

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Barbora Leštinská

Historické zmeny hornej hranice lesa, Hrubý Jeseník

Past changes of alpine treeline ecotone, Hrubý Jeseník Mts.

Diplomová práca

Vedúci záverečnej práce: Mgr. Václav Tremel, Ph.D.

Praha, 2011

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som záverečnú prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje a literatúru. Táto práca ani jej podstatná časť nebola predložená k získaniu iného alebo rovnakého akademického titulu.

V Prahe, 22.08.2011

Podpis:

Za cenné rady, pripomienky a trpezlivosť pri vedení mojej diplomovej práce ďakujem Mgr. Václavovi Tremlovi, Ph.D. Ďakujem Správe Chránenej krajinej oblasti Jeseníky za vydanie povolenia na výskumnú činnosť. Zo všetkého najviac ďakujem rodine a blízkym.

This document was created using
Smart PDF Creator

To remove this message purchase the
product at www.SmartPDFCreator.com

Abstrakt

Práca bola zameraná na analýzu priestorovo – časovej dynamiky ekotonu hornej hranice lesa v Hrubom Jeseníku, kde dominujú porasty smreka obyčajného (*Picea Abies*), v období od polovice 20. storočia do súčasnosti a to prostredníctvom zmien vnútri ekotonu.

V rámci priestorovo – časových zmien boli skúmané tri hlavné parametre popisujúce ekoton a to veková štruktúra, priestorové usporiadanie a zmeny v rastových charakteristikách stromov.

Veková štruktúra bola zisťovaná dendrochronologickými metódami. Zmeny v pokryvnosti porastov smreka boli určované prostredníctvom historických leteckých snímok a súčasných ortofotomáp s využitím metód DPZ a metód GIS spojených s poznatkami získanými počas terénneho výskumu. Priestorovo – časové zmeny pokryvnosti boli identifikované multitemporálnym porovnávaním historických snímok so súčasnými ortofotami a zmeny v raste stromov boli analyzované prostredníctvom nelineárneho regresného modelu.

Na všetkých komplementárnych lokalitách bol zistený rovnaký priebeh zmien vo vekovej a priestorovej štruktúre. Proporcionálne zastúpenie mladších porastov smreka rastie so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou a zmeny pokryvnosti sú najvýraznejšie v oblasti zapojeného lesa. Vo vzťahu medzi potenciálne výhodnejšie exponovanými svahmi a zmenami v pokryvnosti smreka nebola potvrdená závislosť. Čiastočne sa orientácia svahov odrazila na zmenách vekovej štruktúry v najvyššie lokalizovaných stromových skupinkách.

Na všetkých lokalitách bola v období 40. a 60. rokov 20. storočia zistená výrazná zmena vo vekovej štruktúre a dynamike pokryvnosti porastov smreka, ktorá bola dôsledkom nárastu priemerných teplôt vegetačného obdobia. Rovnako bol na všetkých stanoviskách zaznamenaný pokles v období 80. rokov vysvetľovaný simultánnym pôsobením poklesu teplôt a znečistenia ovzdušia.

Bola potvrdená závislosť zmien vekovej štruktúry a pokryvnosti smreka v súvislosti s lokálnymi podmienkami a antropogénnym vplyvom, avšak tieto zmeny prebiehali v kontexte s globálnymi klimatickými zmenami.

Abstract

The aim of this study has been to analyse the spatial-temporal dynamics of the treeline ecotone formed by Norway spruce (*Picea abies*) as the dominant conifer in the Hruby Jeseník Mountains since the mid 20th century until the present in order to compare vertically connected sections of the timberline ecotone.

Three features have been examined within the spatial and temporal context – the age structure, the spatial structure and the age/diameter growth. Dendrochronological methods have been employed to estimate the age structure. Moreover, the remote sensing and the GIS method have been used to detect the changes of the Norway spruce cover using the archive and actual aerial orthophotographs through their vectorisation and classification incorporating both spectral and spatial information as well as the knowledge base classification technique. The comparative analysis of the archive and actual orthophotographs has allowed to evaluate the spatial-temporal changes in the cover. The age and diameter growth relation has been established using the non-linear regression.

It is established that the changes in the age and spatial structure are synchronous at all localities with a similar altitude. The younger age trees proportion is increasing with the growing altitude and the changes of the cover are largest in the closed-canopy forest. A potential favourable slope aspect has not been reflected in connection to the changes of the cover. It has been partly reflected on the age structure changes at the highest located tree groups, however, it has not been detected in the closed-canopy forest.

It has been further found that there was an increase in the age structure and cover dynamics that occurred in the 1940s and the 1960s at all sites as a result of increased average temperatures in the growing season. On the other hand, the decrease by the 1980s was a consequence of a simultaneous influence of decreasing temperatures and the air pollution.

It has been concluded that the changes in the age and spatial structure are related to the topographical characteristics such as elevation and aspect, air temperatures as well as consequences of anthropogenic influences that strongly influence the treeline dynamics in the context of the changing climate in the treeline ecotone.

OBSAH

Abstract	3
1. Úvod	9
2. Horná hranica lesa	11
2.1 Hypotézy vzniku hornej hranice lesa	12
2.2 Vplyv klimatických a stanovištných faktorov na hornú hranicu lesa	13
2.3 Recentné zmeny polohy hranice lesa v temperátnej a boreálnej oblasti	16
2.4 Horná hranica lesa v Hrubom Jeseníku	19
3. Fyzickogeografická charakteristika územia	20
3.1 Geologické a geomorfologické pomery	20
3.2 Klimatické pomery	21
3.3 Hydrologické pomery	23
3.4 Pôdy	23
3.5 Biogeografické pomery	23
3.6 Vymedzenie študovaného územia	24
4. Metódy	27
4.1 Zisťovanie vekovej štruktúry porastov smreku	28
4.1.1 Odber vzoriek	28
4.1.2 Vyhodnotenie vzoriek	28
4.1.3 Určenie veku živých stromov	29
4.1.4 Závislosť medzi obvodom kmeňa a vekom živých stromov	30
4.1.5 Určenie veku suchých stromov	30
4.2 Zisťovanie priestorovo-časových zmien pokryvnosti smreka	31
4.2.1 Ortorektifikácia snímok	31
4.2.2 Klasifikácia záujmového územia	32
4.2.3 Úprava výslednej klasifikácie metódou fotointerpretácie	35
4.2.4 Hodnotenie zmien pokryvnosti smreka	36
4.3 Vplyv teplotných charakteristík vzduchu na zmladzovanie porastov	36
5.1 Veková štruktúra porastov smreka na jednotlivých lokalitách	39
5.1.1 Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka	43
5.1.2 Vegetatívne šírenie porastov smreka	46
5.1.3 Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka	47
5.2 Závislosť medzi obvodom kmeňa a vekom stromov	49
5.2.1 Zmeny obvodu kmeňa a veku stromov v závislosti od polohy stanoviškov v ekotone	51

5.3	Piestorovo-časové zmeny pokryvnosti smreka	56
5.4	Vplyv teplotných charakteristík na zmladzovanie porastov smreka	60
6.	Diskusia	63
7.	Záver	70

This document was created using
Smart PDF Creator

To remove this message purchase the
product at www.SmartPDFCreator.com

Zoznam obrázkov použitých v texte:

Obrázok 1: Priemerné mesačné teploty z meracej stanice Praded v období 1941 – 1997

Obrázok 2: Vymedzenie študovaného územia v Hrubom Jeseníku

Obrázok 3: Postup pri objektivej klasifikácii záujmového územia v programe Idrisi Tajga

Obrázok 4: Porovnanie priemerných teplôt vegetačného obdobia (V. - VIII.) dát z CRU a stanice Praded (1900 – 2000)

Obrázok 5: Veková štruktúra porastov smreka na južne orientovanom svahu Pradedu

Obrázok 6: Veková štruktúra porastov smreka na svahu Petrových kamenov

Obrázok 7: Veková štruktúra porastov smreka na JV svahu Vysokej Hole

Obrázok 8: Veková štruktúra porastov smreka SV svahu Vysokej Hole

Obrázok 9: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka na jednotlivých plochách

Obrázok 10: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka v závislosti od expozície

Obrázok 11: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka podľa polohy v ekotone

Obrázok 12: Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka podľa polohy v rámci ekotonu

Obrázok 13: Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka v závislosti od expozície

Obrázok 14: Zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka na jednotlivých plochách

Obrázok 15: Polynomický regresný model medzi obvodom a vekom stromov v závislosti od orientácie plôch voči svetovým stranám a polohy na svahu

Obrázok 16/1,2,3: Porovnanie veku stromov na stanoviskách s opačnou expozíciou podľa polohy na svahu

Obrázok 17/1,2,3: Porovnanie obvodu stromu na stanoviskách s opačnou expozíciou podľa polohy na svahu (anova)

Obrázok 18: Porovnanie celkových plošných zmien na jednotlivých stanoviskách za celé sledované obdobie (1946 – 2002)

Obrázok 19: Priebeh plošných zmien pokryvnosti porastov smreka podľa polohy stanovísk v ekotone v období

Obrázok 20: Zmeny pokryvnosti porastov smreka v intervaloch po sebe nasledujúcich klasifikovaných rokov v pomernom zastúpení pre každé stanovisko

Obrázok 21: Porovnanie 11-ročných kĺzavých priemerov teplôt vegetačného obdobia (máj-august) s 11-ročným kĺzavým počtom stromov (1850 – 2010)

Obrázok 22: Porovnanie 11-ročných kĺzavých priemerov teplôt vegetačného obdobia (máj-august) s desaťročnými triedami početností uchytených jedincov (1850 – 2010)

Zoznam tabuliek použitých v texte

Tabuľka 2: Základné údaje o použitých leteckých snímkach

Tabuľka 3: Koefficienty korelácie priemerných mesačných teplôt dát z CRU a stanice Praded (1947 – 1992)

Tabuľka 4: Pomerné zastúpenie jedincov, pri ktorých bolo zistené klonálne zmladzovanie na jednotlivých plochách (%)

Tabuľka 5: Hodnoty koeficientu determinácie polynomickeho regresného modelu medzi obvodom a vekom živých stromov

Tabuľka 6: Porovnanie priemerného obvodu a veku živých stromov podľa expozície a polohy v ekotone

1. Úvod

Pozícia horného výškového limitu lesa je primárne definovaná teplotou (Körner, 1999; Jobbágy and Jackson, 2000; Körner and Paulsen, 2004).

Gradient nadmorskej výšky vytvára výrazný ekoton, ktorý sa rozprestiera len v rozpätí niekoľkých desiatok až stoviek metrov (Butler a kol., 2003) a jeho existencia je do najväčšej miery podmienená predovšetkým teplotou vo vegetačnom období (Körner, 1999). Ekoton hornej hranice lesa je prechodnou zónou, ktorou v pohoriach smerom na hor prechádza les do nelesných formácií (Plesník, 1971).

Kvôli malej šírke prechodovej zóny hornej hranice lesa a zároveň preto, že ekoton hornej hranice lesa obsahuje veľké množstvo druhov žijúcich na pokraji svojej environmentálnej tolerancie (Richebusch a kol., 2006) predstavuje horná hranica lesa dynamický ekoton, citlivo reagujúci na rôznorodé zmeny klímy (Heikkinen a kol., 1995, Holtmeier, Broll, 2005; Walther a kol., 2005).

Na všeobecný trend zvyšovania hornej hranice lesa a jeho súčasný stav majú okrem klimatických zmien výrazný vplyv aj prírodné alebo antropogénne faktory pôsobiace na vývoj hranice lesa v minulosti a topografia, ktorá priamo ovplyvňuje špecifické lokálne podmienky. Spoločné pôsobenie týchto faktorov sa môže odraziť na súčasnom stave a vývoji ekotonu hranice lesa výraznejším spôsobom ako zvyšovanie teplotných podmienok podmienené vplyvom prebiehajúcich klimatických zmien (Holtmeier, Broll, 2005, 2007).

Dôsledky vplyvu zmien klímy na vegetáciu sa najskôr prejavajú práve tam, kde ekologické gradienty vytvárajú ostré hranice vegetačných formácií (Buček, 2004). Najvyššia citlivosť na zmeny klímy sa preto očakáva práve v oblastiach v minulosti výrazne ovplyvnených ľudskou činnosťou, kde je prirodzený nárast a rozširovanie stromových porastov priamym dôsledkom obmedzenia antropogénnych disturbancií v súčinnosti s prebiehajúcimi klimatickými zmenami (Holtmeier, Broll, 2005, 2007).

Očakáva sa, že zmeny sa prejavajú na dynamike hornej hranice lesa nárastom pokryvnosti alebo zhusťovaním už existujúcich stromových porastov (Camarero and Gutiérrez, 1999, Vittoz a kol., 2008), pričom zvýšenie polohy hranice lesa bude mať vplyv na regionálnu aj lokálnu mikroklimu, pedogénu, biodiverzitu a zmenu druhovej skladby ekotonu (Grace a kol., 2002).

Navyše rôzne druhy stromov formujúce hranice lesa vo svetových pohoriach reagujú na zmeny klimatických podmienok rôznou mierou citlivosti.

Areál rozšírenia smreka je z vertikálneho aj horizontálneho hľadiska v temperátnom až boreálnom pásme veľmi široký (Kantor, 1971), preto sledovanie dynamiky vývoja smreku obyčajného (*Picea abies*) na hranici jeho rozšírenia môže významne prispieť k objasňovaniu procesov odozvy ekosystémov na pôsobenie možných klimatických zmien (Buček, 2004).

Cieľom práce bolo preto odvodenie komplexných informácií o stave porastov smreka v minulosti aj súčasnosti a posúdenie dynamiky priestorovo-časových zmien pokryvnosti, vekovej štruktúry a rastových charakteristík porastov smreka na vybraných plochách v ekotone hornej hranice lesa Hrubého Jesenika.

Čiastkovými cieľmi sú:

- Zisťovanie vekovej štruktúry porastov smreka na jednotlivých stanoviskách a porovnanie období kedy sa dané porasty uchycovali
- Zistenie zmien v pokryvnosti smreka na jednotlivých stanoviskách za posledných zhruba 60 rokov
- Zistenie závislostí medzi uchycovaním porastov smreka a vývojom zápoja na polohe stanovísk vrámci ekotonu a posúdenie vplyvu lokálnych podmienok
- Porovnanie hlavných trendov zmien pokryvnosti smreka so zmenami vo vekovej štruktúre

2. Horná hranica lesa

Rozhranie medzi horským lesným stupňom a stupňom bezlesia je dôležitým predelom v horskej krajine z geomorfologického, klimatického a vegetačného hľadiska. Toto rozhranie je označované termínom alpínska alebo horná hranica lesa (alpine timberline, alpine forest limit, alpine Waldgrenze, upper timberline). Horná hranica lesa predstavuje gradient, v ktorom sa menia životné formy a stratégie rastu dominantných druhov drevín (Štrusa a kol., 2010).

Charakter hornej hranice lesa v európskych a stredoeurópskych pohoriach popisujú napríklad Jeník (1961), Jeník a Lokvenc (1962), Alblová (1970), Tremml (2001, 2004), Tremml a Banaš (2000, 2008), v Karpatách a Alpách napríklad Gehrig-Fasel a kol., (2007), Vittoz a kol., (2008), Wallentin a kol., (2008), Tranquillini (1979), Körner (1999, 2007) a v Škandinávskych pohoriach napríklad Kullman (1998) a Moen (2008).

Pre definovanie lesa a stanovenie priebehu hornej hranice lesa Jeník a Lokvenc (1962) v Krkonošiach použili tri kritériá: výšku stromu $> 5\text{m}$, zápoj koruny $> 50\%$ a plochu takto zapojeného porastu 1 ár.

V Škandinávskych pohoriach sa väčšinou používa minimálna výška stromu len 3m, poprípade vyššia ako 2m, čo sa vzťahuje k dominantnej drevine formujúcej ekoton medzi hornou hranicou lesa a hornou hranicou stromu, ktorou je tu breza bradavičnatá (*Betula pubescens*) (Moen a kol., 2008). V stredoeurópskych a juhoeurópskych pohoriach sú prevládajúcimi drevinami smrek obyčajný (*Picea abies*), borovica limba (*Pinus cembra*) a smrekovec opadavý (*Larix decidua*) (Štrusa a kol., 2010).

Jednotlivé kritériá hornej hranice lesa však rozličný autori určujú rôzne, napríklad minimálny zápoj sa pohybuje od >30 až $>50\%$, výška stromu od 2m – 8m a minimálna plocha porastu 1 až 10 árov (Štrusa a kol., 2010).

Ekoton hornej hranice lesa sa vo väčšine európskych pohorí vytvoril v závislosti na širokom spektre geoeologických podmienok. Vo vysokých zemepisných šírkach (najsevernejšie oblasti Euroázie a Severnej Ameriky) existuje široký ekoton polárnej hranice lesa (arctic/polar forest limit), ktorý sa v hornatinách okolo polárneho kruhu s hornou hranicou lesa prelína. V ekotone polárnej hranice lesa sa znižuje zápoj aj výška stromov vplyvom zmien kryogénnej mezo a mikroklimy, prítomnosťou permafrostu a rôznych foriem periglaciálneho reliéfu (Štrusa a kol., 2010).

Aspektami polárnej hranice lesa v tundrových oblastiach Euroázie a Fennoškandinávie sa zaoberali napríklad Walter (1979), Dahl (1975, 1987), Kullman (1997), Moen (2008).

2.1 Hypotézy vzniku hornej hranice lesa

Z rôznych výskumov realizovaných v ekotone hornej hranice lesa existujú dva základné prístupy k vysvetľovaniu príčin vplyvujúcich na vznik hornej hranice lesa (Holtmeier, 2009).

Malanson a kol. (2011) rozlišuje faktory priamo vplyvajúce na vznik hornej hranice lesa na globálnej úrovni, ktoré sa zaoberajú otázkami horného limitu rastu stromov z ekofyziologického hľadiska uplatniteľného na celom svete a faktory pôsobiace lokálne zamerané viac na priestorové usporiadanie a dynamiku ekotonu.

Hypotéza stresu v dôsledku mrazového vysychania (Tranquillini, 1979) dáva vznik hornej hranice stromov do súvislosti s nadmernými stratami uhlíka vďaka stratám biomasy v dôsledku fyzického stresu (obrusovanie ihlíc snehom, alebo straty asimilačných orgánov vplyvom vysychania). Táto hypotéza nie je považovaná za globálne platnú, pretože podmienky pre mrazové vysychanie sa nevzťahujú ku všetkým oblastiam (Körner, 1999). Rovnako napríklad respiračná strata uhlíka v nepriaznivom období je ľahko nahraditeľná fotosyntetickou aktivitou počas vegetačnej sezóny, ako aj dopĺňovanie vody, nevyhnutne ovplyvňujúcej procesy fotosyntézy, nie je znevýhodnené oproti nižším nadmorským výškam (Wieser, 1997).

Ďalšia hypotéza uvažujúca o nedostatočnej fotosyntetickej aktivite v priebehu vegetačnej sezóny, ako o faktore, ktorý podmieňuje vznik hranice lesa, bola rovnako zamietnutá, pretože z globálneho dlhodobého hľadiska bola dokázaná dostatočná prítomnosť asimilátov v rastlinných pletivách (Hoch a kol., 2002). Ako príčinná sa ukázala neschopnosť zabudovávať do rastlinných pletív asimiláty vyprodukované fotosyntézou vplyvom nízkych priemerných teplôt vegetačného obdobia (Körner, 1999).

Limitné hodnoty priemerných teplôt vegetačného obdobia, ktoré korelujú s pozíciou hornej hranice lesa po celom svete sa v súčasnosti považujú za najlepší indikátor určujúci hornú hranicu lesa, čo je základom v súčasnosti najviac prijímanej hypotézy obmedzeného rastu (Körner a Paulsen, 2004).

Körner, Paulsen (2004) vymedzili priemernú teplotu pôdy vo vegetačnom období (10cm pod povrchom) v rozmedzí $6,7^{\circ}\text{C} \pm 0,8\text{SD}$ a teploty vzduchu $5,5 - 7,5^{\circ}\text{C}$.

Podľa hypotézy obmedzenej dostupnosti živín sú limitujúcimi faktormi rastu stromov klimatické podmienky, najmä nízke teploty, ktoré môžu obmedzovať rozklad organických látok v pôde a tým dostupnosť živín (Sveinbjörnsson, 2000).

Hypotéza nedostatočného zmladzovania stromov opisuje limitujúce faktory, podľa ktorých sa zmladzovanie so zvyšujúcou nadmorskou výškou zhoršuje v dôsledku nízkej produkcie semien, obmedzeným rozsahom lokalít s podmienkami vhodnými pre ich uchytanie a konkurenciou alpínskych druhov (Holtmeier, 2003). Ani táto teória nie je všeobecne prijímaná ako hypotéza primárne a dominantne ovplyvňujúca vznik hornej hranice lesa, pretože faktory limitujúce generatívne zmladzovanie sú považované skôr za lokálne (Germino a kol., 2002; Smith a kol., 2009).

Rovnako vegetatívny spôsob rozmnožovania je ako zásadný faktor vzniku vylúčený, pretože podľa Holtmeiera (2003) je teplotné obmedzenie tohto rozmnožovania minimálne.

2.2 Vplyv klimatických a stanovištných faktorov na hornú hranicu lesa

Z globálneho hľadiska je dynamika ekotonu hornej hranice lesa hlavnou témou výskumu vo vzťahu ku klimatickým zmenám, ale na lokálnej úrovni je priestorovo-časové usporiadanie ekotonu mimo vypovedaciu schopnosť teploty samotnej (Malanson, 2011).

Citlivosť ekotonu hornej hranice lesa na zmenu životných podmienok sa prejavuje na rastových charakteristikách a životných formách porastov, spôsobe a rýchlosti regenerácie, vekovej a priestorovej štruktúre a na usporiadaní a zmene druhového zloženia vegetácie (Holtmeier, 2007).

Z klimatických činiteľov na hornú hranicu lesa vplývajú najmä teplotné pomery vo vegetačnom období, vietor a aj zrážky a vlhkosť vzduchu (Plesník, 1971). Nie len bežné klimatické podmienky, ale aj teplotné extrémny majú silný vplyv na rast stromov (Myczkowski, 1964).

Na lokálnej úrovni je teplota ovplyvnená faktormi ako je topografia, ktorá má vplyv napríklad na distribúciu, rozmiestnenie a trvanie snehovej pokrývky. Ďalšie faktory priamo znižujúce teplotu sú vietor, studený vzduch, snehová pokrývka a v lete aj tieň (Malanson, 2011).

Indikátory citlivosti hornej hranice lesa na zmeny klimatických podmienok

Indikátormi citlivosti hornej hranice lesa na zmeny klimatických podmienok sú podľa Holtmeiera a Brolla (2005) fyziognómia stromov a generatívne zmladzovanie, pretože produkcia plodných semien závisí od priaznivých teplotných podmienok počas viacerých sezón s teplým letom.

Rovnako Vittoz (2008), ktorý študoval vplyv klimatických podmienok a zmien vo využívaní krajiny na rozširovanie a rast borovice limby (*Pinus cembra*) v Švajčiarskych Alpách dospel k záveru, že pre rozptýlenie, uchytenie a prežitie semien sú potrebné dobré teplotné podmienky v priebehu niekoľkých desiatok rokov.

Dlhodobé zlepšenie klimatických podmienok na uchycovanie nových jedincov stromov potvrdil aj Shiyatov (2003, 2005) na Urale, kde za posledných 90. rokov došlo k nárastu hranice lesa o 20-40 m, pričom teplotná izoterma sa zmenila o 120 až 130 m. Zdôrazňuje oneskorenú spätnú väzbu v uchycovaní semenáčikov spôsobenú ich pomalým rastom, nedostatkom semien na vzdialených miestach a vplyvom lokálnych podmienok.

Nižšia miera šírenia semien môže byť aj dôsledkom menšieho rozšírenia porastov (Mazepa, 2005), alebo vplyvom mikroklimatických podmienok, kedy stromové skupinky, alebo dospelé stromy udržiavajú vyššiu vlhkosť pôdy, chránia proti poškodeniu vetrom a upravujú rozloženie snehu. Každý z týchto faktorov môže zlepšiť podmienky prežitia semenáčikov v prvých rokoch po uchytení (Camarero a Gutieirrez, 1999; Holtmeier a Broll, 2005).

Okrem toho časté disturbancie, ako sú lavíny, oheň, extrémna snehová pokrývka, alebo sucho a mrazové vysychanie môžu zabrániť prežitiu mladých jedincov nad horonou hranicou stromu a dlhodobo tak udržať jej stabilnú pozíciu (Noble, 1993, Vittoz, 2008).

Plesník (1971) rozlišuje podľa limitujúcich faktorov znižujúcich klimatickú hranicu lesa druh tepelnej a veternej hranice lesa.

Teplota nie je len hlavným faktorom podmieňujúcim vznik hornej hranice lesa, ale aj limitujúcim faktorom vplyvujúcim na priestorové usporiadanie ekotonu. Teplotné pomery vo vegetačnom období (v súčinnosti s dĺžkou vegetačnej doby, ktorá ovplyvňuje množstvo tepla potrebného na rast stromu), zásadne vplyvajú na celkovú výšku hornej hranice lesa a stromu.

Typ tepelnej hranice lesa sa vyznačuje (pri smrekových porastoch) plynulým prechodom lesa do kosodreviny a so stúpajúcou nadmorskou výškou sa zápoj korún uvoľňuje. Súvislý lesný porast sa postupne rozpadáva na stromové skupinky, ktoré sa

s narastajúcou nadmorskou stávajú čoraz sporadickejšími, okrajovo sa vyskytujú aj solitérne stromy (Plesník, 1979).

Teploty vplývajú aj na miestne geomorfologické procesy, ako sú soliflukcia a mrazové vzdúvanie, čo taktiež môže ďalej ovplyvňovať generatívne zmladzovanie (Butler a kol., 2004).

Vietor sa na stromovej vegetácii prejavuje rôznym spôsobom, čo sa odráža na fyziognómii hranice lesa. Porasty na hranici lesa vystavené silným mechanicky a fyziologicky účinným vetrom určitého smeru (prípadne v súčinnosti s mrazom a snehom) sa vyznačujú výskytom výrazne vyvinutých zástavovitých foriem stromov.

V nadmorskej výške, kde sa začínajú výraznejšie prejavovať zástavovité formy výška stromov rýchlo klesá, čo zapríčiňuje menší odstup hornej hracie lesa od hornej hranice stromu (Heikkinen a kol., 1995).

Zrážky a vlhkosť vzduchu môžu mať rozhodujúci vplyv na hornú hranicu lesa v suchých oblastiach (Plesník, 1979). Rast drevín je limitovaný predovšetkým nedostatkom vody. Reprodukčný rast, klíčenie a uchytenie semenáčkov, morfológia a fyziológia drevín sú úzko korelované s obsahom vody v pôde. V temperátnej klíme nedostatok pôdnej uprostred rastovej sezóny priamo ovplyvňuje rast v danej a nasledujúcej sezóne. Nepriamym dôkazom je napríklad nižší vzrast drevín v suchej klíme alebo na výsušných stanoviskách. (Barnes a kol., 1998)

Sklon svahu ovplyvňuje frekvenciu katastrofických procesov, ktoré do značnej miery ovplyvňujú štruktúru hornej hranice lesa a stromu (Jeník, Lokvenc, 1962). Teplotné gradienty na určitej vzdialenosti sú nižšie na miernych svahoch, preto dôsledkom teplotných fluktuácií je nárast alebo pokles hornej hranice lesa výraznejší na miernych svahoch, pričom je dokázaná výraznejšia citlivosť ekotonu na miernych svahoch na pozitívne teplotné zmeny (Holtmeier, Broll, 2005).

Vplyv nadmorskej výšky ovplyvňuje dynamiku ekotonu čo sa výraznejšie prejavuje v nižších polohách, ktoré môžu mať výraznejšiu tendenciu nárastu a zdvihu, pretože teplotné obmedzenie sa tu objavuje v menšej miere v porovnaní s vyššími polohami.

Intenzita slnečného žiarenia exponenciálne rastie s nadmorskou výškou v dôsledku vyšších koncentrácií aerosolí v spodných častiach troposféry, preto sa s narastajúcou nadmorskou výškou zvyšuje rozdiel medzi polohou hornej hranice lesa na opačne expozične orientovaných svahoch (Holtmeier, 2009).

2.3 Recentné zmeny polohy hranice lesa v temperátnej a boreálnej oblasti

Ekotony hranice lesa v temperátnej aj boreálnej zóne sú dôležitými indikátormi zmien životného prostredia a ich rozšírenie je limitované teplotou v rastovej sezóne (Körner, 1998; Jobbágy and Jackson, 2000; Körner and Paulsen, 2004).

Aj napriek tomu, že šírka ekotonu hranice lesa môže kolísať od niekoľkých desiatok metrov v prípade horských oblastí temperátneho pásma, po niekoľko desiatok až sto kilometrov v prípade severnej hranice lesa (Troll, 1973; Wardle, 1974) a so zmenou nadmorskej výšky klesá teplota vzduchu približne o 0,6 °C na 100 m a rovnaký teplotný gradient s narastajúcou zemepisnou šírkou odpovedá vzdialenosti 55 km, obidve hranice citlivo reagujú na zmeny klímy a majú mnoho spoločných rysov (Dullinger *a kol.*, 2004).

Štrusa *a kol.* (2010), ktorí uskutočnili v období 1999 – 2008 paralelný výskum subarktického (Abisko vo Švédsku) a stredoeurópskeho pohoria (Krkonoše) potvrdili, že v obidvoch pohoriach prebiehajú obdobné prírodné procesy, ktoré sa odrážajú vo výslednom usporiadaní ekotonu a rovnako dlhodobé oscilácie hornej hranice lesa majú porovnateľný priebeh.

Od 19. storočia bola zaznamenaná expanzia hranice lesa v mnohých horských oblastiach temperátnej aj boreálnej zóny (Shiyatov, 2003; Camarero, Gutiérrez, 2004). To je všeobecne pripisované dôsledkom teplejších podmienok, ktoré nastúpili po ukončení Malej doby ľadovej (1850) (Mazepa, 2005; Vittoz *a kol.*, 2008).

Rovnako pokles ľudskej aktivity, predovšetkým pastvy a nárast koncentrácií CO₂ a depozície dusíku pôsobili na uchycovanie drevín vo vyšších polohách a zväčšovanie hustoty zápoja stromových porastov (Körner, 2005; Holtmeier, 2009).

Avšak vzostup hranice lesa nebol v niektorých prípadoch až taký výrazný ako zhusťovanie ekotonu (Camarero and Gutiérrez, 1999; Mazepa, 2005; Vittoz *a kol.*, 2008). Nižšia miera expanzie môže byť dôsledkom menšieho rozšírenia porastov (Mazepa, 2005), alebo vplyvom mikroklimatických, lokálnych a disturbančných faktorov (Holtmeier a Broll, 2005; Vittoz, 2008; Noble, 1993).

Zvýšenie teploty v dôsledku klimatických zmien a posun hranice lesa do vyšších nadmorských výšok a severnejších zemepisných šírok by mohlo mať vplyv na druhové zloženie vegetácie ekotonu hranice lesa, prípadne spôsobiť až zánik niektorých rastlinných spoločenstiev (Grace *a kol.*, 2002).

Richebusch *a kol.* (2006) vo svojej štúdii vo Švajčiarskych Alpách a na severe Fínska, prostredníctvom modelovania rôznych stupňov teplotných zmien (+1,3; +3,5 a

+5,6°C) dospela k rovnakému záveru, že podľa súčasných odhadov klimatických zmien v 21. storočí (aj v prípade najmiernejšieho scenára (+1,3°C)), dôjde k posunu hranice lesa do vyšších nadmorských výšok približne o 200 m a v prípade boreálneho pásma aj k posunu smerom k pólom. V oboch prípadoch môžu zmeny teploty viesť k drastickému poklesu v zastúpení niektorých druhov stromov a v prípade štúdie pre Švajčiarske Alpy by došlo k úplnému vymiznutiu borovice limby (*Pinus cembra*).

Heikkinen a kol. (1995), sa zaoberali porovnávaním biologických, historických a environmentálnych aspektov hornej hranice lesa v Poľských Karpatách, hlavne v Tatrách a na severe Fínska a dospeli k tomu, že takmer v celých Karpatách a rovnako v oblasti Fennoškandinávie je vplyvom antropogénnej činnosti klimatický limit rastu stromov lokalizovaný nad súčasnou polohou hranice lesa. Dôsledkom ľudskej činnosti sa znížila prirodzená hranica lesa v Tatrách o 120-150 m počas posledných 400 - 500 rokov (Rybníčková, Rybníček, 1993; Heikkinen, 1995) a severná hranica vo Fennoškandinávii ustúpila na juh o niekoľko desiatok kilometrov počas posledných 200 rokov (Mattson, 1995; Heikkinen 1995).

Vittoz a kol. (2008) posudzoval vplyv klimatických podmienok a zmien vo využívaní krajiny na rozširovanie a rast borovice limby (*Pinus cembra*) v Centrálnych Švajčiarskych Alpách, porovnaním komplementárnych stanovísk v troch polohách ekotonu ovplyvnených rôznou mierou antropogénneho využívania v minulosti. V oboch prípadoch zaznamenal rozširovanie a rozrastanie ekotonu. V oblasti bez pôsobenia človeka došlo k nástupu nových jedincov okolo roku 1850 (po skončení Malej doby ľadovej), v časti nachádzajúcej sa v minulosti pod antropogénnym vplyvom o 60 rokov neskôr. Vittoz a kol., dospel k výsledku, že uchycovanie stromov v skúmanej oblasti súvisí najmä s priebehom teplôt a v nižších polohách stanovísk zaznamenal vplyv stresu suchom na rast stromov. Rovnako zistil, že k najväčšiemu nárastu nových jedincov došlo v oblastiach zapojeného lesa, kde dochádzalo k dlhodobému a rovnomernému uchycovaniu stromov, ale zároveň zastúpenie najmladších vekových kategórií v najvyšších častiach ekotonu potvrdilo nárast hornej hranice stromu.

Výrazné zmeny v rozširovaní ekotonu hranice lesa v Švajčiarskych Alpách potvrdili aj Gehrig-Fasel a kol. (2007), ktorí s využitím leteckých snímok z obdobia rokov 1985-1997 porovnávali zmeny v pokryvnosti lesných porastov. Hoci sa jedná o relatívne krátke obdobie v porovnaní s obdobím rastu a životného cyklu stromov, výsledky analýzy potvrdili dlhodobý trend nárastu lesných plôch v Švajčiarskych

Alpách a rovnako zistili, že k výraznejším zmenám došlo v oblasti zapojeného lesa rozrastaním stromových porastov v porovnaní so vzostupom hranice lesa.

Wallentin a kol. (2008), skúmali prirodzenú regeneráciu letných pastvín v Rakúskych Alpách v období 1954 – 2006. Na základe objektivej analýzy obrazu dát z diaľkového prieskumu Zeme a posudzovania produkcie a šírenia semien a kompetičných podmienok s prízemnou vegetáciou zistili výrazný posun hranice lesa do vyšších polôh a rovnako dokázali výrazný vplyv využívania krajiny v minulosti na zákonitosti regenerácie porastov.

Šelfendr a Madera (2011) na základe porovnávania rozdielov vo vekovej štruktúre populácie smreka (*Picea abies*) v rôznych častiach ekotonu hornej hranice lesa v Hrubom Jeseníku (v Západných Karpatách), dospeli k záveru, že k posunu hornej hranice lesa do vyšších nadmorských výšok a tým k značnému znižovaniu oblasti bezlesia, dochádza v dôsledku desaťročia trvajúcich procesov bez pôsobenia antropogénnych vplyvov.

Shiyatov (2003, 2005) študoval priestorovo-časovú dynamiku lesných spoločenstiev tundry v ekotone polárnej oblasti Uralu, kde dominuje sibírsky smrekovec (*Larix sibirica*) a v nižších polohách smrek (*Picea obovata*) v 20. storočí. Až do súčasnosti sa tieto lesy vyvíjali väčšinou pod vplyvom prírodných podmienok. Vďaka prirodzenému zalesneniu a zvýšeniu hustoty a produktivity existujúcich lesných porastov došlo rovnako k výraznému nárastu v oblasti zapojeného lesa ako aj k posunu v najvyšších oblastiach ekotonu. Zmeny boli spôsobené otepľovaním klímy a zvýšením vlhkosti zaznamenaných počas posledných 90. rokov.

Lokálne môžu mať ľudské aktivity veľký vplyv na rozmiestnenie a druhové zloženie ekotonu hranice lesa. V Alpách, napríklad aktivity ako pasenie alebo lesníctvo, prebiehajúce po celé stáročia často viedli k zníženiu hornej hranice lesa, čo sa ale výrazne zmenilo so silným trendom vyľudňovania vidieka a opúšťania pôdy v oblastiach kde sú podmienky pestovania nepriaznivé (Holtmeier a Broll, 2005).

Až v posledných desaťročiach teda dochádza k obnove lesa a zvyšovaniu jeho hornej hranice. (Gehrig-Fasel a kol., 2007).

Severná hranice lesa vo Fennoškandinávii je tiež ovplyvnená ľudskou činnosťou cez lesníctvo alebo pastvu, čo tu ale vyústilo k zvýšeniu hustoty porastov (Suominen a Olofsson, 2000), pretože pre šírenie semien poskytujú antropogénne ovplyvnené plochy všeobecne priaznivejšie podmienky (nižšia kompetícia s okolitými porastmi a vzdialenosť od zdroja šírenia) (Holtmeier, Broll, 2005, 2007). Keďže je táto oblasť

oveľa menej husto obývaná ako Alpy, hlavným vplyvom zostávajú klíma a prírodné disturbancie ako sú požiare, hmyz alebo nárazy vetra (Richebusch a kol., 2006).

Hranica lesa v temperátnom aj boreálnom pásme sú schopné zmeniť svoju pozíciu v priebehu storočia, dokonca desaťročia (Heikkinen, 1995). V období Malej doby ľadovej (neskoré 16. – polovica 19. storočia), došlo k poklesu hranice lesa v Škandinávii (Kullman, 1993), zatiaľ čo zlepšenie klimatických podmienok od začiatku 20. storočia viedlo k zlepšeniu rastu stromov a vzostupu hranice lesa (Mazepa, 2005; Vittoz a kol., 2008). Zvýšenie polohy hranice lesa má veľký vplyv na alpínske oblasti a to predovšetkým zánikom stanovišťa alpínskej a arkoalpínskej flóry a mení vzhľad celej horskej krajiny (Grace a kol., 2002).

2.4 Horná hranica lesa v Hrubom Jeseníku

Horské prostredie jeseníckych lesov sa vyznačuje značným nedostatkom tepla a na niektorých lokalitách aj nepriaznivou vlhkosťou bilanciou. Tieto činitele ovplyvňujú priebeh hornej hranice lesa a zároveň malú vitalitu prirodzenej obnovy. Rozvolnené porasty pri hornej hranici lesa sú formou akou tieto lesy zlepšujú svoju teplotnú bilanciu (Bednář, 1973).

Šírka ekotonu hornej hranice lesa je v dôsledku antropogénneho vplyvu a prirodzenej absencie kosodreviny, ktorá vďaka svojmu kompetičnému tlaku prispieva k rozšíreniu prechodnej zóny relatívne úzka (Alblová, 1970, Jeník, 1973). Až 70% pásu boja má šírku do 100m a do značnej miery sa tak tento ekoton liši od hranice lesa v Krkonošiach či Karpatách (Treml, 2000).

Maximálna výška hornej hranice lesa v Hrubom Jeseníku je 1405 m n.m a je dosiahnutá na SZ svahu Pradeda, priemerná výška hranice lesa dosahuje 1310 m n.m. a jej najnižšia poloha (1100 m n.m) je lokalizovaná vo Veľkej Kotline. Celková dĺžka hornej hranice lesa je 44 km (Treml, 2000).

Porovnaním súčasných priemerných teplôt vegetačného obdobia v maximálnych polohách hornej hranice lesa v rozmedzí 6,6 – 7,5°C (Treml, 2000) so všeobecne udávaným rozmedzím pre maximálne polohy hornej hranice lesa 6,6 – 7,5°C (Körner, 1999) vyplýva, že horná hranica lesa v Hrubom Jeseníku je prirodzeným fenoménom (Treml, 2000).

Prostredníctvom peľových profilov bolo dokázané bezlesie vo vrcholových partiách zhruba od 2000 BP do súčasnosti, pričom k značnému antropogénnemu ovplyvneniu došlo zhruba pred 500 rokmi (Alblová, 1970). O prítomnosti prirodzeného

bezlesia v Hrubom Jeseníku je možné uvažovať v južnej časti hlavného hrebeňa v úseku Vysoká Hole - Pecný (Tremel, 2007).

Masív Hrubého Jeseníka začal človek využívať až od obdobia 15. – 16. storočia čo sa dlho týkalo len nižších, okrajových polôh, kde boli náleziská rúd. Najvyššie polohy Jeseníkov, predovšetkým hole v okolí Pradedu, Vysokej hole, Keprníku a Králického Snežníku, pod ktorými sa tiahli porasty riedkeho horského lesa s trávnatým podrastom, sa začali intenzívnejšie využívať pre pastvu dobytka až na prelome 17. a 18. storočia. K väčšiemu rozšíreniu týchto plôch ale došlo až koncom 18. storočia následkom holosečných ťažieb, ktoré na východných svahoch Vysokej hole a Pradedu zasahovali až pod samotnú hornú hranicu lesa (Hošek 1973).

Obrat v hospodárení v najvyšších polohách Hrubého Jeseníka nastáva v polovici 19. storočia, kedy začalo dochádzať k obmedzovaniu antropogénnych zásahov a v období 1883 – 1907 prebehli pokusy o zalesnenie niektorých častí holí smrekom, borovicou limbou a kosodrevinou medzi Pradedom a Ovčárnou (s výnimkou bezprostredného vrcholu Pradedu, z dôvodu uchovania vysokohorskej flóry), ale úspech bol len dočasný a zachovali sa len dva úzke pásy kosodreviny, ktoré mali tvoriť hornú hranicu (Hošek 1973).

Stromové skupinky či solitéry nachádzajúce sa v súčasnosti nad zapojeným lesom vznikli už generatívnym respektíve vegetatívnym zmladzovaním (Tremel, 2000).

3. Fyzickogeografická charakteristika územia

3.1 Geologické a geomorfologické pomery

Hrubý Jeseník je najvyšším pohorím Vysokých Sudet so značne členitým reliéfom a jeho základným rysom je stupňovitá stavba. Základné geologické rysy pohoria boli vytvorené variskou orogénzou a oblasť patrí do moravskoslezskej oblasti Českého masívu pričom jeho najvyššie polohy sú budované granitoidmi alebo metamorfovanými horninami paleozoického až proterozoického veku (Chlupáč a kol., 2002).

Na dnešných geomorfologických rysoch sa prejavila výrazná zlomová štruktúra a najstaršie tektonické línie siahajú až do obdobia kaledónskej orogénzy (Demek, 1971). Tektonické pohyby a zlomové poruchy z obdobia kriedy a kenozoika spôsobili výzdvih hrástí v saxónskej fáze alpínskej orogénzy a podmienili tak vznik údolnej siete (Kunský, 1967). Zlomové štruktúry sú prevažne orientované v SZ – JV a SV – JZ smere

(Mísař, 1965 in Treml, 2007). Charakteristickou črtou reliéfu Sudetských pohorí sú vysoko vyzvihnuté zarovnané povrchy (Kunský, 1967).

Tektonicky podmienený smer údolí mal vplyv na zmeny prízemného veterného prúdenia (Jeník, 1961), čo podmienilo mnoho reliéfových procesov a tým nepriamo priebeh hranice lesa (Treml, 2007).

3.2 Klimatické pomery

Hrubý Jeseník sa nachádza na rozhraní oceánskej a kontinentálnej klimatickej oblasti, čo má rozhodujúci vplyv na vývoj lesných porastov v celej oblasti. Podľa Quitta (1971) spadajú najvyššie partie do najchladnejšej klimatickej oblasti CH4, ktorá je charakterizovaná veľmi krátkym, chladným a vlhkým letom a veľmi dlhým prechodným obdobím s chladnou jarou a mierne chladnou jeseňou a veľmi dlhou, veľmi chladnou vlhkou zimou s veľmi dlhým trvaním snehovej pokrývky.

Prevládajúcim vetrom je vo všetkých mesiacoch v roku západný vietor a druhým najčastejším smerom je vietor JZ smeru. Tieto vetry so sebou prinášajú vlhkosť v podobe zrážok a vysokej vzdušnej vlhkosti.

Najveternejšími mesiacmi v roku sú november až január a najnižšiu priemernú rýchlosť dosahuje vietor v júli. Priemerná rýchlosť vetra dosahuje 5,9-8,7 m/s. Pri prechode front dostáva prúdenie vzduchu silne nárazový charakter a jednotlivé nárazy dosahujú silu až 200 km/h (Lednický, 1972).

Značný vplyv na celkový ráz klímy Hrubého Jeseníka má skupina Králického Snežníka, ktorá zdvíha celú hmotu vzdušných prúdov prichádzajúcich od západu. Tým je ovplyvnené vytváranie lesných spoločenstiev v Hrubom Jeseníku a dochádza k posunutiu jednotlivých stupňov šírenia lesa do vyšších polôh (o 150 až 200 m vyššie ako v prípade (Bednář 1973).

Horský masív Králického Snežníka pôsobí ako prekážka, v dôsledku ktorej dochádza k výstupu vzdušného prúdu a k stlačeniu jeho prúdnice v zmenšenom prietochnom profile, čo vedie k zvýšeniu jeho rýchlosti. Toto lokálne prúdenie vytvorené vplyvom údolných systémov západo-východného tvaru, ktoré vytvára tzv. anemo-orografické systémy, úzko vplýva na veterné vrcholové polohy a záveterné turbulentné priestory lokalizované v najväčšej miere v priestore kotlín a jám (Jeník, 1961).

Veterné pomery Hrubého Jeseníka sú jedným z najvýznamnejších činiteľov, ktoré ovplyvnili vznik bohatých botanických nálezísk a súčasný stav alpinskej vegetácie

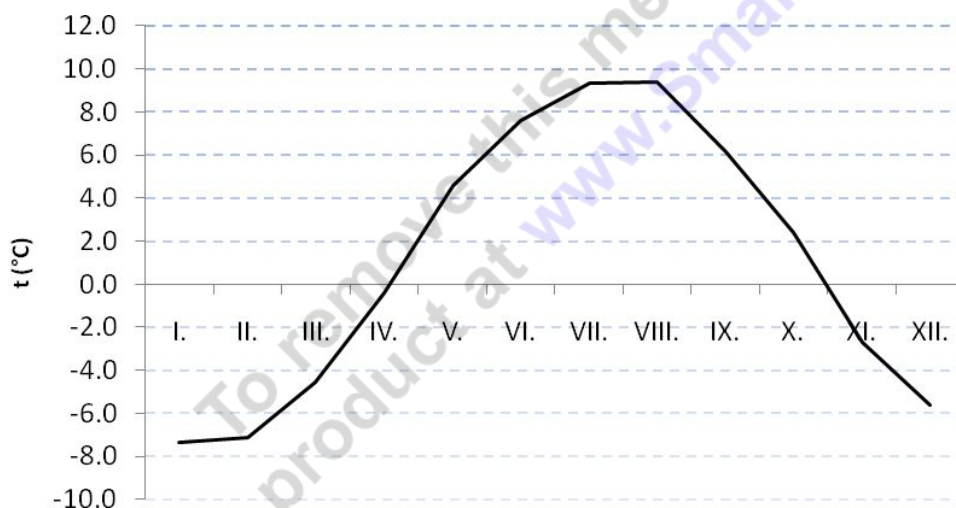
(Jeník, 1961). Vietor má vplyv aj na distribúciu snehovej pokrývky, ktorá sa vo väčšej miere hromadí v oblasti zapojeného lesa (Štrusa a kol., 1973).

Ročný úhrn zrážok sa pohybuje okolo 1400 mm v niektorých miestach 1500 mm. Rovnako rozloženie zrážok počas roka je priaznivé. Maximum zrážok padne v júny a v júli, teda v období vrcholiacej vegetačnej sezóny. Obdobie dlhšie trvajúceho sucha je tu veľmi vzácné (Bednář, 1973).

Drsnosť klímy v Jeseníkoch bola dokázaná v porovnaní s klimatickými údajmi iných vysokohorských oblastí (Alpy, Tatry), pričom rovnaké hodnoty niektorých meraných veličín sú v Jeseníkoch dosahované zhruba o 300 m nižšie než v porovnávaných oblastiach. Dôležitú úlohu pri tom zohráva fakt, že najvyššie časti Jeseníkov sa stotožňujú s priebehom hornej hranice lesa a teda tieto lesy nie sú chránené žiadnou nad nimi čnejúcou hmotou bezlesých častí hôr, ktoré fungujú ako ochrana (Bednář, 1973).

Klímu Pradedu je možné charakterizovať ako studenú horskú (v júli priemerná teplota 10°C), vlhkého rázu, pretože celý rok má dostatok vlahy (Tejnská, Tejnský 1972). Svojimi veternými pomermi sa radí Praded medzi najveternejšie miesta v Českej republike.

Obrázok 1: Priemerné mesačné teploty z meracej stanice Praded v období 1941 – 1997



3.3 Hydrologické pomery

Hrebeň Hrubého Jeseníka je súčasťou hlavného európskeho rozvodia a z východných svahov odteká voda riekami povodím Odry do Baltského mora (Biela, Stredná a Čierna Opava, Bělá, Podolský potok a Moravica) a zo západných svahov povodím Moravy (Branná, Desná, Merta) do Čierneho mora (Kalus a kol., 1972).

Smrekové monokultúry prevládajúce v Hrubom Jeseníku svojimi plytkými koreňmi znemožňujú zrážkovej vode vsiaknuť do horských kamenitých pôd s nezvetranou pôdou a základné horniny jeseníckeho kryštalinika, desenské ruly a keprnické orthoruly, sú bez puklín takže zrážková voda nemôže vytvárať podzemné zásoby. (Kalus a kol., 1972).

3.4 Pôdy

Na výskyt pôd v Hrubom Jeseníku vplyva charakter kyslých pôdotvorných substrátov, nízke teploty a vysoké zrážkové úhrny v oblasti, prevažne sa tu vyskytujú rôzne druhy podzolov lokálne sa vyskytujú tiež litozeme, rankre a organozeme (Vavříček, 2004; Vacek, 2007).

V najvyšších polohách (približne 1050 m) prevládajú humusovo – železité podzoly, miestami zamokrené a zrašelinelé, inak sú hlavným zástupcom pôd kambizemné podzoly. V nižších častiach údolných svahov a pri okrajoch pohorí sa vyskytujú aj dystrické kambizeme a veľmi málo sa vyskytujú ostrovčeky hnedých rendzín na vápencoch a nevyvinuté pôdy na strmých zrázoch a skalných výstupoch (Pelíšek, 1972).

3.5 Biogeografické pomery

Hrubý Jeseník spadá podľa regionálneho fyto geografického členenia územia Českej republiky do fyto geografického obvodu České oreofikum, fytochorium 97 Hrubý Jeseník (Skalický, 1988).

Oblasť hornej hranice lesa je v Hrubom Jeseníku druhovo zložená len z porastov smreka (*Picea abies*) a miestami s prímiesou jarabiny vtáče (*Sorbus aucuparia*) a javor horský (*Acer pseudoplatanus*) (Madera, 2004). Na hanici lesa môže vyskytnúť aj breza bradavičnatá (*Betula pubescens*) a v oblastiach znížených polôh aj buk lesný (*Fagus sylvatica*) (Jeník, 1961).

Hrubý Jeseník je oblasťou extrazonálnej horskej vegetácie a kveteny, v ktorej až na nepatrné výnimky nie sú zastúpené teplomilné druhy. Podľa geobotanickej

rekonštrukcie v minulosti prevládali v Hrubom Jeseníku klimaxové spoločenstvá lesa a v komplexe lesných spoločenstiev boli lokálne vyvinuté špecifické fytoocenózy viazané na rašeliniská, prameniská a skaly (Mikyška a kol., 1968).

Klimaxovým spoločenstvom Hrubého Jeseníka sú okrem smrečín aj listnaté a zmiešané lesy, prevažne bučiny (Jeník, 1961).

Z florogenetických dôvodov sa v Hrubom Jeseníku prirodzene nevytvorilo pásmo kosodreviny (*Pinus mugo*), pretože sa nebola schopná presadiť v konkurenčnom boji so smrekom v dobách kedy bola oblasť Hrubého Jeseníka porastená drevinami (Bednář, 1973), čo ovplyvnilo väčšiu diverzitu alpínskych biocenóz aj veľkú diverzitu pozdĺž biotopových gradientov (Jeník, 1973).

Výskyt kosodreviny vo vrcholových polohách Hrubého Jeseníka na základe prevedených peľových a makroskopických analýz rašelinových profilov v posledných asi 5000 rokoch nepotvrdili v minulosti ani Rybníček a Rybničková (2004). Do alpínskych polôh Hrubého Jeseníka bola prvý krát vysadená v druhej polovici 19. storočia (Hošek, 1964). Kosodrevina sa na uvedenom území pozvoľna šíri na úkor pôvodných reliktných biotopov, vrátane rozvoľnených smrekových porastov na hornej hranici lesa (Banáš a kol., 2001).

Z trávnatých spoločenstiev sa vyskytuje endemická tráva *Poa riphea* a vo vrcholových partiách sú typické vyfúkavané trávniky *Juncion trifidi* a z kveteny je predmetom ochrany endemický zvonček *Campanula gelida*, rastúci už len v lokalite obvodu Petrových kamenov (Jeník, 1973).

3.6 Vymedzenie študovaného územia

Záujmové územie predstavuje ekoton alpínskej hranice lesa v Hrubom Jeseníku. Výskum prebiehal na protiľahlo expozične orientovaných svahoch (SW/NW) Vysokej Hole, Petrových kamenov a Pradedu, kde boli vymedzené 4 základné transekty. V rámci každého transektu boli vymedzené vždy 3 výskumné plochy s rozlohou 1500 m² (30 m v smere po spádnici x 50 m v smere po vrstevnici). Výskumné plochy zahŕňajú 3 úrovne výškového gradientu v ekotone alpínskej hranice lesa v oblastiach s podobným sklonom. V rámci každého svahu bolo vymedzené jedno stanovisko v zapojenom lese a dve stanoviská v stromových skupinkách.

V ekotone hornej hranice lesa, na prechode medzi zapojeným lesom a hornou hranicou stromu, sa nachádzajú plochy strednej časti transektov, ktoré zahŕňajú

klonálne skupinky smreka s minimálnou výškou 5m u najvyššieho jedinca, s priemernou nadmorskou výškou 1382 m.

V najvyšších nadmorských výškach sa nachádzajú stanoviská na hornej hranici výskytu klonálnych skupiniek prípadne solitérnych stromov s minimálnou výškou 2m (Tremel, 2007) a priemernou nadmorskou výškou 1407 m.

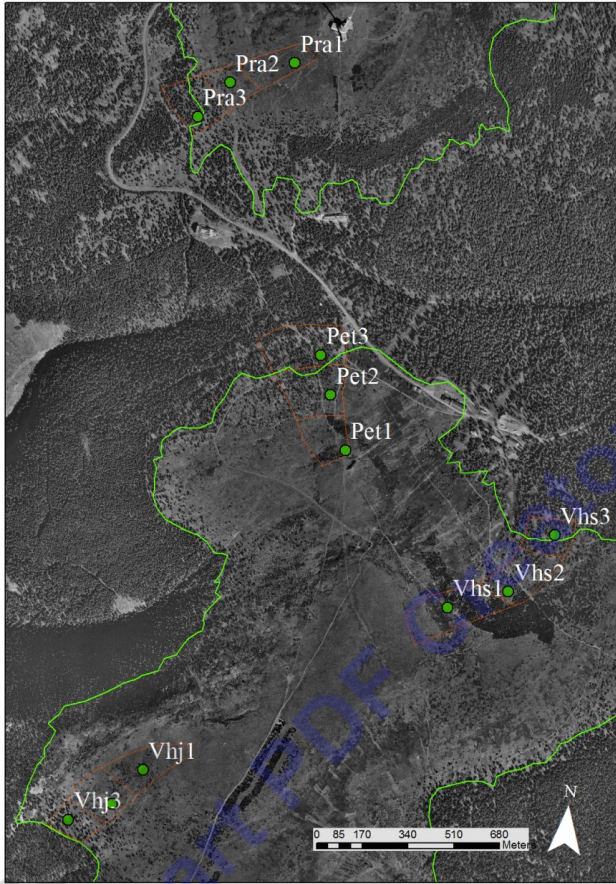
Horná hranica plôch zahŕňajúcich najvyššie sa vyskytujúce skupinky stromov približne súhlasí s hornou hranicou lesa odpovedajúcej termínu „treeline“ (Körner, 1999), čo je spojnica najvyšších ostrovčekov lesa na svahoch rovnakej expozície. Takto vymedzená línia eliminuje lokálne podmienené disturbačné a mikroklimatické vplyvy, preto sú plochy najvyššie položených stromových skupiniek vhodné pre porovnávanie prípadných expozičných rozdielov alebo rozdielov medzi pohoriami (Tremel, Banáš, 2008).

Plochy boli vymedzené tak, aby bolo možné posúdiť dynamiku horná hranica lesa na regionálnej úrovni pohoria Hrubý Jeseník a zároveň porovnať rozdiely v priestorovom usporiadaní a vekovej štruktúre vnútri ekotonu.

Tabuľka 1:

Obrázok 2: Vymedzenie študovaného územia v Hrubom Jeseníku

kód stanoviska	typ	Nadmorská výška (m n.m.)	sklon svahu	orientácia
PRA3	hranica lesa	1411	12	SW
PRA2	skupinky 2	1443	11	SW
PRA1	skupinky 1	1468	10	SW
VHJV3	hranica lesa	1348	19	SW
VHJV2	skupinky 2	1400	15	SW
VHJV1	skupinky 1	1436	10	SW
PET3	hranica lesa	1361	17	NE
PET2	skupinky 2	1390	14	NE
PET1	skupinky 1	1429	13	NE
VHSZ3	hranica lesa	1355	14	NE
VHSZ2	skupinky 2	1391	12	NE
VHSZ1	skupinky1	1424	12	NE



4. Metódy

Pri hodnotení dynamiky ekotonu hornej hranice lesa bol skombinovaný terénny výskum, za účelom zistenia vekovej štruktúry porastov smreka a metódy DPZ zamerané na celoplošné vyhodnotenie zmien pokrývnosti smreku v daných časových obdobiach. Zámerom využitia dvoch rozličných prístupov k riešeniu problematiky bolo overenie a podporenie trendov zistených v jednotlivých fázach výskumu.

V rámci hodnotenia bola prevedená nielen analýza dynamiky ekotonu hornej hranice lesa, ale boli tiež hodnotené faktory vplyvajúce na vývoj ekotonu v minulosti a súčasnosti. Analyzovanými faktormi boli teplotné podmienky, pozícia meracieho stanoviska v ekotone (orientácia plôch voči svetovým stranám, nadmorská výška) a zmeny vo využívaní krajiny (antropogénna činnosť).

Veková štruktúra porastov smreku bola zisťovaná dendrochronologickými metódami zo všetkých živých stromov na vymedzených lokalitách. Následne bolo prevedené porovnanie zmien vo vzťahu medzi vekom a obvodom živých jedincov v závislosti od polohy stanovisk v ekotone. Na základe tohto vzťahu bol prostredníctvom nelineárnej regresnej analýzy určený približný vek suchých stromov zaznamenaných na jednotlivých lokalitách.

Ďalej bola prevedená analýza vplyvu teplotných charakteristík vzduchu na zmladzovania porastov smreku.

Priestorovo-časové zmeny pokrývnosti smreku boli zisťované prostredníctvom súčasných ortofotomáp a historických leteckých snímok, ktoré boli ortorektifikované a jednotlivé typy vegetačného pokryvu boli klasifikované do tried. Takto kategorizované údaje boli použité na stanovenie sumárnych štatistických charakteristík jednotlivých klasifikačných tried.

Hodnotenie dynamiky zmien plošného zastúpenia typov vegetačného pokryvu na vymedzených plochách bolo prevedené prostredníctvom multitemporálneho porovnávania snímok zo šiestich časových období a následnej analýzy sledovaných tried. Tak bolo možné zistiť nielen vývoj sledovaného krajinného prvku, ale aj zmeny veľkosti v sledovaných oblastiach.

Výsledkom práce je zhodnotenie vplyvu analyzovaných faktorov na dynamiku stromových porastov.

4.1 Zisťovanie vekovej štruktúry porastov smreku

4.1.1 Odber vzoriek

Odber vzoriek zo smreku obyčajného (*Picea abies*) prebehol na vymedzených plochách v ekotone hornej hranice lesa Hrubého Jeseníka v mesiacoch september až október 2009 a august až september 2010.

Vzorky boli odoberané vo forme vývrtov, odvítaním pomocou Presslerovho nebožieca s dĺžkou 20 a 50 cm, zo všetkých živých zdravých jedincov. Suché, ale stále stojace kmene boli rovnako predmetom záujmu a teda z nich boli odoberané vzorky. Pri skupinkách stromov vzniknutých klonálne bol pre odber vzorky braný do úvahy len materský jedinec. Pri odumretých jedincoch, z ktorých nebolo možné odobrať vzorky bol zaznamenaný ich počet a obvod kmeňa vo výške 1m. U živých jedincov s priemerom kmeňa menším ako 5cm bol zaznamenávaný aj počet prาสlenov. Jedince nižšie ako 0,5m boli zaradené do spoločnej kategórie „semenáčky“.

Vzorky zo živých, prípadne stojacich odumretých jedincov boli odoberané v čo najnižšej možnej výške nad pätou kmeňa. Vzhľadom k rôznorodým podmienkam prostredia sa výška odoberania vývrtov v jednotlivých prípadoch líši, čo bolo ale ďalej zohľadnené pri ich vyhodnocovaní. Aby sa eliminovalo znehodnotenie vzorky prítomnosťou reakčného dreva boli vývrty odoberané najčastejšie v smere po vrstevnici. Dôležité je aby vzorky obsahovali čo najviac letokruhov od jadra po okraj kmeňa a bol prítomný podkôrny letokruh, umožňujúci presné datovanie vzorky. Ideálna je vzorka obsahujúca aj dreň. Pri odbere každej vzorky boli zaznamenané dendrometrické charakteristiky: výška vývrtu a obvod kmeňa stromu vo výške 1m.

Celkovo bolo na vymedzených plochách v ekotone hornej hranice lesa Hrubého Jeseníka odobraných a ďalej spracovaných 337 vzoriek zo žijúcich jedincov (vždy 1 vzorka na 1 strom) a zaznamenaných 263 suchých jedincov a 50 semenáčikov.

V prípade výskytu iných druhov stromov bol pre každú plochu spracovaný záznam druhu, počtu a výšky jedincov.

Získané a popísané vzorky boli následne upevnené na drevené lišty kde bol ich povrch upravený radou brúsnych papierov od najhrubšieho po najjemnejší do roviny.

4.1.2 Vyhodnotenie vzoriek

Vzorky boli merané a spracované pomocou binokulárneho mikroskopu a posuvného meracieho stola s poloautomatickým odčítaním hodnôt s presnosťou 0,01 mm (Time Table), prepojeného s dendrochronologickou aplikáciou Past 4 (Knibbe,

2004). Meranie bolo prevedené na priečnom reze aby bola šírka letokruhov dobre viditeľná.

Pretože cieľom práce je dôraz na zistenie vekovej štruktúry (šírka prírastu nie je dôležitá) je posledný letokruh vytvorený v obidvoch obdobiach (september až október 2009 a august až september 2010) odberu vzoriek považovaný za úplný, a teda je pri ďalšom vyhodnocovaní braný do úvahy. Výsledkom vyhodnotenia odobraných vzoriek sú letokruhové rady a krivky a stanovenie predbežného veku každého jedinca.

4.1.3 Určenie veku živých stromov

Pri požiadavke na zistenie presného veku stromu je potrebné brať do úvahy neúplnosť vzoriek (extrapolácia smerom k dreni) a odhadnúť dobu rastu stromu k dosiahnutiu výšky odberu vzorky (Schweingruber, 1996).

Korekcia veku vzhľadom na extrapoláciu smerom k dreni je výsledkom podielu priemernej hodnoty ročného šírkového prírastu posledných piatich zachytených letokruhov a vzdialenosti od predpokladaného stredu. Na stanovenie chýbajúcej dĺžky polomeru smerom k dreni bol použitý dreňový lokátor (pith lokator) zostavený zo sústredných kružníc prispôbených zakriveniu vnútorných letokruhov (Batllori, Gutiérrez, 2008).

Pre korekciu veku k výške odberu vzorky, teda určenie doby, za ktorú strom dorastie do výšky vývrtnu, bol použitý vzťah: vek = 1.19*(výška vývrtnu)^{0.5374} odvodený jednoduchou regresnou analýzou medzi výškou stromu a presným vekom vyrúbaných jedincov (cca do 50cm výšky) určenom na základe letokruhov pri koreňovom krčku.

Po prevedení korekcií vzhľadom na výšku odberu vzoriek a extrapoláciu smerom k dreni bol určený konečný vek a rok, v ktorom sa jedince na jednotlivých stanoviskách uchytili.

Vek jedincov s obvodom kmeňa menším ako 5cm bol určený spočítaním vetvových praslenov. Každoročný výškový prírast je na strome u niektorých ihličnatých drevín dobre zreteľný a ohraničený vetvovými praslenmi. S postupujúcim vekom spodné prasleny stromov, hlavne v zapojenom priestore, odumierajú. Kmene sa od vetiev čistia a prasleny sú potom zreteľné len vo vyšších častiach stromu. Preto je možné do určitého veku stromov (asi 30 rokov) niektorých ihličnatých drevín (smrek, borovica a jedľa) zistiť vek spočítaním praslenov (Korff, 1972).

Na základe získaných údajov bola analyzovaná veková štruktúra jednotlivých stanovísk.

4.1.4 Závislost medzi obvodom kmeňa a vekom živých stromov

Závislosť obvodu kmeňa stromov na meniacom sa veku bola zisťovaná nelineárnym regresným modelom. Regresná analýza bola prevedená zvlášť pre každé stanovisko, ako aj pre skupiny plôch s rovnakou expozíciou a polohou na svahu (nadmorskou výškou).

Kvalita vyjadrenia skutočnej závislosti použitých regresných modelov bola posudzovaná prostredníctvom koeficientov determinácie. Pretože do regresnej analýzy vstupuje pomerne malý počet vzoriek (najmä v prípade kedy bola regresná analýza prevedená pre jednotlivé stanoviská) extrémne hodnoty majú väčší vplyv na konečný výsledok, boli preto z výberových súborov odstránené.

Výstupom analýzy sú bodové diagramy spolu s regresnou priamkou, ktorej parametre boli odhadnuté metódou najmenších štvorcov. Grafické znázornenie javu umožňuje porovnanie zmien vo vzťahu medzi vekom a obvodom stromov v závislosti od polohy stanovísk v ekotone (vplyv expozičného efektu a nadmorskej výšky na rast stromov).

Pre porovnanie veku stromov a zistených dendrometrických charakteristík medzi komplementárnymi stanoviskami bola využitá analýza variancie (ANOVA) s použitím programu STATISTIKA 9.

4.1.5 Určenie veku suchých stromov

Vek suchých stromov, z ktorých nebolo možné odobrať vzorky bol odvodený pomocou nelineárnej regresnej analýzy na základe zistených charakteristík - obvodu (vo výške 1m) a veku (po prevedení predchádzajúcich korekcií) živých stromov.

Pri určovaní vzťahu závislosti medzi vekom a obvodom živých stromov bola braná do úvahy poloha stanovísk v ekotone. Na základe porovnania jednotlivých analýz bol vybraný regresný model dosahujúci najvyššie hodnoty koeficientu determinácie, podľa ktorého bol následne vek suchých stromov dopočítaný.

Výsledný vek suchých stromov ale predstavuje len orientačný údaj pre analýzu vekovej štruktúry, pretože nepoznáme dobu, v ktorej jedince odumreli. Z toho dôvodu nie je možné určiť ani rok, v ktorom sa jedince na vymedzených lokalitách uchytili.

4.2 Zisťovanie priestorovo-časových zmien pokrývnosti smreka

4.2.1 Ortorektifikácia snímok

Pre určenie historického stavu ekotonu hornej hranice lesa na vymedzenom území boli využívané panchromatické letecké snímky v podobe negatívov získané z VHTU Dobruška. Snímky boli naskenované s rozlíšením od 14 – 28 μ m. Ku každej snímke boli k dispozícii kalibračné údaje obsahujúce typ, ohnisko a rozlíšenie snímača a mierku snímky. Celkovo bolo spracovaných 12 snímok zo šiestich časových období.

Pre spracovanie leteckých snímok (geometrickú transformáciu) bola využitá metóda ortorektifikácie s využitím vektorovej databázy DMÚ 25 (zdrojom dát sú vrstevnice po 5m z máp TM25), ktoré boli podkladom pre vytvorenie digitálneho modelu reliéfu s rozlíšením pixla 10m a ortofotomáp z roku 2002, získaných z ČÚZK, odrážajúcich súčasný stav krajiny.

Tabuľka 2: Základné údaje o použitých leteckých snímkach

Rok snímkovania	Číslo snímky	Rozlíšenie skenovania (μ m)	Mierka snímky	Ohnisko snímača	Výsledné rozlíšenie pixla (m)
1946	292	28	1:15000	200,2	0,420
	272	28	1:15000	200,2	0,420
1953	12789	14	1:21400	210	0,300
1962	18668	21	1:12000	210,79	0,252
	18667	21	1:12000	210,79	0,252
	18586	21	1:12000	210,79	0,252
1973	27123	21	1:15250	209,74	0,320
	27164	21	1:15250	209,74	0,320
	27186	21	1:15250	209,74	0,320
1985	21892	21	1:19666	152,12	0,413
	21864	21	1:19666	152,12	0,413
	21863	21	1:19666	152,12	0,413

Ortorektifikácia snímok bola prevedená v programe Geomatica OrthoEngine 10.1. Metóda je založená na identifikovaní odpovedajúcich si kontrolných bodov na digitálnom obraze a v mape tak, aby mohla byť vykonaná transformácia zo súradnicového systému obrazu do mapového súradnicového systému (Žihľavník, Scheer, 2001). Letecké snímky boli prevedené z centrálnej projekcie fotografickej

snímky do ortogonálnej projekcie mapy (zobrazenie Krovak-negativ a referenčný elipsoid Bessel 1841).

Pre ortorektifikáciu bolo nevyhnutné poznať prvky vnútornej a vonkajšej orientácie snímok. Prvky vnútornej orientácie vyjadrujú polohu stredu premietania vzhľadom k rovine snímky. Polohu stredu premietania k vonkajším súradniciam a orientáciu osy záberu ku kolmici charakterizujú prvky vonkajšej orientácie (Žihľavník, Scheer, 2001).

Z prvkov vnútornej orientácie bola známa len ohnisková vzdialenosť snímača. Súradnice rámových značiek boli zamerané v programe CorelDRAW 10, kde zároveň boli všetky snímky, pri zachovaní pôvodnej veľkosti, prevzorkované na jednotné rozlíšenie 1200 DPI. Súradnice boli namerané vzhľadom k ľavému hornému rohu snímky a pred ich následnou identifikáciou priamo na snímke, v programe Geomatica OrthoEngine 10.1, ich bolo potrebné prepočítať vzhľadom k stredu snímky.

Prvky vonkajšej orientácie snímok boli určené výberom jednoznačne identifikovateľných kontrolných bodov na leteckej snímke a v príslušnej ortofotomape, pomocou ktorej bola určená geografická poloha.

Pre zachovanie rovnomerného rozmiestnenia vlícovacích bodov na snímkach a snahe o čo najväčšiu presnosť ortorektifikácie, boli vyhľadávané polohovo stále a časovo nemenné body na križovatkách cestných komunikácií, lesných ciest, okrajoch lesov, rohoch stavieb (horské chaty) a geomorfologicky výrazných prvkoch (napr.: Petrovy kameny). Počet vlícovacích bodov na snímke sa pohyboval v rozmedzí 4-6.

Pre odstránenie perspektívneho skreslenia a určenie nadmorskej výšky bol použitý digitálny model reliéfu, vytvorený v ArcGIS 10, interpoláciou vrstevnicového podkladu (prevedením vektorových dát do rastru) funkciou Topo to Raster. Priestorové rozlíšenie modelu bolo stanovené na 10 m.

Výstupom boli ortorektifikované snímky v súradnicovom systéme S-JTSK s priestorovým rozlíšením 1 pixla v rozpätí od 0,25 - 0,4m. Stredná chyba ortorektifikácie snímok sa pohybovala v rozpätí 0,3 - 0,7 pixla.

4.2.2 Klasifikácia záujmového územia

Letecké a satelitné snímky je možné klasifikovať niekoľkými spôsobmi. Často je používaný princíp založený len na odrazových vlastnostiach povrchu, teda na digitálnych hodnotách jednotlivých pixelov. Ďalšou možnosťou je objektovo orientovaná klasifikácia, kde sa nepracuje s jednotlivými pixlami, ale zhlukmi pixelov.

Objektová klasifikácia kombinuje faktory priradovania objektov do rôznych tried. Pracuje nielen so spektrálnou charakteristikou objektov ale tiež so vzťahmi medzi objektami samotnými. Základnou jednotkou záujmu nie je individuálny pixel ale segmenty obrazu alebo objekty ktoré vytvárajú (Žihľavník, Scheer, 2001).

Pretože ekoton hornej hranice lesa má heterogénnu štruktúru krajiny, zloženú z rôznych krajinných prvkov a každý z nich má do istej miery priestorovo obmedzený plošný rozsah a tvar, je nutné analyzovať štruktúru a priestorové usporiadanie zložiek ekotonu (Resler a kol., 2004).

Vzhľadom k pomerne nízkemu spektrálnemu rozlíšeniu použitých leteckých snímok bol pre klasifikáciu územia použitý program Idrisi Tajga, ktorý je priamo založený na objektovo orientovanom prístupe k obrazovej analýze a program ArcGIS 10, ktorý bol použitý pre počiatočné a konečné úpravy. Klasifikácia druhov vegetačného pokryvu bola spracovávaná pre 4 hlavné transekty zahŕňajúce svahy Petrových kamenov, Pradedu a Vysokej Hole.

Segmentácia obrazu

Cieľom segmentácie obrazu je rozdelenie snímok na homogénne objekty. V procese segmentácie boli modulom Segmentation vytvorené segmenty zoskupením susediacich pixelov na základe spektrálnej a topologickej podobnosti.

Program Idrisi Tajga používa pri klasifikácii metódu najbližšieho suseda, preto zaraďovanie objektov do segmentov (teda hodnotenie rozdielu obrazových párov) prebieha na základe porovnania hodnôt priemeru (Mean) a smerodajnej odchýlky susedných obrazových prvkov (Weight mean factor, Weight variance factor), ktoré boli nastavené na hodnotu 0,5.

Mieru heterogenity objektov, veľkosť výsledných segmentov a tým aj ich počet vo výstupnom obraze ovplyvňuje nastavenie úrovne generalizácie danej segmentácie (Similarity tolerance). Pri nízkej hodnote tolerancie podobnosti vzniknú malé homogénne segmenty, pri vysokej veľké heterogénne segmenty. Pre účely klasifikácie (snaha o čo najpresnejšie rozlíšenie porastov smreka), bola po odskúšaní rôznych veľkostí okna zvolená hodnota 30. Topologické vzťahy boli skúmané v priestorovom okne 3x3 pixle.

Presnosť klasifikácie zahŕňajúcej štruktúru objektov aj hodnotu jasu zároveň, závisí od veľkosti okna a parametra štruktúry, čo naznačuje, že optimálny rozsah klasifikácie kolíše medzi jednotlivými triedami v ekotone (Resler a kol., 2004).

Segmentácia obrazu vytvorila vysoko homogénne objekty (Obr.: 2/1,2). Malé segmenty dobre vystihovali niektoré tvary stromov a skupiniek stromov a pozdĺžne segmenty odpovedali tvarom lesných ciest. Problémom bolo zobrazenie tieňa, ktorý bol zastúpený v malých plochách, preto ho automatická klasifikácia nedokázala presne určiť.

Definícia tried a klasifikácia obrazu

Klasifikácii predchádza nadefinovanie tried, do ktorých sú jednotlivé objekty zaradené. Pomocou modulu Segtrain v programe Idrisi Tajga, sú kategórie vegetačného pokryvu (smrek, kosodrevina) a ostatné plochy (kategória zahŕňajúca stavby a cesty), definované ako klasifikačné triedy.

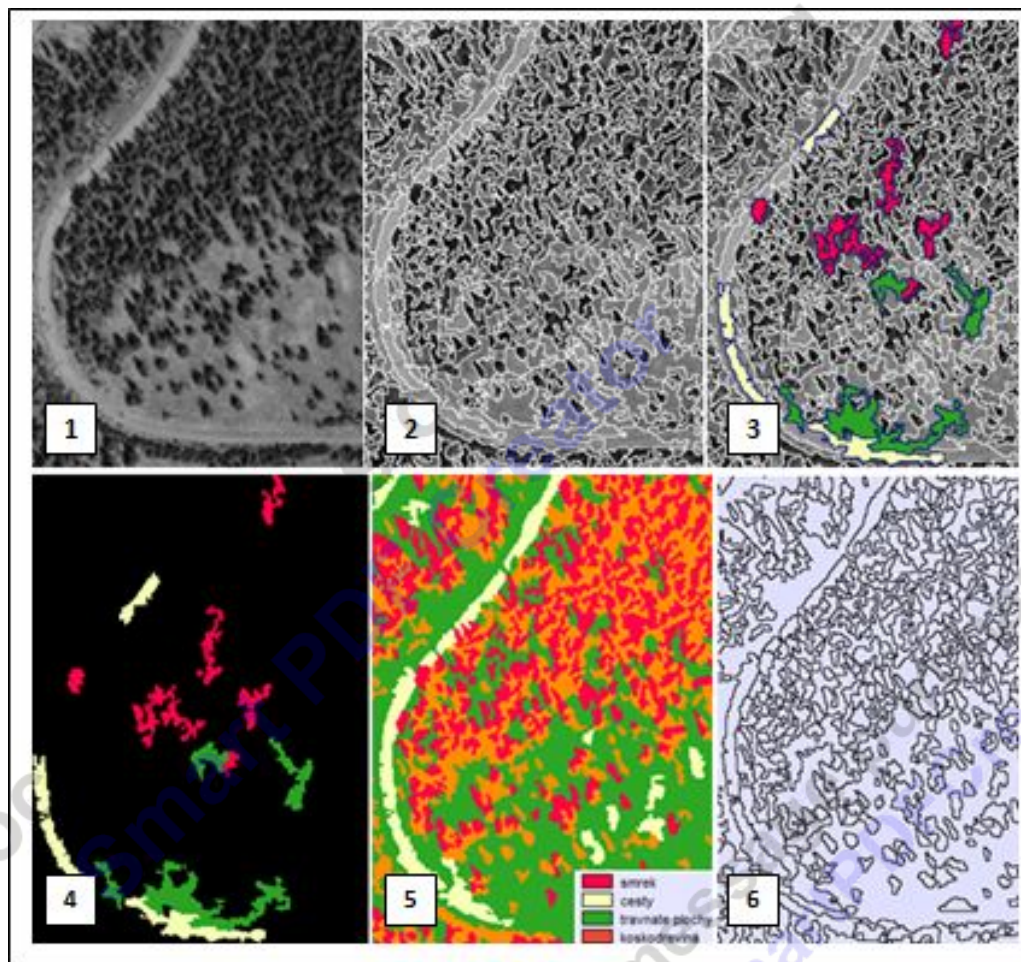
Obsah tried bol identifikovaný priamo zo súboru vektorových vrstiev vzniknutých segmentáciou (obrázok 2/1,2) Vytvorením trénovacích množín prebehol výber polygónov reprezentujúcich jednotlivé klasifikačné triedy (obrázok 2/3,4) Trénovacie množiny boli vytvorené pre každý zo spracovávaných rokov zvlášť, pretože kontrast výrezov z leteckých snímok bol z dôvodu rozličného času snímkovania odlišný.

Po prevedení klasifikácie segmentov na základe trénovacích množín bola vytvorená spektrálna klasifikácia obrazu, pre ktorú bol vybraný klasifikátor maximálnej pravdepodobnosti (modul MaxLike), ktorý berie do úvahy rozptyl trénovacích množín klasifikačných tried. Obrazové prvky potom priraduje triedam s maximálnu pravdepodobnosťou.

Spektrálnu a priestorovú klasifikáciu kombinuje modul Segclass, ktorý bol použitý pre konečné vytvorenie klasifikácie (Obrázok 2/5). Klasifikátor vypočítava štatistickú pravdepodobnosť príslušnosti polygónov do jednotlivých tried na základe ich polohy, veľkosti, a tvaru.

Výsledok klasifikácie bol so zachovaním atribútových informácií prekonvertovaný modulom RasterVektor na vrstvu polygónov (Obrázok 2/6) a vyexportovaný vo formáte *shp samostane pre každú snímku.

Obrázok 3: Postup pri objektivej klasifikácii záujmového územia v programe Idrisi Tajga (1,2 – segmenácia obrazu; 3,4 – výber trénovacích množín; 5 – výsledok klasifikácie; 6 – vrstva polygónov)



4.2.3 Úprava výslednej klasifikácie metódou fotointerpretácie

Pretože kvalita snímok mala vplyv na výsledky klasifikácie, boli pred určením plôch pokryvnosti jednotlivých tried segmenty aj výsledky klasifikácie upravené vizuálnou interpretáciou v mierke 1:1000. Úprava segmentov jednotlivých tried bola prevedená v programe ArcGIS 10 (ESRI Inc., United States), kde bola vrstva polygónov bola funkciou Features to Polygon rozdelená na jednotlivé časti.

Korekcia tvarov objektov bola prevedená za účelom eliminácie nepresností spôsobených samotným tieňom porastov, ktorý bol na základe spektrálnej odrazivosti priradený do triedy smrek. Pri klasifikácii objektov veľkých rozmerov, ako trávnaté plochy a plochy kosodreviny došlo v niektorých prípadoch z dôvodu slabého kontrastu

snímky a podobnej spektrálnej odrazivosti plôch k nesprávnemu zaradeniu objektov do tried, čo bolo pri vizuálnej interpretácii poupravené.

V niektorých prípadoch (najmä snímky z r. 1953), bolo z dôvodu nízkej kvality snímok nutné použiť metódu spätnej digitalizácie pre skombinovanie vrstvy polygónov z predchádzajúceho analyzovaného obdobia s výsledkom klasifikácie.

4.2.4 Hodnotenie zmien pokryvnosti smreka

Pretože cieľom analýzy bola identifikácia plôch porastov smreka, ostatné druhy povrchu, ktoré neboli predmetom skúmania boli po prevedení klasifikácie zlúčené do spoločnej triedy (pre zvýšenie presnosti klasifikácie boli ale v procese jej tvorby klasifikované samostatne).

Územie klasifikovaných transektov bolo podľa polohy v ekotone rozdelené na oblasť hornej hranice lesa (PRA 3, VHJZ 3, PET 3, VHSV 3), oblasť stromových skupiniek na prechode medzi zapojeným lesom a hornou hranicou lesa (PRA 2, VHJZ 2, PET 2, VHSV 2) a stromové skupinky na hornej hranici ich výskytu stromov (PRA 1, VHJZ 1, PET 1, VHSV 1). Vrámcami vymedzených transektov bolo vyhodnotené pomerné zastúpenie kategórií porastov smreka.

Zmena pokryvnosti pre časti územia spadajúce pod kategóriu smrek bola stanovená multitemporálnym porovnávaním obrazových údajov zo šiestich časových období v intervale 9-17 rokov (podľa dostupnosti snímok). Pretože zmeny boli analyzované za rôzne dlhé časové obdobia, bolo ich pre účely vzájomného porovnávania nutné prepočítať na jeden rok. Porovnávanie bolo prevedené vždy medzi dvoma po sebe nasledujúcimi obdobiami snímkovania: 1946 – 1953, 1953 – 1962, 1962 – 1973, 1973- 1985, 1985- 2002. Zo vzniknutých dát je možné znázorniť vývoj porastov smreka a kosodreviny v 20.storočí.

Pre jednotlivé klasifikované časti transektov (HHL, S1 a S2), boli stanovené v programe Arc Gis 10.0 (ESRI Inc., United States) aj priemerné hodnoty nadmorskej výšky.

4.3 Vplyv teplotných charakteristík vzduchu na zmladzovanie porastov

Pre stanovenie vzájomného vzťahu medzi priebehom teplôt vo vegetačnom období (máj - august) a zmladzovaním porastov smreka bolo využité vizuálne porovnanie priebehu 11 - ročných kľzavých priemerov teplôt s 10 - ročnými triedami početností uchytených jedincov a 11 - ročnými kľzavými súčtami jedincov.

Analýza vplyvu teplôt na zmladzovanie porastov smreka bola prevedená samostatne pre skupiny plôch v zapojenom lese a obidve polohy stromových skupiniek. Pre analýzu boli využité dáta z meraní meteorologickej stanice umiestnenej na Pradedu (ČHMÚ) a súbor dát TS 1.2 z Climatic Research Unit (CRU) za obdobie rokov 1901-2000 (Mitchell a kol., 2004). Súbor dát TS 1.2 obsahuje mesačné časové rady teplôt s priestorovým rozlíšením gridu 10' pre celú Európu. Tento súbor dát s vysokým rozlíšením je založený na archívoch mesačných priemerných teplôt z viac ako 4000 meteorologických staníc rozmiestnených po celom svete (Mitchell a kol., 2004).

Hodnoty mesačnej časovej rady teplôt sú z meracej stanice Praded pre skúmanú oblasť dostupné od roku 1941 do roku 1997 kedy došlo k zrušeniu meracej stanice. Rada meraní teplôt v dostupnom období je navyše v prvých rokoch nekompletná, bez prerušenia sú dostupné pozorovania až od roku 1947 (Lednický a kol., 1973).

Pri aplikácii kľzavých priemerov s dĺžkou 11 rokov sa stráca ďalších 5 hodnôt na začiatku rady a 5 na koci, výsledné rozpätie použiteľnej časovej rady by bolo 1942-1992. Z dôvodu krátkeho časového rozpätia teplotnej rady (40 rokov) oproti dĺžke časového rozpätia od začiatku uchycovania sa stromov na skúmanom území (160 rokov) boli pre analýzu vplyvu teplotných charakteristík využité dáta z CRU.

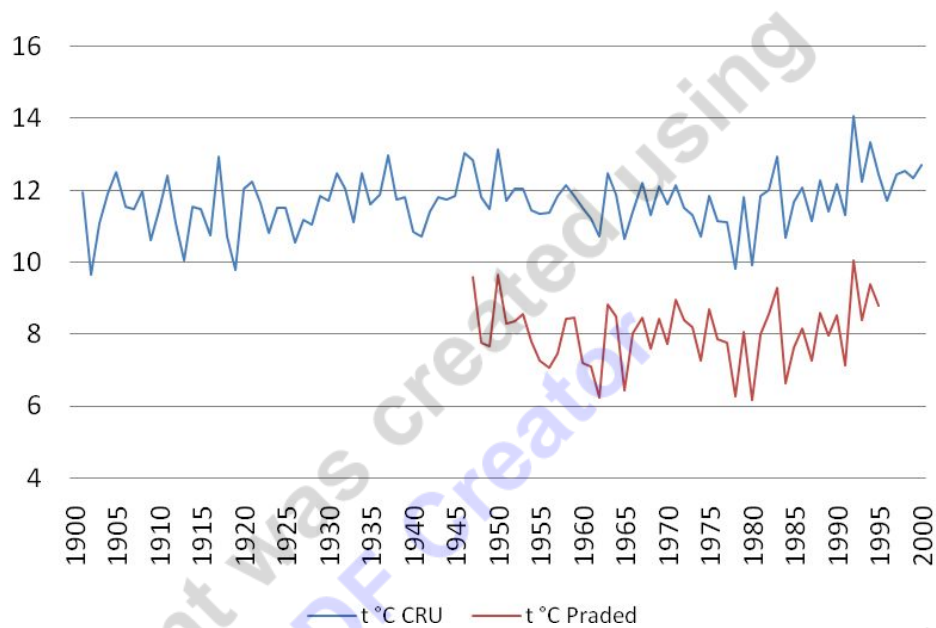
Pred ich použitím bola prevedená korelácia priemerných mesačných teplôt pre spoločné roky (1947-1992) s teplotami z meracej stanice na Pradedu.

Tabuľka 3: Koefficienty korelácie priemerných mesačných teplôt dát z CRU a stanice Praded (1947 – 1992). Všetky korelačné koefficienty sú štatisticky významné na hladine významnosti $p < 0,01$

mesiac	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
r	0.83	0.89	0.87	0.86	0.95	0.91	0.95	0.91	0.92	0.80	0.78	0.82

Pri vizuálnom porovnaní priemerných teplôt v spoločnom období je viditeľný ich rovnaký priebeh, pričom teploty dát získaných z CRU sú o niečo vyššie (**obr**), čo je spôsobené rozdielom v nadmorskej výške použitého modelu reliéfu v gride CRU oproti skutočnosti (priemerná nadmorská výška štvorca zahŕňajúceho študované územie je 650 m).

Obrázok 4: Porovnanie priemerných teplôt vegetačného obdobia (V. - VIII.) dát z CRU a stanice Praded (1900 – 2000)



5. Výsledky

5.1 Veková štruktúra porastov smreka na jednotlivých lokalitách

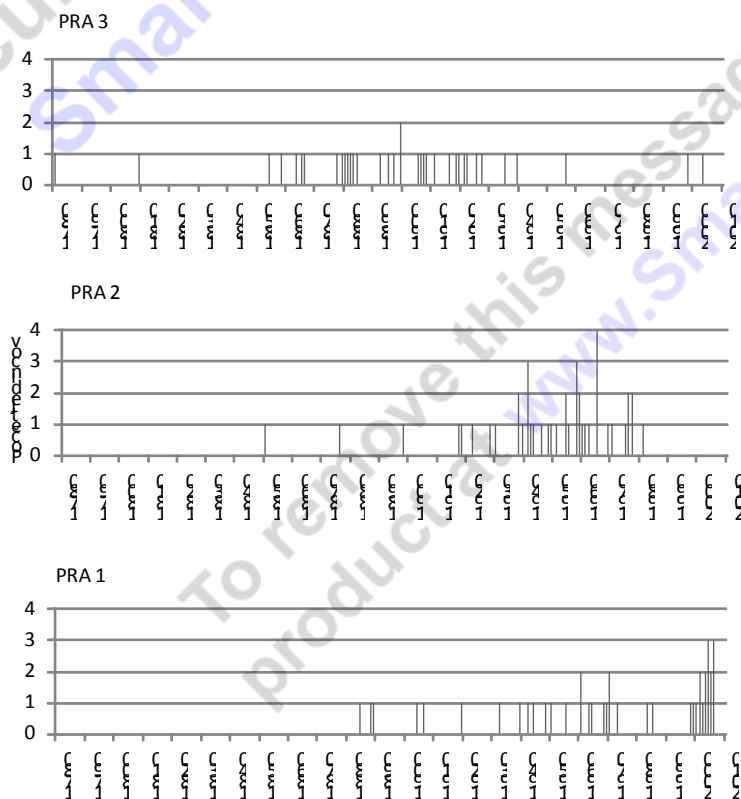
Praděd

Na ploche hornej hranice zapojeného lesa na JZ svahu Pradeda (Obrázok 5/PRA 3) pochádzajú najstaršie porasty smreka už z 18. storočia. Koncom 70. rokov 19. storočia nastupuje prvá výraznejšia etapa šírenia smreka. Uchycovanie jedincov ďalej prebiehalo rovnomerne bez výrazných výkyvov do začiatku 40. rokov 20. storočia, kedy došlo k zastaveniu zmladzovania až do začiatku 21. storočia.

Na ploche stromových skupiniek v strednej časti vymedzených transektov (Obrázok 5/PRA 2) sa stromy začali etablovať v 50. rokoch 19. storočia. K najvýraznejšiemu rozšíreniu ale dochádzalo od 40. do 60. rokov 20. storočia.

Na najvyššie umiestnenej ploche stromových skupiniek (Obrázok 5/PRA 1) pochádzajú najstaršie jedince z konca 19. storočia. K uchycovaniu väčšieho počtu jedincov došlo v období 60. a 70. rokov 20. storočia. Najvýznamnejšou etapou šírenia porastov smreka je koniec 20. a začiatok 21. storočia, kedy dochádzalo k výraznému generatívnemu zmladzovaniu.

Obrázok 5: Veková štruktúra porastov smreka na južne orientovanom svahu Pradeda



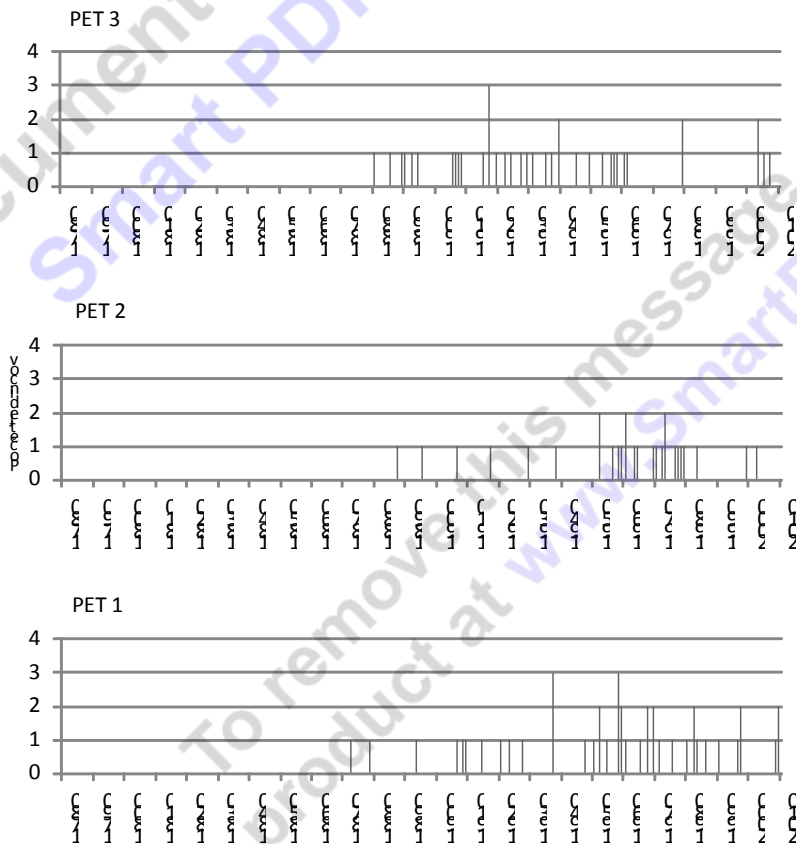
Petrove kameny

Prvou etapou zmladzovania na hornej hranici lesa SV svahu Petrových kamenov sú 70. roky 19. storočia (Obrázok 6/PET 3). Ďalším výrazným obdobím rozširovania je začiatok 20. storočia, ktorý bez výrazných poklesov pretrváva až do 60. rokov 20. storočia kedy nedochádzalo k uchycovaniu sa nových jedincov.

Stromy nad hranicou zapojeného lesa (Obrázok 6/PET 2) sa začali rozširovať v 80. rokoch 19. storočia. K najvýraznejšiemu rozšíreniu došlo od 50. do 70. rokov 20. storočia a v období od 80. rokov 20. storočia. Na začiatku 21. storočia došlo k spomaleniu v šírení smreka.

V oblasti najvyššie položených stromových skupiniek (Obrázok 4/PET 1) pochádzajú najstaršie stromy zo 70. rokov 19. storočia. Najvýraznejším obdobím nástupu nových jedincov sú 50.-70. roky 20. storočia. Zo začiatku 21. storočia bol zaznamenaný väčší počet generatívne zmladených stromov.

Obrázok 6: Veková štruktúra porastov smreka na svahu Petrových kamenov



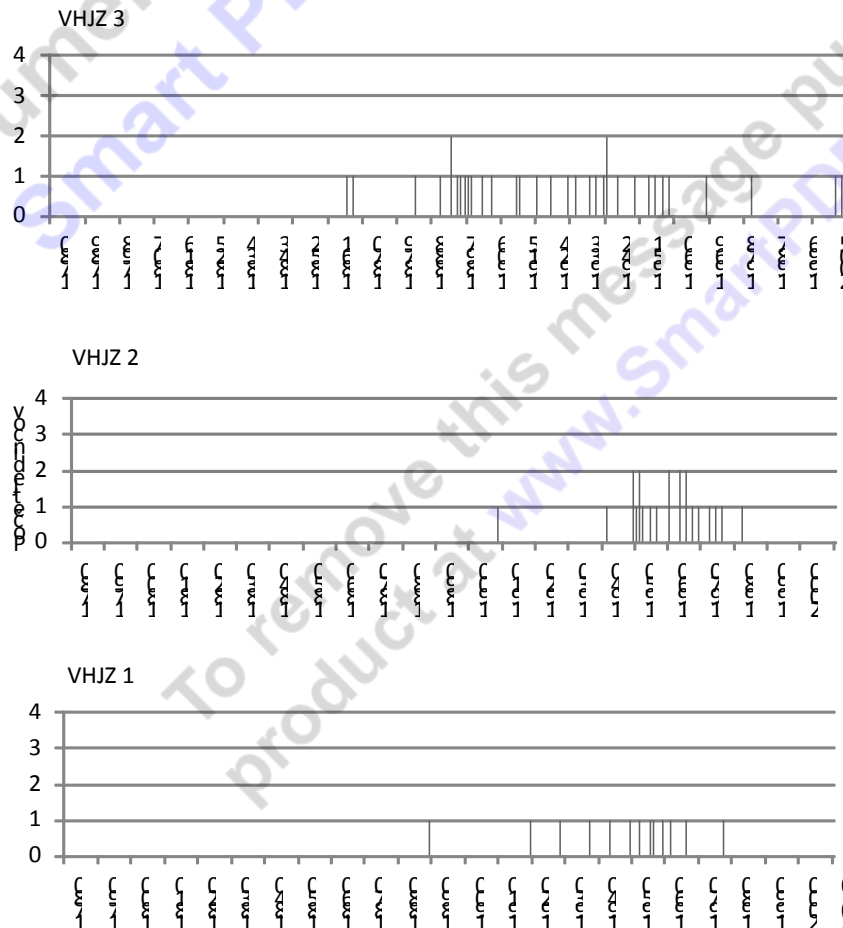
Vysoká hole (JZ svah)

Analýza vekovej štruktúry porastov na hornej hranici lesa JZ svahu Vysokej hole (Obrázok 7/VHJZ 3) poukazuje na prvé výraznejšie obdobie zmladzovania v 90. rokoch 19. storočia. Od 60. r. 20. storočia do začiatku 21. storočia došlo k výraznému poklesu rozširovania porastov smreka.

V stromových skupinkách nad zapojeným lesom (Obrázok 7/VHJZ 2) sú 50. a 60. roky 20. storočia prvým výraznejším obdobím etablovania sa stromových porastov. Od 80. rokov 20. storočia došlo na ploche k zastaveniu rozširovania stromových porastov.

Veková štruktúra na ploche najvyššie položených stromových skupiniek (Obrázok 7/VHJZ 1) má vyrovnaný priebeh. Stromy sa na ploche začali etablovať od začiatku 19. storočia, pričom rovnako ako na ploche VHJZ 2, došlo v období 50. a 60. rokov 20. storočia k uchyteniu väčšieho počtu jedincov. Od 80. rokov do súčasnosti došlo k zastaveniu zmladzovania, na ploche neboli zaznamenané žiadne semenáčky.

Obrázok 7: Veková štruktúra porastov smreka na JV svahu Vysokej Hole



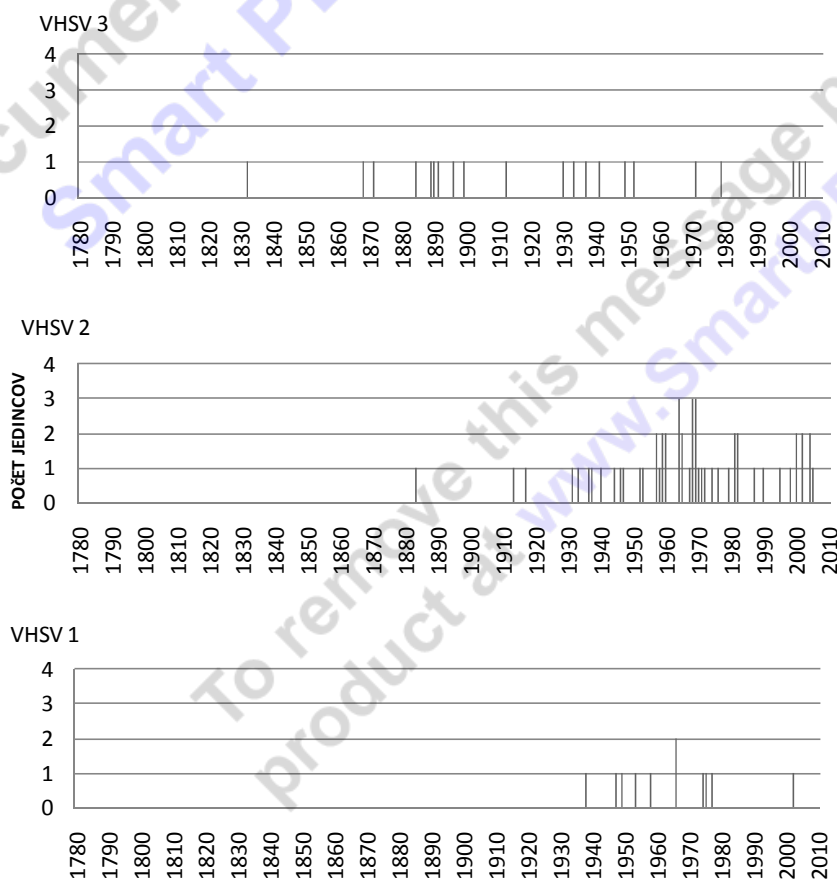
Vysoká hole (SV svah)

Najstaršie jedince zapojého lesa SV svahu Vysokej hole pochádzajú z 30. rokov 19. storočia (Obrázok 8/VHSV 3). Významnou etapou uchycovania sa nových jedincov bolo obdobie od konca 80. a 90. rokov 19. storočia. Od 60. r. 20. storočia do začiatku 21. storočia došlo k výraznému poklesu rozširovania smreka.

Na ploche stromových skupiniek (Obrázok 8/VHSV 2) pochádza najväčší počet stromov z obdobia 50. a 60. rokov 20. storočia. V období od druhej polovice 80. rokov došlo k miernemu poklesu v zmladzovaní. Od začiatku 21. storočia bol zaznamenaný vyšší počet mladých jedincov.

V najvyššie položených skupinkách (Obrázok 8/VHSV 1) je možné sledovať prvú etapu šírenia smreka od 40. rokov 20. storočia, ktorá mala vyrovnaný priebeh až do obdobia 80. rokov kedy tu rovnako ako na ploche VHS 2 došlo k výraznej depresii v zmladzovaní. Rovnako ako na najvyššie umiestnenej ploche južného svahu Vysokej hole (VHJZ 1), ani tu v súčasnosti nedochádza k nástupu nových jedincov.

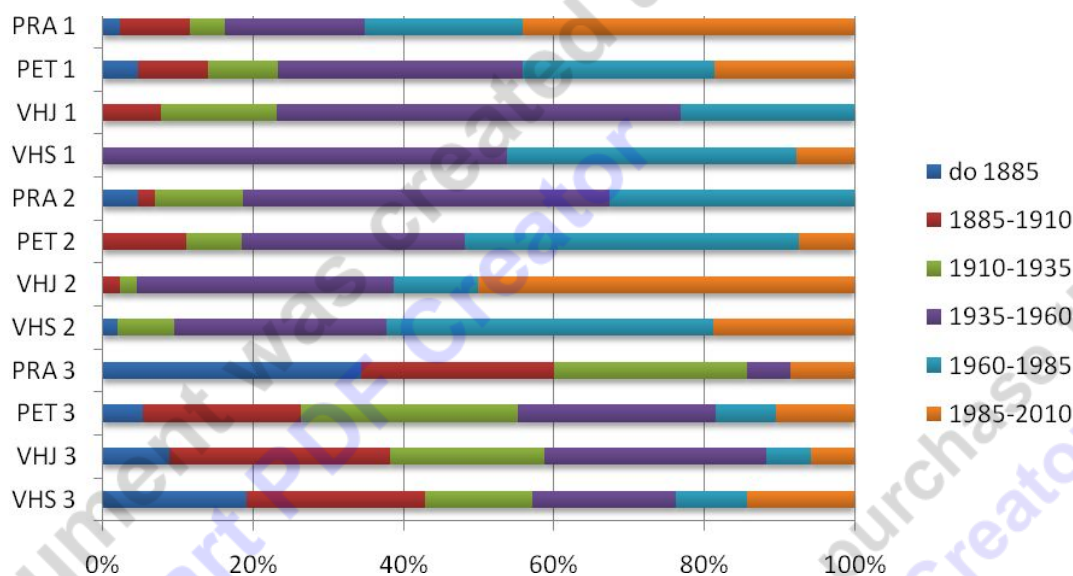
Obrázok 8: Veková štruktúra porastov smreka SV svahu Vysokej Hole



5.1.1 Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka

Stanovenie presného veku porastov smreka a analýza vekovej štruktúry na jednotlivých stanoviskách umožnila odvodenie tendencií tendencie vo vývoji zmladzovania na študovanom území.

Obrázok 9: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka na jednotlivých plochách



Porovnanie vekovej štruktúry porastov smreka na plochách v zapojenom lese poukázalo na existenciu dvoch významných trendov vo frekvencii zmladzovania spoločných pre každú z plôch. Prvým je obdobie od konca 80. rokov a 90. roky 19. storočia, ktoré je najvýraznejším obdobím uchycovania sa nových jedincov a ďalším sú 30. a 40. roky 20. storočia. Od začiatku 90. rokov 19. storočia. nastupuje obdobie bez výrazných výkyvov pretrvávajúce do konca 60. rokov 20. storočia, kedy dochádza k výrazným poklesom až zastaveniu zmladzovania. K zmladzovaniu dochádza opäť na začiatku 21. storočia.

Výnimkou je lokalita PRA 3, kde bol zaznamenaný posun oproti výrazným trendom na ostatných stanoviskách asi o dve desaťročia skôr. K prvej výraznej fáze zmladzovania došlo už v 70. rokoch 19. storočia a výrazný pokles začal už v 40. rokoch 20. storočia (Obrázok 9). S tým súvisí vysoký podiel stromov starších ako 100 rokov (70%) oproti zvyšným trom plochám, kde dosahuje 50%.

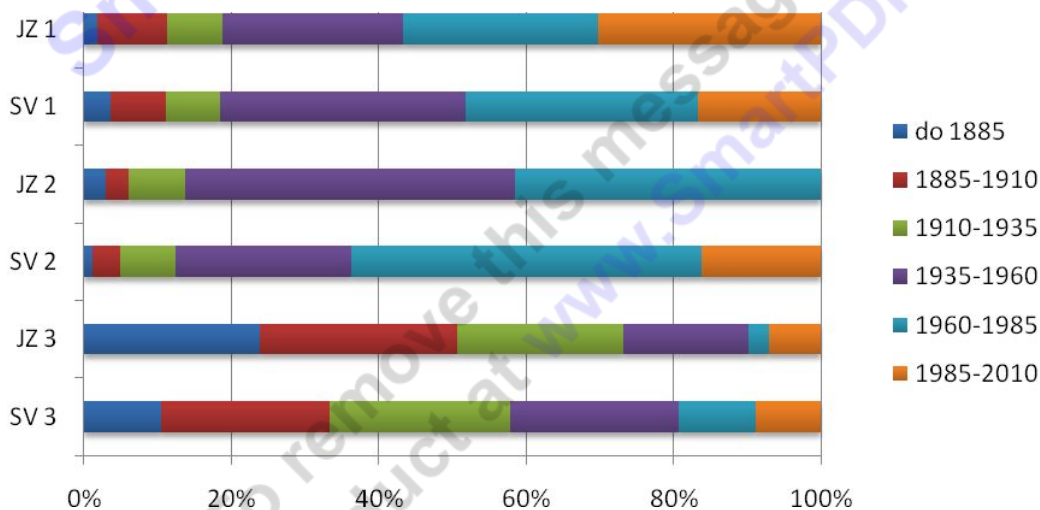
Porovnanie vekovej štruktúry stromových skupiniek, nachádzajúcich sa v stredných častiach svahov, rovnako poukazuje na existenciu výrazných trendov.

K zmladzovaniu spoločnému pre všetky plochy S2 došlo v období od 50. do 60. rokov 20. storočia. Pri všetkých skupinkách došlo od 80. rokov 20. storočia k poklesu až zastaveniu zmladzovania. Na ploche PRA 2, rovnako ako v prípade plochy PRA 3, bol zaznamenaný nástup trendu zmladzovania už o dve desaťročia skôr (Obrázok 9).

Na plochách stromových skupiniek nachádzajúcich sa v najvyšších polohách ekotonu dochádzalo k uchycovaniu najstarších jedincov od konca 19. storočia (70. roky). Prvým výrazným trendom nástupu nových jedincov spoločným pre všetky plochy je obdobie 60. – 70. rokov 20. storočia a ďalším začiatok 21. storočia.

Výnimkou v prípade obdobia 21. storočia sú plochy VHJV 1 a VHJZ 1 v najvyšších polohách svahov Vysokej hole, kde v súčasnosti nedochádza k zmladzovaniu. Rozdielom oproti skupinkám stromov nachádzajúcich sa v nižších polohách svahov je, že sa tu neprejavil výrazný pokles v zmladzovaní v období 80. rokov 20. storočia.

Obrázok 10: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka v závislosti od expozície (JZ 1, SV 1 - skupinky stromov v oblasti hornej hranice výskytu stromov, JZ 2, SV 2 - skupinky stromov v oblasti nad hornou hranicou lesa, JZ 3, SV 3 - horná hranica lesa)

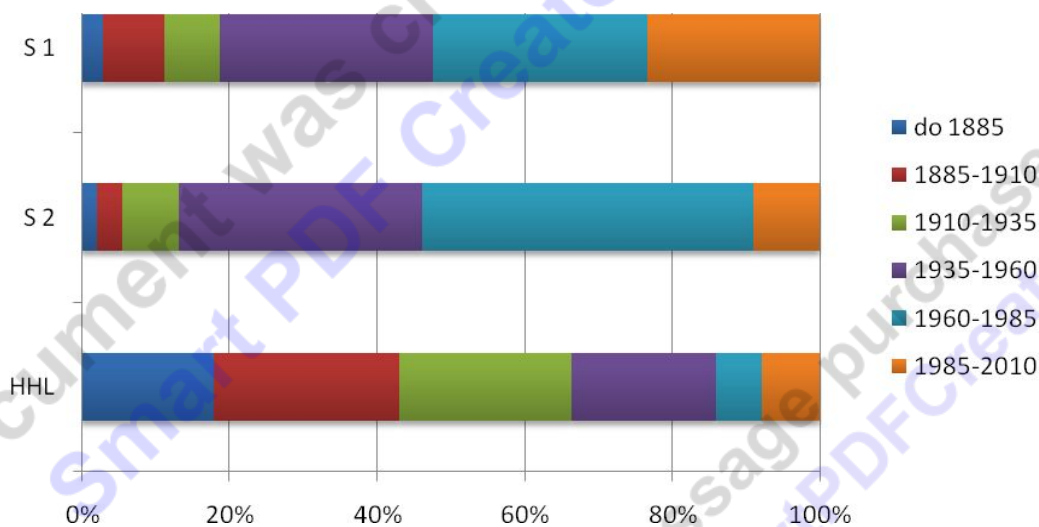


Porovnaním v zastúpení vekových tried na opačne orientovaných svahoch zapojeného lesa je viditeľne vyšší pomer v zastúpení najstarších vekových tried na JZ orientovaných svahoch a najmladších vekových tried (1960-1985, 1985-2010) na SV expozične orientovaných svahoch. Rovnako v prípade skupiniek 2 je vyššie pomerné

zastúpenie najmladších vekových tried na SV expozične orientovaných svahoch, oproti JZ orientovaným svahom, kde dokonca nie je zastúpená najmladšia veková trieda (1985-2010).

V prípade najvyššie položených stromových skupiniek je naopak zastúpenie vekových tried od roku 1985 vyššie v prípade JZ orientovaných svahov.

Obrázok 11: Zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka podľa polohy v ekotone (S 1 - skupinky stromov v oblasti hornej hranice výskytu stromov, S 2 - skupinky stromov v oblasti nad hornou hranicou lesa, S 3 - horná hranica lesa)



Na plochách HHL mala zmena vekovej štruktúry približne vyrovnaný priebeh. Viac ako 85% všetkých jedincov sa uchytilo do roku 1960. V obidvoch polohách plôch stromových skupiniek sa do roku 1960 uchytilo priemerne len do 50% z celkového súčasného počtu žijúcich jedincov.

Stromové skupinky obidvoch polôh ekotonu sú charakteristické nadpolovičným zastúpením najmladších vekových tried (1960-1985), pričom najvyššie položené stromové skupinky majú výrazne najvyššie (viac ako 20%) zastúpenie najmladšej vekovej triedy (1985-2010).

5.1.2 Vegetatívne šírenie porastov smreka

V priemere pri 43% zo všetkých živých stromov, z ktorých boli odobrané vzorky, bolo identifikované ďalšie klonálne zmladzovanie (vzorka bola odobraná len z hlavného jedinca).

Pomerné zastúpenie jedincov ďalej sa klonálne šíriacich, na študovaných plochách sa v jednotlivých polohách svahu v porovnaní zapojeného lesa a stromových skupiniek výrazne nelíšilo, pričom najvyšší pomer (46%) bol zaznamenaný pri skupinkách 1. Na vysoký podiel vegetatívne sa šíriacich jedincov v zapojenom lese (až 45%) má významný vplyv plocha VHS 3, kde bolo klonálne zmladzovanie zaznamenané až u 67% vzorkovaných jedincov.

Významnejšie rozdiely boli zaznamenané v porovnaní expozične opačne orientovaných svahov. Na SV orientovaných svahoch bol zistený 51% a na JZ svahoch 35% podiel klonálne sa rozmnožujúcich jedincov, pričom na SV svahoch najvýraznejšie v najvyšších polohách svahu (až 59% zastúpenie) a JZ svahoch v najnižšej polohe zapojeného lesa (38%).

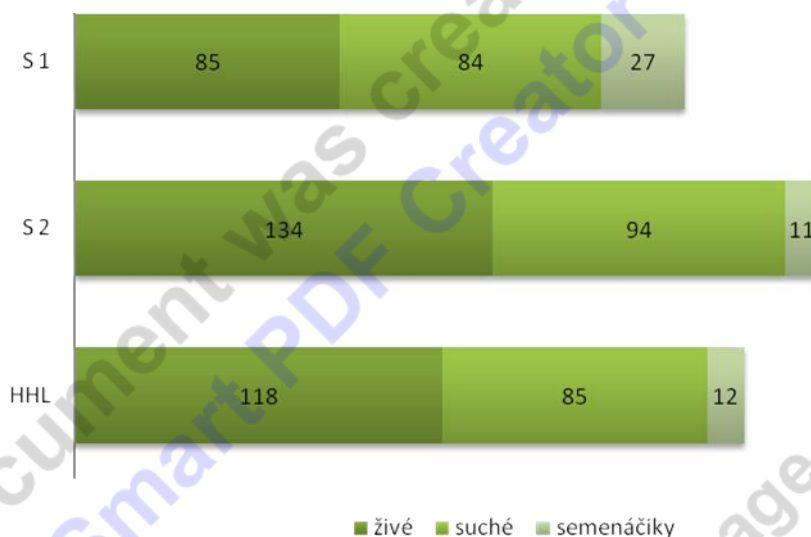
Tabuľka 4: Pomerné zastúpenie jedincov, pri ktorých bolo zistené klonálne zmladzovanie na jednotlivých plochách (%)

expozičia	JZ svahy		SV svahy		priemer
	PRA	VHJ	PET	VHS	
S 1	17	50	43	75	46
S 2	22	44	62	21	37
HHL	46	33	37	66.7	46
priemer	35		51		43

5.1.3 Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka

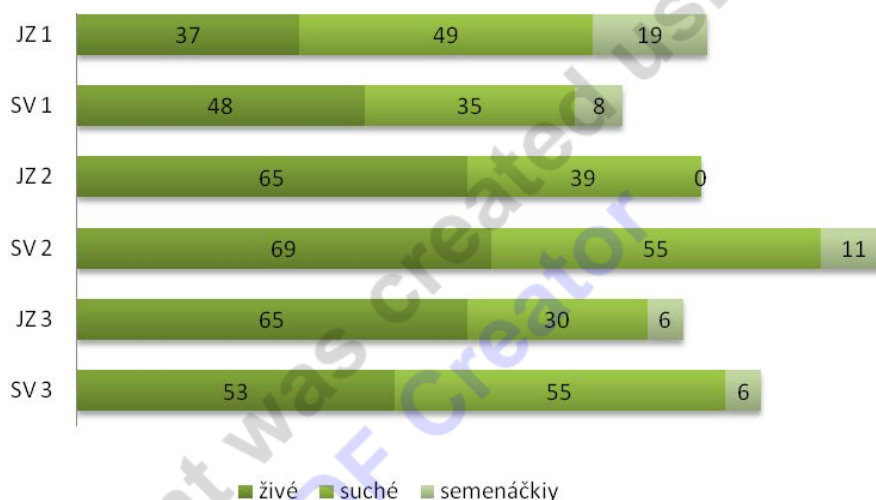
Celkovo bolo na študovaných plochách zaznamenaných 50 semenáčkov, 337 žijúcich a 263 odumretých jedincov.

Obrázok 12: Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka podľa polohy vrámcí ekotonu (1 - skupinky stromov v oblasti hornej hranice výskytu stromov, 2 - skupinky stromov v oblasti nad hornou hranicou lesa, 3 - horná hranica lesa)



Analýza zastúpenia jednotlivých kategórií porastov smreka (živé, odumreté, semenáčky), poukazuje na početne najvyššie zastúpenie živých jedincov na všetkých plochách vzhľadom na polohu stanovísk na svahu (Obrázok 12) ako aj z porovnania expozície stanovísk voči svetovým stranám (Obrázok 13) Počet odumretých stromov je približne vyrovnaný vo všetkých výškových polohách svahov, ale pri vzájomnom porovnaní stromových skupiniek je úmrtnosť vyššia v prípade skupiniek tesne nad hornou hranicou lesa.

Obrázok 13: Početné zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka v závislosti od expozície (JZ 1, SV 1 - skupinky stromov v oblasti hornej hranice výskytu stromov, JZ 2, SV 2 - skupinky stromov v oblasti nad hornou hranicou lesa , JZ 3,SV 3 - horná hranica lesa)



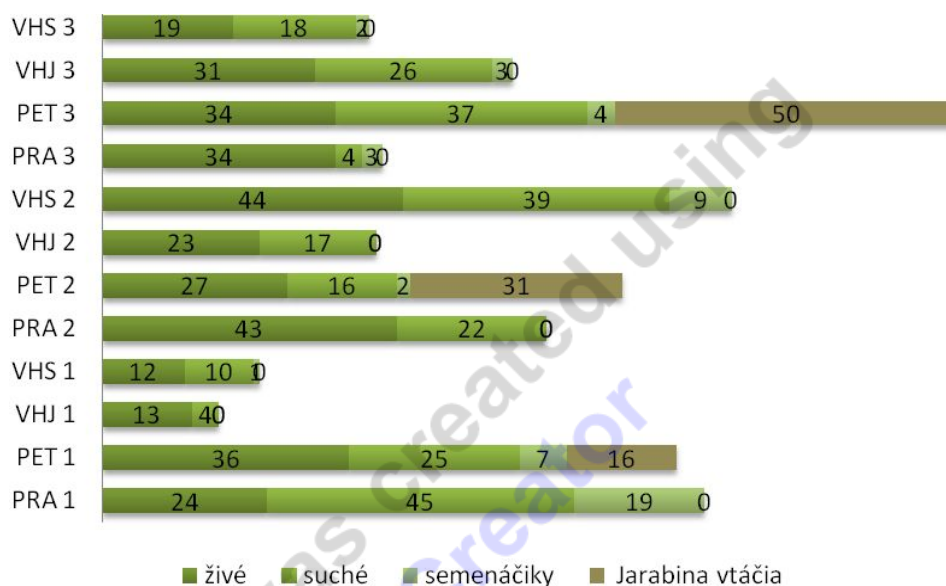
V porovnaní lokalít na SV a JZ expozične orientovaných svahoch je celkový počet odumretých stromov vyšší na SV orientovaných svahoch. Výnimkou sú najvyššie polohy stromových skupiniek, kde je ich počet na JZ svahoch výrazne vyšší (najmä lokalita PRA 1 – 49 jedincov) (Obrázok 12)

Zastúpenie semenáčikov je početne najvyššie na plochách stromových skupiniek na hornej hranici výskytu stromu (celkovo až 27 jedincov oproti 11 v strednej časti svahov a 12 na plochách v zapojenom lese), pričom sa veľká väčšina vyskytuje na JZ orientovaných svahoch (Obrázok 12).

Oproti tomu v stromových skupinkách 2 na lokalitách JZ orientovaných svahov (PRA 2, VHJ 2) neboli identifikované žiadne semenáčiky.

V prípade stanovísk v zapojenom lese bol počet semenáčikov na JZ a SV orientovaných svahoch vyrovnaný. Na všetkých stanoviskách svahu Petrových kamenov bolo navyše zaznamenané výrazné zastúpenie mladých jedincov jarabiny vtáčej (*Sorbus aucuparia*) (Obrázok 13).

Obrázok 14: Zastúpenie jednotlivých kategórií porastov smreka na jednotlivých plochách



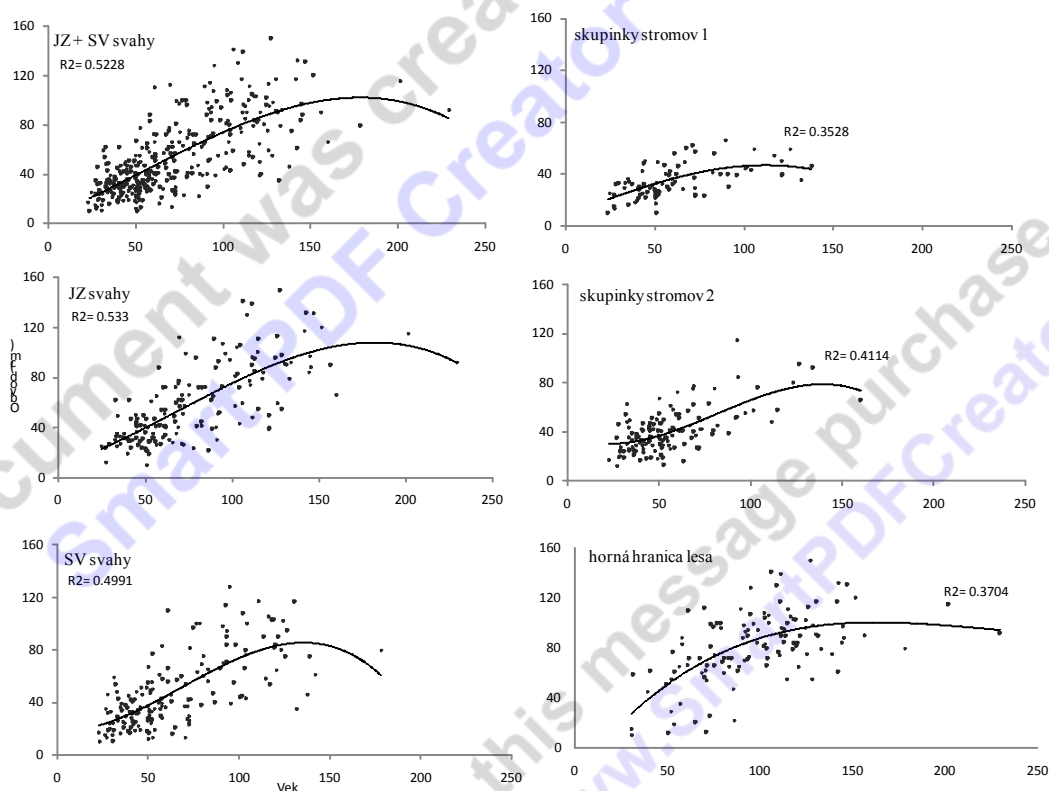
5.2 Závislosť medzi obvodom kmeňa a vekom stromov

Tabuľka 5: Hodnoty koeficientu determinácie polynomickeho regresneho modelu medzi obvodom a vekom živých stromov (stupeň polynómu = 3, $p < 0,001$)

Stanovisko	R^2	Počet vzoriek
PRA 1	0.4279	24
PRA 2	0.2151	43
PRA 3	0.3083	34
PET 1	0.5295	36
PET 2	0.4878	27
PET 3	0.5127	31
VHJZ 1	0.0984	13
VHJZ 2	0.541	23
VHJZ 3	0.3593	31
VHSV 1	0.1196	12
VHSV 2	0.5262	44
VHSV 3	0.0896	19
S 1	0.3521	85
S 2	0.3956	134
HHL	0.3673	118
JZ svahy	0.528	167
SV svahy	0.4861	170
JZ +SV svahy	0,5228	337

Hodnoty koeficientov determinácie sa v jednotlivých prípadoch líšili nepatrne, pretože rozsah výberových súborov bol malý. Celkovo nižšia hodnota koeficientov determinácie je zároveň dôsledkom existencie ďalších vplyvov na rast stromov nezahrnutých do modelu.

Obrázok 15: Polynomický regresný model medzi obvodom a vekom stromov v závislosti od orientácie plôch voči svetovým stranám a polohy na svahu



Do regresnej analýzy pre plochy s rovnakou expozíciou vstupuje približne rovnaký počet vzoriek, preto je možné koeficienty porovnať. Na plochách s JZ orientáciou je hodnota koeficientu determinácie mierne vyššia ako na SV expozične orientovaných stanoviskách (Tabuľka 5). V oboch prípadoch je rozptyl hodnôt najnižší na začiatku priebehu funkcie – intenzita vzťahu obvodu a veku je najtesnejšia (Obrázok 15/JZ svahy a SV svahy).

Vo vzťahu k nadmorskej výške stanovísk dosiahli najvyššiu hodnotu koeficientov determinácie plochy stromových skupiniek 2, nachádzajúce sa v strednej

časti vymedzených transektov. Najmenšia závislosť bola preukázaná na plochách stromových skupiniek 1 v najvyšších častiach vymedzených transektov. V tomto prípade má opäť veľký vplyv na hodnotu koeficientov počet vzoriek vstupujúcich do regresnej analýzy.

Z grafického vyjadrenia je možné pozorovať zmenu v priebehu funkcie v prípade plôch nachádzajúcich sa na hornej hranici lesa je rozptyl hodnôt približne vyrovnaný v priebehu celej funkcie pričom najnižší rozptyl hodnôt od priebehu funkcie sa nachádza v jej strednej časti. Pri skupinkách stromov 2 je intenzita vzťahu obvodu a veku najsilnejšia na začiatku priebehu funkcie. Pri stromových skupinkách 1 sa hodnoty k priamke prímujú o niečo menej než v prípade stromových skupiniek, čomu tiež zodpovedá nižšia hodnota koeficientu determinácie.

Najvyššie hodnoty nadobúda koeficient determinácie pri regresnom modeli obsahujúcom vzorky z celého študovaného územia. Hodnota koeficientu je 0,5228. Daným regresným modelom je vysvetlených 52% celkovej variability obvodu. Preto bol tento regresný model použitý pre odvodenie veku suchých stromov.

Tvar kriviek (Obrázok 15) zachytáva rastový rytmus stromov v danom vekovom období stromu. Dá sa očakávať, že s rastúcim vekom bude obvod stromov stúpať, tejto skutočnosti odpovedá aj priebeh bodov v bodových diagramoch. Tvar bodových diagramov rovnako nasvedčuje tomu, že závislá premenná, obvod stromu, sa nespráva na celom rozpätí vekového intervalu monotónne. Vývoj v určitom momente mení svoj charakter rozloženia hodnôt okolo krivky.

5.2.1 Zmeny obvodu kmeňa a veku stromov v závislosti od polohy stanovišťa v ekotone

Analýza priemerného veku potvrdila, že najstaršie stromy sa nachádzajú na plochách hornej hranice lesa, kde priemerný vek stromov dosahuje 98 rokov. Priemerný vek stromových skupiniek 2 je 56 rokov a skupiniek v najvyšších polohách svahov 62 rokov (Tabuľka 6). Na JZ orientovaných plochách bol zistený celkovo vyšší priemerný vek stromov vo všetkých polohách svahov (78 rokov), oproti plochám so SV expozíciou (66 rokov).

Rovnako z porovnania veku stromov na komplementárnych stanoviškách s opačnou expozíciou prostredníctvom analýzy variancie (ANOVA) bol zistený dosiahnutý vyšší priemerný vek na JZ orientovaných svahoch, pričom rozdiely

v lokalitách s podobnou nadmorskou výškou (polohou na svahu) boli štatisticky významné len v prípade stanovísk na hornej hranici lesa ($p < 0,05$) (obrázok 16/1,2,3).

Celkovo najstarší identifikovaný jedinec z plôch v zapojenom lese sa nachádza na JZ svahu Pradedá (PRA 3) s vekom 230 rokov, najstarší jedinec spomedzi plôch stromových skupiniek 2 dosahuje vek 160 rokov a rovnako sa nachádza na JZ orientovanom svahu Pradedá (PRA 2). Najstarší jedinec stromových skupiniek 1 dosahuje vek 138 rokov a nachádza sa na SV svahu Petrových kamenov (PET 2).

Tabuľka 6: Porovnanie priemerného obvodu a veku živých stromov podľa expozície a polohy v ekotone

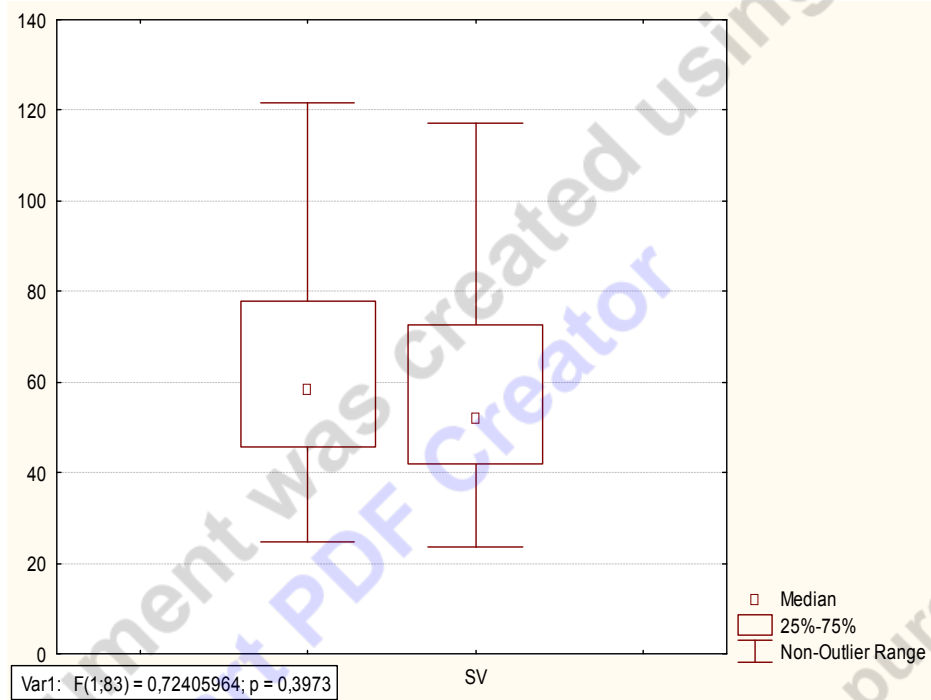
poloha	živé stromy	
	vek	obvod (cm)
S1	62	35
S2	56	40.7
HHL	98	81,4
JZ	78	58.6
SV	66	48,3

Priemerný obvod stromov s narastajúcou nadmorskou výškou klesá (Tabuľka 6) a rovnako ako v prípade vekovej štruktúry, sa JZ svahy javia výhodnejšie pre rast stromov ako SV.

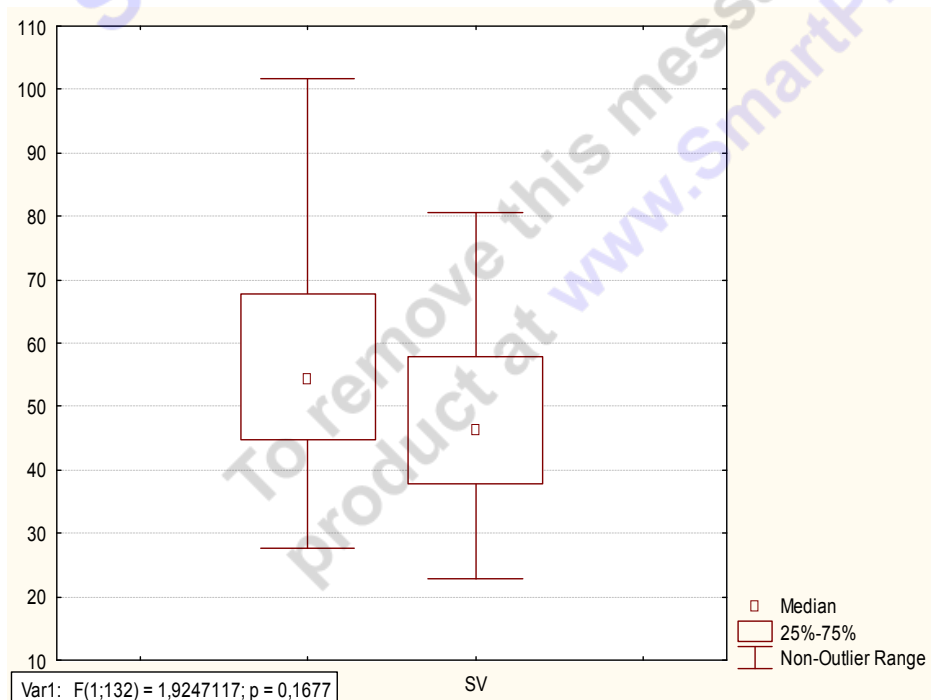
Analýza rozdielov v obvode na SV a JZ orientovaných svahoch prevedená rovnako ako pri analýze veku pre skupinky stanovísk s odpovedajúcou si polohou na svahu potvrdila vyšší obvod stromov na JZ svahoch zapojeného lesa aj obdivoch polôh stromových skupiniek. Štatisticky významné ($p < 0,05$) ale boli opäť len plochy na hornej hranici lesa.

Obrázok 16/1,2,3: Porovnanie veku stromov na stanoviskách s opačnou expozíciou podľa polohy na svahu (vek 1 –

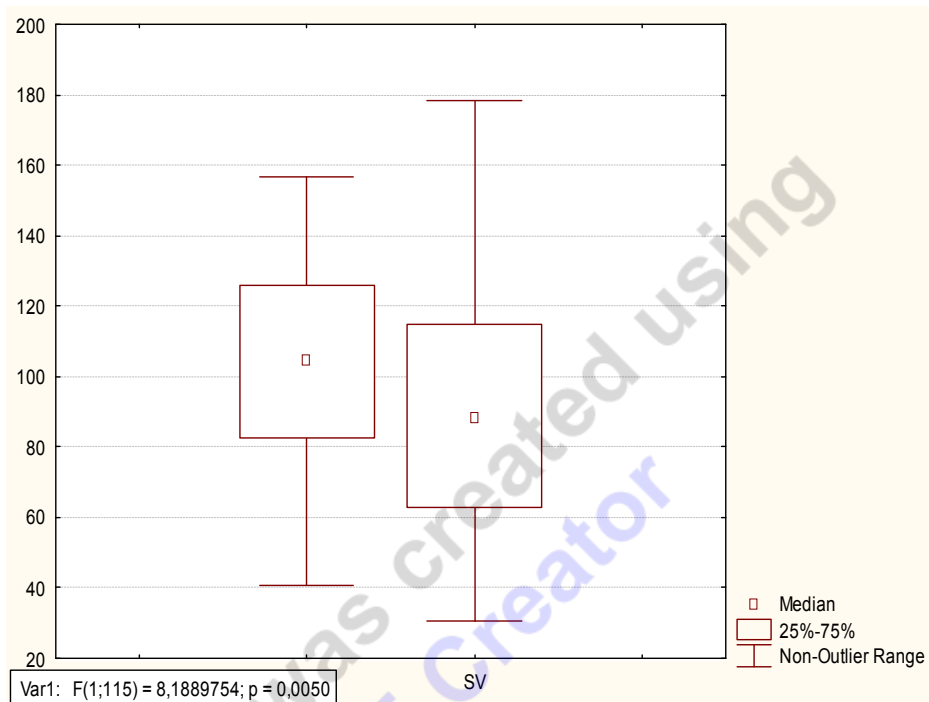
Vek 1



Vek 2

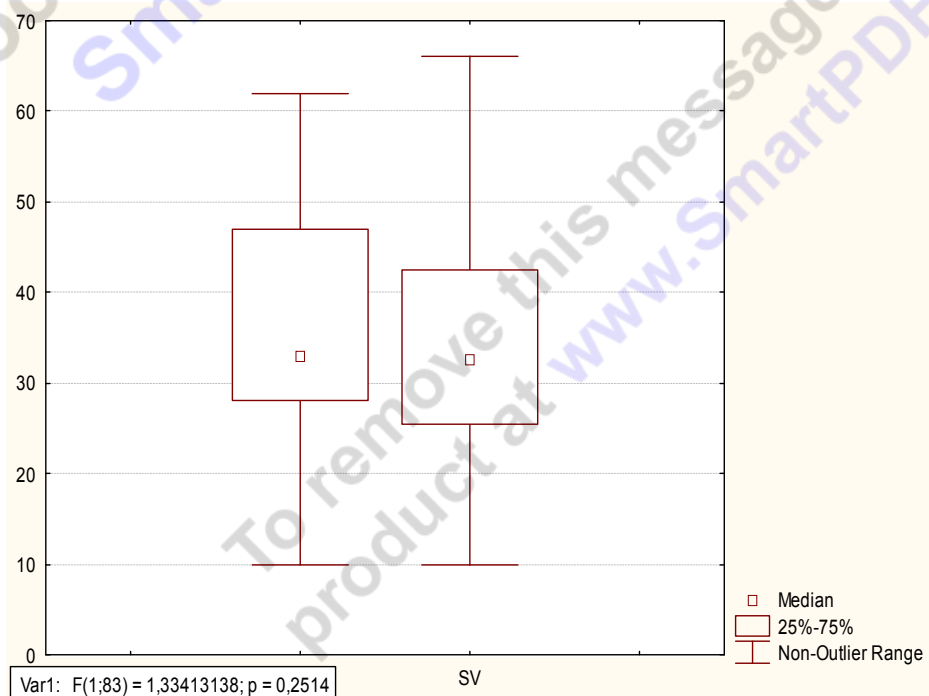


Vek 3

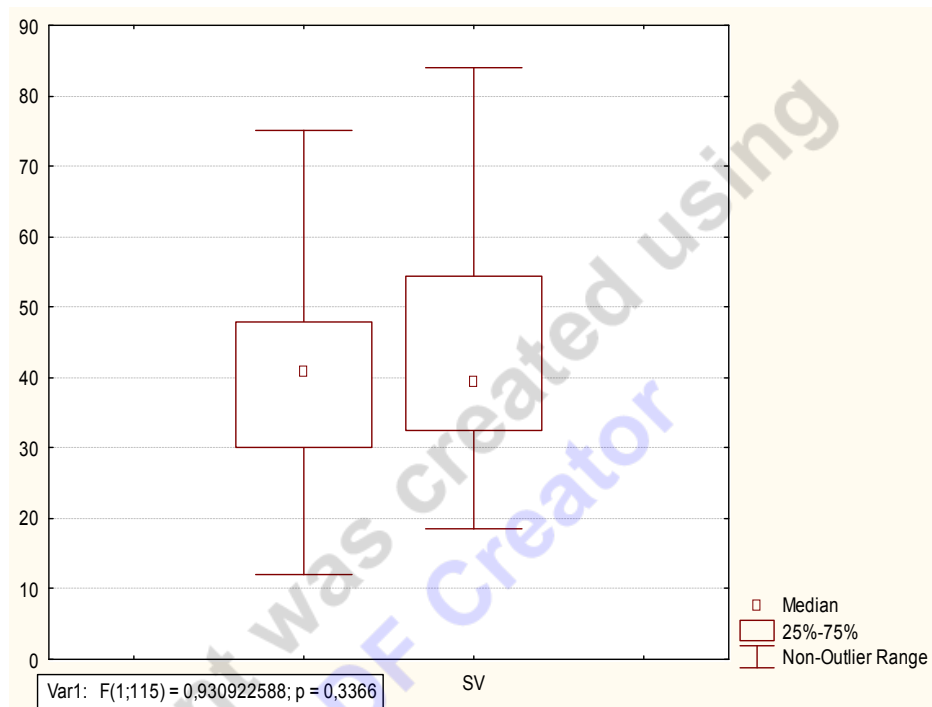


Obrázok 17/1,2,3: Porovnanie obvodu stromu na stanoviskách s opačnou expozíciou podľa polohy na svahu

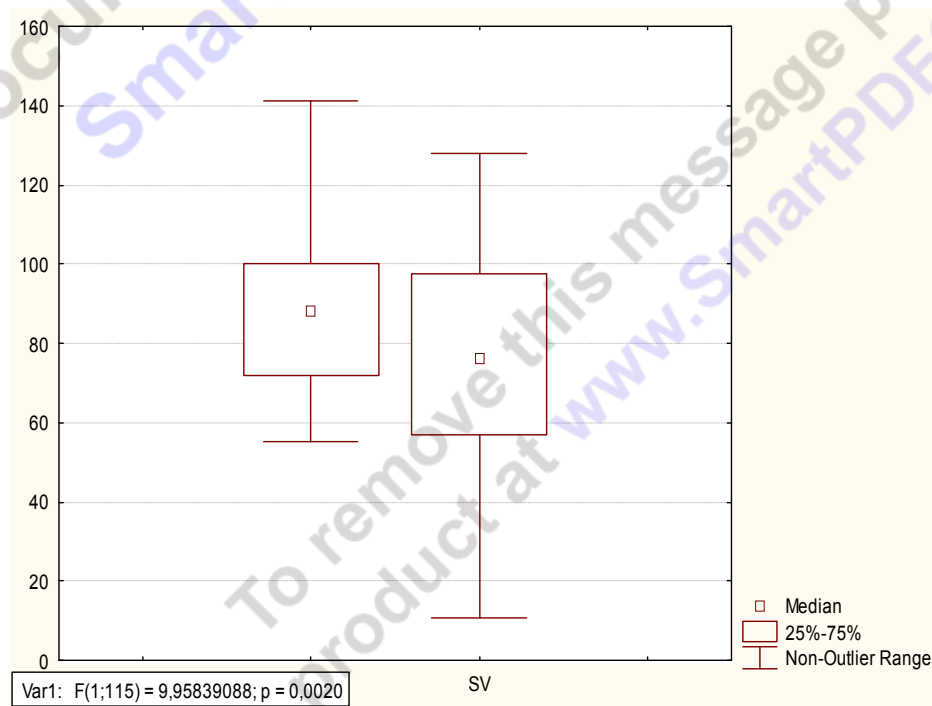
Obvod 1



Obvod 2



Obvod 3



5.3 Piestorovo-časové zmeny pokryvnosti smreka

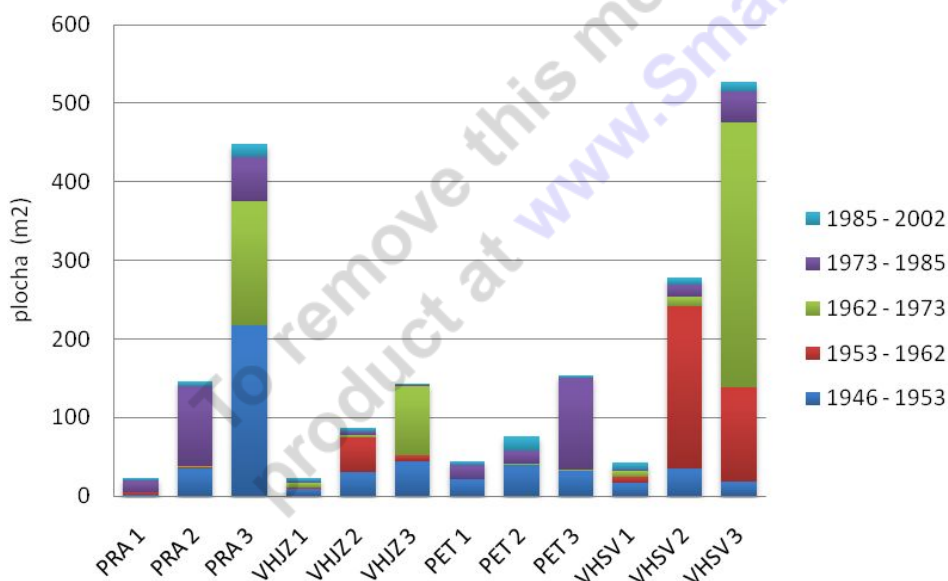
Zmeny pokryvnosti porastov smreka boli analyzované zo snímok zo 6 časových období v oblasti zapojeného lesa a v obidvoch polohách stromových skupiniek na 4 transektoch vymedzených v rámci ekotonu (Obrázok 18).

Pre každú analyzovanú plochu bolo stanovené plošné zastúpenie jednotlivých kategórií za každé hodnotené časové obdobie, pomerné zastúpenie v rámci celej klasifikovanej plochy a zmena v dvoch po sebe nasledujúcich obdobiach (1946 – 1953, 1953 – 1962, 1962 – 1973, 1973- 1985, 1985- 2002), ktorá bola pre účely porovnávania prepočítaná na jeden rok.

V prípade hodnotenia a porovnávania výsledkov klasifikácie za rok 1962, vo všetkých častiach transektu zahŕňajúceho oblasť Petrových kamenov a transektu zahŕňajúceho oblasť Pradedu v časti zapojeného lesa, nebolo možné vyhodnotiť plošné zmeny v pokryvnosti smreka, pretože dostupné informácie z leteckých snímok daného obdobia nezahŕňali časť územia, prípadne celú jeho plochu. Z toho dôvodu bola zmena pokryvnosti prepočítaná pre interval 1953-1973.

Výsledný mapový výstup zobrazuje zmeny vo vývoji transektov ako celkov, teda častí ekotonu zahŕňajúcich plochy na hornej hranici lesa a skupinky stromov 1 aj 2 (Príloha 1).

Obrázok 18: Porovnanie celkových plošných zmien na jednotlivých stanoviskách za celé sledované obdobie (1946 – 2002)

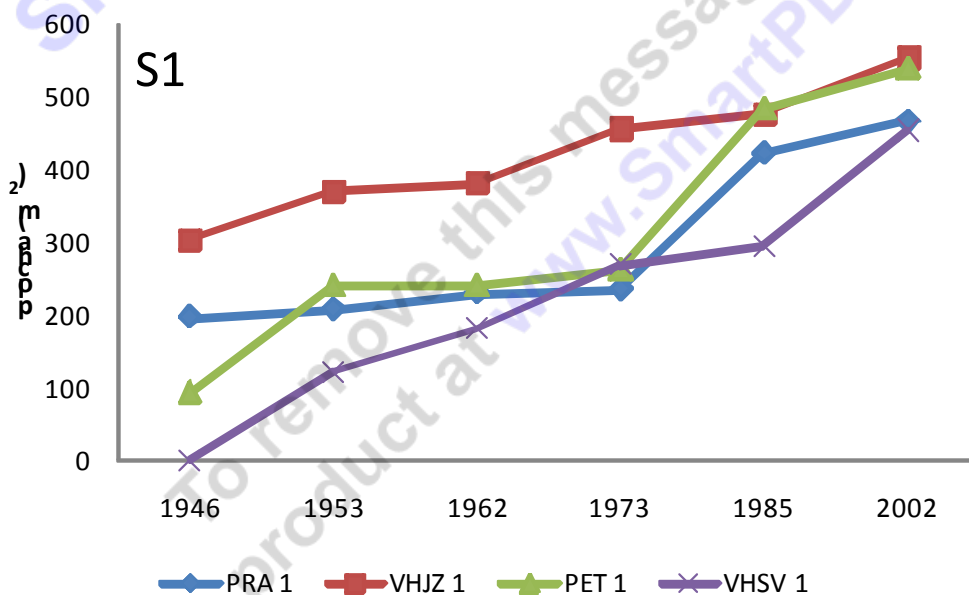


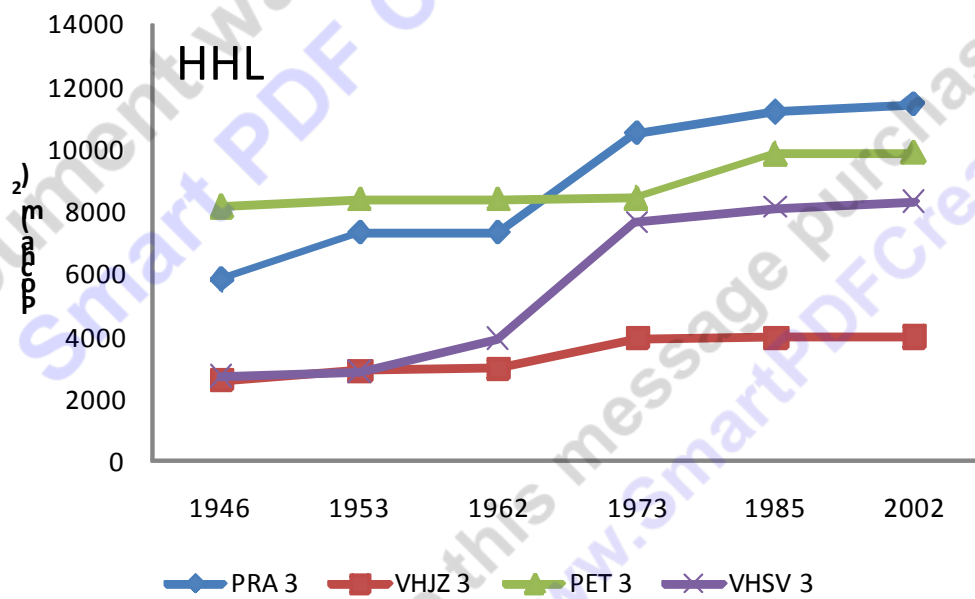
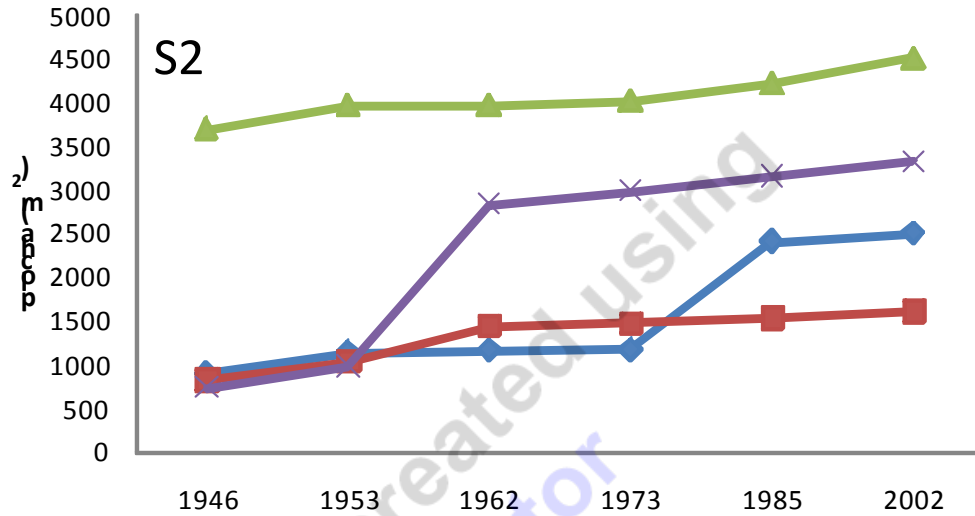
Na každej z hodnotených plôch bol zaznamenaný nárast v celkovej zmene pokryvnosti smreka (Obrázok 18) pričom dynamika zmien pokryvnosti je výraznejšia na plochách zapojeného lesa oproti plochám stromových skupiniek.

Celkové plošné zmeny zaznamenané v priebehu sledovaného obdobia sa v prípade najvyššie lokalizovaných stromových skupiniek výrazne nelíšia, aj keď je možné pozorovať mierne vyšší plošný nárast na stanoviskách nachádzajúcich sa na severovýchodne orientovaných svahoch (VHSV1 a PET1). Rozdiely v orientácii svahov a náraste pokryvnosti v prípade stromových skupiniek 2 ako aj plôch nachádzajúcich sa v zapojenom lese zaznamenané neboli.

Výrazná podobnosť v celkovej zmene pokryvnosti ale bola zaznamenaná vo všetkých častiach ekotonu (S1, S2, HHL) na komplementárnych stanoviskách s opačnou expozíciou a to medzi na juhozápadným svahom Vysokej hole a Petrových kameňov a rovnako v prípade severovýchodného svahu Vysokej hole a svahu Pradedu.

Obrázok 19: Priebeh plošných zmien pokryvnosti porastov smreka podľa polohy stanovísk v ekotone v období (1946 – 2002) S1 – stromové skupinky 1, S2- stromové skupinky 2, HHL- zapojený les (Pre prehľadnejšie vyjadrenie priebehu zmien pokryvnosti bolo nutné použiť rôzne merítka)



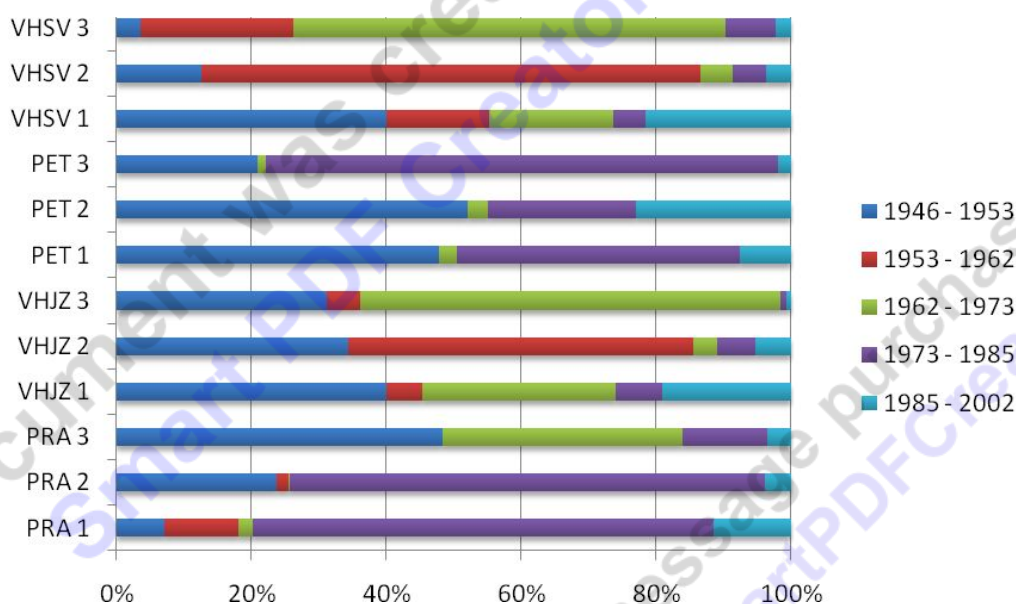


Z porovnania priebehu zmien pokryvnosti medzi plochami v zapojenom lese (Obrázok 19/HHL). Priebeh plošných zmien pokryvnosti porastov smreka podľa polohy stanovísk v ekotone v období (1946 – 2002) je možné pozorovať podobný priebeh zmien v nárastoch v prípade severovýchodne orientovanej plochy Vysokej hole (VHSV 3) a juhozápadne orientovaného svahu Pradeda (PRA 3) a podobne v prípade plôch v zapojenom lese na svahu Petrových kameňov (PET 3) a juhozápadného svahu Vysokej hole (VHJZ 3). Na plochách stromových skupiniek v stredných častiach svahov Obrázok (Obrázok 19/S2) je možné pozorovať podobný priebeh zmien

v prípade plôch VHJZ 2 a PET 2 s vyrovnaným nárastom pokryvnosti počas celého sledovaného obdobia.

V stromových skupinkách v najvyšších polohách ekotonu (Obrázok 19/S1) sa podobne vyvíjali stanoviská na svahoch Vysokej hole (VHJZ 1 a VHJZ 2) a podobný priebeh zmien bol sledovaný medzi stanoviskami Petrových kameňov (PET 1) a Pradedu (PRA 1).

Obrázok 20: Zmeny pokryvnosti porastov smreka v intervaloch po sebe nasledujúcich klasifikovaných rokov v pomernom zastúpení pre každé stanovisko



Zmena v pokryvnosti smreka v časovom úseku 1946 – 1953 bola najvýraznejšia v prípade transektov Petrových kamenov a Vysoké hole, a to najmä na plochách stromových skupiniek a na ploche zapojeného lesa Pradedu (PRA 3). V nasledujúcom období porovnávaných rokov 1953 – 1962 bola zistená najvýraznejšia zmena pokryvnosti v prípade plôch stromových skupiniek v stredných polohách svahov Vysoké Hole (VHJZ 2 a VHSV 2) (Obrázok 20).

V intervale 1962-1973 došlo k najväčšiemu nárastu pokryvnosti smreka na plochách hornej hranice lesa – VHSV 3, VHJZ 3 a PRA 3. V prípade plochy PRA 3 zmena pokryvnosti smreka v tomto intervale vskutočnosti predstavuje zmenu za obdobie od roku 1953, rovnako ako v prípade celého transektu Petrových kamenov, kde ale zmena v pokryvnosti od roku 1953 do 1973 nie je výrazná.

Zmena v období 1973-1985 sa najvýraznejšie prejavila na pokryvnosti plôch stromových skupiniek na svahoch Pradedu (PRA 1 a PRA 2) a na ploche PET 3 a PET 1

V poslednom sledovanom intervale 1985-2010 boli výraznejšie zmeny v pokryvnosti zaznamenané na plochách Vysokej Hole VHSV 1, VHJZ 1 a PET 2.

K najvýraznejšiemu posunu pokryvnosti smreka teda dochádza v období 1962 – 1973 na plochách na hornej hranici lesa, v skupinkách 2 v dvoch fázach, a to na svahoch Vysokej hole kde bola výraznejšia zmena zaznamenaná v období 1953-1962 v období 1973- 1985 v prípade Petrových kameňov. Najvyššie časti transektov sa menili v období 1985-2002.

Zmeny v časovom horizonte 1962-1985 na hornej hranici lesa a 1973-1985 pre skupinky 2, sú už nepatrné jedná sa väčšinou výhradne o rozrastanie stromových skupiniek a zvyšovanie zápoja.

5.4 Vplyv teplotných charakteristík na zmladzovanie porastov smreka

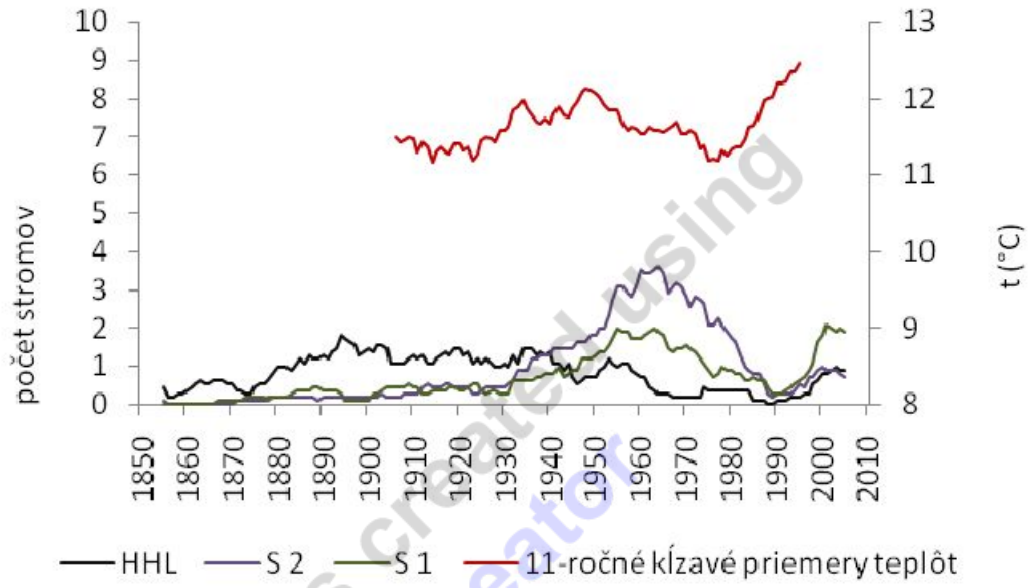
Pri posudzovaní vplyvu teplotných charakteristík vzduchu na zmladzovanie porastov smreka sa potvrdilo, že výraznejšie zmeny vo vekovej štruktúre porastov smreka odpovedajú priebehom priemerných teplôt vegetačného obdobia.

V priebehu študovaného obdobia sa tento trend na všetkých polohách stanovísk najvýraznejšie prejavil v období od konca 40. rokov do začiatku 60. rokov 20. storočia kedy došlo k zvýšeniu priemerných teplôt vzduchu a v období 70. a 80. rokov 20. storočia, kedy bol zaznamenaný najvýraznejší pokles teplôt.

Obidve polohy plôch stromových skupiniek pozitívne reagujú na nárast teplôt zvýšeným počtom uchytených jedincov, pričom na hornej hranici lesa nie je nárast počtu taký výrazný.

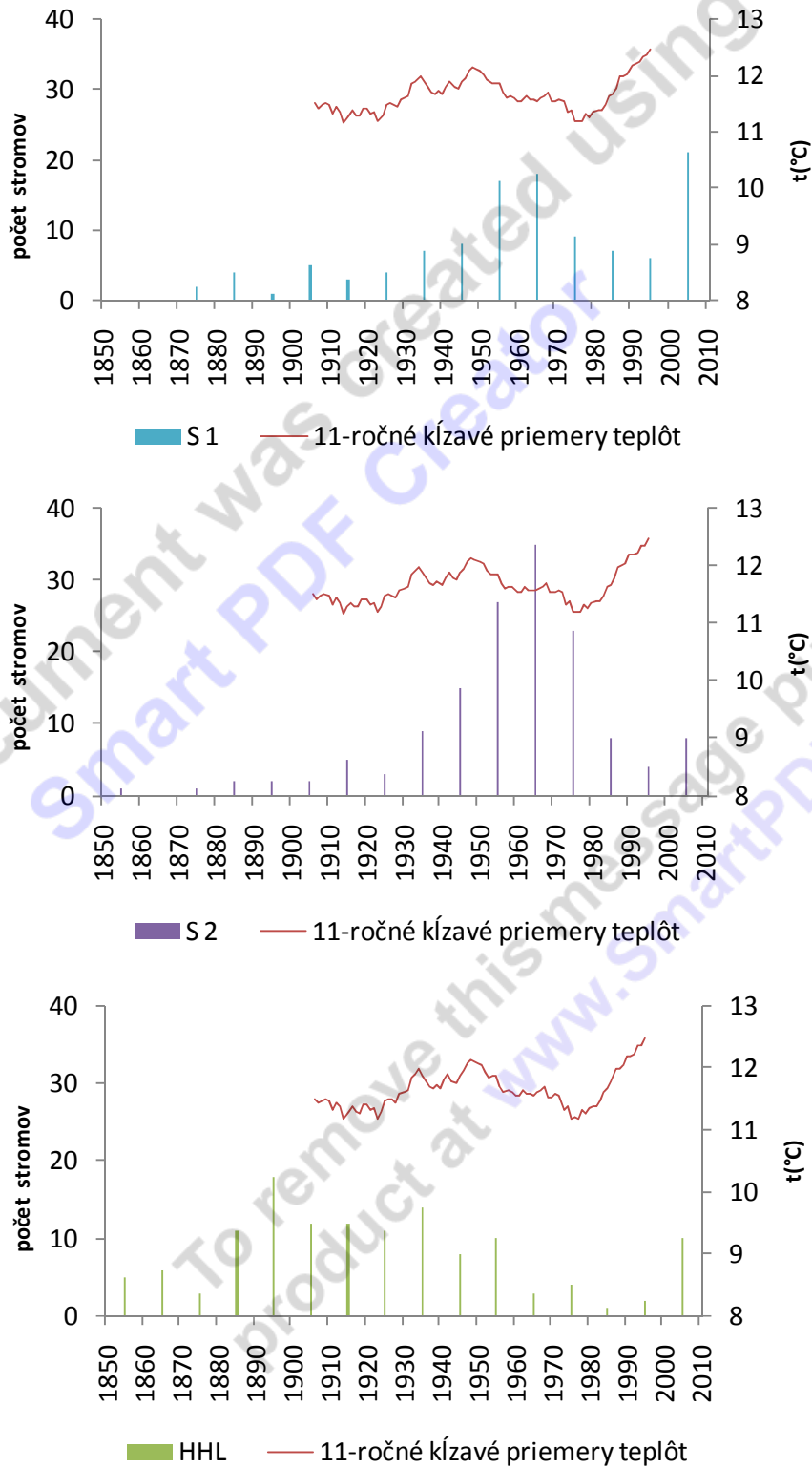
Naopak, v prípade nižších priemerných teplôt zaznamenaných v období 70. a 80. rokov 20. storočia sa zdá byť výraznejšia odozva na hornej hranici lesa, ako na plochách stromových skupiniek. Priemerné nižšie teploty vzduchu odpovedajú nižšiemu počtu jedincov v desaťročných triedach.

Obrázok 21: Porovnanie 11-ročných kĺzavých priemerov teplôt vegetačného obdobia (máj-august) s 11-ročným kĺzavým počtom stromov (1850 – 2010)



This document was created using Smart PDF Creator. To remove this message purchase the product at www.SmartPDFCreator.com

Obrázok 22: Porovnanie 11-ročných kízavých priemerov teplôt vegetačného obdobia (máj-august) s desaťročnými triedami početností uchytených jednicov (1850 – 2010)



6. Diskusia

Cieľom práce je posúdenie dynamiky priestorovo-časových zmien vo vekovej štruktúre a pokryvnosti porastov smreka s prihliadnutím na antropogénny vplyv, teplotné podmienky a geomorfologické charakteristiky vybraných plôch v ekotone hornej hranice lesa Hrubého Jeseníka.

Pokryvnosť smreka bola zisťovaná prostredníctvom historických leteckých snímok a ortofotomáp v období rokov 1946 - 2002. Hoci sú panchromatické letecké snímky často používané ako zdroj pomocných údajov pre geograficko-informačnú analýzu, ako primárny zdroj dát neboli populárne, pretože poskytujú informácie len z jedného spektrálneho pásma. Vysoká rozlišovacia schopnosť, detailné polohové informácie pre menšie územia a možnosť retrospektívneho porovnania robí techniku výskumu s požitím historických leteckých snímok vhodnú pre analýzu zmien (Baker a kol., 1995).

Pre čo najpresnejšie vyhodnotenie leteckých snímok, ako primárneho zdroja údajov o pokryvnosti porastov smreka, bola zvolená kombinácia objektovo orientovaného prístupu k analýze obrazu spolu s metódou fotointerpretácie, podporenej vlastným terénnym výskumom.

Rovnakú kombináciu metód využili napríklad, Tremel a kol., (2010) pri posudzovaní zmien v pokryvnosti kosodreviny v Hrubom Jeseníku, Král (2009), pri klasifikácii súčasnej vegetačnej pokrývky v NPR Praded a Resler (1995) v ekotone hornej hranice lesa v Glacier National Park, Montana, USA.

Vytvorením časovej rady navzájom porovnateľných leteckých snímok bol získaný dynamický obraz krajiny meniacej sa nielen v dôsledku prirodzených faktorov ale aj v závislosti na antropogénnych impulzoch.

Analýza zmien vekovej štruktúry a pokryvnosti smreka

Analýza vekovej štruktúry poukazuje na existenciu trendov medzi nárastom a poklesom v zmladzovaní porastov smreka. Generatívne zmladzovanie bolo v najvýraznejšej miere zistené na plochách nachádzajúcich v zapojenom lese, čo odpovedá faktu, že podmienky pre úspešné vyklíčenie semien sa s nadmorskou výškou zhoršujú (Holtmeier a kol., 2003), pretože stromy sa približujú k limitom svojho rastu a klíčivosť semien sa znižuje (Tranquillini, 1979). Na väčší počet generatívne zmladených jedincov v zapojenom lese môžu vplývať aj priaznivejšie mikroklimatické

podmienky vytvorené pod vplyvom okolitých dospelých stromov, ktoré udržiavajú vyššiu vlhkosť pôdy a zároveň pôsobia ako ochrana proti poškodeniu vetrom a upravujú rozloženie snehu, čím umožňujú prežiť semenáčkom kritickú fázu vývoja (Körner, 1999; Holtmeier a Broll, 2005; Mazepa, 2005).

V oblastiach s vysokou intenzitou stresových faktorov sa ako odzva na zhoršené podmienky mení spôsob prežitia a regenerácie populácie smreka (Šelfendr, Madera, 2011) a znížená schopnosť smreka šíriť sa generatívne je nahrádzaná vegetatívnou regeneráciou, kedy sa klonálny jedinec vytvára zakorenением spodných konárov pôvodného stromu (Traquillini 1979; Holtmeier 2009).

Pri všetkých živých stromoch, z ktorých boli odobrané vzorky, bolo vegetatívne zmladzovanie identifikované až u 43% jedincov. V porovnaní lokalít podľa polohy vrámci ekotonu, bolo najvýraznejšie vegetatívne zmladzovanie zaznamenané na plochách v stromových skupinkách v najvyšších polohách svahov (S1).

Vysoká miera vegetatívneho zmladzovania pri šírení porastov smreka bola potvrdená aj pri analýze zmien pokryvnosti smreka, kedy boli zaznamenané výrazné zmeny v pokryvnosti plôch stromových skupiniek Vysokej hole (VHJZ 1 a VHJZ 2) a

Pradedu (PRA 2) v poslednom analyzovanom časovom období (1985-2002) aj napriek tomu, že na plochách neboli v období od roku 1985 až do súčasnosti zaznamenané žiadne semenáčky. Zmena pokryvnosti je teda v tomto období dôsledkom vegetatívneho rozrastania stromových skupiniek a rozširovaním zápoja už existujúcich stromov a to najmä v stredných polohách svahov.

K rovnakému výsledku dospeli vo svojom výskume aj Treml a Banáš (2008), ktorý stanovili počet stromov v klonálnych skupinkách v strednej časti transektov v rozmedzí 6-11 jedincov, teda značne vyšší ako na plochách nachádzajúcich sa na hornej hranici výskytu stromu tvorených 3-6 jedincami. Podľa výskumu Šenfeldra a Maderu (2011), boli v oblasti ekotonu hornej hranice lesa v Hrubom Jeseníku identifikované až 3 generácie stromov klonálneho pôvodu, ktoré vytvárali stromové skupinky s priemerne 5 jedincami (priemerne pre všetky skupinky stromov nad zapojeným lesom) a semená porastov smreka sa im podarilo dokonca nájsť aj nad súčasnou hornou hranicou výskytu stromov, čo môže naznačovať posun ekotonu do vyšších nadmorských výšok.

Vo vývoji vekovej štruktúry boli zaznamenané výrazné trendy spoločné pre väčšinu stanovísk, aj keď nárast zmladzovania nebol na všetkých stanoviskách synchronný. Na plochách zapojeného lesa je to obdobie 30. a 40. rokov 20. storočia

a v prípade obidvoch polôh stromových skupiniek obdobie 50. a 60. rokov 20. storočia. Pokles v období 80. rokov 20. storočia bol zaznamenaný v rôznej miere na všetkých plochách študovaného územia.

Tieto trendy vyplynuli aj z analýzy vývoja zmien pokryvnosti. Zmena pokryvnosti v období 40. a 60. rokov bola najvýraznejšia v skupinkách 2 a o niečo menej výrazná na plochách v zapojenom lese. Rovnako depresie v uchycovaní nových jedincov v období 80. rokov 20. storočia sa odrazili aj na zmene pokryvnosti smreka najvýraznejšie na plochách hornej hranice lesa, teda v oblasti v zapojeného lesa. Na plochách stromových skupiniek v najvyšších polohách svahov celkový pokles nie je taký výrazný.

K nárastu zmladzovania výrazne prispelo úplné zastavenie antropogénnych zásahov v Jeseníkoch po roku 1940 od kedy sa porasty v najvyšších polohách ponechávali prakticky bez zásahu (Hošek, 1973).

Zvýšenému uchycovaniu stromových porastov na plochách od konca 40. rokov do začiatku 60. rokov 20. storočia odpovedá aj zvýšenie teplôt v tomto období, čo je často rozhodujúcim faktorom pri nástupe nových jedincov v oblasti ekotonu hornej hranice lesa (Holtmeier, Broll, 2007; Harsch a kol., 2009; Smith a kol., 2009), pretože pre rozptýlenie, uchytanie a prežitie semien sú potrebné dobré teplotné podmienky v priebehu niekoľkých desiatok rokov (Vittoz a kol., 2008).

Pretože mladšie stromy v stromových skupinkách citlivejšie reagujú na zmeny teplôt (Holtmeier, Broll, 2005) bola zmena pokryvnosti v období 40. a 60. rokov najvýraznejšia v skupinkách 2 a o niečo menej výrazná na plochách na hornej hranici lesa.

Depresiám v zmene pokryvnosti a vekovej štruktúry v období 70. a 80. rokov 20. storočia odpovedá pôsobenie imisnej kalamity a súčasne pokles priemerných teplôt rastovej sezóny v tomto období.

Depresie v uchycovaní nových jedincov a zmena pokryvnosti smreka sa v obidvoch prípadoch výraznejšie odrazila na plochách hornej hranice lesa, teda v oblasti zapojeného lesa, kde je to možné vysvetliť spolupôsobením viacerých negatívnych faktorov a to vyššou citlivosťou porastov v zapojenom lese na extrémne klimatické vplyvy (Bednář, 1973) a vyššou kompetíciou ako v stromových skupinkách.

Na plochách stromových skupiniek v najvyšších polohách, celkový pokles nie je výrazný, pretože mladšie jedince majú všeobecne väčšiu vitalitu a sú odolnejšie voči patogénom a kyslej depozícií.

K rovnakým výsledkom v Hrubom Jeseníku dospeli aj Šelfendr, Madera (2011) a podľa výskumov dynamiky hranice lesa v Krkonošiach (Kroupová, 2001; Tremel, 2007; Jungrová, 2011) došlo k plošnému vzostupu hranice lesa ve 40. až 60. rokoch, ktorý sa rovnako najvýraznejšie prejavil v znížených pozíciách hranice lesa zapojovaním stromových skupiniek a obsadzovaním voľných miest novými jedincami. Pozitívny vplyv letných teplôt na rast smreku potvrdila Kroupová (2001) aj v Krušných a Jizerských horách a vzťah medzi šírkou letokruhov a letnými teplotami potvrdil v Krkonošiach Sander (1995), Ponocná (2010) a Píro (2011). Rovnako v každom zo spomínaných pohorí bola zaznamenaná aj depresia v období 70. a 80. rokov 20. storočia.

Napríklad aj posun hornej hranice lesa do vyšších polôh v južnej časti Škandinávskych vrchov je rovnako vysvetľovaný otepľovaním klímy v priebehu 20. storočia, hlavná časť posunu prebehla do roku 1950 a ďalší posun bol zistený v 90. rokoch (Kullman, 2001). V období 70. a 80. rokov 20. storočia bol zaznamenaný útlm napríklad v Španielskych Pyrenejách (Batllori, Gutiérrez, 2008).

Dlhodobé zlepšenie klimatických podmienok nevyhnutné pre uchycovanie nových porastov potvrdil napríklad aj Shiyatov (2003, 2005) na Urale a Vittoz a kol. (2008) v Švajčiarskych Alpách.

Najvýraznejším zmenám vo vekovej štruktúre odpovedá časový interval v období 1885 – 1935 v prípade zapojeného lesa, 1935 – 1985 v prípade skupiniek stromov v stredných častiach svahov a 1985- 2010 v najvyšších polohách ekotonu. Tieto trendy boli pri analýze pokryvnosti smreka potvrdené v prípade obidvoch polôh stromových skupiniek, kedy najvýznamnejšiemu obdobiu uchycovania nových jedincov v stromových skupinkách stredných polôh svahov (1935-1985) odpovedá najvýraznejší posun pokryvnosti smreka v období 1946 – 1953 na ploche PET 2, 1953-1962 na plochách VHJZ 2 a VHSV 2 a 1962-1985 na ploche PRA 2. Obdobie najvýraznejšej zmeny vekovej štruktúry na plochách stromových skupiniek na hornej hranici výskytu stromu korešponduje so zistenými významnými zmenami pokryvnosti v období 1985-2002 (okrem plochy VHJZ 1, kde bola zmena pokryvnosti spôsobená rozširovaním stromových skupiniek).

K najvýraznejšiemu posunu pokryvnosti smreka na plochách na hornej hranici lesa dochádza v období 1962 – 1973, teda v období pred imisnou kalamitou. V odpovedajúcom období 1960 – 1985 zmien vekovej štruktúry, boli v prípade plôch na hornej hranici lesa zaznamenané len malé zmeny, dokonca v prípade plochy PRA 3

neboli v tomto období zaznamenané žiadne uchytené jedince a na ploche VHSZ 3, bol zistený až 67% podiel klonálne zmladzujúcich jedincov, čo vysvetľuje značnú zmenu pokryvnosti na tejto ploche. Vysvetlením pre nesúlad zmien vo vekovej štruktúre a pokryvnosti smreka na plochách PET 3, PRA 3, VHJZ 3 a VHSV 3, môže byť klonálne zmladzovanie a rozširovanie zápoja lesa ako odzva na obdobie priaznivých teplotných podmienok v 40.-60. rokoch 20. storočia.

Závislosť zmien vekovej štruktúry a pokryvnosti smreka od nadmorskej výšky

Zmena vekovej štruktúry v závislosti od nadmorskej výšky poukazuje na výrazné zvýšenie podielu mladších vekových tried s narastajúcou nadmorskou výškou a teda naznačuje trend posunu hornej hranice lesa do vyšších nadmorských výšok. Posun ekotonu hranice lesa do vyšších polôh, na základe intenzity vegetatívneho a generatívneho zmladzovania v rôznych častiach ekotonu zistili aj Šelfendr a Madera (2011).

Z celkového porovnania plošných zmien porastov smreka, percento pokryvnosti s narastajúcou nadmorskou výškou klesá v každom z časových období, čo potvrdzujú aj výsledky vyplývajúce z vekovej štruktúry. Z toho vyplýva, že populácia smreka sa tu nachádza v štádiu rastu (Odum, 1983). Znižovanie pokryvnosti smreka so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou je prirodzeným dôsledkom pôsobenia ďalšieho limitujúceho faktora, ktorým je nedostatočné prehriatie horných vrstiev pôdy (Körner, Paulsen, 2004). Rozvolnené porasty pri hornej hranici lesa sú teda prirodzeným dôsledkom tejto situácie (Tremel, Banáš, 2008).

Na každej z hodnotených plôch bol zaznamenaný nárast v celkovej zmene pokryvnosti smreka, pričom výraznejšia dynamika zmien bola zistená na plochách zapojeného lesa oproti plochám stromových skupiniek. Rovnaký trend v zmene pokryvnosti porastov zaznamenali napríklad Shyiatov (2003, 2005) na Urale a Vitóz a kol. (2008) a Gehrig-Fasel (2007) v Alpách.

Závislosť zmien vekovej štruktúry a pokryvnosti smreka od orientácie svahu

Zmena vekovej štruktúry na opačne expozične orientovaných svahoch komplementárnych plôch sa z hľadiska zmladzovania porastov v prípade zapojeného lesa ukázala byť výhodnejšia na SV orientovaných svahoch. Rovnako aj v prípade stromových skupiniek 2 sa SV orientácia ukázala výhodnejšia ako JZ svahy.

V prípade stromových skupiniek v najvyšších polohách ekotonu sa ukázali ako mierne výhodnejšie JZ svahy. V prípade zmien pokryvnosti neboli zistené výraznejšie rozdiely medzi komplementárnymi plochami v závislosti od orientácie.

V najvyšších polohách hornej hranice lesa je možné pre Z a JZ expozície odvodzovať lepšie teplotné podmienky vďaka radiačnému ohrevu povrchu. Možným príčinným faktorom je nižšia výška snehovej pokrývky na vetrom vyfúkavaných Z svahoch a jej skoršie topenie a tým aj predĺženie vegetačného obdobia (Tremel, Banáš, 2000). V oblasti plôch na hornej hranici lesa neboli na protifaľho expozične orientovaných svahoch zistené rozdiely v generatívnom zmladzovaní porastov, čo môže súvisieť s teplotami pôdy v koreňovej vrstve, ktoré sa počas vegetačného obdobia v uzavretom zápoji lesa medzi severnými a južnými svahmi nelíšia (Paulsen, Körner, 2001).

Analýza obvodu a veku stromov

Analýza priemerného veku potvrdila, že najstaršie stromy sa nachádzajú v lokalitách zapojeného lesa. Priemerný vek skupiniek S2 je mierne vyšší v porovnaní s plochami skupiniek S1. Bol zistený celkovo vyšší priemerný vek stromov na JZ orientovaných plochách vo všetkých polohách svahov oproti plochám so SV expozíciou, pričom rozdiely v lokalitách s podobnou nadmorskou výškou boli štatisticky významné len v prípade lokalít na hornej hranici lesa ($p < 0,05$).

Priemerný obvod stromov s narastajúcou nadmorskou výškou klesá a rovnako ako v prípade vekovej štruktúry, sa JZ svahy javia výhodnejšie pre rast stromov ako SV. Štatisticky významné ($p < 0,05$) ale boli opäť len plochy na hornej hranici lesa.

Stromy rovnakého obvodu môžu reprezentovať veľké rozdiely vo vekovej štruktúre, a to vo vzťahu k podmienkam v ktorých rastú. Potlačenie rastu (obvodu) u niektorých stromov môže byť dôsledkom extrémnych podmienok a/alebo kompetície (Lusk, Ogden, 1992).

V porovnaní expozície stanovísk voči svetovým stranám sa vzťah medzi obvodom a vekom výraznejšie prejavil v prípade JZ orientovaných svahov oproti SV svahom. Vo vzťahu k nadmorskej výške boli najvyššie hodnoty koeficientu determinácie dosiahnuté v stromových skupinkách S2, o niečo nižšie v zapojenom lese, čo môže byť spôsobené vyšším vplyvom kompetície. Celkovo najnižšie hodnoty boli dosiahnuté v prípade stromových skupiniek S1, kde mal výrazný vplyv nízky počet vzoriek vstupujúcich do modelu a vplyv celkovo zhoršených klimatických a abiotických

podmienok na rast stromov (Traquillini, 1979; Holtmeier, 2003; Kroupová 2001) a rovnako fakt, že v týchto podmienkach je v njamladších vekových kategóriách rast smrekov veľmi pomalý a rovnaký obvod môže reprezentovať istý vekový rozdiel (Madera, 2004).

Vek suchých stromov bol odovdený prostredníctvom regresného modelu vzťahu medzi obvodom kmeňa a a vekom živých stromov. Ako štatisticky významný bol stanovený regresný model obsahujúci vzorky z celého skumáneho územia, ktorým bolo vysvetlených 52% celkovej variability obvodu a bol teda použitý pre stanovenie veku suchých stromov. Nevysvetlená časť variability môže byť spôsobená rôznorodými podmienkami rastu.

Všetky prírastové veličiny na strome sú závislé na rastovom prostredí danom prírodnými podmienkami a zápojom v poraste. Šírkový prírast stromov je tiež v užšej závislosti na klimatických činiteľoch a prípadnom poškodení stromov (mrazy, hmyz). Na jeho priebehu a kolísaní je najlepšie viditeľný rastový rytmus stromu (Korf, 1972).

Počet odumretých stromov je približne vyrovnaný vo všetkých výškových polohách svahov ale pri vzájomnom porovnaní stromových skupiniek je úmrtnosť vyššia v prípade skupiniek v stredných polohách svahov, k rovnakému záveru v Hrubom Jeseníku dospeli aj Šelfendr, Madera (2011).

7. Záver

Analýza vekovej štruktúry poukazuje na existenciu trendov medzi nárastom a poklesom v zmladzovaní porastov smreka. Generatívne zmladzovanie bolo v najvýraznejšej miere zistené na plochách v zapojenom lese pretože sa tam nachádzajú najvýhodnejšie podmienky pre vyklíčenie semien.

Vegetatívne šírenie bolo naopak v najväčšej miere zaznamenané v obidvoch polohách stromových skupiniek, čo je odzvou na celkovo zhoršené podmienky prostredia oproti plochám v zapojenom lese a smrek tak nahrádza spôsob generatívneho šírenia vegetatívnou regeneráciou.

Najrazantnejší vzostup v zmene vekovej štruktúry a pokryvnosti bol zaznamenaný v období 40. až 60. rokov 20. storočia a bol podmienený spolupôsobením niekoľkých faktorov. Najdôležitejšou príčinou bolo úplné zastavenie antropogénnych zásahov v Jeseníkoch po roku 1940, spolu so zvýšením teplôt vegetačného obdobia od konca 40. rokov do začiatku 60. rokov 20. storočia. Najvýraznejšie sa vzostup prejavil v stromových skupinkách v stredných polohách svahov, pretože tie nie sú vo výraznej miere vystavené nepriaznivým podmienkam exponovaných svahov.

Od druhej polovice 80. rokov 20. storočia došlo v rôznej miere na všetkých plochách študovaného územia k poklesu zmladzovania a rovnako menej výrazným zmenám v pokryvnosti, čo bolo spôsobené pôsobením imisnej kalamity v období od druhej polovice 70. a 80. rokov 20. storočia a nižšími priemernými teplotami vegetačného obdobia zaznamenanými v rovnakom období. Pokles sa najvýraznejšie prejavil na plochách stromových skupiniek v najvyšších polohách svahov pretože sa nachádzajú najbližšie limitným podmienkam pre výskyt smreku.

Celkovo došlo v skúmanom období k vzostupu pokryvnosti na hranici lesa, ktorý bol v najvýraznejšej miere zaznamenaný v najnižších polohách ekotonu na stanoviskách v zapojenom lese, čo je dôsledkom zapojovania stromových skupiniek (vegetatívnym šírením) a obsadzovania miest medzi nimi novo uchytenými jedincami smreka.

Dynamiku hranice lesa ovplyvňovala nadmorská výška a čiastočne expozícia. Zmena vekovej štruktúry v závislosti od nadmorskej výšky poukazuje na výrazné zvýšenie podielu mladších vekových tried s narastajúcou nadmorskou výškou a teda naznačuje trend posunu hornej hranice lesa do vyšších nadmorských výšok. Priemerný

obvod stromov s narastajúcou nadmorskou výškou rovnako klesá, čo je spôsobené zhoršovaním podmienok rastu s narastajúcou nadmorskou výškou.

Výhodnosť a nevýhodnosť orientácie svahu voči slnečnému žiareniu sa prejavila vo vekovej štruktúre v najvyšších polohách stromových skupiniek v nezapojenom poraste, čo dokázalo, že v nižších polohách sa rozdiely stierajú. V prípade zmien pokryvnosti stromov výraznejšie rozdiely neboli zaznamenané.

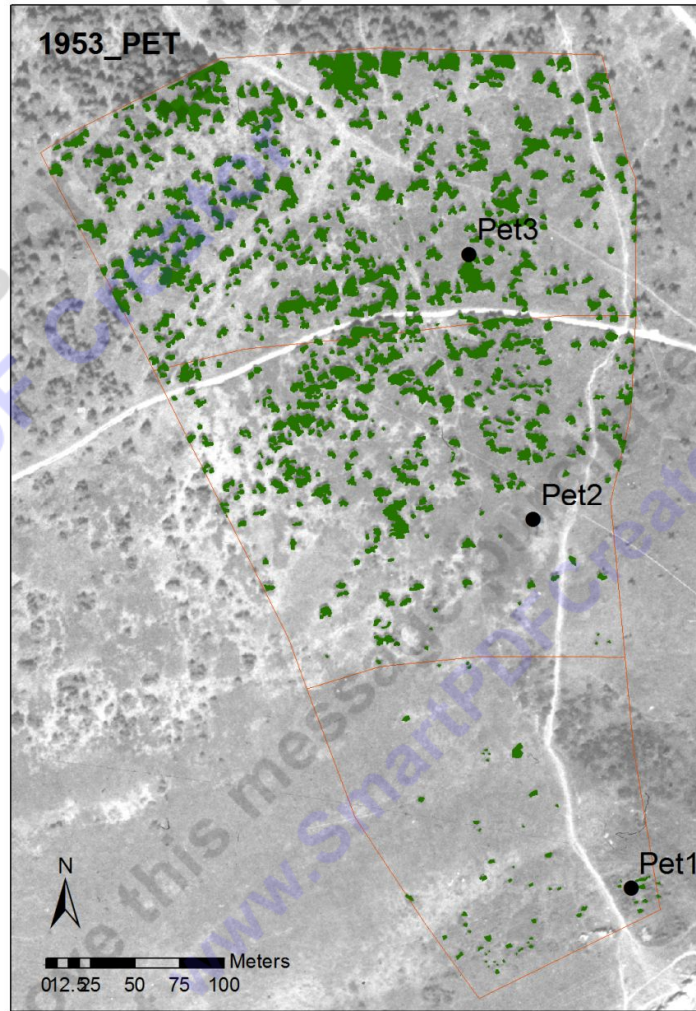
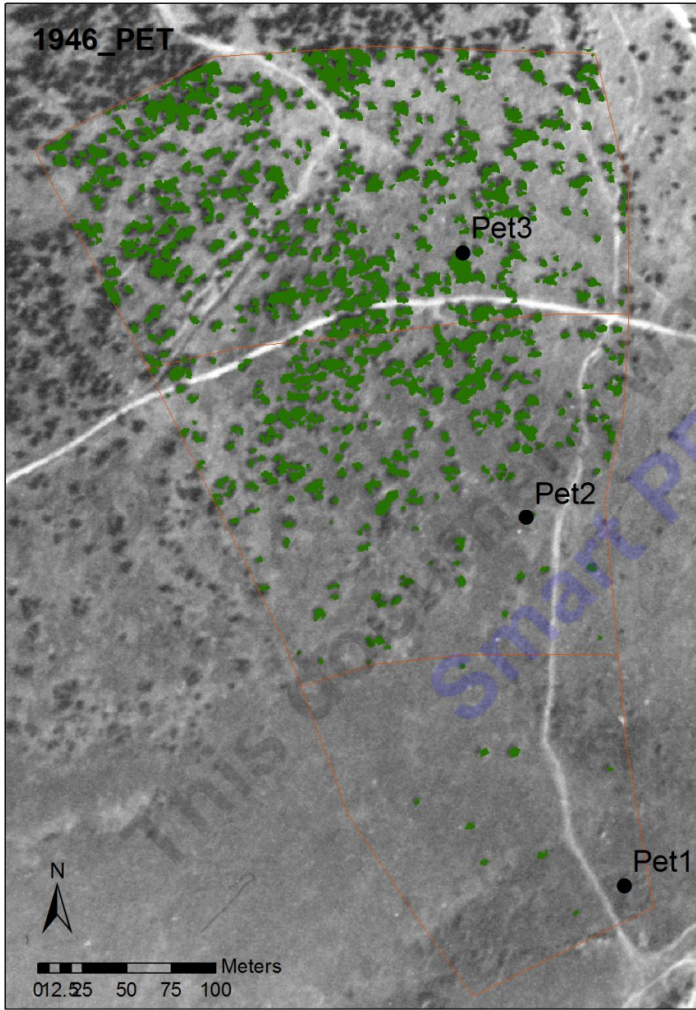
Porovnaním zmien vo vekovej štruktúre a pokryvnosti smreka bol získaný dynamický obraz ekotonu hornej hranice lesa v Hrubom Jeseníku od druhej polovice 20. storočia do súčasnosti, meniacej sa v dôsledku pôsobenia prirodzených podmienok prostredia (klimatické a lokálne faktory) a súčasne v závislosti na antropogénnych impulzoch, pôsobiacich v minulosti, ktoré výrazne ovplyvnili súčasný vývoj a ďalších, ktoré čiastočne pôsobia aj v súčasnosti (znečistenie ovzdušia).

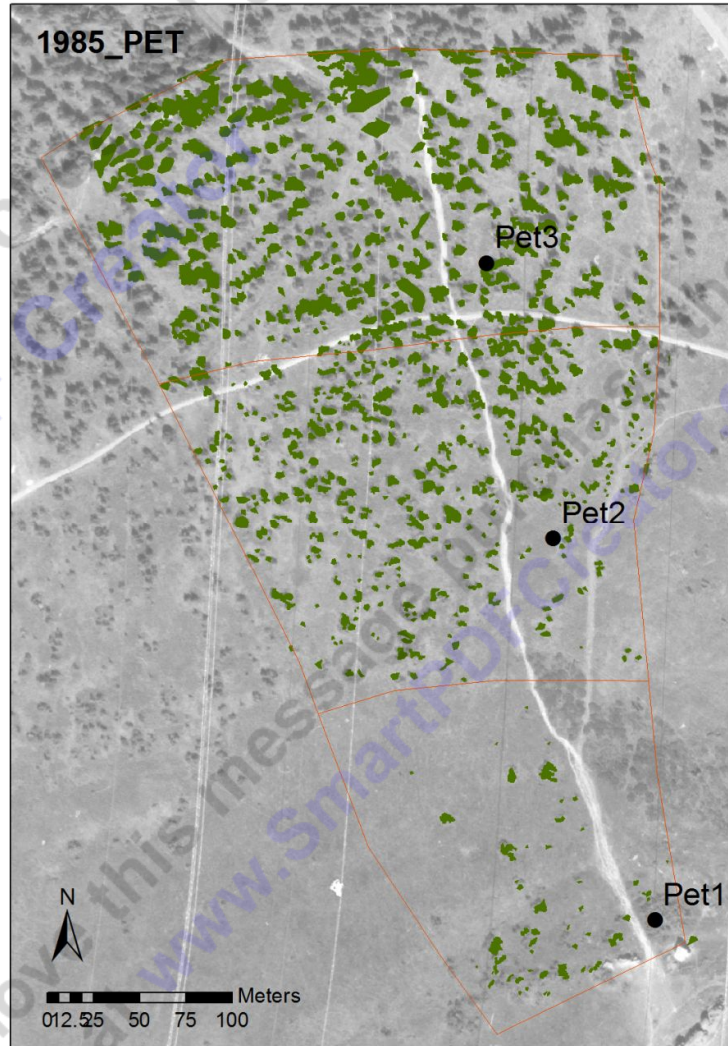
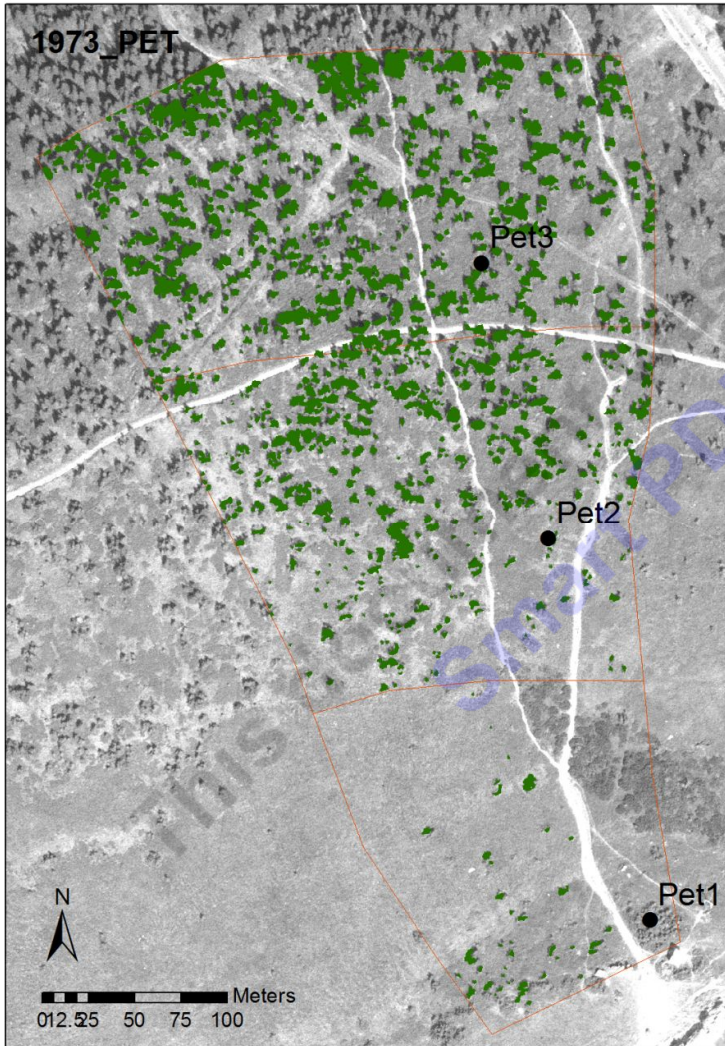
Výsledky potvrdili trend postupného zvyšovania hranice lesa v dôsledku zastavenie antropogénnej činnosti pôsobiacej v minulosti, ako aj v kontexte s globálnym otepľovaním, ale zároveň aj poukázali, že lokálne špecifiká topografie a prírodných podmienok výrazne ovplyvňujú štruktúru ekotonu.

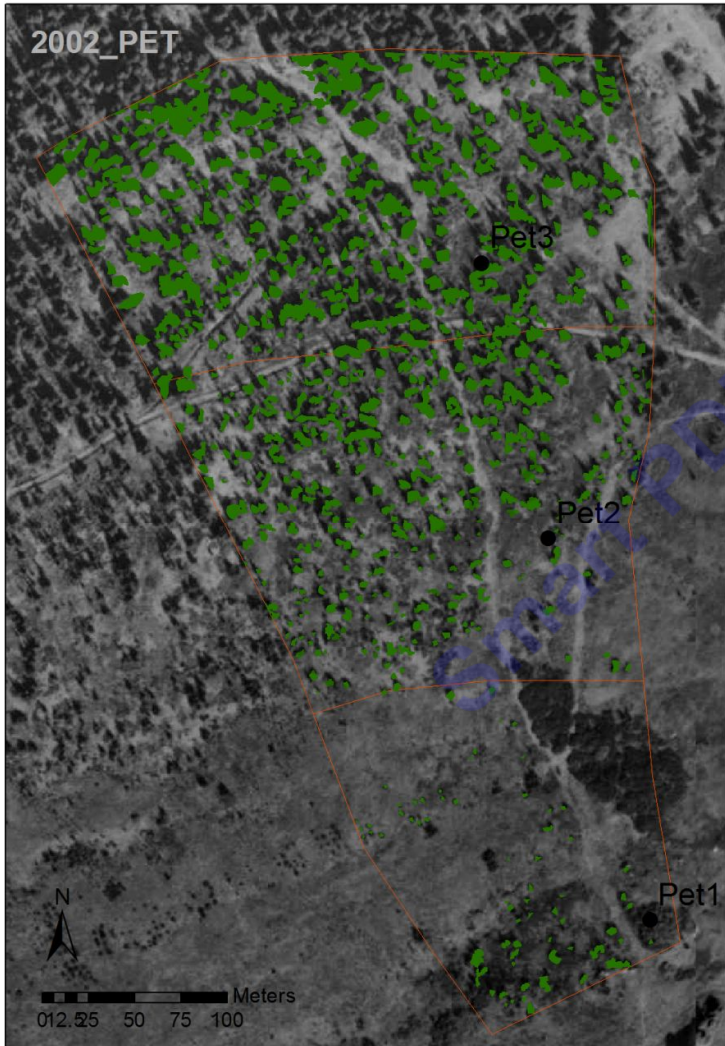
Príloha 1: Zmeny pokryvnosti smreku v transekte Petrových kamenov
v skúmaných časovýchobdobiach (1946-2002)

This document was created using
Smart PDF Creator

To remove this message purchase the
product at www.SmartPDFCreator.com







To remove this message purchase the product at www.SmartPDFCreator.com

This document was created using
Smart PDF Creator

To remove this message purchase the
product at www.SmartPDFCreator.com