

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**katedra fyzické geografie a geoekologie**

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Geografie a kartografie



**Veronika Růžičková**

Vliv struktury vegetace na její expanzi na příkladu borovice kleče  
The effect of vegetation pattern on stand expansion on the example of dwarf pine

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Václav Tremel, Ph.D.

Praha, 2017

## **Zadání bakalářské práce:**

**Téma práce:** Vliv struktury vegetace na její expanzi na příkladu borovice kleče

## **Cíle práce**

- 1) Zpracovat rešerši na zadané téma.
- 2) Zjistit, jak struktura porostů borovice kleče ovlivňuje jejich expanzi.

## **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

### **Zájmové území:**

Vrcholová část východních Krkonoš. 68 čtverců o rozloze 2 500 m<sup>2</sup> na ploše 23, 18 km<sup>2</sup>.

### **Metody:**

Vektorizace porostů borovice kleče pomocí ortofotografických snímků z let 1964 a 2015 v měřítku 1 : 500. Korelace a lineární mnohonásobná regrese, závislá proměnná: změny rozlohy porostů, vysvětlující proměnné: obvodová délkou porostů v roce 1964, sklon svahů, nadmořská výška.

**Datové zdroje:** ortorektifikované letecké snímky

Datum zadání: 25. 10. 2016

Jméno studenta: Veronika Růžičková

Podpis studenta: .....

Jméno vedoucího práce: Mgr. Václav Tremel, Ph.D.

Podpis vedoucího práce: .....

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

**V Praze, 25. 7. 2017**

.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce panu Mgr. Václavu Tremlovi, PhD., za odborné vedení a cenné připomínky. Také bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mi poskytli veškerou možnou podporu.

## **Abstrakt**

Předložená bakalářská práce se zabývá vlivem struktury borovice kleče na její expanzi v nejvyšších částech Krkonoš. Cílem bylo zjistit, jak tento a jiné faktory expanzi ovlivňují. Za tímto účelem byly v 68 čtvercích zvektorizovány porosty kleče na základě ortorektifikovaných leteckých snímků z let 1964 a 2015. Následně byla zjištěna změna plochy porostu borovice kleče, délka okrajů porostu v roce 1964, průměrný sklon a nadmořská výška v jednotlivých čtvercích. Pomocí korelační analýzy byl zjištěn vliv jednotlivých proměnných na změnu plochy. Tyto proměnné byly dále použity při sestavení modelu mnohonásobné lineární regrese.

Výsledky ukázaly, že porost borovice kleče ve sledovaném období vzrostl. Největší vliv na expanzi má délka okrajů v roce 1964, tedy členitost, jejíž dopad je pozitivní. Podobně silný vliv má sklon povrchu, který expanzi ovlivňuje negativně. Podobných výsledků dosáhli i jiní autoři.

**Klíčová slova:** borovice kleč, horní hranice lesa, Krkonoše, struktura vegetace

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the influence of the structure of the dwarf pine on its expansion in the highest parts of the Giant Mountains. The aim was to find out how this and other factors influence the expansion. For this purpose, in 68 squares, the kneeling vegetation was orchestrated on the basis of orthorectified aerial photographs from 1964 and 2015. Subsequently, a change in the growth of the dwarf pine, the length of the edges of the forest in 1964, the average slope and the altitude in each square were found. Using the correlation analysis, the effect of the variables on the change of the surface was determined. These variables were further used to build a multiple linear regression model.

The results showed that the dwarf pine growth increased in the period under review. The greatest influence on expansion is the length of the edges in 1964, ie the breakthrough, the impact of which is positive. A similarly strong influence is the slope of the surface, which affects the expansion negatively. Similar results have been achieved by other authors.

**Key words:** Dwarf pine, treeline, Giant Mountains, vegetation structure

## Obsah

1. Úvod.....	7
2. Stromy a keře na horní hranici lesa .....	8
2.1 Horní hranice lesa.....	8
2.2 Definice stromu a keře.....	8
2.3 Mikroklimatické rozdíly mezi stromy a keři .....	9
3. Struktura a šíření vegetace.....	10
3.1 Struktura vegetace v kontextu krajiny .....	10
3.2 Interní faktory šíření dřevin.....	15
4. Borovice kleč.....	19
5. Charakteristika zájmového území .....	21
6. Metodika.....	24
7. Výsledky.....	26
8. Diskuse .....	29
8.1 Vývoj porostu borovice kleče.....	29
8.2 Možné nejistoty měření .....	30
9. Závěr.....	32
10. Literatura .....	33

## 1. Úvod

Ve vyšších nadmořských výškách panují méně příznivé podmínky pro růst rostlin. Tyto oblasti jsou chladnější, což je hlavní determinant výskytu některých druhů (Turner, Gardner, O'Neill 2001). S nižší teplotou je spojeno i krátké trvání vegetačního období a omezený vzrůst rostlin (Crawford 2005). Nejlépe lze vliv těchto podmínek sledovat v oblasti v a nad ekotonem horní hranice lesa, kde teprve začínají převládat. V Česku se tato oblast vyskytuje převážně v Krkonoších a to ve výšce přibližně 1250 m n. m. (Sýkora a kol. 1983), kde je také přirozený výskyt borovice kleče, jejíž porost sahá až do výšky kolem 1553 m n. m. (Šourek 1970).

Na příjem tepla má vliv mnoho aspektů, mezi které patří již zmíněná nadmořská výška, ale také sklon a expozice svahu (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Avšak nejen teplota má přímý vliv na expanzi vegetace, ale také biotické faktory, jako je kompetice s jinými druhy (Hanski, Gilpin 1991) nebo pastva zvířat (Hiller, Mütterthies 2005). Rozšíření rostlin však ovlivňují také jejich vnitřní vlastnosti, mezi které patří mimo jiné schopnost generativní reprodukce a vlastnosti semen (jejich přežití) (Piusi 2005), a struktura, jako je vzrůst nebo zápoj porostu (Tremel, Chuman 2015).

Právě různým strukturám a jejich vlivu na expanzi vegetace (konkrétně na příkladu borovice kleče) se věnuje tato práce. Jejím cílem je zpracovat rešerši na toto téma a zjistit, jak struktura borovice kleče a další faktory ovlivňují její expanzi v Krkonoších pomocí srovnání snímků z roku 1964 a 2015. A dále zjistit, jak se v tomto období změnila pokryvnost jejích porostů.

## **2. Stromy a keře na horní hranici lesa**

### **2.1 Horní hranice lesa**

Horní hranice lesa je přechodová zóna (ekoton) mezi vzrostlou, zapojenou stromovou vegetací a alpickým bezlesím (Körner 2003). S rostoucí nadmořskou výškou ustupuje stromová vegetace, dochází ke snižování výšky stromů a uvolňování zápoje korun (Plesník 1971). Tento ekoton je ovlivňován mnoha faktory, avšak hranici lesa určují především klimatické poměry stanoviště a délka vegetačního období, které v případě stromů musí trvat minimálně 90 dní (Körner 2012a). Toto období je pro stromy důležité, aby se jim stihly vyvinout vytrvalé struktury, které budou odolávat nepříznivým podmínkám (Körner 2012a). V tomto mají znatelnou výhodu keře, kterým stačí přibližně jen 45 dní pro dokončení sezónního cyklu a některé dokonce vydrží i rok pod sněhovou pokrývkou (Körner 2012a). Průměrná teplota vegetačního období se pohybuje kolem 6,4 °C, ovšem v dlouhodobějším měřítku je přesnější uvádět teplotu mezi pěti a šesti stupni Celsia (Körner 2012a).

S nadmořskou výškou se zkracuje vegetační doba a ubývá teplota, která je limitujícím faktorem pro růst stromů (Plesník 1971). Díky ohřevu přízemní vrstvy vzduchu od aktivního povrchu jsou teploty vzduchu u země ve vegetačním období teplejší a tak se zde daří nižším rostlinám, jako jsou právě keře nebo zákrsky, semenáčky stromů (Körner 2003). Díky malému vzrůstu sdílí výhodu teplejšího klimatu (Körner 2012a). Růst stromů do výšky je omezen také fyziologickými a mechanickými účinky větru, které jsou účinnější ve větší výšce než blízko nad zemí (Kašpar, Hošek, Tremel 2017). Tyto podmínky mohou vést k růstovým deformacím stromů, které se nacházejí nad hranicí lesa. Takto deformované stromy pak spíše připomínají křovinatý habitat („kleč“) a u těchto jedinců převažují spíše znaky charakteristické pro keř (Plesník 1971). Rozvolňování zápoje na horní hranici lesa napomáhá stromům profitovat z toho, že otevřená prostranství jsou teplejší z důvodu intenzivnější insolace, ze které mohou profitovat kořeny (Körner 2012a).

### **2.2 Definice stromu a keře**

Strom je vysoká vytrvalá dlouhověká rostlina s jedním samonosným dřevnatým stonkem (kmenem) (Götmark, Götmark, Jensen 2016). Strom má dále více či méně jednoznačně vymezenou korunu (Gschwantner a kol. 2009). Díky své výšce má výhodu v boji o světlo nad jinými rostlinami a tak dominuje ve většině biotopů po celém světě, tvoří přibližně 90 % globální biomasy (Körner 2012b). Výška může stromu přinášet i další výhody, jako například ochranu před přízemními požáry. Je ovšem nutné, aby byla plně vyvinuta odolná borka



(Körner 2012b), kterou má například borovice lesní (Svoboda 1953). Výška ovšem může být i nevýhodou, pokud se stromy rozšiřují do vyšších nadmořských výšek, kde narazí na limitující podmínky dříve než nižší rostliny. Pomocí kritéria výšky se také snažíme stromy odlišit od ostatní vegetace. Různí autoři však udávají různé minimální výšky stromu. Dříve většina autorů udávala minimální výšku 8 metrů, ovšem jiní, například Schröter, Rübél nebo Jeník s Lokvencem, již udávají minimální výšku jen 5 metrů (Plesník 1971). V současnosti již autoři, jako Körner (2012a), udávají zpravidla výšku 3 metry. Ne každý jedinec stromového druhu je však stromem, protože jako takového můžeme počítat jen toho jedince, který v rámci svého života dosáhne velikosti a morfologických charakteristik stromu a ne všichni jedinci do tohoto stádia dorostou, zvláště v oblasti horní hranice lesa (Körner 2012b). V méně příznivých podmínkách nemusí stromy dorůst své plné výšky, ale zůstanou spíše jako semenáčky nebo se vyvinou v jiné, např. křovité morfologie (Körner 2003).

Keř je vytrvalá dřevina nižšího vzrůstu, dorůstá 0,5 až 5 metrů (Gschwantner a kol. 2009), má větší počet dřevnatých stonků (kmenů), které vyrůstají ze stejného základu (Götmark, Götmark, Jensen 2016). Protože keře rostou rychleji než stromy, dospívají dříve a dříve také dozrávají semena, kterých bývá velké množství. Keře se ovšem mohou rozšiřovat také vegetativně pomocí polehlých větví (například borovice kleč) (Úradníček a kol. 2009). Díky tomu a také díky kratšímu vegetačnímu cyklu, krátké životnosti olistění a vývojové flexibilitě jsou keře schopné rozšiřovat se i v klimaticky nepříznivých podmínkách (nižší teploty, vyšší rychlosti větru), které mohou panovat právě ve vyšších nadmořských výškách (Körner 2012a).

### **2.3 Mikroklimatické rozdíly mezi stromy a keři**

Díky své výšce mají stromy nespornou výhodu v kompetici o světlo (Körner 2012b), ovšem ve vyšších nadmořských výškách se velikost stromů zmenšuje. Právě kvůli klimatickým podmínkám, se vzrůst stromů snižuje, až stromy postupně mizí a místo nich se již vyskytují jen keře, které jsou následně vystřídány alpinskými trávničky (Kočí 2010). Nižší rostliny totiž profitují ze sluncem prohřáté přízemní vrstvy vzduchu za radiačních situací během vegetačního období (Körner 2010a). Nacházejí se v teplejším mikroklimatu, než vysoko položené koruny stromů, vystavené chladnějším podmínkám a vlivům povětrnostní situace (Kašpar, Hošek, Tremel 2017). Díky tomu stromy nad horní hranicí lesa nedorůstají své obvyklé výšky, popřípadě nemají rovný kmen, jako by tomu bylo v nižších polohách a pro ně příznivějších podmínkách. Pokud ovšem vzroste teplota, například díky globálnímu oteplování, očekává se, že stromy na tuto změnu budou reagovat vyšším vzrůstem a stoupne

tak celá horní hranice lesa. Tato změna je ovšem velmi pomalá a může trvat i několik desetiletí (Liang a kol. 2016). Vliv činnosti větru je pak patrný na takzvaných „vlajkových stromech“, u kterých je směr větru zřejmý podle orientací větví (Šourek 1970). Výška a habitus dřeviny tedy determinují to, zda může vyrůstat pod ochranou podmínky přizemní vrstvy atmosféry (Gschwantner a kol. 2009). Tím, že jsou stromy vystaveny nižším teplotám a vlivům povětrnostních podmínek, jsou také náchylnější a citlivější na extrémnější podmínky, než nižší rostliny, které mohou být v zimních měsících chráněny pod sněhovou pokrývkou (Körner 2012a).

### **3. Struktura a šíření vegetace**

#### **3.1 Struktura vegetace v kontextu krajiny**

Struktura vegetace je charakterizována několika faktory, mezi něž patří výška porostu, fyziognomie (tvar) jedince a také tzv. pattern neboli prostorové uspořádání vegetace. To je charakterizováno pomocí plošné pokrývnosti, která popisuje, na jak velké části povrchu daný druh roste. Poměr plochy a délky okraje porostu charakterizuje jeho členitost. Druhy mohou být v prostoru rozloženy pravidelně nebo vytvářet shluky (Turner, Gardner, O'Neill 2001).

Vliv struktury vegetace se velmi silně projevuje v méně příznivých podmínkách, které panují v chladnějších oblastech nebo v místech s vyšší nadmořskou výškou, především v okolí horní hranice lesa (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Zde jsou totiž rostliny citlivější na změny či výkyvy v teplotě a v podmínkách prostředí (Dullinger, Dirnböck, Grabherr 2004). Je tedy zřejmé, že jakákoli výhoda či nevýhoda poskytnutá strukturou může být pro daného jedince, případně druh, zásadní.

Krajinu strukturuje mnoho faktorů ať už biotických či abiotických, které ve výsledku utváří krajinnou mozaiku (Forman, Godron 1993). Nejrychleji se ráz krajiny mění zejména vlivem disturbančních procesů a sukcese. Všechny krajinnotvorné procesy pak vytváří rozličné prostorové struktury, které dohromady utvářejí mozaiku ploch a linií (Lipský 1998). Turner, Gardner a O'Neill (2001) již tuto mozaiku popisují spíše jako prostorovou distribuci dominantních vegetačních typů. Levin (1976 in Turner, Gardner, O'Neill 2001) potom rozlišuje 3 kritéria disturbancí, která utváří krajinnou strukturu. Jsou to lokální podmínky, stáří disturbancí a rozsah disturbancí. Lokální podmínky (geologie, hladina podzemní vody, reliéf) indukují odlišení druhů od svého okolí. Různé stáří disturbancí v krajině, kdy různé oblasti jsou v různých stádiích narušení a sukcese, způsobuje nápadný mozaikovitý vzor

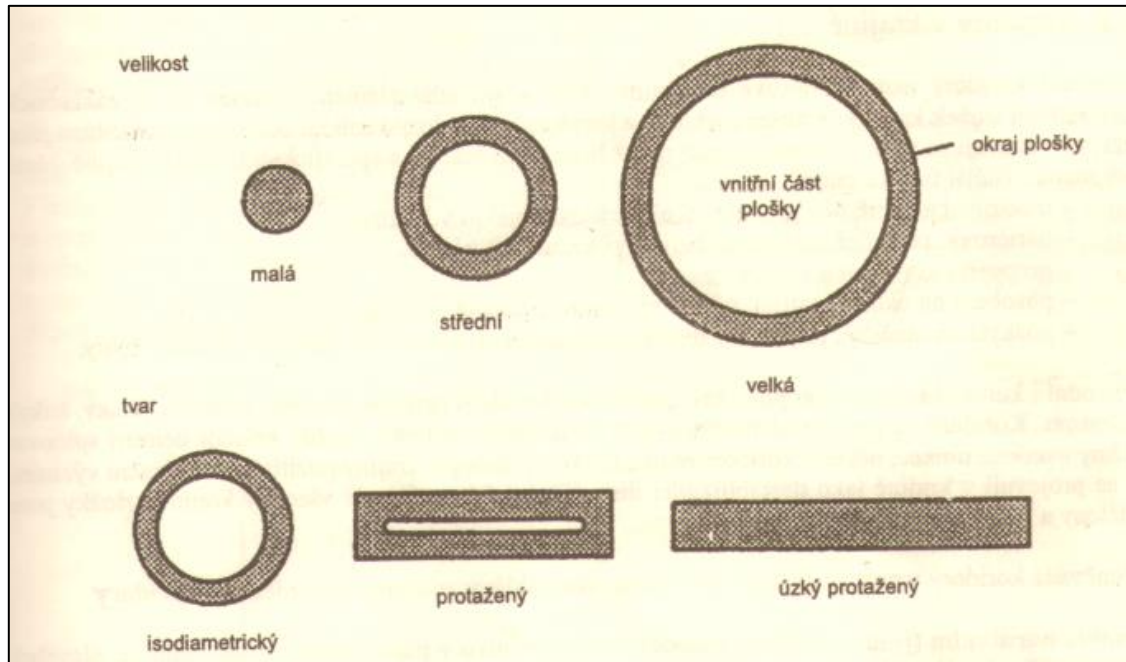
vegetace. Různý rozsah a stáří disturbancí zabraňuje rozšíření jediného dominantního druhu a uniformitě krajiny (Turner, Gardner, O'Neill 2001). K tomu přispívají rozsahem spíše malé disturbance, které krajinu diverzifikují. Pokud by ovšem byl jejich rozsah příliš velký, mohou disturbance krajinu naopak homogenizovat (Turner, Gardner, O'Neill 2001).

Starší přístup chápající strukturu krajiny z hlediska funkce jako soubor diskrétních plošek, koridorů a krajinné matrice (Forman, Godron 1981) definuje nejdůležitější strukturní element – plošky - jako enklávy různého tvaru i původu. Plošky pak dělíme podle vzniku na disturbanční, zbytkové, regenerující, zdrojové, introdukované a přechodné (Forman, Godron 1993). Disturbanční plošky vznikají, pokud je část území v krajinné matici narušena a toto narušení může být způsobeno rozličnými událostmi, jako požáry, sesuvy, lavinami, povodněmi popřípadě sešlapem velkými savci a mnoha dalšími jevy, mezi něž patří také lidská činnost. Tyto plošky se v krajině nacházejí jen přechodně a rychle mizí. Přechodová zóna (ekoton) je u těchto plošek ostrá (Forman, Godron 1993). Ostrý ekoton je vytvořen také kompeticí mezi druhy o prostor (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Zbytkové jsou pak pravým opakem disturbančních plošek, jelikož tyto vznikly přeměnou okolí a jsou pozůstatky původní krajinné matrice (Lipský 1998). Regenerující enklávy vznikají pomocí sukcese v narušené krajinné matici, a pokud nebudou ničím narušeny, po určité době splynou s okolní maticí. Zdrojové, jak již název napovídá, jsou vázány na určité trvalejší zdroje v krajině a tím odrážejí heterogenní rozdělení zdrojů v krajině, například prameniště nebo rašeliniště (Lipský 1998). Jejich ekoton je, na rozdíl od plošek vzniklých disturbancí, pozvolný (Forman, Godron 1993). Lidská činnost pak dala vzniknout introdukovaným neboli zavlečeným ploškám, kdy člověk zavleče na území nepůvodní druh, který někdy může mít zásadní a trvalý vliv na danou oblast. Tyto plošky jsou také na Zemi nejrozšířenější (Forman, Godron 1993). Posledním druhem jsou plošky přechodné nebo také efemerní či epizodické. Tyto vznikají díky krátkodobým změnám v prostředí, jako jsou zamokřené plochy na polích a loukách po tání sněhu nebo silném dešti (Lipský 1998).

Krajinná ploška není stabilní, nýbrž vyvíjející se dynamický prostor, ve kterém neustále spolupůsobí kompetice, emigrace, imigrace a extinkce druhů (Hanski, Gilpin 1991). Také je ovlivňována vnějšími vlivy, a proto je vnitřní prostor odlišný od okrajů plošky, které mají větší obsah živin, vyšší produktivitu, je zde více biomasy a také se zde nachází jiný počet jiných druhů, tomuto se také říká tzv. okrajový efekt (Forman, Godron 1993). Ovšem obsah živin v půdě může být na okraji vyšší i nižší. Vyšší z důvodu většího nahromadění rostlinných zbytků a vyšší produkce. Nižší kvůli odnosu biomasy větrem nebo rychlejšímu rozkladu

organických látek. Na toto rozložení má tedy vliv i tvar plošek respektive tvar jejich okraje, který podstatně ovlivňuje jeho druhovou bohatost (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Okraje mohou být rovné, konvexní nebo konkávní, přičemž Hardt a Forman (1989 in Turner, Gardner, O'Neill 2001) zjistili, že největší hustota kolonizujících stromů je právě v oblastech s konkávními (vypouklými) hranicemi. Podle Godrona s Formanem (1993) mohou být tvary plošek izodiametrické, protáhlé, úzké nebo prstencové popřípadě mohou tvořit poloostrovy. Vliv má pochopitelně také velikost, kdy u malých plošek nebývá vnitřní prostředí. Stejně jako u úzkých plošek. Protáhlé mají již vnitřní prostředí slabě vyvinuto. Největší vnitřní prostředí bývá u izodiametrických (kruhových nebo čtvercových) enkláv s dostatečnou velikostí (Forman, Godron 1993) (viz obr. 1). Prstencové mají spíše protáhlý charakter, dlouhá celková hranice a vysoký podíl okraje má za následek, že tyto tvary jsou náchylné k disturbancím. Mezi takové enklávy patří například břeh rybníka (Lipský 1998). Poloostrovy jsou jakýmsi výchozy plošek a mají význam hlavně při pohybu organismů, také se často prolínají a tak mohou mít funkci koridorů (Forman, Godron 1993).

Obr. 1: Plochy vnitřku a okraje ovlivněny velikostí a tvarem plošky (dle Formana 1981 Lipský 1998)



Koridory jsou izolované liniové nebo pásové tvary, které slouží k migraci organismů a přenášení látek a energie mezi jednotlivými enklávami, mohou však mít i bariérový účinek (Lipský 1998). Velikost těchto koridorů je různá a tak je můžeme nalézat od malých až po velká měřítka (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Jejich druhové složení je nápadně odlišné od

okolní matrice, ale je podobné ploškám, na které navazují (Forman, Godron 1993). Koridory bývají přechodnými pásmy mezi dvěma enklávami, a protože se zde mísí druhy z obou enkláv, jejich biodiverzita je vyšší, tomuto se také říká tzv. ekotonový efekt (Lipský 1998). Mohou se členit do různých typů, jsou jimi koridory liniové, které jsou úzké a nemají vnitřní prostředí. Poté koridory pásové, které jsou již širší s vnitřním prostředím, ovšem bývají méně časté. A koridory proudové, jejichž osou je vodní tok a bývají různě široké. Tyto koridory jsou také v krajině nejčastější a bývají složeny z více typů krajinných složek (Lipský 1998). Při pohledu shora pak můžeme pozorovat křivolakost koridorů, která má vliv na rychlost pohybu organismů (rovným koridorem je pohyb rychlejší, než křivolakým) (Forman, Godron 1993). V krajině se koridory spojují a vytvářejí komplexní soustavy neboli sítě (Lipský 1998). V praxi jsou však koridory rozptýlené a těžko rozpoznatelné, než tedy propojovat enklávy izolovanými koridory, bylo by lepší zmenšit rozdíl mezi nimi a krajinnou maticí, která je obklopuje (Turner, Gardner, O'Neill 2001).

Krajinná matrice je homogenní část povrchu, která spojuje původně nezávislé plošky, i tak se však rozpadá na několik fragmentů. Krajinnou maticí nazýváme ten typ, který v krajině převažuje (pokud některý z prvků zabírá více než 50 %, jedná se pravděpodobně o matici), popřípadě je nejspojitější (Forman, Godron 1993). Zpravidla má vliv na dynamiku plošek, které obklopuje. U krajinné matrice se také určuje její poréznost neboli hustota plošek v krajině. Pokud je poréznost malá, jsou od sebe plošky více vzdáleny, než kdyby tomu bylo naopak (Forman, Godron 1993).

Šíření organismů v krajině zásadně ovlivňuje její prostorová struktura. Pohyb se uskutečňuje krajinnou maticí nebo právě koridory a jejich sítěmi (Lipský 1998). Pohyb látek jako plynů, tepelné energie nebo částic tak může být nepřetržitý (kontinuální). Tento pohyb je rychlejší neboť probíhá v homogenním prostředí bez překážek a přesunované látky své okolí ovlivní minimálně. Pokud se ovšem vyskytnou nějaké hranice, pohyb se zpomalí (Forman, Godron 1993). Jestliže je překážek, které způsobí zastávky, více, již se jedná o přerušovaný (saltační) pohyb. Organismy tak své okolí při samotném pohybu neovlivňují, ale jakmile se někde zastaví, mohou vstupovat do významných interakcí (Forman, Godron 1993). Pokud se zvýší heterogenita krajiny, z kontinuálního pohybu se stane pohyb saltační. Vzroste také počet zastávek a tím vznikne více interakcí, přesun látek se může velmi zpomalit (Forman, Godron 1993). Oblast, ve které se druh zastaví jen na krátkou chvíli, nazýváme místem odpočinku. Pokud však se v oblasti druh uchytí a začne v ní prosperovat, nazýváme ji tzv. odrazovým můstkem (Forman, Godron 1993). Organismy se krajinou šíří třemi způsoby, difúzí neboli

rozptylem, transportem nebo lokomocí, tyto pohyby mohou zprostředkovávat různé činitele, jako je voda nebo vítr (Lipský 1998). Šíření samotné se dále může rozlišovat na krátkodobé (cyklické) změny, dlouhodobé změny areálů druhů a rychlé šíření invazních druhů, například zavlečených člověkem (Lipský 1998).

Na rozložení druhů má vliv více faktorů, jak variabilita abiotických podmínek (klima, půdy), tak i biotických (interakce, které dávají vznik prostorové mozaice i v homogenním prostředí). Největší vliv však mají klimatické podmínky (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Teplota ovlivňuje délku vegetačního období a tak s vyšší zeměpisnou šířkou klesá také druhová diverzita rostlin (Crawford 2005). Některé rostliny se ovšem nízkým teplotám dokázaly přizpůsobit a tak i za těchto podmínek mají efektivní metabolismus. Tím, že se zvýší metabolická efektivita, stávají se tak rostliny specializované a závislé na určitém prostředí (Crawford 2005). Také globální oteplování má nesporný vliv na vývoj vegetace, obzvláště v horských oblastech, kde může stoupnout horní hranice lesa (Walther 2005). Ovšem ne ve všech oblastech k tomuto dochází, to může být způsobeno nízkou dosažitelností a/nebo rozptylem semen, specifickými eolickými a edafickými podmínkami nebo vlivem disturbancí na semenáčky nad horní hranicí lesa (Walther, Beissner, Pott 2005). V horách se také zvyšuje fragmentace stanovišť a kompetice s druhy z nižších oblastí (Walther, Beissner, Pott 2005). Na šíření dřevin v oblasti horní hranice lesa má vliv rozptyl semen, jejich přežití, vyklíčení a uspořádání, mezidruhová konkurence, predace i využití půdy v minulosti (Piussi 2005), ale také výška dřevin, která zvyšuje šanci na zvýšení hranice lesa, protože tehdy se zvyšuje rozptyl semen a klesá vliv topografické variability (nadmožská výška, tepelné zatížení) (Tremel, Chuman 2015). Ta je důležitá v místech s řídkým porostem. Tam je více pravděpodobný postup hranice lesa na teplejších stanovištích, což jsou převážně svahy s jižní orientací, v nižší nadmožské výšce a s dostatečným rozptylem stromů (Tremel, Chuman 2015). Růst stromů však může započít v příznivějších klimatických podmínkách, kdy je více tepla i vláh. Tyto vzrostlé stromy jsou schopny odolávat změnám klimatu a jejich shluky mohou případně poskytnout úkryt pro další semenáčky (Mellmann-Brown 2005). V řadě případů v evropských pohořích hranice lesa začala stoupat převážně v místech, kde byla ukončena pastva a došlo k obnově vegetace i lesů (Hiller, Mütterthies 2005).

Růst keřů je silně spjat s teplotou vegetačního období (Myers-Smith 2011). Ovšem teplota v půdě a její Ph mají větší vliv než samotná teplota vzduchu. Pokud se zvýší teplota v půdě, zrychlí se tím totiž cykly dusíku, uhlíku a dekompoziční procesy. Tím se stimuluje mikrobiologická aktivita a také růst keřů (Naito, Cairns 2011). V zimě je tento proces

podpořen sněhovou pokrývkou, která půdu izoluje (Naito, Cairns 2011). Její akumulaci podporuje lesní porost (čím je porost vyšší a hustší, tím je zadržení sněhu efektivnější), zároveň také prodlužuje její trvání a tak odtává až v pozdním jaru, kdy je vláha nejvíce potřeba. Dostupnost vody je totiž pro růst lesů klíčová (Cermak, Opgenoorth, Mieke 2005).

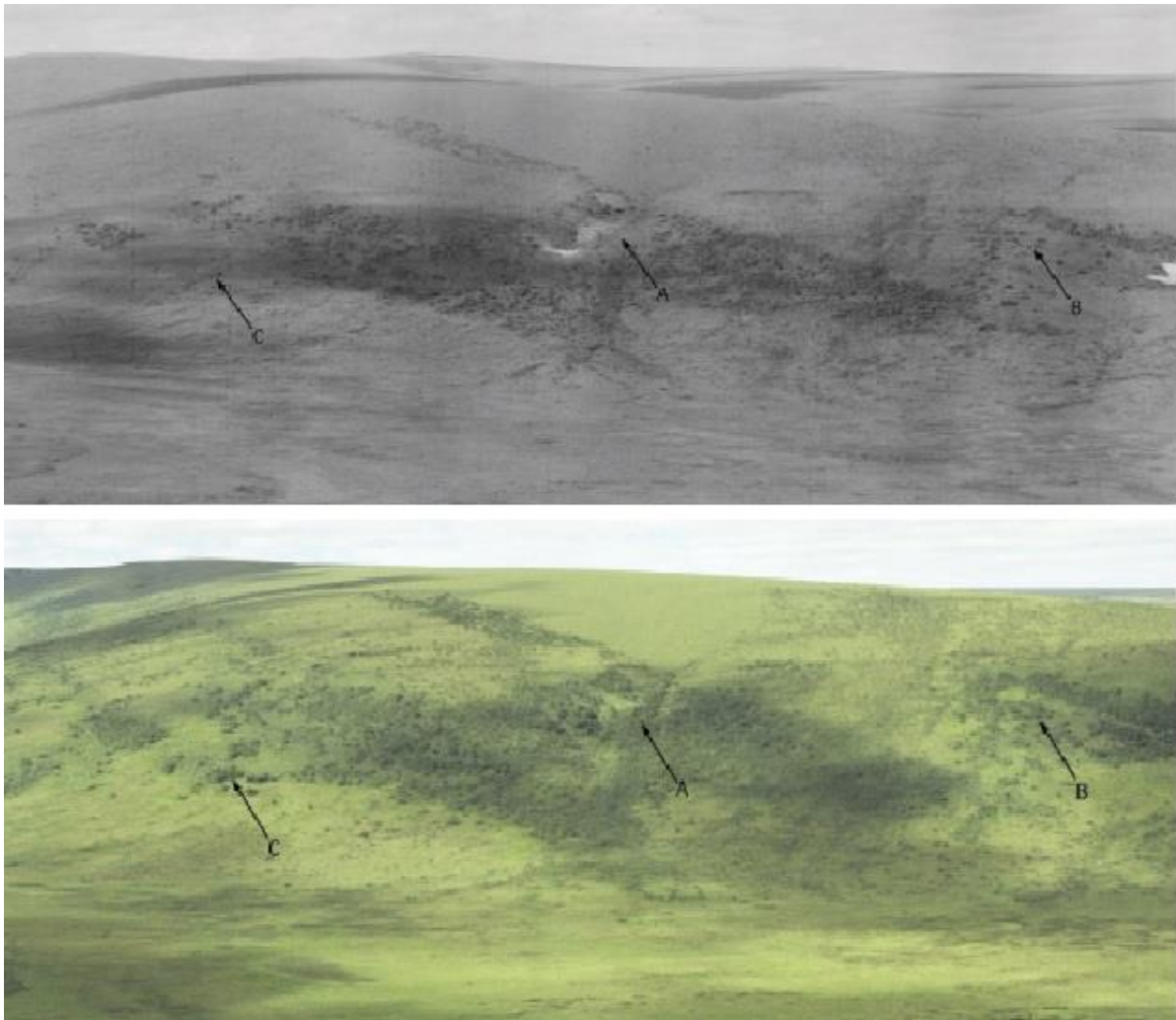
Také morfologie terénu má vliv na strukturu vegetace. Sklon a expozice ovlivňují míru zahřívání povrchu slunečním zářením a tak i prohřívání půdy. Tyto faktory však ovlivňují také gravitační procesy a proudění vzduchu (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Na svazích s velkým sklonem dochází častěji ke svahovým procesům, jako jsou laviny nebo sesuvy půdy (Körner 2003). Změnou aerodynamiky je ovlivněno proudění vzduchu. Tím je také ovlivněna ztráta tepla konvektivním prouděním, může se zvyšovat evaporace (výpar), kterým se snižuje teplota povrchu. S poklesem teploty se také snižuje nasycenost vzduchu vodními párami (Körner 2003). Vítr má však vliv také na rozložení srážek, lze tedy předpokládat, že vlivem morfologie terénu vznikají srážkové stíny a naopak také oblasti s vyššími úhrny srážek (Körner 2003).

Velký vliv na současnou krajinu má ovšem také člověk. Porosty byly v minulosti omezovány hlavně pastvou, ale také mýcením a sběrem na palivové dřevo (Jorgensen, Meilby, Kollmann 2013). Také různé využití půdy v minulosti může vést k odlišnému vývoji rostlin v současnosti (Jorgensen, Meilby, Kollmann 2013). Popřípadě výsadba nových nepůvodních druhů. V dnešní době má velký vliv také rozšiřování měst a hlavně nárůst turismu (Daniëls, Molenaar 2011).

### **3.2 Interní faktory šíření dřevin**

Jednotlivé druhy se liší ve způsobu rozšiřování, to má pak vliv také na rychlost jejich expanze. Také produkce semen bývá odlišná, čím více životaschopných semen rostlina vyprodukuje s velkým rozptylem těchto semen, tím rychleji bude tento druh expandovat. K rozšíření semen může přispět gravitace nebo vítr, ale také ptáci a jiní živočichové (Pollmann, Hildebrand 2005). Pro rozptyl semen je také rozhodující výška porostu (Tremel, Chuman 2015). Tape, Sturm a Racine (2006) rozlišují tři typy expanze keřů. Keře zaplní celé stanoviště (obr. 2, B), nebo vzroste velikost keře (obr. 2, C). Případně mohou keře expandovat do jiných oblastí a ty následně kolonizovat (obr. 2, A).

Obr. 2: 3 typy expanze keřů, horní snímek z roku 1948, dolní z roku 2002 (Tape, Sturm, Racine 2006, upraveno)



Rostliny se nešíří aktivně, ale pasivně pomocí diaspor, kterými jsou semena, plody nebo spory (Forman, Godron 1993). Rozlišujeme více druhů diaspor právě podle různých mechanismů disperse. Nejčastějším typem (50 – 70 % druhů) jsou anemochorie neboli diasporu šířené větrem (Lipský 1998). Toto šíření je nahodilé, nepřímě závislé na struktuře krajiny, ta ovlivňuje samotné vanutí větru. Rostliny postrádají nápadné barevné a aromatické květy. Semena jsou často velmi lehká a bývají opatřena blanitým křídlem pro snadnější unášení větrem (Svoboda 1953). Druhým nejběžnějším typem (10 – 20 % druhů) jsou zoochorie (Lipský 1998). Jedná se o diasporu přenášené za pomoci zvířat. Zoochorie se dále rozdělují na endo- a ektozoochorie. Endozoochorie jsou přenášeny trávicím traktem živočichů, tyto diasporu tedy musí mít odolnou nestravitelnou schránku. Ektozoochorie se pomocí háčků nebo lepkavého povrchu přichytávají na srst a těla živočichů (Begon, Harper, Townsend 1997). Dalším častým typem jsou antropochorie (10 – 20 % druhů), které jsou přenášeny člověkem.



Sice k tomuto nejsou modifikované, ale prosperují z lidské činnosti (Lipský 1998). Diaspory se mohou šířit také vodou (hydrochorie) nebo prostým působením gravitace (barochorie). Popřípadě se mohou pohybovat i sami například vystřelováním (autochorie). Polychorie jsou diaspory, které mohou být rozšiřovány více způsoby (Lipský 1998).

Právě díky těmto různým způsobům mohou být rostliny rozšiřovány nejen na krátké, ale i na velmi dlouhé vzdálenosti, když se přichytí na peří stěhovavých ptáků nebo se jako semena kokosového ořechu rozšíří pomocí oceánu (Lipský 1998). Z toho všeho vyplývá, že rostliny se rozšiřují pomocí reprodukce a ne jako samostatní jedinci, jako je tomu u živočichů (Forman, Godron 1993). Rostliny také uchovávají semena zakonzervovaná v půdě v tzv. semenných bankách, kde vydrží i několik desítek let. Díky tomu jedinci nepotřebují vyrůst, aby druh přežil pro něj nevhodné podmínky (Crawford 2005). Körner (2003) rozlišuje tři různé strategie pro šíření rostlin. Vydržet nevhodné podmínky mohou díky investici do generativního rozmnožování tím, že produkují velké množství semen, která rozptýlí na velkou vzdálenost. Jiné druhy investují spíše do vegetativního rozmnožování pomocí polehlých větví a podobně. Některé druhy zůstávají na svém stanovišti, jak nejdéle mohou. Pochopitelně dochází také ke kombinacím těchto strategií, jako je tomu právě u borovice kleče, která se šíří jak generativně, tak vegetativně.

Pokud selže generativní rozmnožování, nemusí to být pro některé rostliny fatální (Crawford 2005). Keře a nižší druhy se totiž mohou rozmnožovat i klonálně, jako je tomu například u borovice kleče, která se zmlazuje pomocí zakořenění polehlých větví (Úradníček a kol. 2009). Ve vyšších polohách klonální rozmnožování převažuje nad generativním. Borovice kleč totiž produkuje relativně malé množství semen, v jednom kilogramu je jich přibližně 120 – 180 000 (pro srovnání borovice lesní produkuje v jednom kilogramu 158 – 270 000 semen) (Svoboda 1953). Je tedy zřejmé, že semena borovice kleče jsou také těžší. Protože kleč je anemochorní rostlina (semena jsou 5 mm dlouhá a jsou opatřena blanitým křídlem, stejně jako borovice lesní (viz obr. 3)), i váha má vliv na rozptyl jejích semen (Svoboda 1953).

Obr. 3: Semeno borovice lesní (Wikimedia commons 2017)



Generativní rozmnožování v oblasti horní hranice lesa a v arktických oblastech ustupuje. V chladnějších podmínkách je velmi krátké období růstu, které je narušováno regelačním cyklem (Pollman, Hildebrand 2005). Produkce semen je odlišná v různých místech i letech avšak obecně lze říci, že je velmi limitovaná. Také podíl životaschopných semen je nízký, ale i tak se vyskytují v každém roce (Pollman, Hildebrand 2005). V chladných oblastech klesá kvalita semen, kdy se vyskytují semena s nedovyvinutými embryi nebo naopak jsou polyembryonická, kdy se v jednom semenu nachází více embryí, to zpomaluje proces klíčení a vzhledem ke krátké vegetační době se tato semena nakonec nemusí uchytit (Hrabí 1993). Pro generativní rozmnožování je velmi důležitý rozptyl semen (Piussi 2005), avšak ne všechna semena se dokáží uchytit, na jejich přežití má vliv mimo jiné půdní vlhkost, interakce mezi teplotou a srážkami, ale také změny podmínek stanoviště způsobené disturbancemi, popřípadě jsou konzumovány zvířaty (Pollman, Hildebrand 2005). Semena se však mohou uchytit v zákrytu jiných rostlin, mezi kameny nebo v malých depresích (Mellmann-Brown 2005). Tím mohou semenáčky profitovat z příznivějších podmínek a vyrůst v samostatné jedince (Plesník 1971). Aby vůbec rostliny vydržely na horní hranici lesa, je pro ně také důležitá generativní regenerace (Pollmann, Hildebrand 2005).

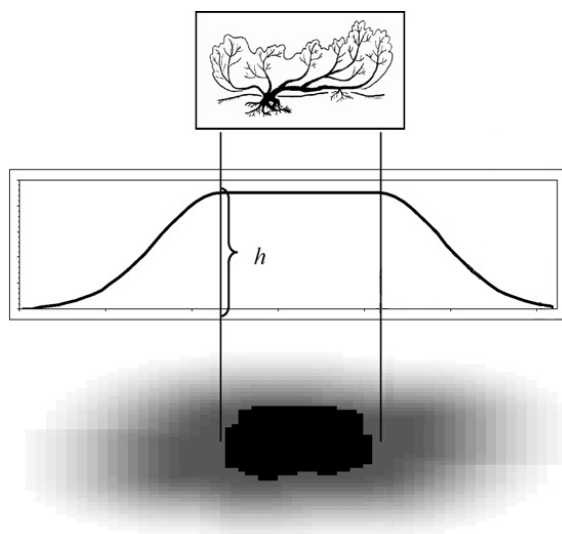
V chladných oblastech a v okolí horní hranice lesa se důležitějším stává rozmnožování vegetativní (Pollmann, Hildebrand 2005). Toto může probíhat dvěma způsoby, buď zmlazováním pomocí polehlých větví, nebo rostou nové kmeny přímo ze starých kořenů. K vegetativnímu rozmnožování občas dochází při poškození jedince (Pollmann, Hildebrand 2005). To může být způsobeno okusem zvířaty, mimo jiné také pastvou, v severských oblastech to jsou například populace karibu (sobů polárních). Mohou tak mimo jiné, ovlivnit i tvar rostlin (Myers-Smith 2011). Protože jsou populace herbivorů velmi variabilní, pravděpodobně tak neexistuje ani stabilní rovnováha vegetace (Jorgensen, Meilby, Kollmann 2013). K poškození však může docházet také jinými disturbancemi, jako jsou požáry nebo

polomy způsobené silným větrem popřípadě bouřkami (Turner, Gardner, O'Neill 2001). Oheň, ale také tání permafrostu mohou přispět ke zlepšení expanze keřů (Myers-Smith 2011). Právě rostliny, které se rozšiřují vegetativně, mohou rychleji reagovat na disturbance a svůj porost tak rychleji obnovit (Turner, Gardner, O'Neill 2001).

#### 4. Borovice kleč

Tento poléhavý keř dorůstá výšky mezi jedním a čtyřmi metry (Úradníček a kol. 2009). Často ovšem celkový vzrůst limituje výška sněhové pokrývky. Kořeny borovice kleče vytváří rozsáhlou povrchovou soustavu. Větve borovice kleče jsou na bázi přitisklé k zemi, na konci rostliny jsou stoupavé, dřevo je husté, tvrdé a těžké (Svoboda 1953). Jehlice jsou tuhé, ostré, rostou po dvou a vytrvají několik let. U borovice kleče se samčí a samičí květy vyskytují na jedné rostlině, ovšem můžeme nalézt také jen jednopohlavné keře (Úradníček a kol. 2009). Semena vypadávají třetím rokem od oplození, jsou až 5 milimetrů dlouhá a, protože je borovice kleč větrosnubná, jsou opatřeny blanitým křídlem. Dospívá po dvaceti letech, avšak dožívá se několika set let, hlavně díky zakořeňování polehlých větví (ramet), čímž se kleč zmlazuje a tak může být jeden keř poměrně rozsáhlý (viz obr. 4), staré větve následně odumírají (Úradníček a kol. 2009). U kleče převažuje právě vegetativní rozmnožování nad generativním, možná také proto, že semena vyklíčí jen na holé, skeletovité půdě bez bylinné pokrývky (Sýkora a kol. 1983).

Obr. 4: Polehlé větve kleče (Wild, Kyncl 2004, upraveno)



Borovice kleč je světlomilná rostlina, avšak snáší i lehký stín a tak je možné ji nalézt i pod řídkými porosty smrků nebo modřínů (Svoboda 1953). Je velmi přizpůsobivá rozmanitosti

stanovištních poměrů. Nachází se zejména v okolí horní hranice lesa (Businský, Velebil 2011). Tam, kde je vyloučená konkurence, místa kde jsou suťové nebo šterkové haldy, strže, laviniska, mokré půdy rašelinišť nebo vysoko v horách, vytváří tato dřevina rozsáhlé porosty. Vysoko v horách přežívá mimo jiné i proto, že je velmi odolná vůči nízkým teplotám (Svoboda 1953). Svoboda (1953) ji dokonce označuje za „nejskromnější a nejotužilejší jehličnan.“ Na území Česka se přirozeně vyskytuje v Krkonoších, jedná se o nejsevernější výskyt této kosodřeviny (Štursa, Wild 2014). Ojedinele se nachází také v Krušných a Jizerských horách (Jizerská louka) a na Šumavě, kde se vyskytuje na mocných vrstvách rašeliny na vrchovištích (Businský, Velebil 2011; Úradníček a kol. 2009). Výskyt je také silně ovlivněn antropickou činností. Pro snížení eroze půdy byla borovice kleč vysazena také na Hrubém Jeseníku a v Orlických a Jizerských horách (Úradníček a kol. 2009). V Krkonoších je sice její výskyt přirozený, ovšem i zde došlo v některých lokalitách k výsadbě nepůvodních populací (Štursa, Wild 2014). Protože je borovice kleč odolná vůči imisím, uvažovalo se o ní jako o podpoře při zalesňování (Lokvenc a kol. 1994), a proto dnes původní porosty činí okolo 72 % z celkové rozlohy porostů (Souček a kol. 2001), které v české části Krkonoš činí 2055 hektarů (Lokvenc 2001). Mezi lety 1879 a 1913 byly při zalesňování využity sazenice borovice kleče, vypěstované ze semen převážně z alpské oblasti. Až při zalesňování od roku 1952 do roku 1992 byly využity sazenice vypěstované ze semen z autochtonního porostu borovice kleče v Krkonoších (Lokvenc a kol. 1994).

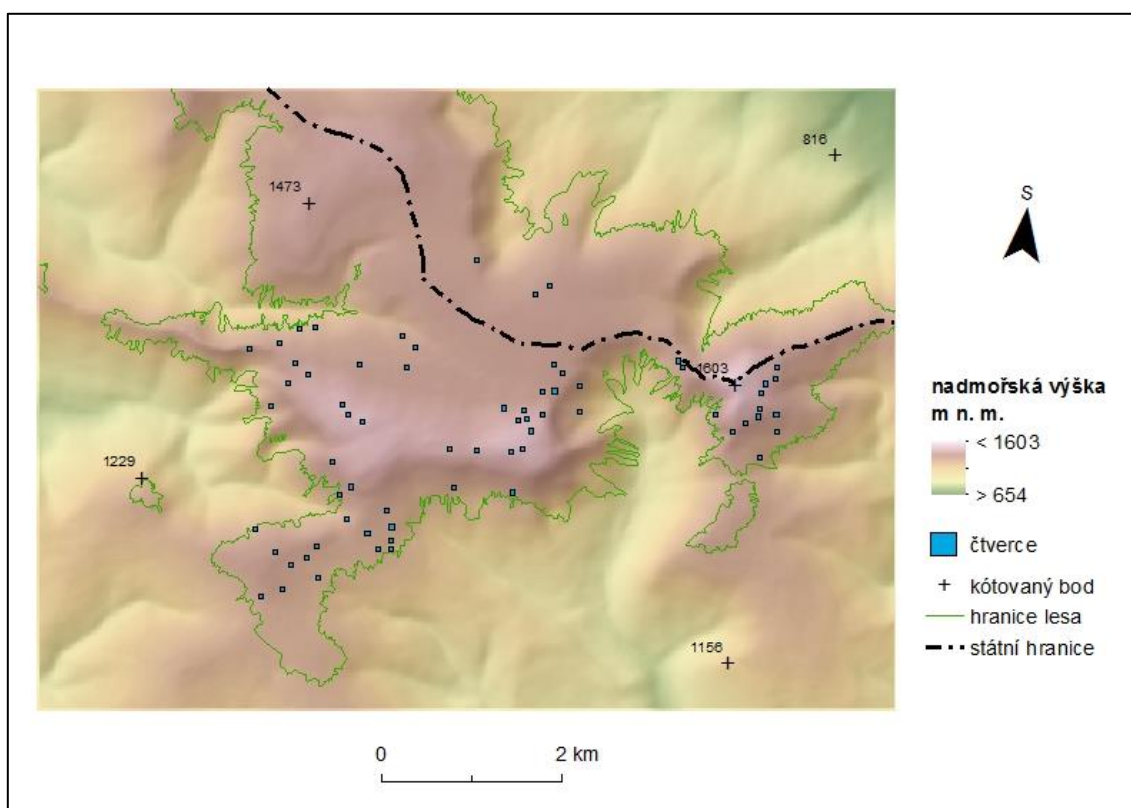
Borovice kleč je ovlivněna, jako všechny rostliny, klimatickými podmínkami, převážně teplotou a tak s každými sto výškovými metry se snižuje její výškový (asi o 1, 1 cm) i boční (asi o 2, 3 cm) přírůst (Souček a kol. 2001). Ačkoliv je kleč vůči imisím odolná, i tak na ni mají neblahý dopad a tak se zhoršuje její zdravotní stav i olistění, kdy v jehličí byl nalezen vyšší obsah síry. Také na vývoj embryí mají imise spolu s účinky radiačního spektra negativní dopad, kdy se mezi jedinci nachází velké množství nedostatečně vyvinutých embryí (Hrabí 1993). Plodivost tedy všeobecně klesá, s nadmořskou výškou se snižuje hmotnost semen a také se zvedl poměr semen prázdných. Také hmyzí škůdci negativně ovlivňují vývoj kleče (gradace bejlmorky borové). Zdravotní stav je ovšem zatím uspokojivý a narušení je jen lokální (Souček a kol. 2001). Porosty kleče však mohou být ovlivněny i antropogenně, konkrétně eutrofizací nebo synantropizací (Pašťálková 2000). Dynamika uvnitř porostů je spíše závislá na intenzitě imisně ekologického zatížení než na zvyšujícím se zápoji porostů (Pašťálková 2000). Expanze porostů kleče je vyšší na otevřených prostranstvích v nižších nadmořských výškách, kde jsou menší extrémní mikroklimatu. Vliv má také generativní

rozmnožování (Tremel a kol. 2010). Limitujícím faktorem, který působí na redukci klečových porostů, nejsou ani tak disturbance, jako vnitrodruhová kompetice (Wild, Kyncl 2004). Za příznivých podmínek se kleč rozrůstá relativně rychle, převážně mladé porosty se za rok zvětšují o 9 – 14 % (Pašťálková 2000). I tak však kleč nezaroste celé stanoviště, vždy v oblasti zůstanou i travnaté plochy (Wild, Kyncl 2004). Mladé porosty zároveň slouží jako zákryt pro jiné rostliny, které využívají volnějšího zápoje, takže mají dostatek světla a zároveň jsou chráněny před povětrnostními situacemi. Tomuto se také říká ekologické krytí, popřípadě ekotonální efekt (Málková a kol. 2001). Tento efekt je široký přibližně 100 cm (většinou odpovídá výšce kleče), v této zóně je nejvyšší druhová bohatost (Pašťálková 2000). Obecně však platí, že bylinné patro je v podrostu borovice kleče velmi chudé jak z hlediska druhové bohatosti, tak z hlediska druhové diverzity (Matějka, Málková 2010). Ohroženy jsou převážně heliofytní druhy v oblastech starších porostů, kde je silnější zápoj a tudíž menší mezery (Tremel a kol. 2010).

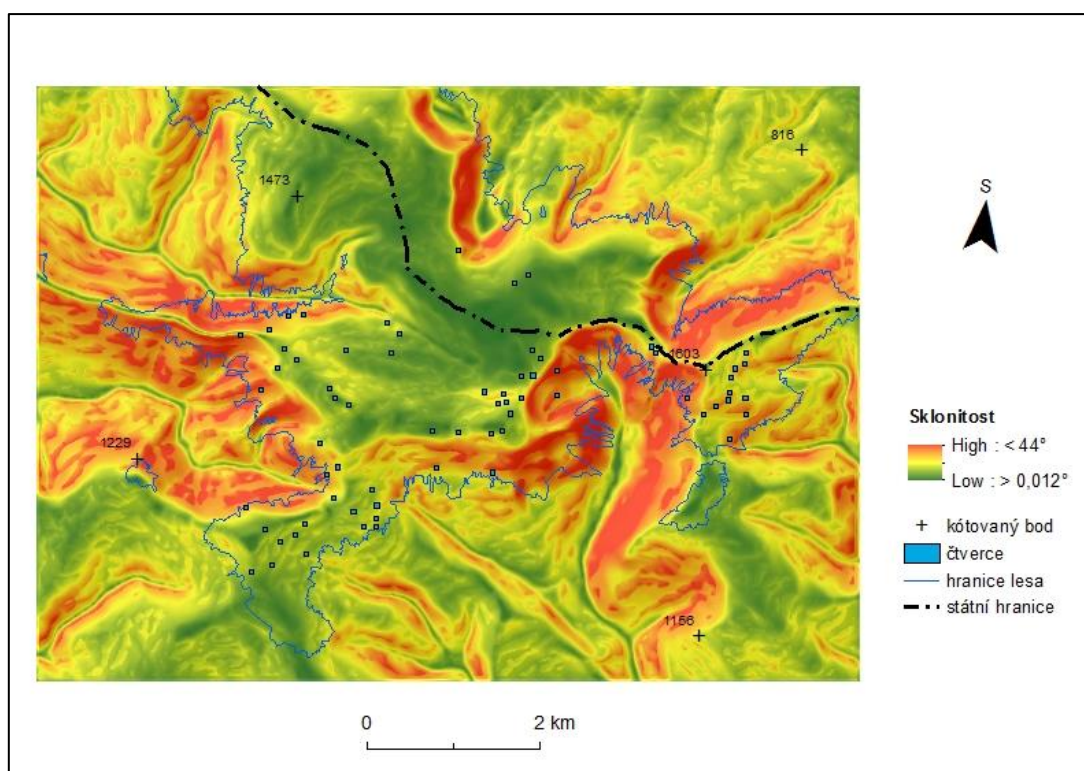
## **5. Charakteristika zájmového území**

Pohoří Krkonoš se nachází v severovýchodní části České republiky. Jedná se o nejvyšší pohoří Česka s jeho nejvyšším vrcholem, Sněžkou (1602 m n. m.) a zároveň tvoří hranici s Polskem. Krkonoše jsou součástí Českého masivu a spadají do Krkonoško-jesenické soustavy v rámci České vysočiny (Demek, Macovčín 2006). Toto pohoří bylo vyvrásněno v prvohorách Hercynským vrásněním. Bylo ovšem ovlivněno také Alpinskou orogenezí, při které byly Krkonoše rozlámány a vyzdvíženy (Migoń, Pilous 2007). Hlavními horninami budujícími Krkonoše jsou zejména žuly, svory a ruly, ale nachází se zde také křemence, krystalické vápence a fylity (Chaloupský a kol. 1989). Během čtvrtohor se k severnímu předpolí Krkonoš dostává pevninský ledovec a v samotných Krkonoších se vytváří horské zalednění (Engel 2004). Litologie, tektonické poruchy a erozní procesy (zejména glaciální, fluviální, kachna, gravitační) daly vzniknout současnému reliéfu - nacházejí se zde hluboce zaříznutá údolí v západovýchodním směru, ale také ledovcové kary. Vrcholové oblasti jsou tvořeny zarovnanými povrchy s četnými kryoplanáčnými terasami (Bína, Demek 2012) (obr. 5, 6). V oblastech s větším převýšením se intenzivněji uplatňují svahové procesy, jako jsou laviny.

Obr. 5: Rozložení nadmořských výšek ve studovaném území.



Obr. 6: Sklonitost zájmového území.



Nejčastějším půdním typem v Krkonoších jsou podzoly a kryptopodzoly (Podrázský a kol. 2007). Ve vrcholových partiích se pak místy vyskytují také regozemě. Již méně zastoupenými půdními typy jsou litozemě, organozemě, rankery, fluvizemě nebo gleje. V nižších polohách se pak nachází kambizem (Podrázský a kol. 2007). Protože podloží se skládá převážně z žul, jsou půdy kyselé, písčitohlinité až hlinitopísčité s malým množstvím živin (Sýkora a kol. 1983). Ovšem nejméně příznivé, z hlediska množství živin (Sýkora a kol. 1983), jsou půdní poměry v klečových porostech (Podrázský a kol. 2007). Ačkoliv půdy Krkonoš nebyly člověkem využívány tak intenzivně jako v nižších polohách, i tak došlo k jejich narušení ve formě eroze půdy nebo acidifikace, kvůli jejich vysoké citlivosti na změny podmínek i činitelů pedogeneze. Ale také kvůli nešetrné těžbě dřeva (Podrázský a kol. 2007).

Krkonoše jsou také významnou pramennou oblastí, ve které pramení řeky jako Labe, Bílé Labe, Malé Labe, Úpa, Mumlava, Jizera, Kamienna, Łomnica a další malé říčky a potoky (Hančarová, Parzóch 2007). Směr toků je dán geomorfologickou stavbou pohoří, takže hlavní toky proudí převážně v hluboce zaříznutých údolích se zápodovýchodní orientací, přičemž jejich koryta jsou krátká s vysokým spádem. Povodí těchto toků mají strmé svahy a i matečné horniny mají nízkou retenční schopnost. To vše má za následek, že přibližně 75 % srážek z Krkonoš odteče (Hančarová, Parzóch 2007).

Vrcholové části Krkonoš spadají podle Quitta (1971) do chladné klimatické jednotky (Ch), konkrétně do třídy Ch 4, která je charakteristická krátkým, chladným a vlhkým létem, dlouhým a chladným přechodným obdobím a dlouhou, velmi chladnou zimou a dlouhým trváním sněhové pokrývky. Rozložení teplot je závislé na nadmořské výšce. Průměrná roční teplota se ve vrcholových partiích (Sněžka, Luční a Studniční hora) pohybuje kolem 0,1 °C. Častý je také výskyt mrazových a ledových dnů, méně časté už jsou arktické dny, zatímco letní a tropické dny se na hřebenech Krkonoš téměř nevyskytují (Metelka, Mrkvica, Halášová 2007). Maximální úhrny srážek dosahují 1500 mm za rok, přičemž největší úhrny jsou v červenci a prosinci, zatímco nejmenší v dubnu a září nebo říjnu. Na hřebenech také mohou v kterékoliv roční době spadnout srážky v podobě sněhu (Metelka, Mrkvica, Halášová 2007).

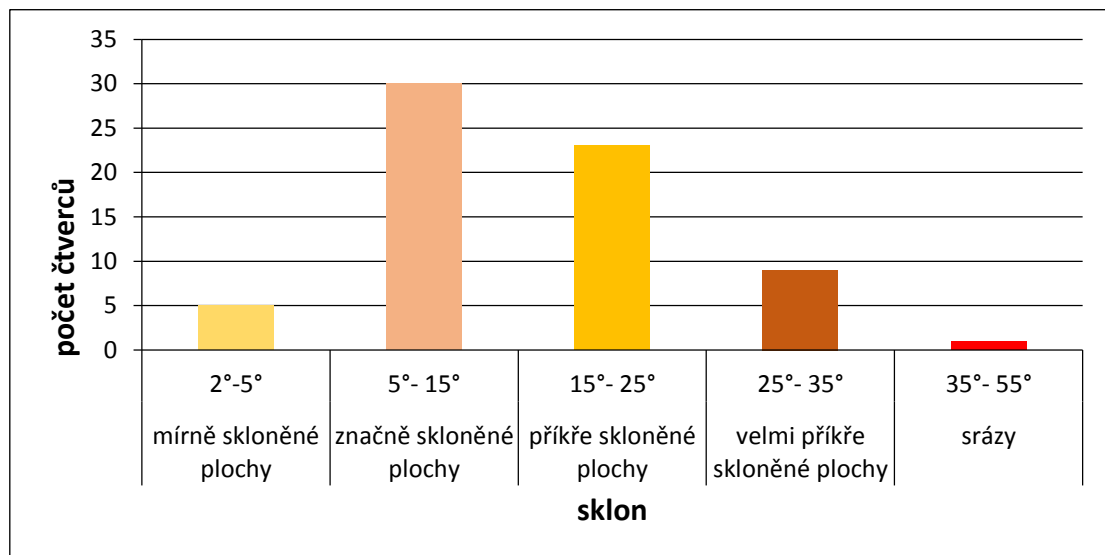
Z hlediska vegetační stupňovitosti je v Krkonoších nejrozsáhlejší stupeň bučin (do 1000 m n. m.), dnes převážně v aktuální vegetaci pokrytý smrkovými výsadbami (Sýkora a kol. 1983). Stupeň smrčín sahá zhruba od 1000 do 1250 m n. m. (Šourek 1970).

## 6. Metodika

Pro tuto práci byla vybrána oblast ve vrcholové oblasti východních Krkonoš nad horní hranicí lesa (viz obr. 4). Na území o rozloze 23, 18 km<sup>2</sup> bylo rozmístěno 68 čtverců o hraně 50 metrů. Čtverce byly rozmístěny stratifikovaným náhodným výběrem, tak aby byly podchyceny gradienty následujících charakteristik prostředí: nadmořská výška, severní a jižní expozice, zápoj porostů kleče, sklon (vyloučeny byly ale svahy se sklonem vyšším než 30°). Pro každý čtverec byly zjištěny následující proměnné: průměrná nadmořská výška (pomocí funkce zonal statistics as table), průměrný sklon (15, 7°).

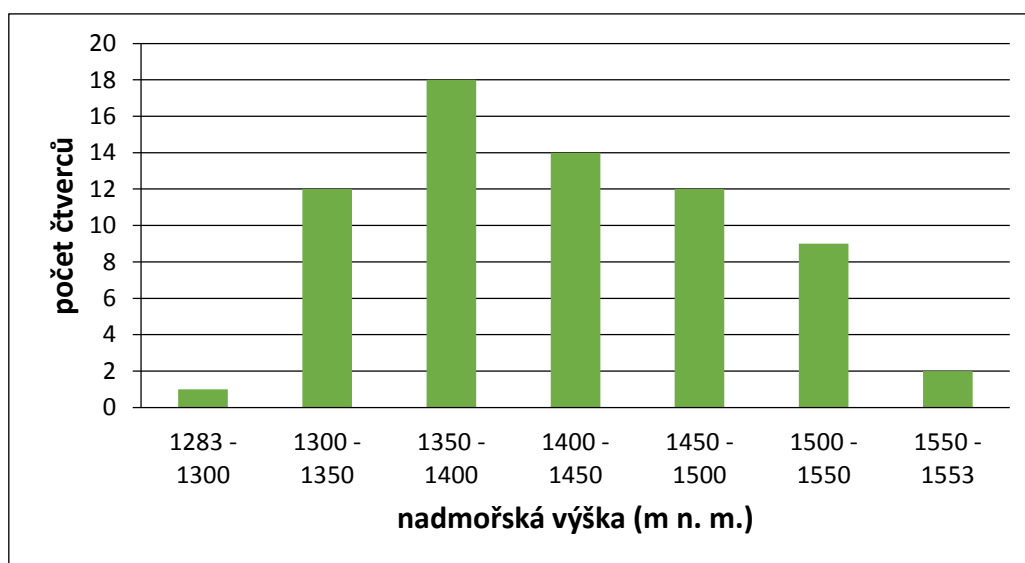
Nejvíce čtverců má průměrný sklon 5 – 15°, což jsou značně skloněné plochy (viz obr. 7). Kleč se nachází nad horní hranicí lesa, která je v Krkonoších přibližně ve výšce 1250 m n. m. a sahá až do výšky 1553 m n. m. (Šourek 1970). A tak i zájmové lokality jsou v tomto rozmezí, ovšem největší počet čtverců se nachází ve výšce 1350 – 1400 m n. m. (viz obr. 8). Byla snaha vybrat čtverce, tak, aby zastupovaly všechny orientace poměrně rovnoměrně, minimální zastoupení má však orientace západní, maximální již severní, která už je blíže zbylým orientacím na východ a jih (viz obr. 9).

Obr. 7: Sklonitostní rozložení čtverců.

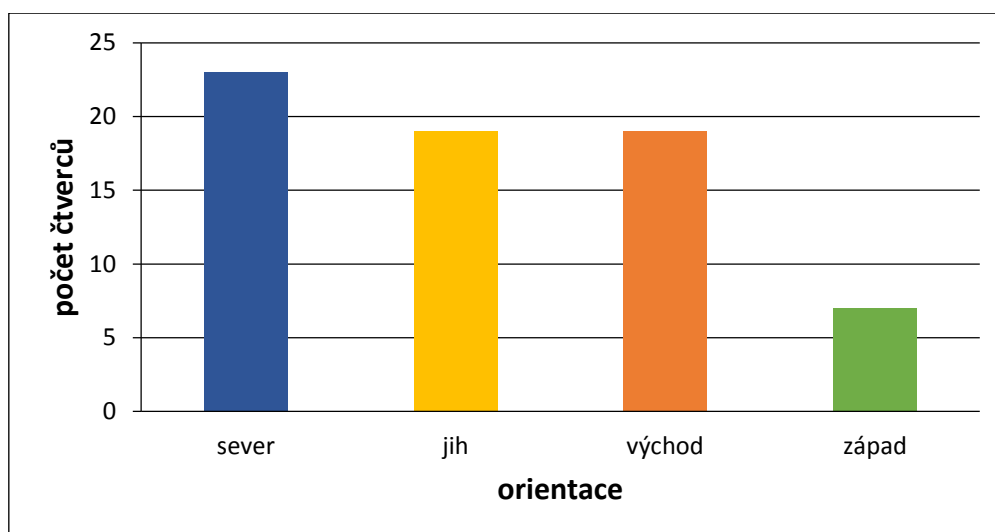




Obr. 8: Výškové rozložení čtverců.

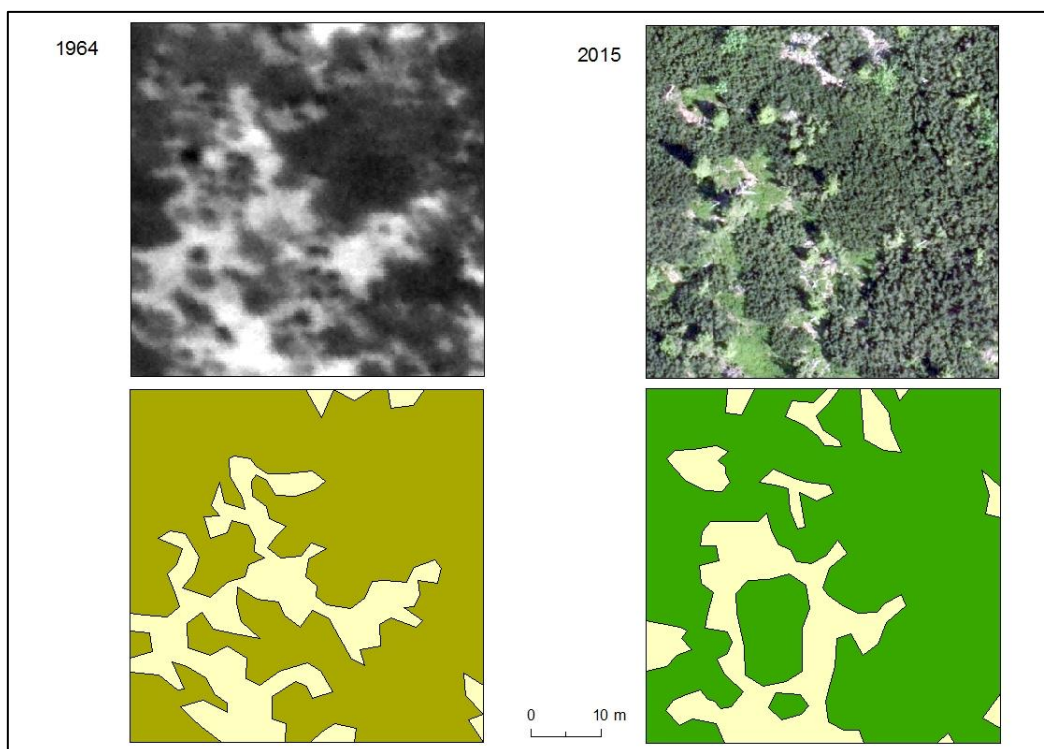


Obr. 9: Orientace čtverců.



Na základě ortofoto snímků z let 1964 (pixel o hraně 22, 7 cm) a 2015 (pixel o hraně 12, 5 cm) byly zvektorizovány pomocí programu ArcMap v měřítku 1 : 500 porosty kleče (viz obr. 10).

Obr. 10: Ortofoto snímky borovice kleče v roce 1964 a 2015 a jejich vektorizace



V každém období byla zjištěna plocha porostů kleče a délka obvodu porostů. Do délky obvodu však nebyla započítána hrana čtverce, neboť ta je uměle vytvořenou hranicí. V programu R byla pomocí Shapiro-Wilkova testu ověřena normalita dat jednotlivých proměnných. Hodnota změny rozlohy byla následně korelována s obvodem plošek v roce 1964, průměrným sklonem a nadmořskou výškou ve čtverci.

Následně byl mnohonásobnou lineární regresí spočten vztah mezi sledovanými faktory, kdy vysvětlovanou proměnou byla změna plochy a vysvětlujícími proměnnými pak délka okrajů v roce 1964, sklon a nadmořská výška ve čtverci.

## 7. Výsledky

Pokryvnost poklesla jen mírně v deseti čtvercích, ve zbylých padesáti osmi vzrostla a tak i celkový pokryv borovice kleče vzrostl o 23 480 m<sup>2</sup>. Za 51 let je tedy celkový přírůst 28,9 %, což je přibližně 0,57 % za rok. Naopak délka okrajů od roku 1964 poklesla o 3 874 metrů. To značí, že členitost porostů se zmenšila.

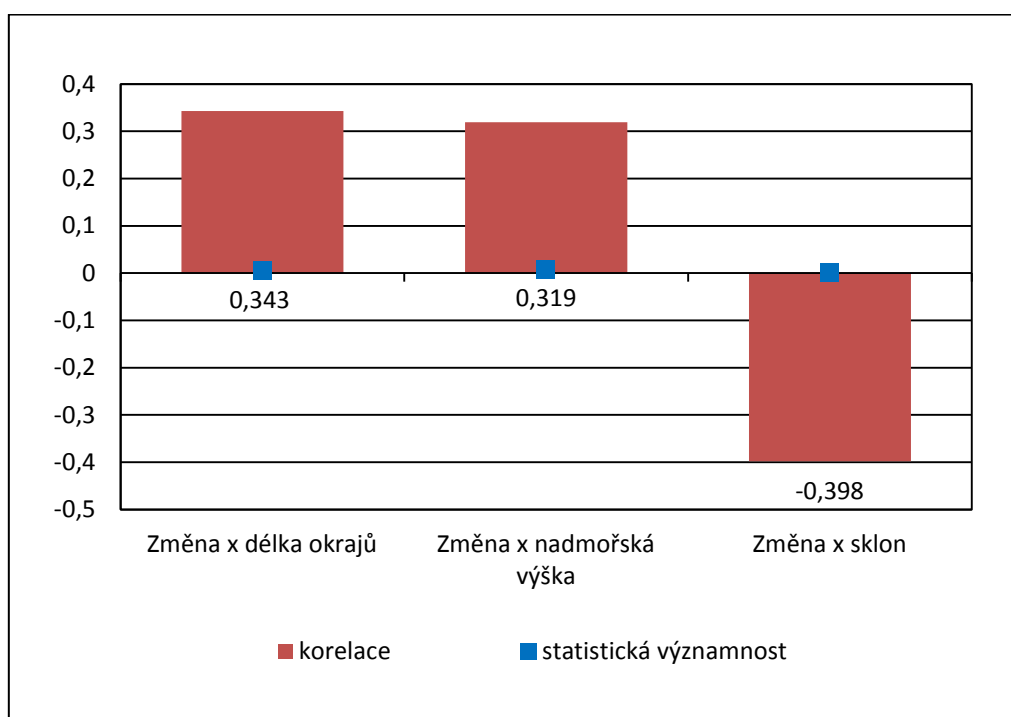
Jelikož všechny výsledné p hodnoty jsou větší než 0,05 (viz tab. 1), je rozložení dat jednotlivých proměnných normální.

Tabulka 1: Výsledky Shapiro-Wilkova testu normality

	Délka okrajů 1964	Nadmořská výška	Sklon	Změna plochy
p hodnota	0,7746	0,08813	0,05586	0,2388

Mezi změnou rozlohy a sklonem byl záporný korelační koeficient (-0,398,  $p = 0,0007648$ ). V silně ukloněných svazích tak převažovaly malé změny rozlohy, naopak na málo ukloněných svazích byly změny velké. Mezi dalšími proměnnými byl již korelační koeficient kladný. Mezi změnou rozlohy a délkou obvodu plošek v roce 1964 vyšel 0,343,  $p = 0,004214$ . Mezi změnou rozlohy a nadmořskou výškou byl zjištěn korelační koeficient 0,319 ( $p = 0,008112$ ) (viz obr. 11). Lze předpokládat, že borovice kleč zvětšila svou plochu v místech s větší nadmořskou výškou.

Obr. 11: Korelace změny rozlohy plošek s dalšími proměnnými



Výsledný vztah stanovený mnohonásobnou regresní analýzou mezi změnou plochy (a), délkou okraje v roce 1964 (b), nadmořskou výškou (c) a sklonem (d), byl stanoven na:

$$a = (1,1393 * b + 0,6794 * c - 15,3791 * d) - 747,4489$$

Koeficient determinace, který říká, kolik procent variability dat bylo vysvětleno, pak vyšel 0.3007 (tzn. 30,07 %)

P hodnota pro směrnici nadmořské výšky vyšla 0,202986, to znamená, že nemá statisticky významný efekt na změnu plochy kleče. Sklon již má významnost větší ( $p = 0,001640$ ). Největší významnost a tudíž efekt na změnu plochy má z těchto proměnných ( $p = 0,000349$ ) délka okrajů v roce 1964.

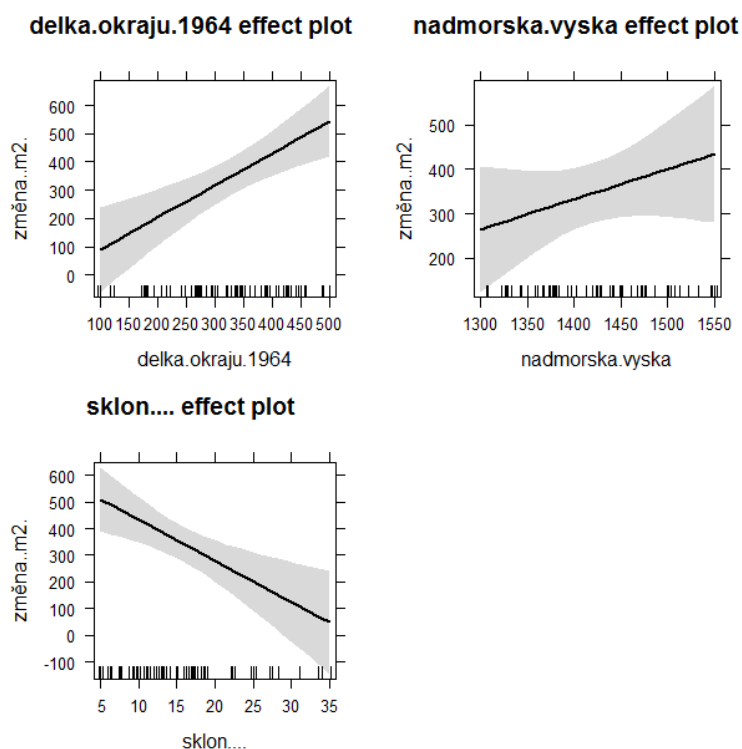
Vzájemná korelace vysvětlujících proměnných (viz tab. 2) vyšla u všech pod 0,6. To znamená, že efekt multikolinearity není zásadní a mohou společně vstupovat do analýzy změny plochy porostu borovice kleče.

Tabulka 2: Mutikolinearita mezi vysvětlujícími proměnnými

	Délka okrajů 1964 x nadmořská výška	Nadmořská výška x sklon	Délka okrajů 1964 x sklon
korelace	-0,0006000065	-0,4507488	0,1232231

Z grafického vyjádření efektů jednotlivých proměnných (obr. 12) je jasně patrné, že nejvýznamnější proměnnou je délka okrajů v roce 1964, protože má nejmenší rozptyl hodnot kolem výsledné přímky (šedá barva). Také sklon má v tomto kontextu nezanedbatelný význam. Nadmořská výška je ovšem pravým opakem, rozpětí jejích hodnot je příliš velké na to, aby měla na změnu plochy porostu kleče významný vliv.

Obr. 12: Dílčí efekty jednotlivých proměnných v lineární regresii.



Tento model mírně nadhodnocuje vypočítané hodnoty změny plochy borovice kleče. Vypočítaná celková změna rozlohy je 23 485, 88578m<sup>2</sup>, zatímco změřená celková změna rozlohy je jen 23 480, 3904 m<sup>2</sup>.

## 8. Diskuse

### 8.1 Vývoj porostu borovice kleče

Na základě prostudované literatury lze předpokládat, že plocha pokryvu kleče v Krkonoších postupně vzrůstá. Stejně jako v jiných výzkumech (Tremel a kol. 2010; Pašťálková 2000; Dullinger, Dirnböck, Grabherr 2004) se tento předpoklad potvrdil. Ovšem v tomto případě byl zaznamenán celkový nárůst plochy 28, 9 %, což je přibližně jen 0, 57 % za rok, zatímco Tremel a kol. (2010) zaznamenal v Jeseníkách nárůst přibližně 2 % za rok a Pašťálková a kol. (2000) zaznamenala v Krkonoších nárůst 9 – 14 % za rok u mladších porostů a 2, 84 % za rok u porostů starších. Tento rozdíl v nárůstech plochy může být způsoben nadmořskou výškou, protože tyto dva výzkumy se uskutečnily v nižších polohách. Což potvrzuje Souček a kol. (2001), který uvádí snížení výškového i bočního přírůstu kleče s nadmořskou výškou. Dalším důvodem může být sklon svahu, který má velký a negativní vliv na expanzi borovice kleče. Je

možné, že zkoumané plochy se nacházely na méně ukloněných a tudíž příznivějších stanovištích.

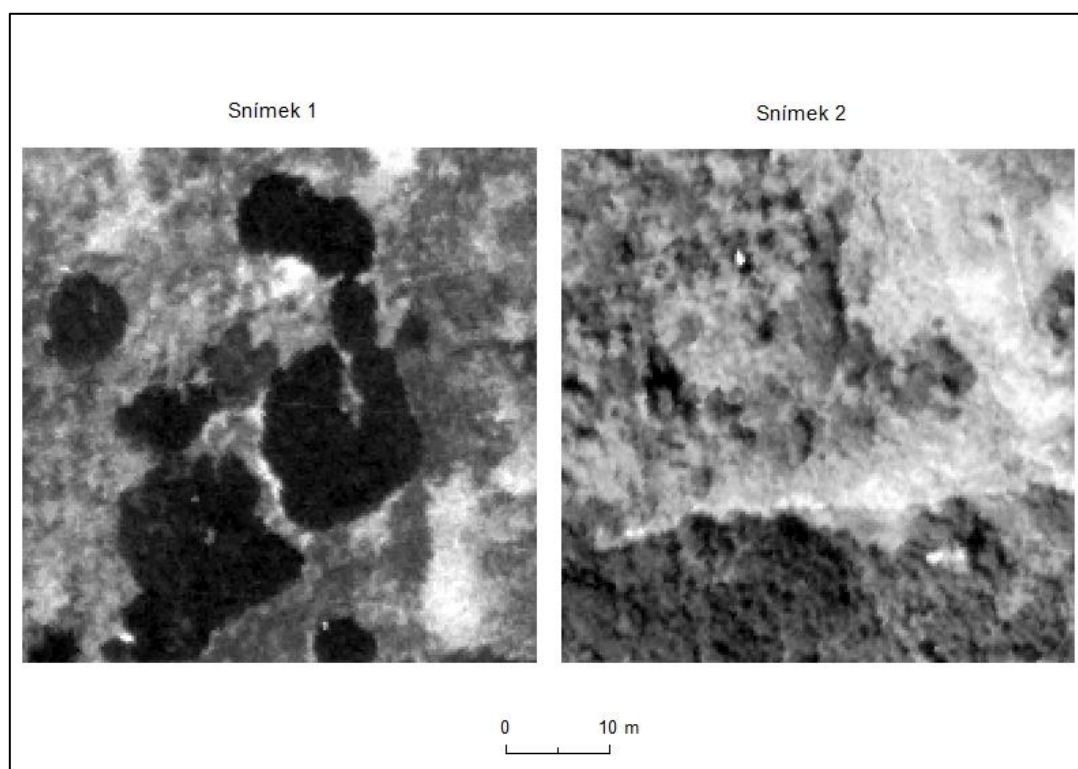
Zjištěný pozitivní vliv délky okrajů na začátku sledovaného období na vzrůst plochy kleče (čím delší okraje, tím větší výsledná plocha) potvrzuje také Treml a kol. (2010) ve svém výzkumu z Jeseníků. Je ovšem třeba vzít v potaz, že růst porostu je fyzicky omezen a tak i délka hrany negativně ovlivňuje variabilitu růstu porostu kleče (Treml a kol. 2010). Některé práce (Wild, Winkler 2008) zohledňují ve svém modelu v rámci struktury vegetace také její výšku, což bývá dalším důležitým faktorem pro její expanzi (Treml, Chuman 2015).

Nesporný vliv na expanzi vegetace má teplota a s ní zpravidla spojená nadmořská výška, jak ostatně potvrzuje mnoho autorů (Treml a kol. 2010; Dullinger, Dirnböck, Grabherr 2004; Crawford 2005; Walther 2005). Tato proměnná je však velice variabilní a závislá na dalších aspektech včetně lokálních podmínek. Některé práce (Treml, Chuman 2015; Körner 2012a) udávají nadmořskou výšku jako jednu z nejlivnějších proměnných, také proto, že autoři nezohledňují délku okraje a sklon povrchu. V této práci však ve srovnání s dalšími proměnnými má vliv na expanzi nejmenší.

## **8.2 Možné nejistoty měření**

Použitá metoda má řadu nejistot. Je otázkou, zda je důležitější počet čtverců nebo jejich rovnoměrné rozdělení v rámci nadmořské výšky, expozice a sklonu svahu. Také zvolená velikost čtverců může mít na výsledky vliv. Sice byl odstíněn vliv hrany čtverců, která by vytvářela umělou hranici, ale i tak tato hranice při měření zůstává. U více zarostlých čtverců totiž není možné změřit, zda a o kolik se rozloha porostu zvětšila nebo zmenšila, neboť přesahují zkoumanou hranici (Jorgensen, Meilby, Kollmann 2013). Na rozdíl od enkláv, které jsou malé a v rámci jednoho čtverce můžeme pozorovat celý jejich přírůstek nebo úbytek. Tento efekt byl odstíněn tím, že se nesrovnávaly jednotlivé čtverce mezi sebou, ale součet všech ploch za rok 1964 se součtem ploch za rok 2015. I tak zde ovšem pravděpodobně vznikly nepřesnosti. Více nepřesností však mohlo vzniknout také samotnou vektorizací ploch, hlavně nad snímky z roku 1964, jejichž kvalita nebyla příliš vysoká a jejich zpracování bylo podřízeno prostému lidskému oku. Zde se nabízí, zda by nebylo lepší použít nějakou přesnější analýzu, například pomocí spektrální odrazivosti. Tato metoda však byla zavrhnuta kvůli rozdílné kvalitě jednotlivých snímků, které se lišily ve svých odstínech šedé barvy (viz obr. 13).

Obr. 13: Rozdílná kvalita snímků z roku 1964



Je třeba také vzít v úvahu další vlivy, které sice nemusí mít tak velký efekt, avšak expanzi vegetace také ovlivňují. Půdní vláha, ale hlavně tepelná bilance povrchu mají nesporný vliv na vývoj vegetace na daném stanovišti. Také lze předpokládat, že environmentální faktory, které vegetaci ovlivňují, mezi sebou pravděpodobně interagují (Daniëls, Molenaar 2011).

## 9. Závěr

Šířením vegetace v oblasti nad horní hranicí lesa se zabývá celá řada autorů. Ti se však zaměřují převážně na vliv teploty, nadmořské výšky a samozřejmě biotických faktorů. Mezi ně patří schopnost druhu rozšiřovat se, jeho kompetiční síla nebo odolnost vůči změnám prostředí. Právě borovice kleč je jednou z rostlin, která se přizpůsobila náročnějším podmínkám a tak prosperuje v prostředí, kde není tak silná konkurence jiných druhů. Poměrně málo autorů se však zabývá vlivem prostorové struktury porostu a jeho členitosti, ačkoliv se ukazuje, že tyto faktory mohou mít značný dopad na expanzi vegetace.

Tato práce se zabývala expanzí borovice kleče ve východní části Krkonoš. Pomocí 68 čtverců byly zvektorizovány porosty kleče nad ortorektifikovanými leteckými snímky z let 1964 a 2015. Na základě této vektorizace byla provedena analýza změny povrchu porostu a dalších proměnných, kterými byla délka okraje porostu v roce 1964, nadmořská výška a sklon.

Výsledky této práce ukazují, že velký a negativní vliv na expanzi borovice kleče má sklon povrchu. Nejdůležitějším, tentokrát pozitivním, vlivem je délka okrajů plochy porostu na začátku sledovaného období, neboli jeho členitost. Nadmořská výška expanzi sice také pozitivně ovlivňuje, ve srovnání s ostatními proměnnými však nejméně. Pokryvnost borovice kleče se zvětšila o 28,9 %.



## 10.Literatura

- BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor. Geomorfologické jednotky České republiky. 1., vyd. Nakladatelství Akademia, Praha, 2012. 343 s. ISBN 978-80-200-2026-0
- BUSINSKÝ, R., VELEBIL J. (2011): Borovice v České republice: výsledky dlouhodobého hodnocení rodu *Pinus L.* v kultuře v České republice = Pines in the Czech Republic: results from the long-term evaluation of the genus *Pinus L.* cultivated in the Czech Republic. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 2011. ISBN 978-80-85116-90-8.
- CERMAK, J., OPGENOORTH, L., MIEHE, G. (2005): Isolated mountain forests in central Asian deserts: A case study from the Govi Altay, Mongolia In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 253 - 273 s. ISBN 3-540-24325-9
- CRAWFORD, R. M. M. (2005): Peripheral plant population survival in polar regions In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 43 - 76 s. ISBN 3-540-24325-9
- DANIËLS, F. J. A., MOLENAAR, J. G. (2011): Flora and Vegetation of Tasiilaq, Formerly Angmagssalik, Southeast Greenland: A Comparison of Data Between Around 1900 and 2007. *Ambio* 40(6), 2011. 650 - 659 s. [cit. 9. 7. 2017]. Dostupné z: <http://doi.org/10.1007/s13280-011-0171-3>
- Demek, J., Macovčín, P. eds. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. Brno: AOPK ČR, 580 s. ISBN 80-86064-99-9
- DULLINGER, S., DIRNBÖCK, T., GRABHERR, G. (2004): Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. British ecological society: *Journal of ecology*, 2004. 241 – 252 s.
- ENGEL, Z. (2004): Pleistocénní ledovce na území Česka. *Geografické rozhledy* 2004, 14 (2). 32 - 33 s.
- FORMAN, R. T. T., GODRON, M. (1993): Krajinná ekologie. Akademia, nakladatelství Akademie věd České republiky ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí ČR, Praha, 1993. 583 s.

FORMAN, R. T. T., GODRON, M. (1981): Patches and Structural Components For a Landscape Ecology. *BioScience* 1981, 31 (10). 733-740 s.

GSCHWANTNER, T. a kol (2009): Common Tree Definitions for National Forest Inventories in Europe. *Silva Fennica* 2009, 43 (2). 303 - 321 s.

HANČAROVÁ, E., PARZÓCH, K. (2007): Hydrologie In: FLOUSEK, J., HARTMANOVÁ, O., ŠTURSA, J., POTOCKI, J. (eds): *Krkonoše. Příroda, historie, vývoj*. 1., vyd. Nakladatelství Miloš Uhlíř - Baset, Praha, 2007. 864 s.

HANSKI, I., GILPIN, M. (1991): Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society* 1991, 42. 3–16 s.

HILLER, B., MÜTERTHIES, A. (2005): Humus forms and reforestation of an abandoned pasture at the Alpine timberline In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): *Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 203 - 218 s. ISBN 3-540-24325-9

HRABÍ, L. (1993): Změny vnitřní struktury a klíčivosti semen kleče. *Opera Concorctica* 1993, 30. 79 - 83 s.

CHALOUPSKÝ, J. a kol. (1989): *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. 1 vyd. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1989. 288 s.

KAŠPAR, J., HOŠEK, J., TREML, V. (2017): How wind affects growth in treeline *Picea abies*. *Alpine Botany* [online]. , - [cit. 2017-06-18]. DOI: 10.1007/s00035-017-0186-x. ISSN 1664-2201. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00035-017-0186-x>

KLIKA, J. (1947): *Lesní dřeviny. Lesnická dendrologie*. 2., rozšířené vyd. Československá matice lesnická v Písku, 1947. 393 s.

KOČÍ, M. (2010): Alpínské trávníky In: CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M., GRULICH, V., LUSTYK, P. (eds): *Katalog biotopů České republiky*. 2., vyd. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 2010. 447 s. ISBN 978-80-87457-03-0."

KÖRNER, CH. (2003): *Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystem*. 2., vyd. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 351 s. ISBN 978-3-540-00347-2

KÖRNER, CH. (2012a): Treelines Will be Understood Once the Functional Difference Between a Tree and a Shrub Is. The royal swedish academy of sciences, 2012. 197 – 206 s.

KÖRNER, CH. (2012b): Alpine treelines. Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits. Springer, Basel, 2012. 220 s. ISBN 978-3-0348-0395-3

LIANG, E., WANG, Y., PIAO, S., LU, X., CAMARERO, J. J., ZHU, H., ZHU, L., ELLISON, A. M., CIAIS, P., PENUELAS, J. (2016): Species interactions slow warming-induced upward shifts of treelines on the Tibetan Plateau. PNAS 2016, 113 (16). 4380 - 4385 s.

LIPSKÝ, Z. (1998): Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha 1998. ISBN 80-7184-545-0

LOKVENC, T. (2001): History of the Giant mts.' dwarf pine (*pinus mugo turra* ssp. *Pumilio franco*). Opera Concorctica 2001, 38. 21 - 42 s.

LOKVENC, T., MINX, A., NEHYBA, J., STEJSKAL, O. (1994): Rekonstrukce porostů kleče horské (*pinus mugo turra*) v Krkonoších. Opera concortica 1994, 31. 71 - 92 s.

MÁLKOVÁ, J., MATĚJKA, K., KRTIČKOVÁ, M., ZIKMUND, M. (2001): Vegetation dynamics in dwarf pine ecosystems in the eastern Giant mts. Opera Concorctica 2001, 38. 123 - 148 s.

MATĚJKA, K., MÁLKOVÁ, J. (2010): Long-term dynamics of plant communities in subalpine and alpine zone of the Eastern Giant Mts. Oprea Concorctica 2010, 47 (1). 123 - 1338 s.

MELMANN-BROWN, S. (2005): Regeneration of whitebark pine in the timberline ecotone of the Meartooth plateau, U. S. A.: Spatial distribution and responsible agents In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 97 - 115 s. ISBN 3-540-24325-9

METELKA, L., MRKVICA, Z., HALÁSOVÁ, O. (2007): Podnebí In: FLOUSEK, J., HARTMANOVÁ, O., ŠTURSA, J., POTOCKI, J. (eds): Krkonoše. Příroda, historie, vývoj. 1., vyd. Nakladatelství Miloš Uhlíř - Baset, Praha, 2007. 864 s.

- MIGOŇ, P., PILOUS, V. (2007): Geomorfologie In: FLOUSEK, J., HARTMANOVÁ, O., ŠTURSA, J., POTOCKI, J. (eds): Krkonoše. Příroda, historie, vývoj. 1., vyd. Nakladatelství Miloš Uhlíř - Baset, Praha, 2007. 864 s.
- PAŠTÁLKOVÁ, H., VACEK, S., MATĚJKA, K., MÁLKOVÁ, J. (2000): Dynamika v prostech kleče horské v Krkonoších. Opera Concortica 2000, 37. 578 - 573 s.
- PIUSSI, P. (2005): Woodland recolonisation and postagricultural development in Italy In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 237 - 251 s. ISBN 3-540-24325-9
- PLESNÍK, P. (1971): Horná hranica lesa vo Vysokých a v Belanských Tatrách. 1., vyd. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave, 1971. 240 s.
- PODRÁZSKÝ, V. a kol. (2007): Půdy In: FLOUSEK, J., HARTMANOVÁ, O., ŠTURSA, J., POTOCKI, J. (eds): Krkonoše. Příroda, historie, vývoj. 1., vyd. Nakladatelství Miloš Uhlíř - Baset, Praha, 2007. 864 s.
- POLMANN, W., HILDEBRAND, R. (2005): Structure and the composition of species in timberline ecotones of the southern Andes In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 117 - 151 s. ISBN 3-540-24325-9
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Československá akademie věd - geografický ústav Brno, 1971.
- SOUČEK, J., LOKVENC, T., VACEK, S., ŠTURSA, J. (2001): Site and stand conditions of dwarf pine stands. Opera Concortica 2001, 38. 43 - 61 s.
- STORCH, D., MIHULKA, S. (2000): Úvod do současné ekologie. 1., vyd. Portál, Praha, 2000. 160 s. ISBN 80-7178-462-1
- SVOBODA, P. (1953): Lesní dřeviny a jejich porosty. Část I. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1953.
- SÝKORA, B. a kol. (1983): Krkonošský národní park. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1983. 280 s.

ŠOUREK, J. (1970): Květena Krkonoš: Český a polský Krkonošský národní park. Academia, Praha, 1970. 452 s.

TAPE, K., STURM, M., RACINE, C. (2006): The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology* 2006, 12. 686–702 s.

TREML, V., WILD, J., CHUMAN, T., POTŮČKOVÁ, M. (2010): Assessing the change in cover of non-indigenous dwarf-pine using aerial photographs, a case study from Hrubý Jeseník mts., the Sudetes. *Journal of Landscape Ecology* 2010, 4 (2). 1 - 15 s.

TREML, V., CHUMAN, T. (2015): Ecotonal Dynamics of the Altitudinal Forest Limit are Affected by Terrain and Vegetation Structure Variables: An Example from the Sudetes Mountains in Central Europe. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 2015, 47 (1). 133-146 s.

TURNER, M. G., GARDNER, R. H., O'NEILL, R. V. (2001): *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer-Verlag New York, 2001. 406 s. ISBN 978-0-387-95122-5

ÚRADNÍČEK, L. a kol. (2009): *Dřeviny České republiky. 2., přeprac. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce*, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

WALTHER, G., BEISSNER, S., POTT, R. (2005): Climate change and high mountain vegetation shifts In: BROLL, G., KEPLIN, B. (eds.): *Mountain ecosystems. Studies in treeline ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemsko, 2005. 77 - 96 s. ISBN 3-540-24325-9

WIKIMEDIA COMMONS (2017): *Pinus silvestris*. [cit. 20-7-2017]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Pinus\\_silvestris?uselang=cs](https://commons.wikimedia.org/wiki/Pinus_silvestris?uselang=cs)

WILD, J., KYNCL, T. (2004): Studium dynamiky přirozené klečo–travné vegetace pomocí prostorově explicitního modelu – předběžné výsledky. In: ŠTURSA, J., MAZURSKI, K. R., PALUCKI, A. & POTOČKA, J. (eds.): *Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. Opera Corcontica*, 41: 441–451 s.

WILD, J., WINKLER, E. (2008): Krummholz and grassland coexistence above the forest-line in the Krkonoše Mountains: Grid-based model of shrub dynamics. *Ecological Modelling* 213, 2008. 293 - 307 s.