladě různě mohutných horských oblastí situovaných z hlediska kontinentality ve stejné poloze.

C. Expozice vůči Slunci, údolní fenomén

Poslední geografický aspekt, který bude přiblížen, je nejmenšího měřítka a je spojen s makrotopografií pohoří. Expozice vůči slunečnímu záření se uplatňuje v mimotropických pohořích a v dostatečně humidních horských oblastech efektem zvýšení horní hranice lesa na k záření přivrácených svazích. Naopak v suchých horských regionech, zvláště subtropických, jsou lepší radiační a teplotní podmínky spojeny s poklesem hranice lesa. Zastíněné svahy zažívají lepší vlhkostní poměry a vegetace je výše (Holtmeier 2003). Tento autor ale upozorňuje, že se nemusí jednat o ryze aridní pohoří, a podává příklad jižního Tibetu. Nakonec se zařazuje ještě makrotopografické uplatňování údolního fenoménu, jenž se v užších horních částech údolí projevuje přes větší zastínění a redukovaný radiační příjem relativně nižší polohou lesních porostů (Tranquillini 1979, Holtmeier 2003). Holtmeier (2003) podtrhuje hlavně fenomén ledovcových údolí, kde je zmíněný efekt znásoben chladem z ledovce.

2.3. ASPEKTY VEGETAČNÍHO SLOŽENÍ EKOTONU HORNÍ HRANICE LESA

Ze všeobecného pohledu je dlouhodobě diskutována problematika snížené horní hranice lesa v izolovaných oblastech jižní polokoule. Někdy je vysvětlována malým počtem a s tím související nedostatečnou adaptací stromových druhů zde se vyskytujících. Tento „nedostatek“ se váže na izolovanost jejich jednotlivých částí vůči relativně pevninsky souvislé polokouli severní i izolovanost vnitřní. Proto se zde nevyvinula celá šíře odlišně se chovajících druhů a nemohlo být dosaženo „standardních výšek“ horní hranice lesa (Holtmeier 2003). Jobbágy, Jackson (2000), kteří mimo jiné popisují postupné obsazování hranice lesa stálezelenými listnáči, opadavými listnáči, neopadavými jehličnany a opadavými jehličnany se vzrůstající sezónní teplotní amplitudou (poklesem zimních teplot), podobně předpokládají, že nedostatek druhů čeledi *Pinaceae* (borovicovité) snižuje hranice lesa na jižní polokouli. Nicméně při použití již uvedených ukazatelů se jim daří toto zamítnout. Argumentují faktem, že v případě velmi podobných teplotních režimů na obou polokoulích je pozice též velmi podobná. V základních rysech se však ke stejným závěrům dostávají místní odborníci již o mnoho let dříve (Wardle 1973). Proto je třeba dát vždy zvláštní pozor na porovnání odpovídajícího a uvážit poměrně specifické teplotní režimy na jižní polokouli.

Častou otázkou bývá také charakter přechodu lesa do alpinské tundry. Forma ekotonu klimatické hranice lesa bývá občas diskutována v souvislosti s druhovým složením lesních porostů jako základním faktorem. Walter (cit. in Tranquillini 1979) uvádí, že stínomilné druhy tvoří spíše ostré hranice lesa, zatímco druhy světlomilných stromů spíše otevřená stanoviště v rámci širokého ekotonu. Jedná se ale o příliš obecné tvrzení. Dále se dostává Armand (1992), jenž prohlašuje, že míra ostrosti přechodu lesních společenstev do alpinské zóny závisí na míře dominance daného druhu ve společenstvu. Prakticky pak silný druh, edafikátor (např. buk), který značně ovládá ostatní druhy a jejich chování na svém stanovišti, vytváří ostrou hranici k sousedním společenstvům.

2.4. KOLÍSÁNÍ HORNÍ HRANICE LESA

Podle Körnera (1999) je dnešní klimatická hranice lesa oproti svému postglaciálnímu maximu snížena asi o 100 až 200 metrů, s důrazem spíše na spodní mez. Takovému poklesu odpovídá i nyní uvažované malé snížení teploty o asi 1,5°C na příkladě regionu střední Evropy (Davis, et al. 2003). Tento fakt výrazně nahrává Jeníkové (1961) teorii anemo-orografických systémů, kde autor hovoří o nutnosti paleogeografického nezalesnění vrcholových plošin a hřbetů Krkonoš pro zachování bohatých alpských společenstev v na ně navazujících karech. Holtmeier (2003) předkládá názorné konkrétní příklady, proč změna klimatu nemusí nutně vést ke změně výšky hranice lesa jako konvenční linie. Velikostní přírůstky dřeviny až do výšky minimální pro považování za strom mohou být u malých jedinců křovitého habitu dosaženy až desítky let po nastartování klimatického zlepšení, naopak chladnější klima nemusí při existenci starších, stabilních stromů či vegetativních skupin při hranici lesa znamenat její nutný pokles.

Je nesporné, že dlouhodobě pokračující oteplování klimatu se odrazí na vzestupu horní hranice lesa (Holtmeier 2003; Holtmeier, Broll 2005). I když existují horské oblasti, kde byl v poslední době zaznamenán vzestup zóny generativního zmlazování stromů (jako směrodatného ukazatele citlivosti ekotonu vůči změnám prostředí), není vhodné činit závěry o jednoznačném vzestupu horní hranice lesa po tak relativně krátké době. Zároveň je dobré posuzovat ve stejném smyslu oblasti, kde vzestup vysledován nebyl. Důvodem je fakt, že klimatická změna je pouze jedním aspektem změny prostředí, která ovlivňuje pozici hranice lesa (Holtmeier 2003; Holtmeier, Broll 2005). Pro její definitivní vzestup je třeba, aby byly synchronně upraveny i ekologické podmínky oblasti hranice lesa, tedy aby došlo k oslabení významných narušujících faktorů. I relativně malý detail na daném místě (v rámci stability

důležité mikrotopografie například stálá přítomnost mrazového stresu, nebezpečí napadení plísněmi, oteplení způsobí na řadě míst vysušení, ...) totiž může tak vůdčí a globální aspekt, jakým oteplování je, zcela eliminovat (Holtmeier 2003). Navíc nejen zde uvažovaná klimatická hranice lesa je značně odolná. Vysokou stabilitu vykazují i mnohé antropogenní hranice lesa a to jak po skončení činnosti člověka, tak i v přítomnosti klimatických změn (Holtmeier 2003; Holtmeier, Broll 2005).

3. METODY ZPRACOVÁNÍ

3.1. SESTAVENÍ DATOVÉHO ZÁKLADU

A. Základní vlastnosti horní hranice lesa

Pro zhodnocení vztahu horní hranice lesa, včetně jejích různých forem, a základních teplotních ukazatelů bylo nejprve nutné sestavit datový základ. První krok představovala rešerše základní literatury a dále především řady konkrétních příspěvků v periodikách za účelem získání prvotních informací o lokalitách horní hranice lesa. Postupně vznikala databáze zahrnující údaje v podobě lokalizace daného místa, nadmořské výšky horní hranice lesa, názvu dominantního stromového druhu na horní hranici lesa (jednoho případně i více) a formy autorem uvažované horní hranice lesa. Záznam do databáze byl možný jen v případě, že ze souvislostí v daném textu vyplývalo uvažování klimatické hranice lesa, respektive, což platilo z většiny, byl nepřímě potvrzen takový přístup neuváděním ostatních výrazných typů hranice lesa. Přímě termická hranice lesa by byla nejvhodnější pro spojování s teplotními ukazateli, avšak tak precizní vymezení horní hranice lesa se v literatuře až na výjimky (Plesník 1971) nevyskytuje. Podobně bylo snahou dávat důraz na nejvyšší polohy této hranice bráné jako konvenční linie, což plyne již ze samotného názvu práce. V prostorově miniaturních pohořích středoevropské oblasti je mnohem snadnější splnit takový požadavek, nejen díky malé rozloze, ale i relativně většímu množství dostupných informačních zdrojů. V případě velkých světových pohoří Alpami počínaje a středoasijským systémem konče je posuzování nejvyšší pozice regionálně až místně omezené, a to i díky spíše lokálně orientovaným zdrojovým publikacím. Forma hranice lesa je v databázi popisována ze dvou základních pohledů, již uvedených termínů „timberline“ a „treeline“, přičemž autorův přesný popis je z důvodu přehlednosti přiblížen vždy jednomu z těchto pojmů. Například někteří autoři udávají pod pojmem „treeline“, jakoby formálně správněji, hranici vzrostlých stromů, v takovém případě je hranice lesa brána jako „treeline“ dle základního vymezení podle Körnera (1998,1999). Dále je zaveden termín vegetační forma horní hranice lesa, který zjednodušuje přesné druhové složení a nabývá tří základních úrovní – jehličnatý, listnatý a smíšený les.

B. Teplotní údaje

Dalším cílem bylo sesbírání údajů o teplotních charakteristikách při horní hranici lesa se zaměřením na průměrné teploty nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce (a z toho plynoucí roční teplotní amplitudy), vegetačního období (různě definovaného) a průměrnou roční

teplotu. Jen malé množství autorů uvádí se základním popisem hranice lesa zároveň údaje o teplotních poměrech. Po této fázi tak byla databáze zaplněna zcela nedostatečným množstvím dat o teplotních poměrech, která téměř výhradně pochází z měření na nejbližších meteorologických stanicích, nikoliv přímo z ekotonu horní hranice lesa. Proto bylo jasné, že podobně jako tito autoři byli donuceni teploty dopočítat, bude i zde nevyhnutelné podrobně se zabývat dopočítáním teplot pro pozice horní hranice lesa. Jako zdroj výchozích teplotních údajů sloužily především dvě rozsáhlé klimatické databáze dostupné volně na internetu (Mühr 2005; National Climatic Data Center 2001). Kritérium pro uznání stanice za vhodnou k dopočtu nebylo (a ani nemohlo být) objektivně stanoveno. Zhruba byly uvažovány takové stanice, které leží ve vzdálenosti do 50 km od lokality horní hranice lesa (více méně jen v případě evropských pohoří bylo možné tuto vzdálenost minimalizovat). Co se týká nadmořské výšky stanice (respektive rozdílu oproti vztažné lokalitě horní hranice lesa), nebyl, z již načrtnutého důvodu málo detailní sítě stanic, uvažován její konkrétní limit. Byly však vybírány takové stanice, jejichž výšková pozice zapadala do rámce charakteru daného horského regionu. Proto například ani jedna vztažná stanice z databáze neleží přímo na mořském pobřeží s výjimkou případů, kdy se lokalita horní hranice lesa nachází v pohoří bezprostředně přiléhajícím k moři.

Rozhodnutí, zda k přepočtu využít standardního vertikálního teplotního gradientu o hodnotě $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (Jobbágy, Jackson 2000), nebo pracovat s vertikálním teplotním gradientem dané oblasti získaným na základě vztahu základní stanice a ještě jedné stanice doplňující, bylo jednou z hlavních těžkostí při vzniku databáze. Vůbec první uvažovanou možností bylo použití vícero standardních gradientů, každého pro danou oblast. Po průzkumu literatury a speciálním vyhledávání se však došlo jen k několika málo regionálním hodnotám, a proto bylo od původního záměru upuštěno. Proti využití všeobecně platného gradientu o hodnotě $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ hovoří následující fakta:

- takový gradient může zastírat regionální klimatické zvláštnosti konkrétní oblasti,
- existují neoddiskutovatelné odlišnosti ve vertikálně posuzovaných teplotních poměrech v průběhu roku, které tento gradient též zanedbává.

I použití místního gradientu přináší problémy. Při nevelké hustotě teplotních pozorovacích míst (s volným přístupem k naměřeným hodnotám) napříč celým světem, snad vyjma střední a západní Evropy, je přesnost gradientu vypočítaného ze vztahu dvou stanic též snadno napadnutelná. Argumentovat proti lokálnímu gradientu můžeme i v detailním případě, kdy jsou obě stanice nedaleko od sebe a v dosti velkém výškovém rozestupu. Souvislosti vertikálního rozložení teplot vzduchu totiž při různém topografickém umístění stanic mohou

silně zkreslit jeho hodnotu, tedy teplotní ukazatele lokality horní hranici lesa, která mnohdy není umístěna v užším rámci uvedené topografie. Například gradient ze vztahu údolní stanice (s častými inverzními situacemi) a stanice lokalizované ve vyšší poloze na jižním svahu je příliš nízký. Obecně ale zastávám názor, že v případě stanic blízkých si navzájem i vůči lokalitě horní hranice lesa je správnější využití místního gradientu.

Za účelem zachování „průhlednosti“ se přistoupilo k dvojímu dopočítávání teplot, s využitím obou gradientů. Soubor lokalit s teplotními údaji získanými použitím naposledy zmiňovaného gradientu je pochopitelně menší. Výpočet místního a časově omezeného teplotního gradientu totiž spočívá v respektování takové meteorologické stanice (jako protějšku základní vztažné stanice), která leží ve vzdálenosti maximálně asi 50 km od vztažné stanice, nebo lokality horní hranice lesa při vzdálenosti od stanice převyšující asi 50 km. Při rozdílu nadmořských výšek vztažných stanic nižším než přibližně 400-500 m se výpočet neprováděl stejně jako při výrazných vzájemných klimatických odlišnostech patrných z jejich umístění. Co se týká již vlastních dopočtů, při jednoduché extrapolaci (či interpolaci) se pracovalo výhradně s průměrnými měsíčními a ročními teplotami. Jako náhrada průměrné teploty ve vegetačním období, jejíž výpočet není při přesné definici vegetačního období (rozvedeno dále v kapitole 5.) možný ze základních měsíčních hodnot, se zavedly dva podobné ukazatele – průměrná teplota měsíců s průměrnou teplotou nad 5°C (jako obecný ekvivalent průměrné teploty vegetačního období) a méně správná charakteristika průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců.

Rád bych ještě připomenul a upřesnil základní věc, a sice že v případě teplotních ukazatelů se logicky jedná o hodnoty vztažené k teplotě vzduchu. Jak již bylo řečeno v kapitole 2., spíše teplota v kořenové zóně by měla být středem našeho zájmu z důvodu jejího opodstatněného přímého fyziologického vlivu na formování horní hranice lesa (Körner 1998, 1999; Körner, Paulsen 2004). Na druhou stranu ale teplota vzduchu, sice při možných nepřesnostech měřicího zařízení (blíže Körner, Paulsen 2004), je: 1. mnohem snáze dostupný údaj, 2. obecně (průměrně) v jednoznačném vztahu s půdní teplotou. Tím uvažování půdní teploty ztrácí přímý význam. Přesně řečeno, teplota v kořenové zóně tvoří „spojené nádoby“ s teplotou vzduchu (Körner, Paulsen 2004).

C. Konečná podoba datového podkladu

Vzniklá databáze vyžadovala před provedením vlastních analýz ještě dodatečné úpravy. Lokality horní hranice lesa s teplotními údaji pocházejícími z blíže neudaného období byly ponechány na rozdíl od některých československých lokalit, jejichž teplotní

charakteristiky pocházely výhradně z období 1901-1950. Při možnosti volby při dopočítávání teplot byl dáván důraz na období 1961-1990. Podobně se jako vhodnější záznamy konkrétní lokality volily ty, jejichž forma hranice lesa odpovídá termínu „timberline“, ačkoliv při analýze byly záznamy s oběma formami (plus „treeline“) hodnoceny jako jeden celek (v kapitole 4.4. ospravedlněno). Podle takto stanovených pravidel byl zajištěn konečný výskyt právě jednoho záznamu pro jednu lokalitu.

Rozsáhlý datový soubor byl nakonec zásadním způsobem zúžen pouze na lokality s kompletním záznamem hodnot již zmíněných teplotních ukazatelů. To znamená, že zpracováváný soubor (Tab. 2.) sestává pouze z lokalit, jejichž teplotní charakteristiky byly osobně dopočítány za použití zdrojových dat dvou zmíněných klimatických databází. Celou širší teplotních charakteristik nebylo možné, až na jedinou výjimku (Migała 2005), získat ze žádného z ostatních uváděných zdrojů. Tato skutečnost má za následek vysokou koherenci dat s jediným negativním dopadem, a sice poněkud malým rozsahem souboru. Tento zápor je výrazný hlavně u souboru s teplotami získanými pomocí místního gradientu. Poslední úpravou bylo opominutí míst situovaných v tropických pohořích (lokality mezi obratníky umístěné v tropickém pásu při nejhrubším členění světového klimatu (Netopil, et al. 1984)). Hlavním důvodem je charakter prováděných analýz, které uvažují teplotní ukazatele, jež je sice možné pro tropy získat stejně jednoduše jako pro kteroukoli jinou zónu na Zemi, ale jež v tropech naprosto neodpovídají smyslu, který charakteristicky nabývají v oblastech s jasnými známkami sezonality klimatu. Výjimkou je jediný ukazatel, který je porovnatelný mezi těmito dvěma makroregiony, postavený na společném fyziologickém základu – průměrná teplota měsíců s teplotním průměrem nad 5°C. To ale nic nemění na opomíjení tropických hranic lesa, kde jsou navíc zastoupeny zcela odlišné vegetační formy, jejichž zahrnutí by dosti zkreslilo interpretaci vazeb teploty právě na vegetační formu horní hranice lesa.

Tab. 2. Databáze lokalit horní hranice lesa hodnocených ve vlastní práci (včetně tropů)

KOD	GRAD*	POHOŘÍ	LOKALITA	NADM. VÝŠKA (m n.m.)	VEGETAČNÍ FORMA HHL	
					obecná**	detailní***
1	s	Laponsko, střední jih	Laakakeri	440	S	L,J
2	s	Skandy, pobřeží S Norska	Tromsø	400	L	L
3	s	Southern Uplands, východ	Cheviot Hills	500	J	J
4	m	V Alpy	Tuxské A., Patscherkofel	2070	J	J
4	s	V Alpy	Tuxské A., Patscherkofel	2070	J	J
5	m	Z Alpy	Bernské A., Titlis, Engelberg	1900	J	J
5	s	Z Alpy	Bernské A., Titlis, Engelberg	1900	J	J
6	m	V Alpy	Dolomity, Croda da Lago	2100	J	oJ,J,J
6	s	V Alpy	Dolomity, Croda da Lago	2100	J	oJ,J,J
7	m	Z Alpy	Masiv Mt. Blanc, Val d'Arpette	2200	J	J,oJ
7	s	Z Alpy	Masiv Mt. Blanc, Val d'Arpette	2200	J	J,oJ
8	m	Z Alpy	Penninské A., Mt. Noble	2250	J	J
8	s	Z Alpy	Penninské A., Mt. Noble	2250	J	J
9	m	Z Alpy	Raetské A., Davos	2100	J	J
9	s	Z Alpy	Raetské A., Davos	2100	J	J
10	m	Z Alpy	Raetské A., Piz Tschierva	2200	J	J,oJ
10	s	Z Alpy	Raetské A., Piz Tschierva	2200	J	J,oJ
11	m	Z Alpy	Bernské/Tessinské A., Furka Pass	2240	J	J,oJ
11	s	Z Alpy	Bernské/Tessinské A., Furka Pass	2240	J	J,oJ
12	s	Z Alpy	Glaruské A., Glarus	1900	J	J,J
13	m	Jura	Mont Tendre	1600	J	J
13	s	Jura	Mont Tendre	1600	J	J
14	m	S Apeniny	Ligurský Apenin, Abetone	1700	J	J
14	s	S Apeniny	Ligurský Apenin, Abetone	1700	J	J
15	m	Harz	Brocken	1090	S	J,L
15	s	Harz	Brocken	1090	S	J,L
16	m	Z Krkonoše	Szrenica	1300	J	J
16	s	Z Krkonoše	Szrenica	1300	J	J
17	s	Králický Sněžník	Králický Sněžník	1340	J	J
18	m	Hrubý Jeseník	Praděd	1405	J	J
18	s	Hrubý Jeseník	Praděd	1405	J	J
19	m	V Krkonoše	Sněžka	1367	J	J
19	s	V Krkonoše	Sněžka	1367	J	J
20	m	Vysoké Tatry, sever	Žabí hrebeň	1600	J	J,J
20	s	Vysoké Tatry, sever	Žabí hrebeň	1600	J	J,J
21	m	Vysoké Tatry, jih	Patria	1715	J	J,J
21	s	Vysoké Tatry, jih	Patria	1715	J	J,J
22	m	Východní Karpaty	Ceahlau	1700	J	J,J,oJ
22	s	Východní Karpaty	Ceahlau	1700	J	J,J,oJ
23	m	Východní Karpaty	Rarau	1600	J	J,J,oJ
23	s	Východní Karpaty	Rarau	1600	J	J,J,oJ
24	s	Dinárský systém	Pohoří Jakupica	1840	L	L
25	m	Dinárský systém	Bjelasnica	1800	J	J,J
25	s	Dinárské systém	Bjelasnica	1800	J	J,J
26	m	Riisko-rodopský systém	Rila	2000	J	J
26	s	Riisko-rodopský systém	Rila	2000	J	J
27	m	Systém Balkánu	Stara Planina	1850	J	J
27	s	Systém Balkánu	Stara Planina	1850	J	J
28	s	Východní Anatólie	jezero Van	2700	J	J,J
29	s	JV Zagros	Kerman	3200	L	L
30	s	Východní Sibiř	Ojmjakon	1400	J	oJ
31	s	Centrální Sibiř, Jablonový Chrebet	Tungir	1325	J	oJ
32	s	Changbai Shan	Mt. Changbaishan	2100	S	J,L
33	m	Tien Shan	ř. Naryn JZ	2920	J	J
33	s	Tien Shan	ř. Naryn JZ	2920	J	J
34	m	Z Hindúkuš	Kuh-i-Baba	3000	S	L,L,J
34	s	Z Hindúkuš	Kuh-i-Baba	3000	S	L,L,J

KÓD	DOMINANTNÍ DRUHY	OBDOBÍ MĚŘENÍ TEPLoty	VZTAŽNÁ STANICE			
			základní	m n.m.	doplňující	m n.m.
1	<i>Betula pubescens, Pinus sylvestris</i>	1961-1990	Sodankylä	179		
2	<i>Betula sp.</i>	1961-1990	Tromsø	10		
3	<i>Pinus sylvestris</i>	1961-1990	Eskdalemuir	242		
4	<i>Picea abies</i>	1981-1990	Patscherkofel	2247	Innsbruck-Flughafen	578
4	<i>Picea abies</i>	1981-1990	Patscherkofel	2247		
5	<i>Picea abies</i>	1961-1990	Engelberg	1035	Altdorf	449
5	<i>Picea abies</i>	1961-1990	Engelberg	1035		
6	<i>Larix decidua, Pinus cembra, Picea abies</i>	1961-1990	Rolle Pass	2006	Bolzano	250
6	<i>Larix decidua, Pinus cembra, Picea abies</i>	1961-1990	Rolle Pass	2006		
7	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1961-1990	Gr. St. Bernhard	2472	Sion	482
7	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1961-1990	Gr. St. Bernhard	2472		
8	<i>Pinus cembra</i>	1961-1990	Sion	482	Montana	1508
8	<i>Pinus cembra</i>	1961-1990	Sion	482		
9	<i>Picea abies</i>	1961-1990	Davos-Dorf	1590	Weissfluhjoch	2690
9	<i>Picea abies</i>	1961-1990	Davos-Dorf	1590		
10	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	St. Moritz	1833	Corvatsch	3303
10	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	St. Moritz	1833		
11	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1961-1990	Gütsch ob Andermatt	2287	Disentis	1190
11	<i>Pinus cembra, Larix decidua</i>	1961-1990	Gütsch ob Andermatt	2287		
12	<i>Pinus cembra, picea abies</i>	1961-1990	Glarus	515		
13	<i>Picea abies</i>	1961-1990	La Dole	1670	Pully	461
13	<i>Picea abies</i>	1961-1990	La Dole	1670		
14	<i>Abies alba</i>	1961-1990	Monte Cimone	2173	Pisa	6
14	<i>Abies alba</i>	1961-1990	Monte Cimone	2173		
15	<i>Picea sp., Sorbus sp.</i>	1961-1990	Brocken	1142	Bad Harzburg	269
15	<i>Picea sp., Sorbus sp.</i>	1961-1990	Brocken	1142		
16	<i>Picea abies</i>	1981-1990 (+61-90)	Szrenica	1332	Harrachov	670
16	<i>Picea abies</i>	1981-1990 (+61-90)	Szrenica	1332		
17	<i>Picea abies</i>	1961-1990	Kłodzko	356		
18	<i>Picea abies</i>	1981-1990 (01-50)	Pradéd	1490	Železná, Vidly	762
18	<i>Picea abies</i>	1981-1990	Pradéd	1490		
19	<i>Picea abies</i>	1981-1990 (01-50)	Sněžka	1602	Dolní Malá Úpa	960
19	<i>Picea abies</i>	1981-1990	Sněžka	1602		
20	<i>Picea abies, Pinus cembra</i>	1981-1990	Kasprowy Wierch	1991	Zakopane	857
20	<i>Picea abies, Pinus cembra</i>	1981-1990	Kasprowy Wierch	1991		
21	<i>Picea abies, Pinus cembra</i>	1981-1990 (01-50)	Lomnický štít	2633	Skalnaté p.	1778
21	<i>Picea abies, Pinus cembra</i>	1981-1990	Lomnický štít	2633		
22	<i>Picea abies, Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	Ceahlau	1897	Bistrita	366
22	<i>Picea abies, Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	Ceahlau	1897		
23	<i>Picea abies, Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	Rarau	1541	Bistrita	366
23	<i>Picea abies, Pinus cembra, Larix decidua</i>	1981-1990	Rarau	1541		
24	<i>Fagus moesiaca</i>	1961-1990	Skopje	305		
25	<i>Pinus heldreichii, Pinus peuce</i>	1981-1990(+61-90)	Bjelasnica	2067	Sarajevo	630
25	<i>Pinus heldreichii, Pinus peuce</i>	1981-1990(+61-90)	Bjelasnica	2067		
26	<i>Picea sp.</i>	1981-1990	Musala	2927	Sofia	586
26	<i>Picea sp.</i>	1981-1990	Musala	2927		
27	<i>Picea sp.</i>	1981-1990	Botev Vrh	2389	Sofia	586
27	<i>Picea sp.</i>	1981-1990	Botev Vrh	2389		
28	<i>Pinus sp., Juniperus sp.</i>	1961-1990	Van	1661		
29	<i>Quercus sp.</i>	1961-1990	Kerman	1749		
30	<i>Larix dahurica</i>	1961-1990	Ojmjakon	726		
31	<i>Larix gmelinii, Larix sibirica</i>	1961-1990	Mogoca	625		
32	<i>Abies sp., Betula ermanii</i>	1961-1990	Hyesan	714		
33	<i>Picea schrenkiana</i>	1961-1990	Naryn	2041	Andizan	477
33	<i>Picea schrenkiana</i>	1961-1990	Naryn	2041		
34	<i>Salix sp., Populus sp., Juniperus sp.</i>	1961-1990	Bamiyan	2550	Kábul	1791
34	<i>Salix sp., Populus sp., Juniperus sp.</i>	1961-1990	Bamiyan	2550		

KÓD	PRŮMĚRNÁ TEPLOTA / °C							FORMA HHL		
	4 nejtepl. měsíců	m. s prům. nad 5°C	nejtepl. m.		nejchlad. m.		roční			
			m*	m*	m*	m*	amplituda			
1	9,1	10,7	12,5		-16,7	-2,7	29,2	timberline		
2	7,3	8,3	9,4		-6,3	0,5	15,7	timberline		
3	10,6	9,3	11,7		0,3	5,6	11,4	timberline		
4	8,1	8,1	9,9	0,58	-6,5	0,38	1,3	0,49	16,4	treeline
4	8,2	8,2	10,0		-8,1		1,5		16,1	treeline
5	7,8	7,8	9,4	0,53	-7,6	0,60	0,6	0,55	17,0	treeline
5	7,2	7,2	8,8		-8,0		0,2		16,8	treeline
6	8,8	8,8	10,0	0,65	-5,2	0,47	2,0	0,52	15,2	timberline
6	8,8	8,8	10,0		-5,4		1,9		15,4	timberline
7	6,8	6,8	8,3	0,57	-7,5	0,47	0,6	0,46	15,8	timberline
7	6,9	6,9	8,4		-7,2		0,9		15,6	timberline
8	8,5	8,5	9,8	0,47	-5,7	0,35	1,8	0,38	15,5	timberline
8	5,9	6,8	7,5		-12,2		-2,1		19,7	timberline
9	6,6	6,6	7,9	0,59	-7,8	0,43	-0,1	0,53	15,7	timberline
9	6,6	7,1	7,8		-8,9		-0,5		16,7	timberline
10	7,8	7,8	9,7	0,61	-9,4	0,29	0,1	0,46	19,1	timberline
10	7,8	7,8	9,7		-10,9		-0,4		20,6	timberline
11	6,1	7,4	7,5	0,57	-7,4	0,47	-0,4	0,56	14,9	treeline
11	6,1	7,4	7,5		-7,3		-0,4		14,8	treeline
12	6,4	7,2	8,1		-9,7		-0,8		17,8	timberline
13	9,8	8,9	11,0	0,65	-4,0	0,50	3,2	0,55	15,0	timberline
13	9,8	8,9	10,9		-3,9		3,2		14,8	timberline
14	11,6	9,9	13,2	0,57	-1,9	0,57	4,8	0,56	15,1	timberline
14	11,7	10,0	13,3		-1,8		5,0		15,1	timberline
15	9,7	8,3	10,9	0,69	-3,9	0,52	3,2	0,64	14,8	timberline
15	9,6	8,3	10,8		-3,9		3,2		14,7	timberline
16	9,2	8,7	10,7	0,56	-6,0	0,48	2,3	0,44	16,7	timberline
16	9,2	8,7	10,7		-6,0		2,4		16,7	timberline
17	8,9	8,3	10,3		-8,6		1,3		18,9	timberline
18	9,3	8,7	10,8	0,71	-6,7	0,48	2,0	0,55	17,5	timberline
18	9,3	8,7	10,7		-6,6		2,0		17,3	timberline
19	9,1	8,5	10,5	0,76	-6,1	0,44	2,2	0,58	16,6	timberline
19	8,8	8,2	10,3		-5,7		2,2		16,0	timberline
20	8,6	8,0	10,0	0,61	-6,8	0,41	1,6	0,51	16,8	timberline
20	8,7	8,0	10,1		-6,1		1,9		16,2	timberline
21	9,1	8,5	10,6	0,70	-6,2	0,51	2,2	0,61	16,8	timberline
21	8,6	8,0	10,1		-5,8		2,1		15,9	timberline
22	9,9	9,3	11,4	0,49	-7,5	0,34	2,1	0,44	18,9	timberline
22	10,1	9,4	11,6		-7,0		2,4		18,6	timberline
23	10,7	10,1	12,1	0,47	-6,8	0,31	2,9	0,41	18,9	timberline
23	10,6	10,0	12,0		-7,0		2,7		19,0	timberline
24	12,5	11,6	14,2		-8,5		3,4		22,7	treeline
25	10,5	9,6	11,9	0,56	-5,1	0,56	3,1	0,56	17,0	timberline
25	10,5	8,9	12,0		-5,0		3,2		17,0	timberline
26	10,0	9,2	11,2	0,63	-6,2	0,48	2,4	0,54	17,4	timberline
26	9,8	8,2	11,0		-5,0		3,0		16,0	timberline
27	10,3	9,5	11,5	0,68	-5,8	0,51	2,9	0,57	17,3	timberline
27	9,9	9,0	11,1		-5,4		3,0		16,5	timberline
28	13,2	11,8	15,7		-10,7		2,4		28,4	timberline
29	15,9	12,8	18,3		-3,7		7,2		22,0	timberline
30	5,3	7,8	9,8		-50,5		-20,3		60,3	timberline
31	8,8	10,5	12,4		-33,0		-9,3		45,4	timberline
32	9,1	10,7	12,4		-27,6		-5,6		40,0	timberline
33	10,7	9,7	13,6	0,45	-23,6	0,89	-2,2	0,65	37,2	treeline
33	10,4	9,5	12,3		-21,1		-1,8		33,4	treeline
34	12,5	10,8	14,5	0,87	-8,8	0,54	3,8	0,69	23,3	treeline
34	13,4	10,0	15,7		-9,1		4,2		24,8	treeline

KÓD	ZÁKLADNÍ ZDROJ	ZDROJ TEPLOTNÍCH ÚDAJŮ
1	Autio 1995 (cit. in Migala 2005)	Mühr 2005
2	Hermes 1955	Mühr 2005
3	Kelletat 1972 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	National Climatic Data Center 2001
4	Körner, Paulsen 2004	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
4	Körner, Paulsen 2004	Migala 2005
5	Körner, Paulsen 2004	Mühr 2005
5	Körner, Paulsen 2004	Mühr 2005
6	Carrer, Urbinati 2001, Treml (ústní sdělení)	Mühr 2005
6	Carrer, Urbinati 2001, Treml (ústní sdělení)	Mühr 2005
7	Camelli, et al. 2004	Mühr 2005
7	Camelli, et al. 2004	Mühr 2005
8	Hoch, et al. 2002	Mühr 2005
8	Hoch, et al. 2002	Mühr 2005
9	Karrasch 1973 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
9	Karrasch 1973 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
10	Richter 1996, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
10	Richter 1996, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
11	Körner, Paulsen, Pelaez-Riedl 2003, Treml (ústní sdělení)	Mühr 2005
11	Körner, Paulsen, Pelaez-Riedl 2003, Treml (ústní sdělení)	Mühr 2005
12	Schimper 1903 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
13	Hermes 1955	Mühr 2005
13	Hermes 1955	Mühr 2005
14	Hermes 1955	Mühr 2005
14	Hermes 1955	Mühr 2005
15	Hermes 1955	Mühr 2005
15	Hermes 1955	Mühr 2005
16	Treml (ústní sdělení)	Migala 2005, Květoň 2001
16	Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
17	Treml 2004a	Mühr 2005
18	Treml, Banaš 2000 (cit. in Treml 2004a)	Migala 2005, Hydrometeorologický ústav 1961
18	Treml, Banaš 2000 (cit. in Treml 2004a)	Migala 2005
19	Treml 2004b	Migala 2005, Hydrometeorologický ústav 1961
19	Treml 2004b	Migala 2005
20	Plesník 1971	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
20	Plesník 1971	Migala 2005
21	Plesník 1971	Migala 2005, Hydrometeorologický ústav 1961
21	Plesník 1971	Migala 2005
22	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
22	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
23	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
23	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
24	Körner, Paulsen, Pelaez-Riedl 2003	Mühr 2005
25	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005, Mühr 2005
25	Hermes 1955, Treml (ústní sdělení)	Migala 2005
26	Hermes 1955	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
26	Hermes 1955	Migala 2005
27	Hermes 1955	Migala 2005, National Climatic Data Center 2001
27	Hermes 1955	Migala 2005
28	Hermes 1955	Mühr 2005
29	Hermes 1955	Mühr 2005
30	Weinert 1966 (cit. in Plesník 1991), Holtmeier 2003	Mühr 2005
31	Malyshev 1993 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
32	Liu, et al. 1985 (cit. in Ohsawa 1990)	Mühr 2005
33	Körner, Paulsen 2004	Mühr 2005
33	Körner, Paulsen 2004	Mühr 2005
34	Hermes 1955	Mühr 2005
34	Hermes 1955	Mühr 2005

KÓD	GRAD.*	POHOŘÍ	LOKALITA	NADM. VÝŠKA (m n.m.)	VEGETAČNÍ FORMA HHL	
					obecná**	detailní***
35	s	JV Hindúkuš	Pargham Gol	3850	L	L
36	s	Tibetská vysočina, V Tanggula Shan	Qamdo	4500	J	J
37	s	Transhimálaj, Nyainqentanglha Shan	Lhasa	4600	J	J
38	m	Honšú, Hida Sanmyaku	Mt. Yakushidake	2600	S	J,L
38	s	Honšú, Hida Sanmyaku	Mt. Yakushidake	2600	S	J,L
39	m	Honšú	Mt. Fuji	2800	S	J,L
39	s	Honšú	Mt. Fuji	2800	S	J,L
40	m	Honšú, Hida Sanmyaku	Mt. Norikura	2400	L	L
40	s	Honšú, Hida Sanmyaku	Mt. Norikura	2400	L	L
41	m	Honšú, Nikko	Mt. Hiuchidake	2200	S	J,L
41	s	Honšú, Nikko	Mt. Hiuchidake	2200	S	J,L
42	s	Hokkaido, Ishikari Sanchi	Mt. Asahidake (Taisetsu-zan)	1390	J	J
43	m	Apalačské pohorí, White Mts.	Mt. Washington	1525	J	J
43	s	Apalačské pohorí, White Mts.	Mt. Washington	1525	J	J
44	m	Apalačský systém, centrální Labrador	Menihok	590	J	J,J
44	s	Apalačský systém, centrální Labrador	Menihok	590	J	J,J
45	s	Sierra Nevada	White Mts.	3600	J	J
46	m	Kaskádové pohorí	Mt. Shasta	2600	J	J
46	s	Kaskádové pohorí	Mt. Shasta	2600	J	J
47	s	Skalnaté hory	Front Range, Niwot Ridge	3408	J	J,J,J
48	s	Skalnaté hory	Wind River Ra., Temple Lake Valley	3130	J	J
49	s	Skalnaté hory	Alberta, JV Banff NP	2250	J	oJ,J
50	m	Skalnaté hory	Jasper NP	2300	J	J
50	s	Skalnaté hory	Jasper NP	2300	J	J
51	s	Franklinovo pohorí	Discovery Ridge	850	J	J,oJ
52	s	Aljaška, White Mts.	Nome Creek	884	J	J
53	s	Aljaška, St. Elias	okolí Yakutat	450	L	L
54	s	Etiopská vysočina	Pohorí Bale	4000	J	J
55	m	Dračí hory	Mont-aux-Sources	2700	S	nL,nL,J
55	s	Dračí hory	Mont-aux-Sources	2700	S	nL,nL,J
56	s	Mexické Kordillery	Iztaccihuatl	3970	J	J
57	m	Venezuelské Andy	Cordillera de Mérida, Mérida	3000	L	nL,L
57	s	Venezuelské Andy	Cordillera de Mérida, Mérida	3000	L	nL,L
58	s	Ekvádorské Andy	Papallacta Pass	4000	L	nL
59	m	Kolumbijské Andy	masiv Tolima, Nevado Santa Isabel	3800	L	L
59	s	Kolumbijské Andy	masiv Tolima, Nevado Santa Isabel	3800	L	L
60	s	Kolumbijské Andy	Nevado de Cumbal	3800	L	nL,nL,nL
61	s	Ohňová země	Ushuaia	600	L	L
62	s	Patagonské Andy	Lago Argentino	850	L	L
63	s	Patagonské Andy	Lago La Plata	1300	L	L
64	s	Patagonské Andy	Bariloche	1550	L	L
65	s	Tasmánie	Mt. Wellington	1200	L	nL
66	s	Havaj	Mauna Kea	3000	L	L

KÓD	DOMINANTNÍ DRUHY	OBDOBÍ MĚŘENÍ TEPLoty	VZTAŽNÁ STANICE			
			základní	m n.m.	doplňující	m n.m.
35	<i>Betula utilis</i>	1961-1990	Chitral	1499		
36	<i>Picea balfouriana</i>	1961-1990	Qamdo	3306		
37	<i>Juniperus tibetica</i>	1961-1990	Lhasa	3650		
38	<i>Abies mariesii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Takayama	560	Toyama	9
38	<i>Abies mariesii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Takayama	560		
39	<i>Abies veitchii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Kawaguchiko	860	Yokohama	39
39	<i>Abies veitchii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Kawaguchiko	860		
40	<i>Betula ermanii</i>	1961-1990	Takayama	560	Toyama	9
40	<i>Betula ermanii</i>	1961-1990	Takayama	560		
41	<i>Abies mariesii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Nikko	1292	Utsunomiya	119
41	<i>Abies mariesii, Betula ermanii</i>	1961-1990	Nikko	1292		
42	<i>Picea glehnii</i>	1961-1990	Asahikawa	112		
43	<i>Abies balsamea</i>	1961-1990	Mt. Washington	1909	Saint Johnsbury	213
43	<i>Abies balsamea</i>	1961-1990	Mt. Washington	1909		
44	<i>Picea mariana, Picea glauca</i>	1961-1990	Schefferville	522	Goose	46
44	<i>Picea mariana, Picea glauca</i>	1961-1990	Schefferville	522		
45	<i>Pinus balfouriana</i>	1961-1990	Bishop	1253		
46	<i>Abies sp.</i>	1961-1990	Mount Shasta	1093	Redding	153
46	<i>Abies sp.</i>	1961-1990	Mount Shasta	1093		
47	<i>Picea engelmannii, Abies lasiocarpa, Picea abies</i>	1961-1990	Denver	1625		
48	<i>Pinus albicaulis</i>	1961-1990	Lander	1637		
49	<i>Larix lyallii, Abies lasiocarpa</i>	1961-1990	Banff	1397		
50	<i>Picea sp.</i>	1961-1990	Jasper	1061	Blue River	679
50	<i>Picea sp.</i>	1961-1990	Jasper	1061		
51	<i>Picea glauca, Larix laricina</i>	1961-1990	Norman Wells	74		
52	<i>Picea glauca</i>	1961-1990	Fairbanks	138		
53	<i>Betula sp.</i>	1961-1990	Yakutat	9		
54	<i>Erica arborea</i>	1961-1990	Goba	2700		
55	<i>Buddleja salvifolia, Cliffortia linearifolia, Erica arborea</i>	1961-1990	Mokhotlong	2195	Butha-Buthe	1770
55	<i>Buddleja salvifolia, Cliffortia linearifolia, Erica arborea</i>	1961-1990	Mokhotlong	2195		
56	<i>Pinus hartwegii</i>	1961-1990	Puebla	2166		
57	<i>Čeledi Lauraceae, Myrtaceae</i>	1961-1990	Mérida	1479	San Antonio del Tachira	377
57	<i>Čeledi Lauraceae, Myrtaceae</i>	1961-1990	Mérida	1479		
58	<i>Gynoxis acostae</i>	1961-1990	Quito Inamhi	2789		
59	<i>Quercus granatensis</i>	1961-1990	Chinchina	1310	Bogota/Eldorado	2547
59	<i>Quercus granatensis</i>	1961-1990	Chinchina	1310		
60	<i>Gynoxis sp., Hesperomeles sp., Miconia sp.</i>	1961-1990	Ipiales/San Luis A	2961		
61	<i>Nothofagus pumilio</i>	1961-1990	Ushuaia	14		
62	<i>Nothofagus pumilio</i>	1961-1990	Lago Argentino	223		
63	<i>Nothofagus pumilio</i>	1961-1990	Balmaceda	520		
64	<i>Nothofagus pumilio</i>	1961-1990	Bariloche	845		
65	<i>Eucalyptus coccifera</i>	1961-1990	Hobart	27		
66	<i>Sophora chrysophylla</i>	1961-1990	Hilo	9		

KÓD	PRŮMĚRNÁ TEPLOTA / °C							FORMA HHL
	4 nejtepl. měsíců	m. s prům. nad 5°C	nejtepl. m.	nejchlad. m.	roční	roční	amplituda	
			m*	m*	m*	m*		
35	11,6	10,5	13,9	-10,0	1,8	23,9	treeline	
36	7,7	7,7	9,0	-9,8	0,3	18,8	timberline	
37	8,9	8,4	9,9	-7,9	1,9	17,8	timberline	
38	12,6	11,4	15,2	-17,7	-1,1	32,9	timberline	
38	8,7	8,7	11,2	-14,4	-1,8	25,6	timberline	
39	8,9	8,9	12,1	-16,1	-2,3	28,2	timberline	
39	7,6	7,6	10,1	-12,8	-1,6	22,9	timberline	
40	13,4	12,2	15,9	-16,2	0,0	32,1	timberline	
40	9,9	9,9	12,4	-13,2	-0,6	25,6	timberline	
41	10,9	10,9	13,3	-9,5	1,6	22,8	timberline	
41	10,5	10,5	13,1	-9,8	1,2	22,9	timberline	
42	10,6	10,6	13,2	-16,1	-1,3	29,3	timberline	
43	9,7	9,7	11,7	-14,3	-0,9	26,0	treeline	
43	9,4	9,4	11,4	-13,6	-0,8	25,0	treeline	
44	8,8	10,1	12,0	-24,3	-5,7	36,3	timberline	
44	8,9	8,9	12,0	-23,8	-5,4	35,8	timberline	
45	8,3	8,3	10,7	-10,9	-0,8	21,6	treeline	
46	4,9	6,9	8,9	-8,4	-1,5	15,3	timberline	
46	8,5	8,5	10,6	-7,6	0,7	18,2	timberline	
47	9,6	9,6	12,3	-12,0	-0,6	24,3	timberline	
48	9,6	9,6	12,7	-15,9	-2,0	28,6	treeline	
49	7,5	8,6	9,7	-15,1	-2,2	24,8	timberline	
50	9,2	8,4	10,6	-15,5	-0,8	26,1	timberline	
50	5,6	6,7	7,7	-18,1	-4,3	25,8	timberline	
51	8,1	10,3	12,0	-32,1	-10,7	44,1	treeline	
52	9,1	10,7	12,1	-27,8	-7,4	39,9	treeline	
53	7,9	7,9	9,3	-8,4	1,3	15,7	timberline	
54	6,8	6,1	6,8	3,9	5,6	2,9	treeline	
55	13,1	10,0	15,3	1,8	8,7	13,5	timberline	
55	13,2	10,1	15,0	2,0	8,8	13,0	timberline	
56	6,6	6,2	7,4	1,6	4,7	5,8	treeline	
57	10,3	9,5	10,7	8,8	9,5	1,9	timberline	
57	10,3	9,9	10,5	9,0	9,9	1,5	timberline	
58	7,5	7,1	7,7	6,7	7,1	1,0	treeline	
59	6,3	6,0	6,5	4,4	5,5	2,1	timberline	
59	6,5	6,1	6,7	5,3	6,1	1,4	timberline	
60	7,4	7,0	7,5	6,0	7,0	1,5	timberline	
61	5,3	5,7	5,9	-2,0	2,2	7,9	timberline	
62	8,5	8,2	9,3	-3,1	3,7	12,4	timberline	
63	6,0	6,6	6,9	-4,4	1,6	11,3	timberline	
64	8,9	8,4	10,1	-2,1	3,8	12,2	timberline	
65	9,3	8,0	10,0	1,0	5,7	9,0	treeline	
66	6,5	6,1	6,7	4,2	5,4	2,5	treeline	

KÓD	ZÁKLADNÍ ZDROJ	ZDROJ TEPLOTNÍCH ÚDAJŮ
35	Schickhoff 2005	Mühr 2005
36	Schickhoff 2005	Mühr 2005
37	Schickhoff 2005	Mühr 2005
38	Takahashi 1944 (cit. in Ohsawa 1990)	Mühr 2005
38	Takahashi 1944 (cit. in Ohsawa 1990)	Mühr 2005
39	Ohsawa 1984 (cit. in Ohsawa 1990)	Mühr 2005
39	Ohsawa 1984 (cit. in Ohsawa 1990)	Mühr 2005
40	Takahashi, et al. 2005	Mühr 2005
40	Takahashi, et al. 2005	Mühr 2005
41	Ohsawa 1990 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
41	Ohsawa 1990 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
42	Davi, et al. 2002	Mühr 2005
43	Spear 1989	Mühr 2005
43	Spear 1989	Mühr 2005
44	Cogbill, White 1991 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
44	Cogbill, White 1991 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
45	Körner 1998, Tremi (ústní sdělení)	Mühr 2005
46	Hermes 1955	Mühr 2005, National Climatic Data Center 2001
46	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
47	Komarkova, Webber 1978 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000), Holtmeier 2003	Mühr 2005
48	Fall, et al. 1995	Mühr 2005
49	Richards, Bliss 1986 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
50	Griggs 1938 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
50	Griggs 1938 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
51	Szeicz, MacDonald 1995	Mühr 2005
52	Lloyd, Fastie 2002	Mühr 2005
53	Hermes 1955	Mühr 2005
54	Körner 1998, Troll 1973	National Climatic Data Center 2001
55	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
55	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
56	Körner, Paulsen 2004	National Climatic Data Center 2001
57	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
57	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
58	Körner, Paulsen 2004, Sklenář, Vojta (ústní sdělení)	National Climatic Data Center 2001
59	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
59	Hermes 1955	National Climatic Data Center 2001
60	Hermes 1955, Holtmeier 2003, Sklenář, Vojta (ústní sdělení)	National Climatic Data Center 2001
61	Tuhkanen 1990 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	Mühr 2005
62	Dimitri 1972 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	National Climatic Data Center 2001
63	Jobbágy, Jackson 2000	Mühr 2005
64	Dimitri 1972 (cit. in Jobbágy, Jackson 2000)	National Climatic Data Center 2001
65	Costin 1972 (cit. in Kirkpatrick 1982)	Mühr 2005
66	Körner 1998, Holtmeier 2003	Mühr 2005

Poznámky:

- *
- m...užit místní gradient
- s...užit standardní gradient
- **
- L...listnatý les
- J...jehličnatý les
- S...smíšený les
- ***
- L...opadavý listnáč
- nL...stálezelený listnáč
- J...neopadavý jehličnan
- oJ...opadavý jehličnan

3.2. STATISTICKÝ PŘÍSTUP K VYHODNOCENÍ VZTAHU TEPLOTNÍCH UKAZATELŮ HORNÍ HRANICE LESA A JEJÍ PODOBY A UMÍSTĚNÍ

A. Hledání nejlepšího teplotního ukazatele horní hranice lesa

Teplotní charakteristika, která nejlépe vystihuje pozici horní hranice lesa, je takovým ukazatelem, jenž se v oblasti zkoumané přírodní hranice projevuje nejmenší vnitřní variabilitou. Proto zde stačilo pro uvažované ukazatele vypočítat základní míry variability a jejich interpretaci názorně převést do krabicového grafu. Bylo užito následujících statistických charakteristik – minima, maxima, aritmetického průměru a měr rozptýlenosti v podobě základního rozptylu a základní směrodatné odchylky. Výpočet byl proveden v programu MS Excel. Krabicový graf, sestrojený pomocí programu Statistica, využívá ke znázornění rozptýlenosti také ukazatele střední chyby.

Pro doplnění uvádím v podkapitole 4.1. zhodnocení závislosti nejužitečnějších teplotních ukazatelů horní hranice lesa na zeměpisné šířce. Tento vztah je popsán jednoduchým bodovým grafem.

B. Posouzení vlivu vegetační formy horní hranice lesa na teplotní ukazatele, analýza variance

Pro provedení analýzy statistické závislosti mezi závislou kvantitativní proměnnou, v tomto případě konkrétním teplotním ukazatelem v lokalitě horní hranice lesa, a nezávislou kvalitativní proměnnou, zde vegetační formou hranice lesa zastoupenou třemi úrovněmi (kategoriemi), je nejvhodnější využít metodu analýzy variance (rozptylu). Zde se jedná o její nejjednodušší případ, analýzu rozptylu jednoduchého třídění („one-way ANOVA“). Přesně řečeno, tento přístup analyzuje difference průměrů sledované závisle proměnné mezi skupinami, které jsou určeny právě jednou kategoriální nezávisle proměnnou (faktorem; Hendl 2004). Je to jakési přesné číselné ohodnocení teplotních vztahů v rámci skupin vegetačních forem hranice lesa, které jsou již na první pohled patrné v předkládaných jednoduchých krabicových grafech, kde figurují základní statistické veličiny, lehce odlišné od předchozí statistiky (medián, dolní a horní kvartil).

Procedury analýzy rozptylu předpokládají, že závisle proměnná má v jednotlivých skupinách normální rozdělení se stejným (nebo velmi podobným) rozptylem. Tento předpoklad se zde jako u přírodního jevu považuje za splněný a dále se k němu již nevyjadřují. Podle Hendla (2004) je ideální stejný rozsah výběru měřených jednotek pro

každou skupinu, což při mých výpočtech není splněno. Nicméně na výsledky analýzy by to nemělo mít významný vliv, s výjimkou datového souboru lokalit s údaji dopočítanými použitím místního gradientu. Zde byl tento nedostatek (pouze 1 lokalita s listnatým lesem) důvodem pro neuskutečnění analýzy rozptylu.

Jako základní statistika v analýze rozptylu figuruje F-testovací statistika rozdílnosti skupinových průměrů, pomocí níž se testuje hypotéza, zda se průměry ve skupinách liší více než na základě působení náhodného kolísání. Obecně je popsána jako podíl váženého rozptylu mezi průměry skupin a rozptylu mezi jedinci (lokalitami) ve stejné skupině (Hendl 2004). Logicky tedy při platnosti hypotézy, že se skupiny mezi sebou (svými průměry) „významně“ neliší, bude číselný i jmenovatel nabývat podobných hodnot a hodnota F se bude pohybovat okolo čísla jedna, nebo bude číselný výrazně nižší a výsledná hodnota bude blízká nule (Hendl 2004). Aby bylo možné takovou hypotézu zamítnout, musí být hodnota F „významně“ větší než 1. Přesně řečeno, významnost je v takovém případě zajištěna tím, že hodnota F překračuje určitou kritickou mez. Hodnotu kritické meze je třeba odečíst z tabulek na základě znalosti dvou stupňů volnosti – stupně volnosti v_1 (=počet skupin-1) a v_2 (=počet všech pozorování-počet skupin).

Zde prováděná analýza variance byla uskutečněna statistickými výpočty v programu Statistica. Hlavními prvky počítačového výstupu pro každou závisle proměnnou, teplotní ukazatel, byly vždy dvě číselné hodnoty. První představovala výše vysvětlený výsledek F-testu ($F(v_1, v_2)$). K rozhodnutí o stavu závislosti jsme ale přímo využili druhou veličinu p . Ta je právě v počítačovém výstupu jakoby náhražkou porovnání hodnoty F a příslušné kritické meze a vyjadřuje dosaženou hladinu významnosti, přesně tedy pravděpodobnost toho, že vyjde zjištěná (nebo ještě významnější) hodnota F za předpokladu, že platí hypotéza o podobnosti skupin (Hendl 2004). Při hladině spolehlivosti nastavené na standardních 95% to konečně znamená, že v případě hodnoty p menší než 0,05 ($\rightarrow 5\%$) je možné průkazně hovořit o rozdílných teplotních poměrech na různě vegetačně budovaných horních hranicích lesa (při respektování výše uvedených nedostatků datového souboru). Statistické tabulky pro zjištění kritické meze hodnoty F jsou sice dostupné a byly by kontrolou a zaručením výsledku z programu Statistica, nicméně nezahrnují hodnoty právě dvou konkrétních stupňů volnosti. S vědomím možnosti zjistit jen přibližné hodnoty bylo od takové kontroly upuštěno.

Pro zpřesnění stanovisek o vztahu teplotních ukazatelů při hranici lesa a její vegetační formy byla provedena analýza rozptylu také pro soubor lokalit zúžený o místa se smíšenou vegetační formou, problematicky vymezitelnou oproti ostatním kategoriím. Vystupují zde tak pouze dvě, zcela izolované kategorie.

C. Zhodnocení míry závislosti teplotních charakteristik horní hranice lesa na faktoru kontinentality

Jelikož tato práce klade důraz na nejtypičtější teplotní ukazatele hranice lesa, od jejich základního vyhledání přes průzkum dopadu šířkové pozice a přítomných lesních forem na jejich hodnoty, je na místě s pomocí statistiky okomentovat též jejich proměnnost ve vazbě na umístění lokality z pohledu regionálního klimatického gradientu oceanity a kontinentality. Po vzoru Jobbágyho, Jacksona (2000) zastupuje znázornění míry kontinentality jednoduchý teplotní ukazatel – průměrná roční teplotní amplituda. Statistickým prostředkem je zde korelační analýza s výpočtem Pearsonova korelačního koeficientu, doplněná jednoduchým bodovým grafem závislosti. Výpočty jsou prováděny v programu MS Excel, pro úplnost je korelační analýza vyhotovena i pro ty teplotní ukazatele, které nejsou považovány za nejvhodnější, ale na druhou stranu vykazují jisté zajímavé souvislosti.

D. Posouzení vlivu „timberline“ a „treeline“ na hodnoty teplotních charakteristik

Přestože byla v souboru lokalit horní hranice lesa dáována přednost záznamům s liniovým charakterem zkoumané přírodní hranice v podobě termínu „timberline“, jak bylo blíže popsáno již v kapitole 3.1., zůstalo v databázi několik míst s popisem ve smyslu „treeline“. Taková nesrovnalost vyžaduje buď v každém případě oddělené posuzování, nebo potvrzení předpokladu, že zahrnutí obou úrovní do jednoho datového souboru, na němž jsou zkoumány souvislosti teplotních poměrů, nemá, při jejich malých vzájemných definičních rozdílech, významný vliv na podobu výsledků. Přímou se tedy nabízí taktéž analýza variance jako prostředek k potvrzení mého předpokladu a zároveň zachování významu předešlých výpočtů a analýz. Protože její věrohodnost může být zvláště v tomto případě narušena rozdílnou velikostí obou skupin, je jako vhodný doplněk výsledků analýzy variance opět uveden krabicový graf. Jako závislá proměnná byl zvolen ukazatel průměrné teploty měsíců s teplotním průměrem nad 5°C (prakticky nezáleží na zvolené charakteristice). Veškeré výpočty byly opět provedeny v programu Statistica. Na závěr poznamenávám, že tato analýza rozptylu je jednofaktorová pouze se dvěma kategoriemi, a tak je ve výsledku přímým ekvivalentem jiného statistického přístupu, t-testu (stejně jako u analýzy variance se dvěma jasně oddělenými úrovněmi vegetační formy).

4. VÝSLEDKY

4.1. TEPLOTNÍ VELIČINA NEJLÉPE VYSTIHUJÍCÍ POLOHU HORNÍ HRANICE LESA

Pro úplnost hodnotím celou šíři teplotních ukazatelů vystupujících v datových souborech (s dopočtem dle místního a standardního vertikálního teplotního gradientu). Předpokladem je, že nejmenší variabilitu budou vykazovat ukazatele vázané přibližně na vegetační období, tedy průměrná teplota měsíců s teplotním průměrem nad 5°C, popřípadě méně vhodně nastavená průměrná teplota čtyřech nejteplejších měsíců v roce.

Tab. 3. Základní přehled teplotních charakteristik horní hranice lesa

statistické ukazatele	průměrná teplota (°C)						
	4 nejt. m.	m. nad 5°C	m. nad 5°C+*	nejt. m.	nejch. m.	roční	r. amplituda
minimum (m.g.)	4,88	6,60	6,02	6,90	-24,30	-5,70	13,50
minimum (s.g.)	5,30	5,70	5,70	5,90	-50,50	-20,30	7,90
maximum (m.g.)	13,41	12,25	12,25	15,90	1,80	8,70	37,20
maximum (s.g.)	15,90	12,80	12,80	18,30	2,00	8,80	60,30
aritm. průměr (m.g.)	9,47	9,00	8,93	11,23	-8,83	1,26	20,07
aritm. průměr (s.g.)	9,05	8,85	8,65	10,98	-10,62	0,25	21,59
rozptyl (m.g.)	3,69	1,66	1,83	4,63	32,16	6,27	43,02
rozptyl (s.g.)	4,21	1,94	2,26	5,12	82,54	19,83	91,02
s. odchylka (m.g.)	1,92	1,29	1,35	2,15	5,67	2,50	6,56
s. odchylka (s.g.)	2,05	1,39	1,50	2,26	9,09	4,45	9,54

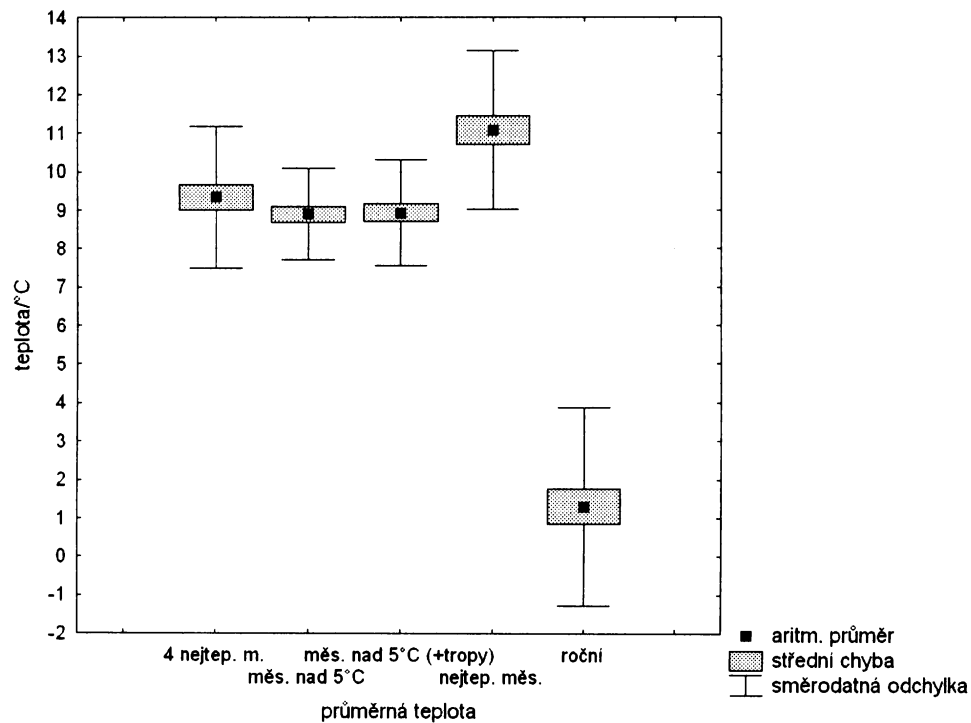
Poznámka: * včetně tropických lokalit

Zdroj: viz Tab. 2.

Přesná čísla uvedená v Tab. 3., stejně jako grafické vyjádření (Obr. 2., Obr. 3.), dokazují, že hypotéza byla postavena správně. Nejprve tedy za nejvhodnější teplotní veličinu ke spojování s klimatickou horní hranicí lesa (prakticky její pozicí) označuji průměrnou teplotu měsíců s teplotním průměrem nad 5°C. Zároveň potvrzují v kapitole 1.2. vyslovený předpoklad, že při nemožnosti počítat se skutečnou průměrnou teplotou vegetačního období se právě její obecnější ekvivalent jeví jako nejlepší ukazatel. Z důvodu nejzákladnější statistiky (bez hodnocení vzájemných vztahů mezi ukazateli) je zde jako na jediném místě celé vlastní práce rozšířen datový soubor o dostupné údaje z tropických pohoří. Zahrnuty jsou však pouze právě u nejlepšího ukazatele, jediného, kde mají smysl vystupovat. Dále je jistě zajímavé, že na druhém místě z hlediska vhodnosti (=rozptýlenosti) je sice průměrná teplota čtyřech nejteplejších měsíců, ale s poměrně malým náskokem před průměrnou teplotou nejteplejšího měsíce. Tím se, při její „vzdálenosti“ od nejlepšího ukazatele, jeví její obecné využití z praktického hlediska jako poměrně zbytečné. Ostatní teplotní charakteristiky

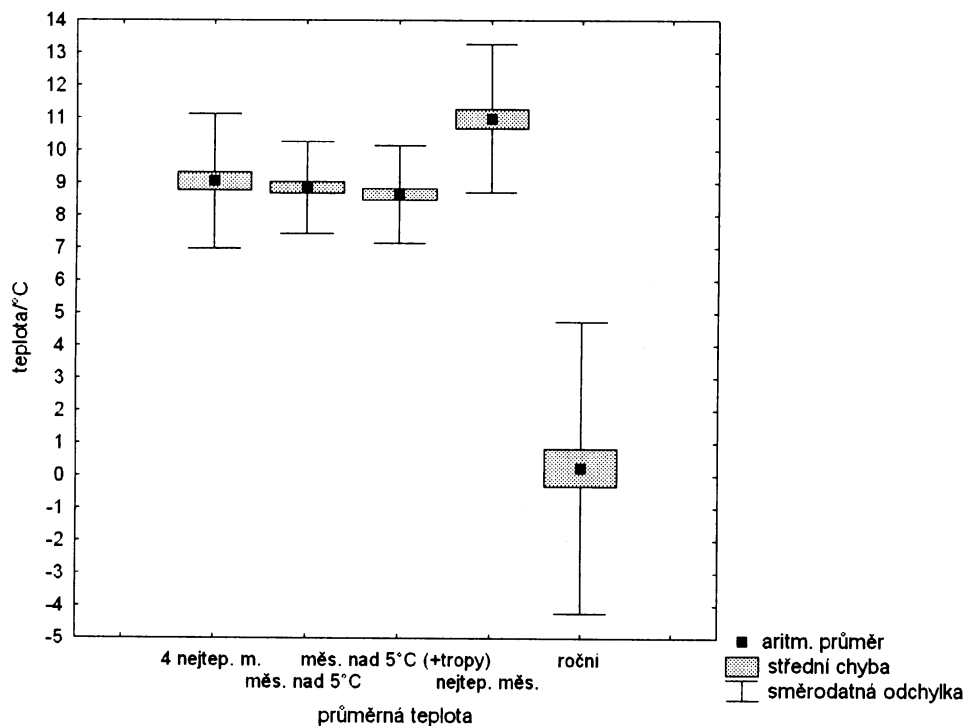
vykazují podle očekávání již značnou variabilitu, a jsou tak naopak předurčeny k vysvětlování rozdílných vlastností světových lokalit horní hranice lesa.

Obr. 2. Vybrané teplotní charakteristiky horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

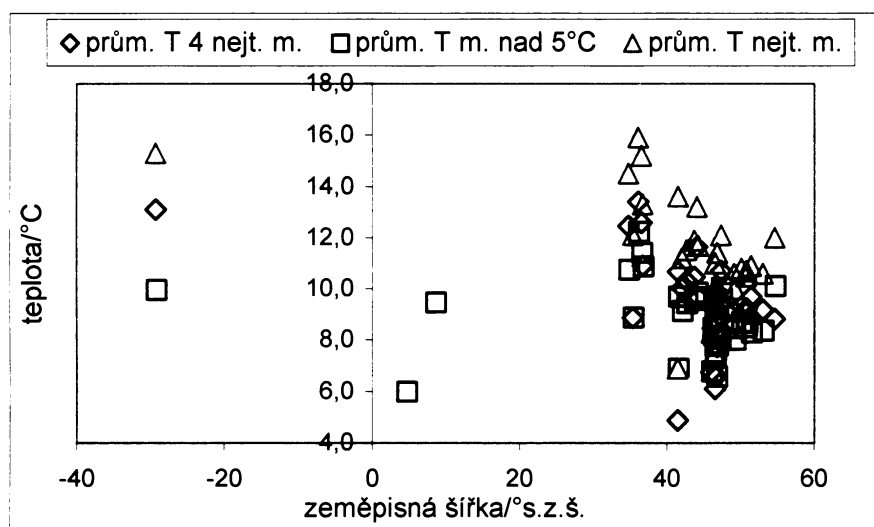
Obr. 3. Vybrané teplotní charakteristiky horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

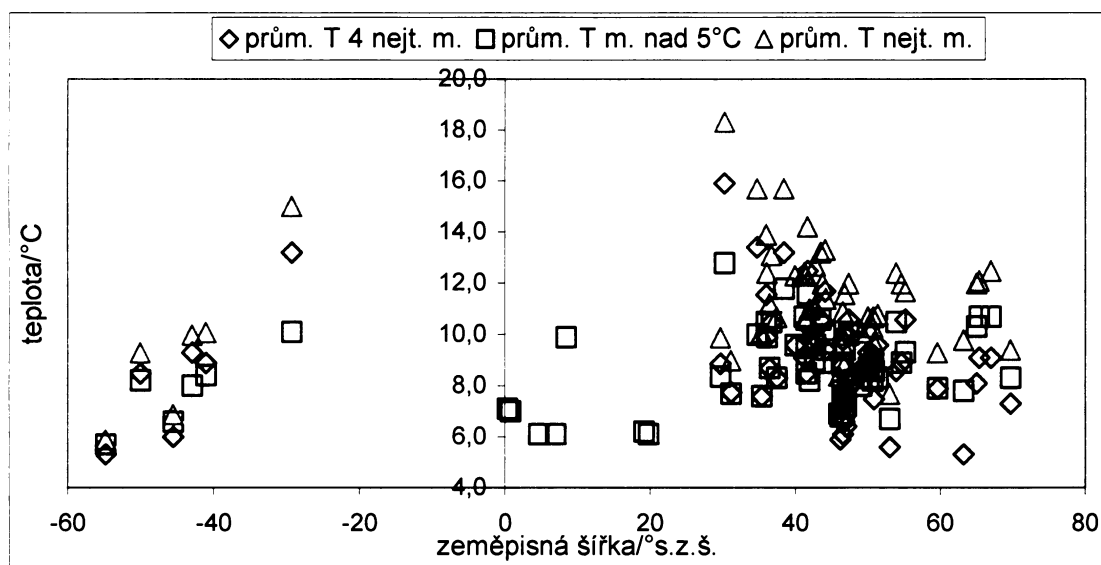
Rozdíl v uplatnění místního či standardního teplotního gradientu je vidět na první pohled. U všech teplotních charakteristik je vyšší variabilita v případě standardního gradientu. Tato skutečnost se však nedá jednoznačně interpretovat. Je třeba si totiž uvědomit rozdíl v rozsahu obou souborů. Navíc nižší variabilita obecně vůbec nemusí znamenat větší přesnost. Takový přístup by se dal uplatnit pouze u větších datových souborů o podobné velikosti a v případě uvažování skutečně nejlepšího teplotního ukazatele.

Obr. 4. Závislost nejvýstižnějších teplotních charakteristik horní hranice lesa na zeměpisné šířce (databáze „místní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 5. Závislost nejvýstižnějších teplotních charakteristik horní hranice lesa na zeměpisné šířce (databáze „standardní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

Co se týká závislosti nejvýstižnějších teplotních ukazatelů na zeměpisné šířce, na souboru využívajícím místní gradient (Obr. 4.) jsou patrné jisté pravidelnosti o trochu méně než na souboru, který používá gradient standardní a je komplexnější (Obr. 5.). Průměrná teplota měsíců s průměrem nad 5°C je podle toho oprávněně považována za obecně nejvhodnější ukazatel horní hranice lesa, nedají se nalézt žádné výrazné známky závislosti na šířkové poloze na Zemi (vyjma nižších tropických hodnot, na které zde ale není kladen důraz). Ostatní dva ukazatele při své příbuznosti vykazují naopak mírnou závislost. V mimotropických oblastech rostou hodnoty průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců jako i nejteplejšího měsíce směrem k obratníkům (pro ilustraci vypočítaný korelační koeficient má v jejich případě hodnoty -0,42 a -0,30, u prvního ukazatele -0,14).

4.2. VLIV VEGETAČNÍ FORMY NA HODNOTY TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK

V analýze variance vystupují opět všechny teplotní ukazatele z databáze (která je zde jediná, spojená s dopočtem dle standardního gradientu). U nejméně kolísajících teplotních veličin není předpokládán významný vliv kategorie vegetační formy. U ostatních teplotních ukazatelů by bylo vhodnější uvažovat raději o opačném vztahu, protože v jejich případě je předpokládán rozdíl mezi skupinami vegetační formy, které jsou podle této domněnky v přírodě budovány právě na základě odlišných klimatických poměrů.

Tab. 4. Výsledné hodnoty analýzy variance teplotních charakteristik ve vztahu k vegetační formě (hladina spolehlivosti 95%)

teplotní ukazatel		3 veg. formy (s., l., j. les)		2 veg. formy (l., j. les)	
		p	F (2, 56)	p	F (1, 49)
průměrná teplota	4 nejteplejších měs.	0,1840	1,7452	0,3697	0,8197
	měsíců nad 5°C	0,2738	1,3257	0,6770	0,1757
	nejteplejšího měs.	0,0910	2,5023	0,7916	0,0706
	nejchladnějšího měs.	0,1044	2,3533	0,0372	4,5891
	roční	0,0892	2,5237	0,0297	5,0156
	roční amplituda	0,1101	2,2960	0,0568	3,8061

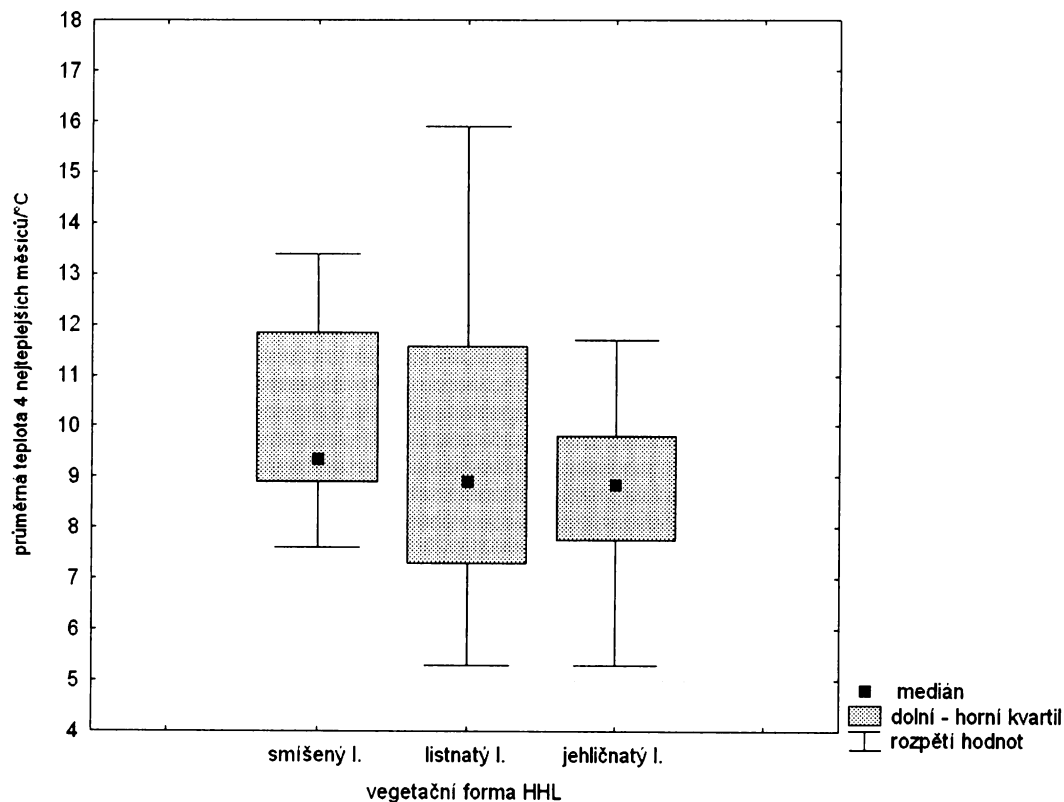
Zdroj: viz Tab. 2

První dva teplotní ukazatele, jako nejvýstižnější charakteristiky horní hranice lesa, nevykazují žádnou výraznější závislost na vegetační formě, teplotní hodnoty jsou pro všechny kategorie srovnatelné. Ukazuje se také, že zahrnutí analýzy variance pro dvouúrovňový faktor vegetační formy bylo dobrým rozhodnutím. Tím, že neuvažuje problematickou „prostřední“ kategorii smíšeného lesa, svými výsledky jasně potvrzuje neprůkaznost rozdílu v rámci dvou

zmíněných teplotních charakteristik. Co se týká průměrné teploty nejteplejšího měsíce (jako ukazatele, který prakticky, podle výsledků v předchozí podkapitole, může nahradit průměrnou teplotu čtyřech nejteplejších měsíců), na výsledcích základní analýzy variance spatřuji zásadní zkrácenost kategorií smíšený les, kterou pomáhá odhalit právě doplňující analýza variance nebo krabicový graf (Obr. 8.). Teploty v teplé části roku při horní hranici lesa tedy nemají průkazný dopad na její dřevinný charakter.

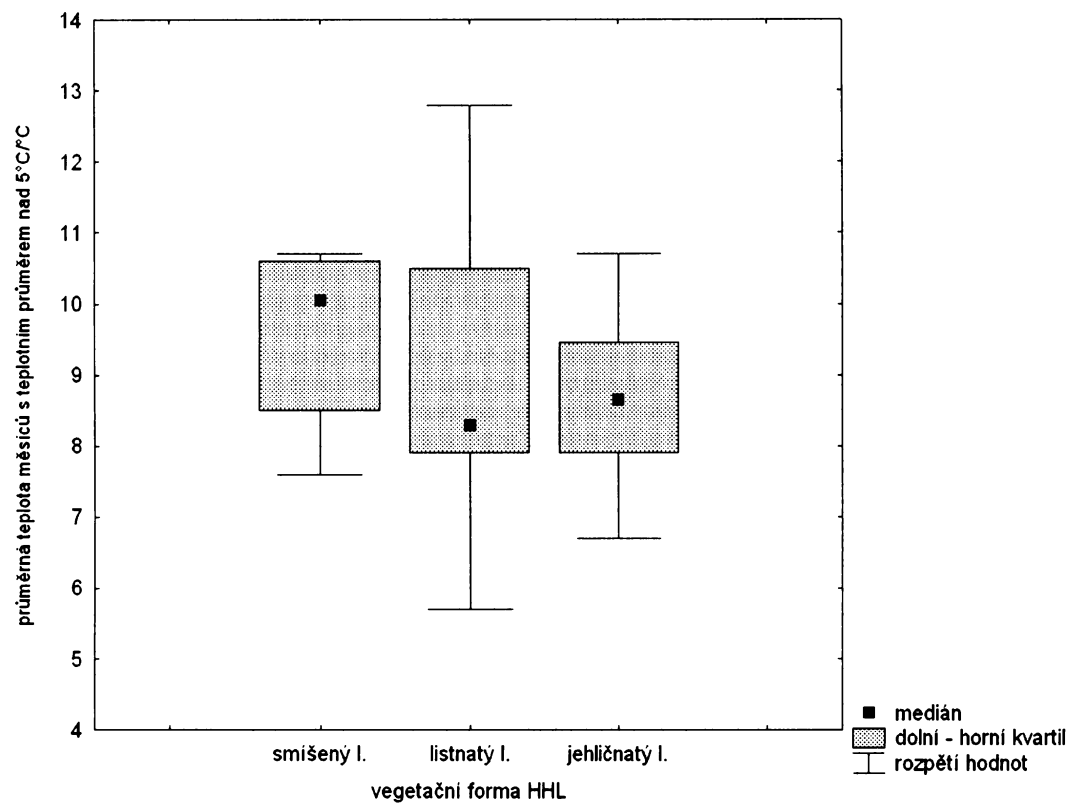
Ostatní teplotní veličiny se při své viditelnější odlišnosti v rámci úrovní vegetačních forem jeví jako faktory, které ve skutečnosti spolurozhodují o typu dřeviny na konkrétní horní hranici lesa. S klesající průměrnou roční teplotou, teplotou nejchladnějšího měsíce a rostoucí průměrnou roční teplotní amplitudou je vysoce pravděpodobné, že horní hranice lesa bude tvořena jehličnatými dřevinami. Z výsledků analýzy variance je zajímavá vůdčí průkaznost průměrné roční teploty, jež naznačuje významné ovlivnění zimními teplotami. Zařazení problematické a zároveň málo početné kategorie smíšený les do výše uvedených souvislostí se ukazuje jako nemožné.

Obr. 6. Průměrná teplota 4 nejteplejších měsíců ve vztahu k odlišným vegetačním formám



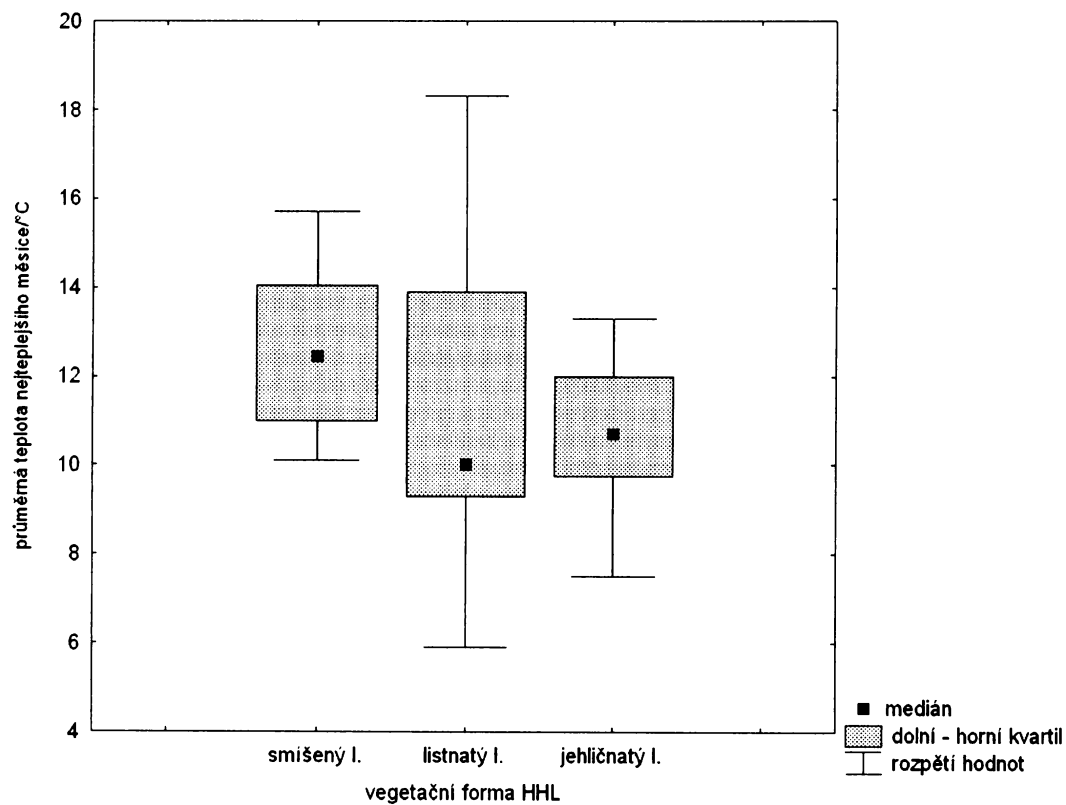
Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 7. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným vegetačním formám



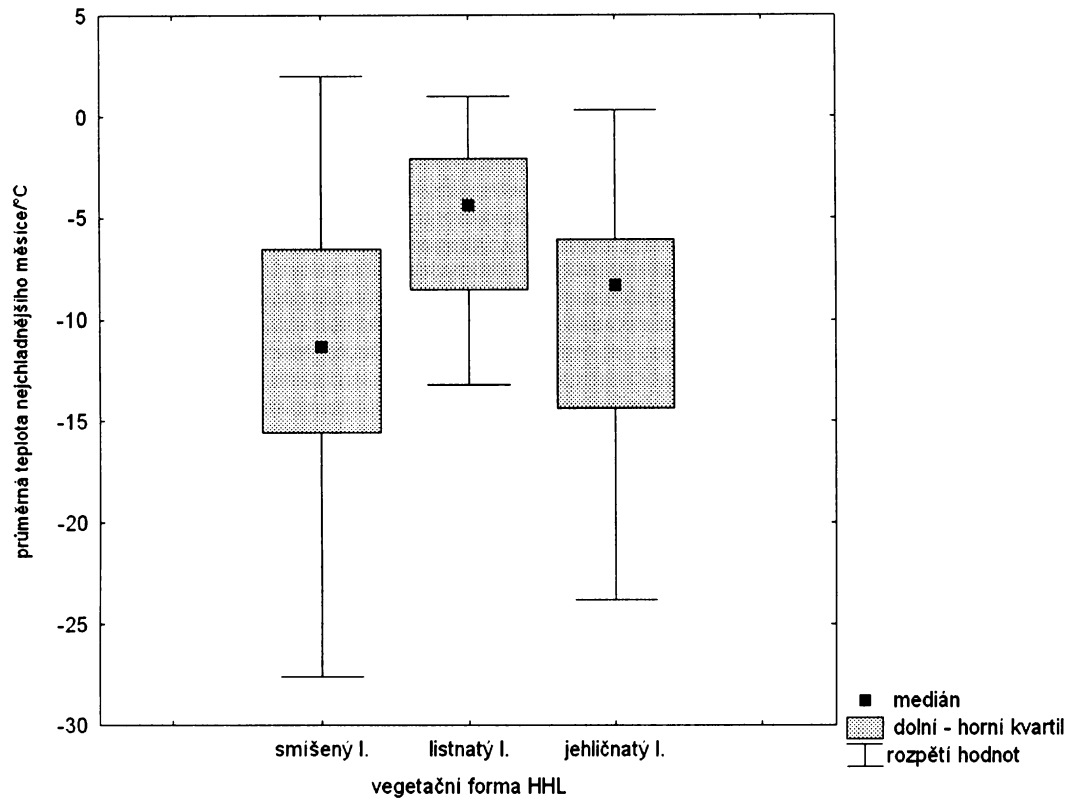
Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 8. Průměrná teplota nejteplejšího měsíce ve vztahu k odlišným vegetačním formám



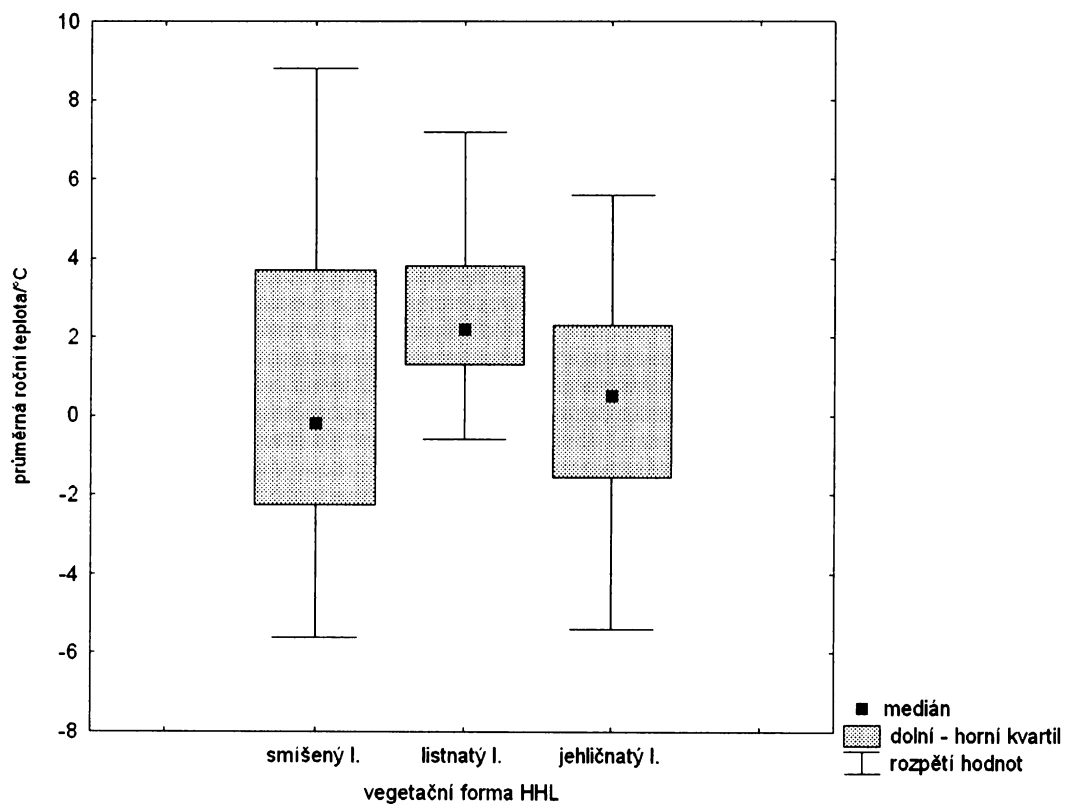
Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 9. Průměrná teplota nejchladnějšího měsíce ve vztahu k odlišným vegetačním formám



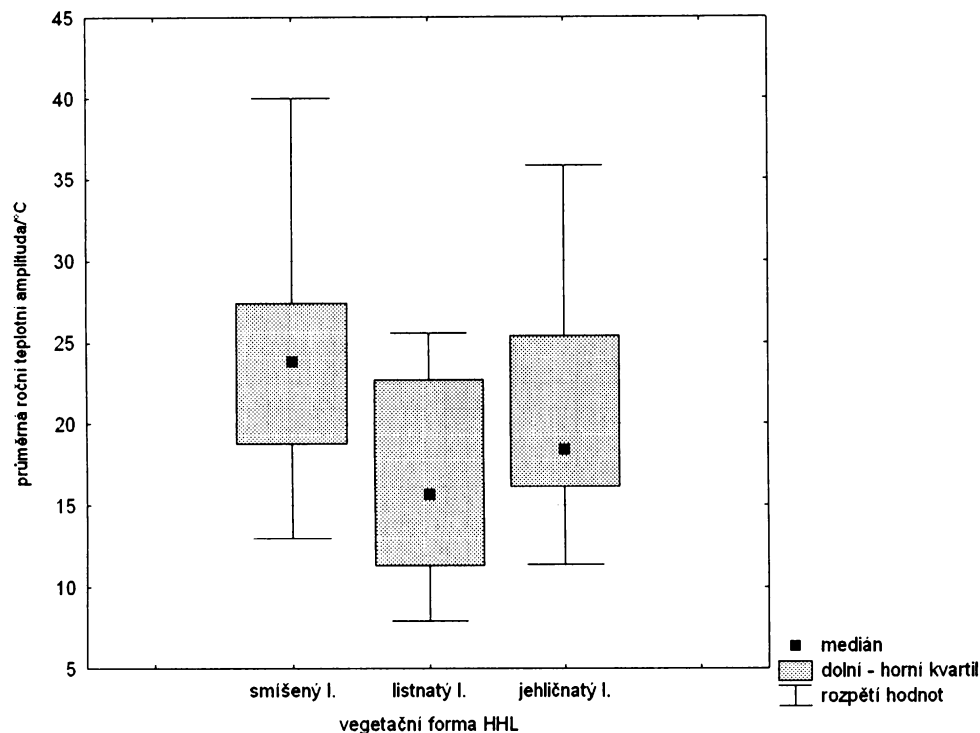
Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 10. Průměrná roční teplota ve vztahu k odlišným vegetačním formám



Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 11. Průměrná roční teplotní amplituda ve vztahu k odlišným vegetačním formám



Zdroj: viz Tab. 2.

4.3. ZÁVISLOST TEPLOTNÍCH UKAZATELŮ HORNÍ HRANICE LESA NA MÍŘE KONTINENTALITY KLIMATU

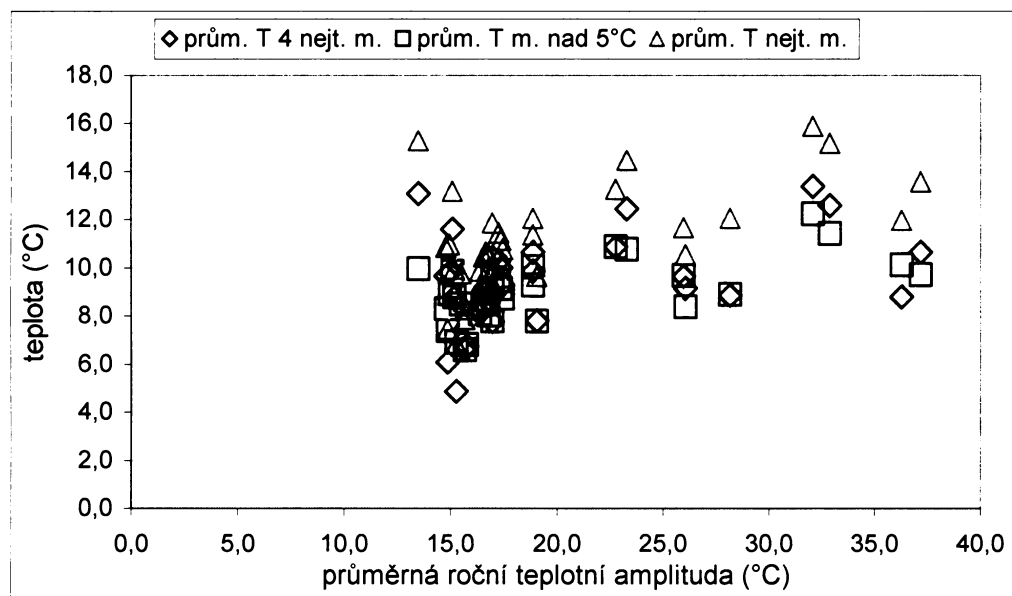
Co se týká nejmístnějších teplotních charakteristik horní hranice lesa (tak, jak bylo zjištěno v kapitole 4.1.), očekává se jejich mírná závislost na hodnotách roční amplitudy teplot. S rostoucími teplotami v teplé části roku, zachycenými v ukazatelích průměrné teploty měsíců s průměrem nad 5°C a průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců, tak předpokládám i vyšší hodnoty teplotní amplitudy. Tím spíše budu chtít dále prokázat pozitivní závislost amplitudy a teploty nejteplejšího měsíce. Doplnkem je zde potvrzení očekávané silné negativní závislosti amplitudy a teploty nejchladnějšího měsíce a zjištění závislosti průměrné roční teploty na použitém ukazateli míry kontinentality klimatu.

Tab. 5. Korelační koeficienty popisující závislost roční teplotní amplitudy a vybraných teplotních charakteristik

databáze	průměrná teplota				
	4 nejt. m.	m. nad 5°C	nejt. m.	nejch. m.	roční
"místní gradient"	0,37	0,58	0,55	-0,95	-0,67
"standardní gradient"	-0,02	0,40	0,31	-0,97	-0,87

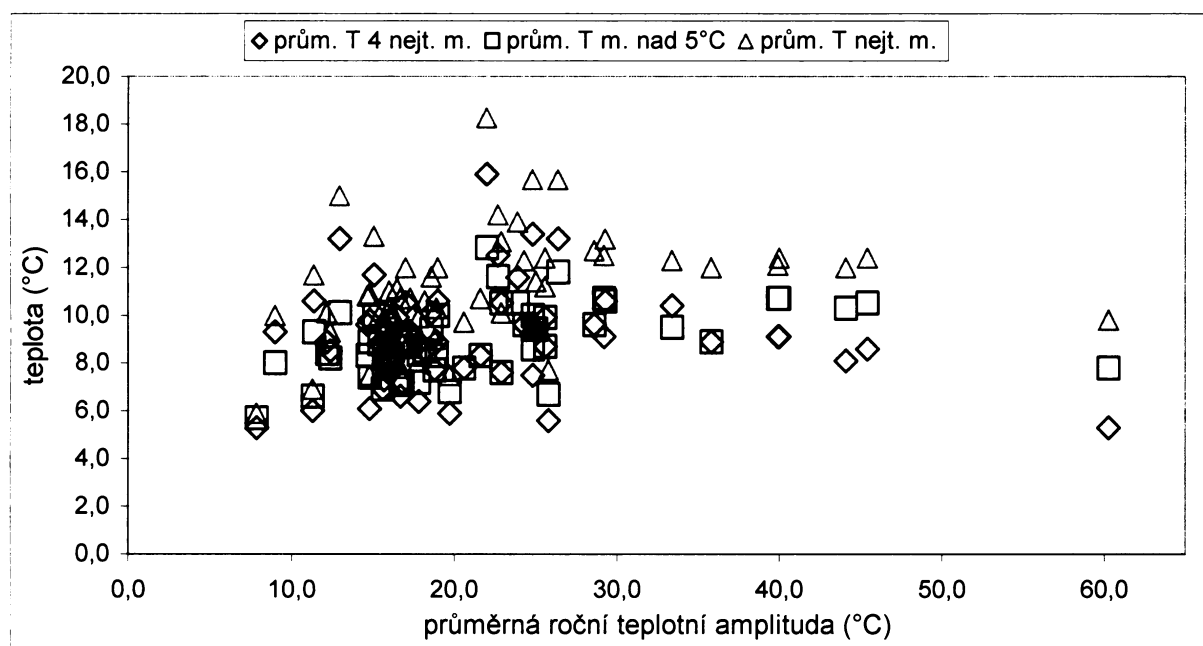
Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 12. Závislost roční teplotní amplitudy a nejlepších teplotních ukazatelů horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 13. Závislost roční teplotní amplitudy a nejlepších teplotních ukazatelů horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu u nejméně výstižnější teplotní charakteristiky horní hranice lesa nedosahuje sice vysokých hodnot, ale vzhledem k přírodnímu charakteru sledovaného jevu poskytuje obraz o mírné pozitivní závislosti. V oceáničtějších regionech tak obecně průměrná teplota měsíců s průměrem nad 5°C má při hranici lesa relativně nižší

hodnoty. Naproti tomu očekávání nejsou potvrzena u průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců. Na tom, že tento ukazatel vykazuje při shrnutí koeficientů nezávislost na míře kontinentality, může mít svůj vliv zahrnutí silně kontinentálních lokalit z vysokých zeměpisných šířek, kde okraje čtyřech nejteplejších měsíců sahají již do relativně chladných období. Zajímavý je dále fakt, že u teploty nejteplejšího měsíce, kde bych očekával největší závislost v rámci ukazatelů vztažených k teplému období, vychází korelační koeficient nižší než v případě nejmístičnějšího ukazatele horní hranice lesa. Těžko stanovit, zda předkládané ukazatele teploty v teplé části roku vykazují výraznou pravidelnost ve vztahu k míře kontinentality. Kdybych řekl, že ano, dostal bych se tím do sporu s výsledky kapitoly 4.2. Z nich vyplývá (dále potvrzená) spojitost mezi mírou kontinentality a typy vegetačních forem horní hranice lesa. To mi poskytuje oprávnění vidět v případě této části práce namísto rostoucí teplotní amplitudy postupný přechod od listnáčů k jehličnanům, z čehož by se tak závislost přenesla i na dvojici vegetační forma-ukazatele teplot teplé části roku. A taková pravidelnost byla právě v kapitole 4.2. zamítnuta. Proto se přikláním k zamítnutí původní hypotézy, což je další dobrý důvod, proč obecně spojovat uvedené ukazatele s mimotropickou horní hranicí lesa.

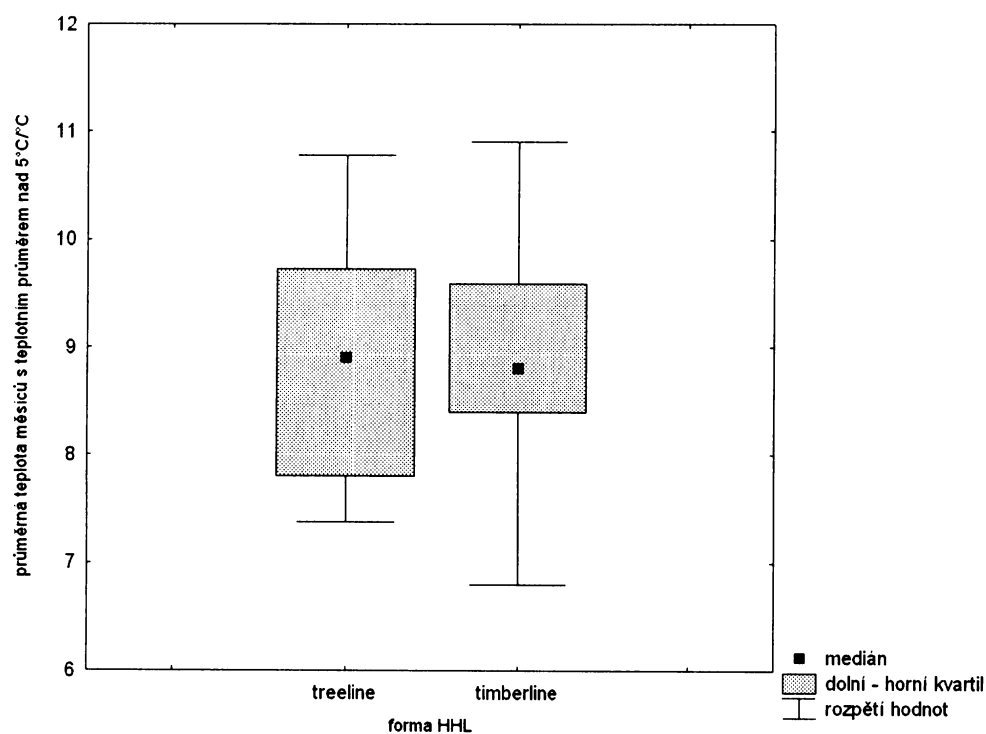
Průměrná teplota nejchladnějšího měsíce je téměř plně negativně závislá na míře kontinentality a vzhledem k tomu, že se pohybují v přírodním prostředí, mohu považovat takovou závislost za úplnou. S rostoucí teplotní amplitudou také nacházím dosti výraznou pravidelnost v podobě poklesu průměrné roční teploty. Tyto poznatky je opět možné navázat na výsledky předchozí analýzy variance. Jestliže je průměrná roční amplituda brána jako přímý obraz míry kontinentality a jestliže s tímto ukazatelem výrazně korelují průměrná teplota roční a nejchladnějšího měsíce (a jsou tím pádem taktéž ukazatelem míry kontinentality), mohu s trojnásobným potvrzením konstatovat, že v kontinentálních oblastech jsou horní hranice lesa tvořeny převážně jehličnatými druhy a v oceánických regionech naopak především druhy listnatými.

4.4. EXISTUJÍ ROZDÍLY V TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIKÁCH MEZI ODLIŠNÝMI FORMAMI HORNÍ HRANICE LESA?

Je předpokládáno, že vzájemná definiční odlišnost dvou základních forem horní hranice lesa („timberline“, „treeline“) použitých současně v mých výpočtech nehraje významnou roli, tedy že výsledky, ke kterým docházím, nejsou z tohoto pohledu zkresleny.

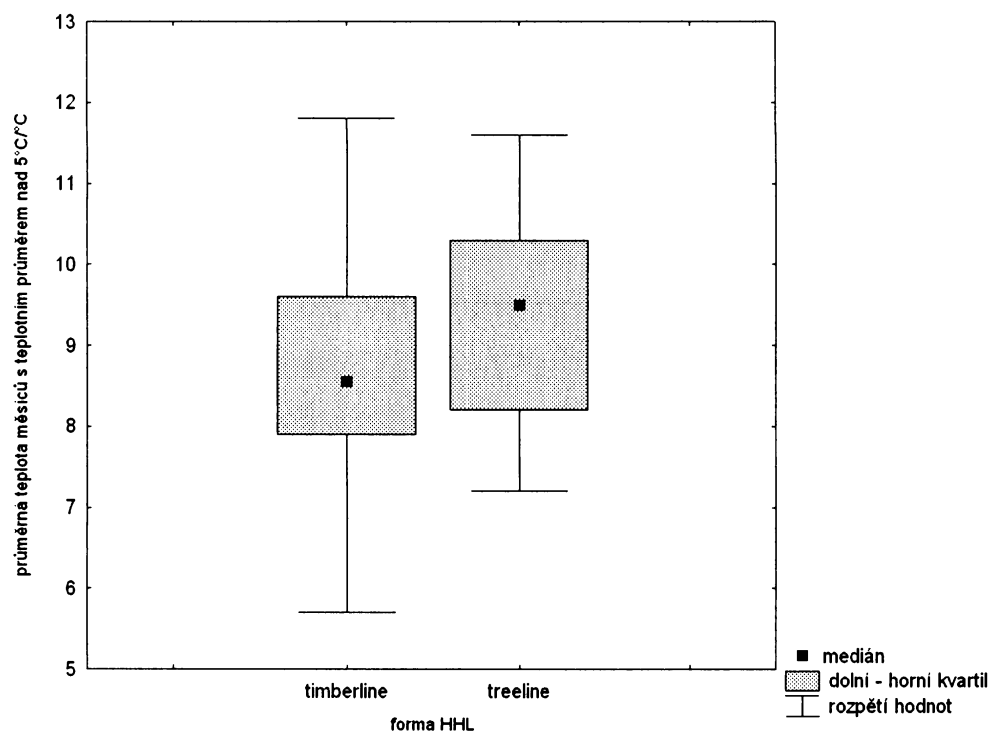
O nedostacích této analýzy variance bylo již dost řečeno. U menšího souboru lokalit s dopočtem podle místního gradientu je výsledek následující – hodnoty $F(1, 29)=0,00179$ a $p=0,96658$ dokazují mnohem větší rozptýlenost teplot v rámci jedné kategorie než mezi kategoriemi. Podobně se dá o neprůkaznosti rozdílů mezi „timberline“ a „treeline“ usuzovat z výsledků pro rozsáhlejší a vhodnější soubor lokalit s dopočtem pomocí standardního teplotního gradientu – $F(1, 57)=1,5833$ a $p=0,21342$ (nečekaně zde vychází vyšší průměr pro „treeline“, což jde proti smyslu obou forem hranice lesa). Obr. 14. a Obr. 15. tak potvrzují v daném případě nejpřehledněji moji hypotézu.

Obr. 14. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným formám horní hranice lesa (databáze „místní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

Obr. 15. Průměrná teplota měsíců nad 5°C ve vztahu k odlišným formám horní hranice lesa (databáze „standardní gradient“)



Zdroj: viz Tab. 2.

5. DISKUSE

Na tomto místě bych se rád nejprve věnoval některým nedostatkům teplotních veličin, jejichž přibližné izotermy se používají ke ztotožňování s horní hranicí lesa (přesně její výškovou pozicí). Plesník (1971) se ve své práci přiklání k ukazateli průměrné teploty nejteplejšího měsíce. Činí tak nejen proto, že v mírném klimatickém pásu tato veličina při hranici lesa minimálně kolísá. Tím, že hovoří o těžkostech se stanovením délky vegetačního období (myslí tím zcela přesně přírodně vymezené vegetační období), připojuje zároveň praktický důvod. Plesník (1971) má v tomto sice pravdu, ale takový striktní přístup by nikdy nezvýšil stav našeho poznání. Avšak ani zmírnění definice vegetačního období ve smyslu, že za něj budu považovat souvislé období, kdy průměrné denní teploty přesahují 5°C, nepřinese vyřešení problému. Pokud je totiž uvažována taková definice, velmi snadno lze najít případ, kdy se průměrná teplota ve vegetačním období ve vybrané lokalitě umístěné třeba i několik set metrů nad horní hranicí lesa bude pohybovat přesně v takovém rozmezí. Definice totiž postrádá ošetření vůči proměnné délce vegetačního období napříč vertikálními stupni v pohoří, a proto v této podobě nemůže být považována za zcela jednoznačný ukazatel, jehož (v prostoru lokalizovaná) hodnota přibližně souvisí s pozicí horní hranice lesa. Stejně limity jednoznačnosti se dají najít i u ostatních teplotních ukazatelů, které nejsou ostře časově vymezeny (tedy i u námi uvažované teploty měsíců s průměrem nad 5°C jako jednoduché analogie teploty ve vegetačním období). V hrubých rysech ale mohu toto, v zájmu posunout se v poznání dál, opominout. Na druhou stranu je již možné vytknout Körnerovi (1998, 1999), že ve své všeobecně přijímané práci volí cestu až přílišného zjednodušení tím, že jako vegetační období v severních mimotropických šířkách vymezuje pevně měsíce od května po září včetně. To, spolu s malým rozsahem jím hodnocených lokalit, může být příčinou, že se mnou zjištěné hodnoty nejlepšího ukazatele poměrně dosti odlišují právě od Körnerova rozmezí 5,5-7,5°C, které je tak možná přeceňováno. Přidávám tak další číslem vyjádřený pohled (hodnota průměrné teploty měsíců nad 5°C se průměrně pohybuje těsně pod 9°C) na fyziologicky prokazatelnou (Körner 1998, 1999) vazbu teplot ve vegetačním období a horní hranice lesa. Avšak je třeba mít přítom na paměti následující. Körner (1998, 1999) pracuje i s významným podílem tropických lokalit, zatímco já vůbec ne nebo jen s malým podílem. Přesto není vzdálenost mé průměrné hodnoty od horního omezení Körnerova rozmezí zanedbatelná. Nedostatkem teploty nejteplejšího měsíce, druhé ze dvou jediných veličin, jejichž hodnoty mohu porovnávat (ve smyslu literatura↔mé výsledky), je naopak její omezená fyziologická relevance. Než uvažovat průměrnou teplotu nejteplejšího měsíce, je

podle Holtmeiera (2003) adekvátnější používat teploty tří nebo čtyř nejteplejších měsíců. Pokud se na toto tvrzení nahlédne ryze z praktického hlediska, mé výsledky nijak výrazně tzv. tetratherm neupřednostňují. Bohužel není možné provést jakékoliv porovnání s literaturou.

Körner (1998, 1999) popisuje v rámci hodnot průměrné teploty ve („jeho“) vegetačním období výrazný vliv umístění konkrétní lokality horní hranice lesa z hlediska zeměpisné šířky. Vymezuje dvě základní skupiny oblastí – v tropech jsou teploty o něco nižší než v mimotropických oblastech (rozdíl odůvodňuje delšími nocemi v tropech oproti zbytku světa, ale zapomíná připomenout zdejší velkou denní teplotní amplitudu). To souhlasí s mými výsledky včetně nepatrných rozdílů teplot v mimotropických oblastech, na které kladu důraz. U teploty nejteplejšího měsíce se všeobecně uvažuje vhodnost zejména pro vazbu na temperátní horní hranice lesa. Mé výsledky (kapitola 4.1.) nejsou v rozporu s touto skutečností, zjišťuji však, že není velkou chybou tento ukazatel uplatňovat prakticky pro celý svět mimo tropů (s ohledem na málo průkaznou závislost této veličiny a zeměpisné šířky a samotnou průměrnou hodnotu okolo 11°C, jež není příliš vzdálená od hodnoty 10°C spojované přednostně s mírným pásem).

Co se týká udávaných souvislostí míry kontinentality a ukazatelů teploty vegetačního období a nejteplejšího měsíce, mohu své výsledky diskutovat opět s Körnerem (1998, 1999). U obou těchto charakteristik udává tento autor o několik stupňů vyšší teploty v případě silně oceánických horských regionů, což nesouhlasí ani s mým úvodním předpokladem, ani se zjištěnými výsledky ukazujícími nezávislost, případně mírnou tendenci zvyšování teplot směrem do center kontinentů. Neberu to však jako zásadní rozpor, protože Körnerovo odůvodnění zvýšených teplot neukazuje přímo na termickou hranici lesa (zejména faktor větru a vysokého stupně oblačnosti zde zatlačuje hranici lesa dolů, do míst s příznivějšími teplotami).

Velmi rozsáhlá analýza Jobbágyho, Jacksona (2000), jejíž výsledky byly již blíže popsány (kapitoly 2.2. a 2.3.), ospravedlňuje všechna moje zjištění týkající se ostatních uvažovaných teplotních charakteristik. Teploty v chladné části roku opravdu ovlivňují dominantní životní formu stromů, která je tím pádem vázána na míru kontinentality dané oblasti. Jejich stanovisko, že podobně dominantní zastoupení jehličnanů se dá očekávat se vzrůstající zeměpisnou šířkou (tedy klesající roční teplotou při hladině moře), mé analýzy neumožňují okomentovat. Mohu však proti jejich zjištění vznést námitku, která vychází z problému skladby jimi zpracovávaného datového souboru lokalit horní hranice lesa – výběr lokalit je nenáhodný. Konkrétně to znamená, že jejich výsledek je ovlivněn vysokou mírou kontinentality u většiny lokalit z vysokých zeměpisných šířek.

Nedostatky mnou sestaveného datového podkladu a následných analýz jsou zmiňovány na několika místech této práce, zvláště v kapitole 3. Obecně se ale podobné základní nesrovnalosti vyskytují také v pracích uznávaných autorů (Körner 1998; Jobbágy, Jackson 2000), jak již bylo naznačeno na několika příkladech. Nad problémy v podobě úzkého rozsahu dat, nenáhodného výběru lokalit, důrazu na „pěkné“ příklady apod. stojí základní otázka klimatické či přímo teplotní podmíněnosti zkoumané přírodní hranice. I když jsou vůči tomuto požadavku databáze ošetřeny (jsou vyloučeny ostatní výrazné typy hranice lesa, viz kapitola 2.1.), je tu přítomna závažná skutečnost, kterou zdůrazňuje Holtmeier (2003). I taková klimatická hranice lesa je totiž většinou umístěna pod svým čistým klimatickým limitem.

6. ZÁVĚR

Jelikož jsou při úrovni našeho dosavadního poznání stále patrné mezery v uvedeném tématu, může tato práce přispět k jejich částečnému vyplnění? Tuto otázku jsme si kladli na začátku svého průzkumu článků, knih a klimatických databází. Postupně jsem si při omezených možnostech, kterými se tento „výzkum“ vyznačoval, uvědomoval, že na to nebudou sebraná data stačit. Zároveň mi bylo jasné, proč se více autorů nesnaží o podobný komplexní přístup. Jsem potěšen, že při malém datovém základu, se kterým jsem podrobněji pracoval, se mi podařilo alespoň potvrdit některé uznávané souvislosti okolo horní hranice lesa.

Za nejvhodnější teplotní veličinu, jejíž izotermu mohu přibližně ztotožnit z pozicemi mimotropické horní hranice lesa, označuji průměrnou teplotu měsíců, jejichž teplotní průměry jsou rovny či přesahují 5°C . Izoterma má hodnotu o něco málo nižší než 9°C se směrodatnou odchylkou pod $1,5^{\circ}\text{C}$. Jedná se o potvrzení všeobecně uznávané primární role průměrné teploty ve vegetačním období. V mimotropických oblastech je mnou uváděný ukazatel přibližně stejný napříč celým rozpětím zeměpisné šířky. Existující variabilita této teplotní veličiny, stejně jako více kolísajících ukazatelů průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců a samotného nejteplejšího měsíce, není dostatečně vysvětlena ani na základě vztahování k různým vegetačním formám při hranici lesa. Teploty v teplé části roku opravdu vůbec nemají dopad na dominantní druhy stromů, stejně jako se v jejich hodnotách neodráží vliv kontinentality klimatu. O vegetační stavbě horní hranice lesa naopak průkazně rozhodují ukazatele, ve kterých se výrazně odráží vliv zimních teplot a které se vzrůstající kontinentalitou značně klesají (průměrná teplota nejchladnějšího měsíce, průměrná roční teplota), respektive stoupají (průměrná roční teplotní amplituda). Čím více je klima při konkrétní hranici lesa kontinentální, tím větší zastoupení jehličnatých stromů lze očekávat. Rozdíly mezi teplotními charakteristikami příslušejícími k formě horní hranice lesa „timberline“ a formě „treeline“ jsou zanedbatelné. Veškerá tato tvrzení platí pro mimotropické oblasti. Úplně na závěr bych rád zdůraznil, že nezávislost všech tří „nejlepších“ ukazatelů na základních faktorech vstupujících v případě horní hranice lesa do úvahy, tedy šířkové pozici na Zemi, vegetačním složení a míře kontinentality, potvrzuje správnost rozhodnutí využívat je pro obecné vztahování k této přírodní linii. Dílčí náznaky závislosti se u jednotlivých ukazatelů sice vyskytují (nárůst průměrné teploty čtyřech nejteplejších měsíců jako i nejteplejšího měsíce směrem k obratníkům a vzrůst průměrné teploty měsíců s průměrem nad 5°C a též nejteplejšího měsíce se zvyšující se mírou kontinentality klimatu), ale celkově

je nepovažuji za významné. Jejich variabilitu tak spíše vysvětlují „druhořadé“ environmentální faktory, které je nesnadné zasadit do hlubší analýzy.

Tuto práci považuji za vhodný podnět pro mé následující odborné směřování. Rád bych navázal na získané poznatky o horní hranici lesa a začal již s regionálně zaměřenou výzkumnou prací. Pokud by se k tomu naskytla příležitost, zaměřil bych se na oblast slovenských Vysokých Tater. Tam se dané problematice věnovala sice značně rozsáhlé Plesníková (1971) práce, současný časový odstup však již nabízí návrat k tomuto regionu a především nové možnosti bádání. V první řadě by se jednalo o popis dynamiky horní hranice lesa v pohoří, poté by bylo možné zabývat se detailnější prací ve vybraných transektech a využít například dendrochronologických metod, sledovat dopad expozičního fenoménu či přímo provádět teplotní měření v ekotonu horní hranice lesa.

7. LITERATURA

- ARMAND, A. D. Sharp and gradual mountain timberlines as a result of species interaction. In *Landscape boundaries: Consequences for biotic diversity and ecological flows*. Hansen, A. J. - Castri, F. di (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 1992. s. 360-378. ISBN 3-540-97631-0.
- BLYAKHARCHUK, T. A., et al. Late Glacial and Holocene vegetational changes in the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, vol. 209, no. 1-4, s. 259-279. ISSN 0031-0182.
- CAMARERO, J. J. - GUTIÉRREZ, E. Plant species distribution across two contrasting treeline ecotones in the Spanish Pyrenees. *Plant Ecology*, 2002, vol. 162, no. 2, s. 247-257. ISSN 1573-5052.
- CAMARERO, J. J. - GUTIÉRREZ, E. - FORTIN, M.-J. Spatial pattern of subalpine forest-alpine grassland ecotones in the Spanish Central Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 134, no. 1, s. 1-16. ISSN 0378-1127.
- CARNELLI, A., et al. Past uppermost tree limit in the Central European Alps (Switzerland) based on soil and soil charcoal. *The Holocene*, 2004, vol. 14, no. 3, s. 393-405. ISSN 0959-6836.
- CARRER, M. – URBINATI, C. Spatial analysis of structural and tree-ring related parameters in a timberline forest in the Italian Alps. *Journal of Vegetation Science*, 2001, vol. 12, no. 5, s. 643-652. ISSN 1100-9233.
- CUEVAS, J. G. Tree recruitment at the *Nothofagus pumilio* alpine timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology*, 2000, vol. 88, no. 5, s. 840-855. ISSN 0022-0477.
- DAVI, N., et al. Warm-season annual to decadal temperature variability for Hokkaido, Japan, inferred from maximum latewood density (AD 1557-1990) and ring width data (AD 1532-1990). *Climatic Change*, 2002, vol. 52, no. 1-2, s. 201-217. ISSN 1573-1480.
- DAVIS, B. A. S., et al. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 2003, vol. 22, no. 15-17, s. 1701-1716. ISSN 0277-3791.
- DIDIER, L. - BRUN, J.-J. Limite supraforestière et changements environnementaux : pour une approche pluriscale et spatialisée des écosystèmes d'altitude. *Géographie physique et Quaternaire*, 1998, vol. 52, no. 2, s. 1-9. ISSN 1492-143X.

- DOLEŽAL, J. - ŠRŮTEK, M. Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology*, 2002, vol. 158, no. 2, s. 201-221. ISSN 1385-0237.
- GAMISANS, J. The vegetation of the Corsica high mountains. In *Alpine biodiversity in Europe*. Nagy, L., et al. (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 2003. s. 104-111. ISBN 3-540-00108-5.
- GERMINO, M. J. - SMITH, W. K. Sky exposure, crown architecture, and low temperature photoinhibition in conifer seedlings at alpine treeline. *Plant, Cell and Environment*, 1999, vol. 22, no. 4, s. 407-415. ISSN 0140-7791.
- GRABHERR, G. - NAGY, L. - THOMPSON, D. B. A. An outline of Europe's alpine areas. In *Alpine biodiversity in Europe*. Nagy, L., et al. (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 2003. s. 3-12. ISBN 3-540-00108-5.
- GRACE, J. - NORTON, D. A. Climate and growth of *Pinus sylvestris* at its upper altitudinal limit in Scotland: Evidence from tree growth-rings. *The Journal of Ecology*, 1990, vol. 78, no. 3, s. 601-610. ISSN 0022-0477.
- HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat*. 1. vydání. Praha : Portál, 2004. 582 s. ISBN 80-7367-123-9.
- HERMES, K. *Die Lage der oberen Waldgrenze in den Gebirgen der Erde und ihr Abstand zur Schneegrenze*. 1. Auflage. Köln : Geographisches Institut der Universität Köln, 1955. 277 s. Kölner Geographische Arbeiten 5.
- HOFGAARD, A. Inter-relationships between treeline position, species diversity, land use and climate change in the central Scandes mountains of Norway. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1997, vol. 6, no. 6, s. 419-429. ISSN 0960-7447.
- HOCH, G. - POPP, M. - KÖRNER, CH. Altitudinal increase of mobile carbon pools in *Pinus cembra* suggests sink limitation of growth at the Swiss treeline. *OIKOS*, 2002, vol. 98, no. 3, s. 361-374. ISSN 0030-1299.
- HOLTMEIER, F.-K. *Mountain timberlines: Ecology, patchiness and dynamics*. 1st edition. Dordrecht : Kluwer, 2003. 369 s. Advances in global change research. ISBN 1-4020-1356-6.
- HOLTMEIER, F.-K. - BROLL, G. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, vol. 14, no. 5, s. 395-410. ISSN 1466-8238.
- JENÍK, J. *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku: Teorie anemo-orografických systémů*. 1. vydání. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1961. 412 s.

- JENÍK, J. - LOKVENC, T. *Die Alpine Waldgrenze im Krkonoše Gebirge*. 1. vydání. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1962. 65 s.
- JOBÁGY, E. G. - JACKSON, R. B. Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres. *Global Ecology and Biogeography*, 2000, vol. 9, no. 3, s. 253-268. ISSN 1466-8238.
- KÖRNER, CH. *Alpine plant life: Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. 1st edition. Berlin : Springer, 1999. 338 s. ISBN 3-540-65054-7.
- KÖRNER, CH. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 1998, vol. 115, no. 4, s. 445-459. ISSN 1432-1939.
- KÖRNER, CH. - PAULSEN, J. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 2004, vol. 31, no. 5, s. 713-732. ISSN 1365-2699.
- KÖRNER, CH - PAULSEN, J. - PELAEZ-RIEDL, S. A bioclimatic characterisation of Europe's alpine areas. In *Alpine biodiversity in Europe*. Nagy, L., et al. (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 2003. s. 85-92. ISBN 3-540-00108-5.
- KVĚTOŇ, V. *Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000*. 1. vydání. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2001. 197 s. Národní klimatický program. ISBN 80-85813-91-2.
- MIEHE, G. - MIEHE, S. Die obere Waldgrenze in tropischen Gebirgen. *Geographische Rundschau*, 1996, GR 48, H. 11, s. 670-676. ISSN 0016-7460.
- MIGAŁA, K. *Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych*. 1. wydanie. Wrocław : Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 2005. 149 s. Studia Geograficzne 78. ISBN 83-229-2586-7.
- MÜHR, B. *Klimadiagramme weltweit* [databáze online]. 2005 [citováno duben 2006]. Dostupné z <<http://www.klimadiagramme.de/>>.
- NETOPIL, R., et al. *Fyzická geografie I. díl*. 1. vydání. Praha : SPN, 1984. 272 s.
- OBREŃSKA-STARKŁOWA, B. Stosunki klimatyczne w rejonie Babiej Góry. In *Park Narodowy na Babiej Gorze: Przyroda i człowiek*. Zabierowski, K. (ed.). 1. wydanie. Warszawa : PWN, 1983. s. 41-62.
- OHSAWA, M. An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in south and east Asian mountains. *The Journal of Ecology*, 1990, vol. 78, no. 2, s. 326-339. ISSN 0022-0477.
- PLESNÍK, P. *Horná hranica lesa vo Vysokých a Belanských Tatrách*. 1. vydanie. Bratislava : Vydavateľstvo SAV, 1971. 238 s.

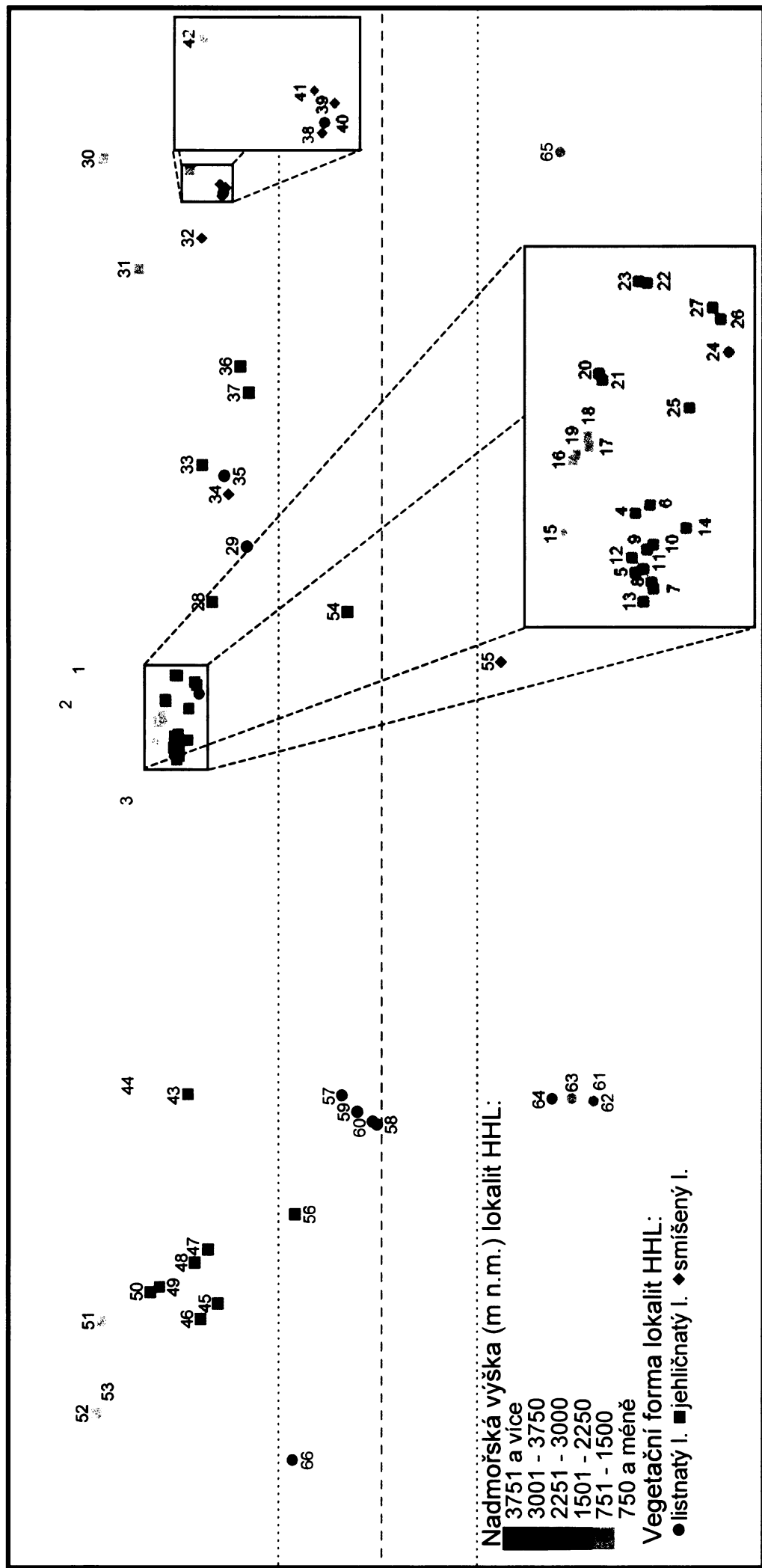
- PLESNÍK, P. System of timberlines on the Earth. *Geografický časopis*, 1991, roč. 43, č. 2, s. 134-149.
- Podnebí Československé socialistické republiky: Tabulky*. 1. vydání. Praha : Hydrometeorologický ústav, 1961. 379 s.
- RICHTER, M. Climatological and phytomorphological vertical gradients in high mountains. *Erdkunde*, 1996, GR 50, H. 3, s. 205-237. ISSN 0014-0015.
- SCHICKHOFF, U. The upper timberline in the Himalayas, Hindu Kush and Karakorum: a review of geographical and ecological aspects. In *Mountain ecosystems: Studies in treeline ecology*. Broll, G. - Keplin, B. (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 2005. s. 275-354. ISBN 3-540-24325-9.
- SPEAR, R. W. Late-Quaternary history of high-elevation vegetation in the White Mountains of New Hampshire. *Ecological Monographs*, 1989, vol. 59, no. 2, s. 125-151. ISSN 00129615.
- STRID, A. - ANDONOSKI, A. - ANDONOVSKI, V. The high mountain vegetation of the Balkan peninsula. In *Alpine biodiversity in Europe*. Nagy, L., et al. (ed.). 1st edition. Berlin : Springer, 2003. s. 113-121. ISBN 3-540-00108-5.
- TAKAHASHI, K. - TOKUMITSU, Y. - YASUE, K. Climatic factors affecting the tree-ring width of *Betula ermanii* at the timberline on Mount Norikura, central Japan. *Ecological Research*, 2005, vol. 20, no. 4, s. 445-451. ISSN 0912-3814.
- TRANQUILLINI, W. *Physiological ecology of the alpine timberline: Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps*. 1st edition. Berlin : Springer, 1979. 137 s. Ecological studies 31. ISBN 0-387-09065-7.
- TREML, V. Alpinská hranice lesa v pohoří Vysokých Sudet. *Spisy České společnosti zeměpisné*, 2004a, I.
- TREML, V. Recentní dynamika alpské hranice lesa v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 2004b, roč. 41, s. 367-375. ISBN 80-86418-36-7.
- TROLL, C. The upper timberlines in different climatic zones. *Arctic and Alpine Research*, 1973, vol. 5, no. 3, s. A3-A18. ISSN 0004-0851.
- WARDLE, P. New Zealand timberlines. *Arctic and Alpine Research*, 1973, vol. 5, no. 3, s. A127-A135. ISSN 0004-0851.
- World Weather Records, 1981-1990* [databáze online]. National Climatic Data Center, 2001 [citováno duben 2006]. Dostupné z <<http://dss.ucar.edu/datasets/ds570.1/>>.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

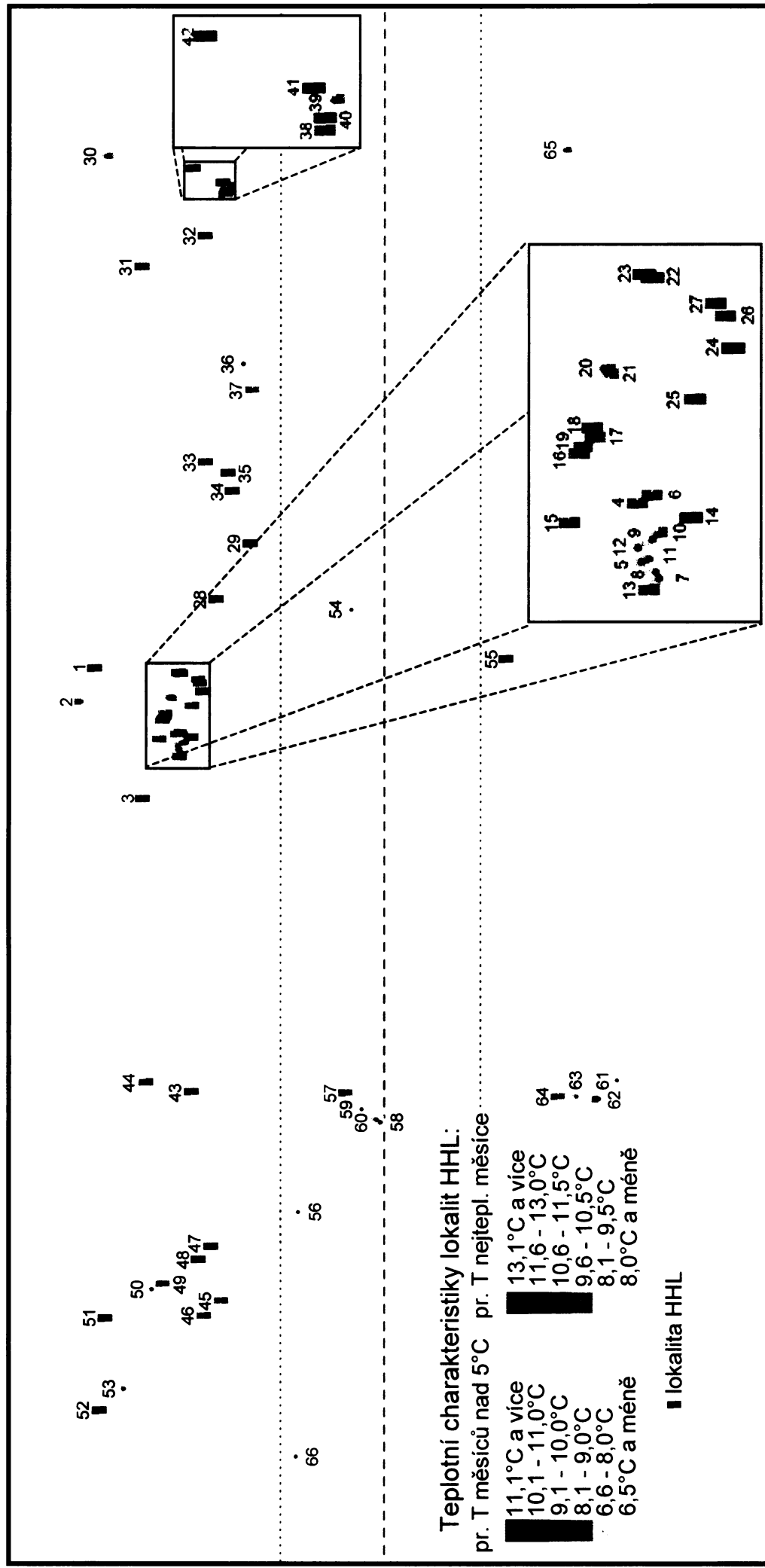
- Příloha 1.** Nadmořská výška a vegetační charakteristika zpracovávaných světových lokalit horní hranice lesa (včetně tropických míst)
- Příloha 2.** Průměrná teplota měsíců s teplotním průměrem nad 5°C a nejteplejšího měsíce zpracovávaných světových lokalit horní hranice lesa (včetně tropických míst)

Příloha 1. Nadmořská výška a vegetační charakteristika zpracovávaných světových lokalit horní hranice lesa (včetně tropických míst)



Zdroj: viz Tab. 2.

Příloha 2. Průměrná teplota měsíců s teplotním průměrem nad 5°C a nejteplejšího měsíce zpracovávaných světových lokalit horní hranice lesa (včetně tropických míst)



Zdroj: viz Tab. 2.