

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie

Vliv solární radiance na morfologickou a anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého

Diplomová práce

2014–2016

Bc. Petr Ambrož

Zadávací list

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: „Vliv solární radiance na morfologickou a anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

podpis

Děkuji doc. Ing. Romanovi Gebauerovi Ph.D., za pomoc při vedení této diplomové práce, důležité připomínky a trpělivost. Dále děkuji všem co mi se zájmem pomáhali se zpracováním a získáním informací podstatných pro sepsání diplomové práce.

Abstrakt

Jméno: Petr Ambrož

Název diplomové práce: Vliv solární radiance na morfologickou a anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého

Abstrakt: V oblasti pohoří Hrubý Jeseník bylo na severních a jižních svazích v rozdílných nadmořských výškách vybráno celkem dvanáct lokalit se stejnověkými smrkovými porosty. Na každé lokalitě byly odebrány vzorky slunných jednoletých prýtů. Z těchto prýtů byly odebrány jehlice a zhotoveny příčné řezy. Zároveň byly odebrány jehlice pro analýzu projekční plochy, délky a sušiny jehlice. U vytvořených mikroskopických preparátů byla změřena výška, šířka, plocha příčného řezu a plocha středního válce. Následně byly z výškopisu a hodnot solární radiace vytvořeny pro vybrané parametry jehlic predikční mapy v programu ArcGIS. Zjistilo se, že anatomicko-morfologické rozměry jehlic nemají s rostoucí nadmořskou výškou lineární charakter. Solární radiace nejlépe korelovala s délkou jehlic. V tomto případě byla změna délky jehlic vysvětlena z 82 % změnou solární radiace. Přestože o růstu jehlic a tím pádem i stromů rozhoduje komplexní působení vnějších a vnitřních faktorů, poukazují tyto výsledky na významný vliv dopadající solární radiace na růst smrku ztepilého v oblasti Hrubého Jeseníku.

Klíčová slova: expozice, morfologie jehlice, nadmořská výška, růst, smrk ztepilý, solární radiace,

Abstract

Jméno: Petr Ambrož

Master's thesis: Influence of solar radiation on morphological and anatomical structure of needles of Norway spruce.

Abstract: There were chosen twelve localities with even-aged Norway spruce trees from different altitudes and northern and southern exposure at the Jeseníky Mountains. One-year old sun-exposed shoots were sampled from every locality. Needles were taken from shoots and then used for making the cross-sections. Additional needles were taken for needle area, needle length and dry matter analysis. Anatomical analysis was done on the microscopic pictures. The predictive maps for some morphological and anatomical parameters were created by the use of elevations and solar radiation data in ArcGIS. It was found that with increasing altitude the morphological and anatomical parameters of needles were not in linear progress. The best correlations with solar radiation was found for needle length. In this case, the change of needle length was explained by 82 % by the change of solar radiation. Although the growth of needles and thus the tree is determined by complex influence of external and internal factors, these results indicate significant effect of solar radiation on the Norway spruce growth at the Jeseníky Mountains.

Key words: altitude, cross-section, exposure, growth, needle morphology, Norway spruce, solar radiation

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce	2
3. Současný stav řešené problematiky	3
3.1. Členění rodu <i>Picea</i>	3
3.2. Charakteristika druhu <i>Picea abies</i>	3
3.3. Rozšíření druhu <i>Picea abies</i> v Evropě	4
3.4. Ekologické nároky druhu <i>Picea abies</i>	4
3.5. Vliv abiotických činitelů na růst a vývoj druhu <i>Picea abies</i>	5
3.5.1. Solární radiace	5
3.5.2. Vítr	5
3.5.3. Voda.....	6
3.5.4. Teplota	7
3.5.5. Půda	7
4. Metodika	9
4.1. Charakteristika zájmového území	9
4.2. Výběr lokalit.....	10
4.3. Odběr vzorků.....	12
4.4. Zpracování vzorků	13
4.5. Analýza jehlic a příčných řezů	13
4.6. Měření v programu ImageJ 1.47v	14
4.7. Vyhodnocení pomocí statistických analýz.....	15
4.7.1. Základní statistické veličiny	15
4.7.2. Analýza rozptylu ANOVA	15
4.7.3. Regresní analýza	17
4.8. Tvorba predikčních map	18

5. Výsledky	19
5.1. Průměrné hodnoty rozměrů jehlic	19
5.1.1. Hmotnost vysušených jehlic	20
5.2. Hodnoty solární radiace	21
5.3. Výška jehlice	22
5.4. Šířka jehlic	24
5.5. Plocha příčného řezu jehlic	26
5.6. Plocha středního válce jehlic.....	28
5.7. Délka jehlic	30
5.8. Projekční plocha jehlic	32
5.9. Trojrozměrné grafy	34
5.10. Predikční mapy	36
6. Diskuze	42
6.1. Výška, šířka a plocha příčného řezu jehlic.....	42
6.2. Plocha středního válce jehlic.....	43
6.3. Délka jehlic	44
6.4. Projekční plocha jehlic	45
6.5. Predikce.....	46
7. Závěr	47
8. Summary	48
9. Literatura	49
10. Seznam příloh	53
11. Přílohy	54

1. Úvod

Smrk ztepilý (*Picea abies*) je se svými 50,7 % nejzastoupenější dřevinou na území České republiky (Krejzar a kol., 2015). Těžištěm jeho přirozeného výskytu jsou okrajová příhraniční pohoří (Úradníček, 2009), kde díky své dobré adaptaci a široké ekologické valenci dominuje nad ostatními dřevinami a zároveň jsou jednou z hlavních příčin, proč mohl smrk zaujmout v pohoří Jeseníky ekologickou niku borovice kleče (*Pinus mugo*), která zde přirozeně chybí (Jeník, 1961; Banaš, 2007; Šenfeldr, Maděra, 2010). Řidší je přirozené zastoupení smrku ve vnitrozemských horských skupinách, jako je například Dražanská vrchovina, Oderské vrchy aj. (Úradníček, 2009). V posledních 200 letech však došlo k druhotnému rozšíření smrku mimo oblast přirozeného výskytu a díky své široké ekologické valenci místy vytlačil většinu původních dřevin (Laštůvka, Krejčová, 2000; Úradníček, 2009). Jsme tedy často svědky výskytu smrku ztepilého ve 4. a nižším lesním vegetačním stupni (přirozeně se smrk vyskytuje od 5. lesního vegetačního stupně) (Průša, 2001), mnohdy v pozici dominantní dřeviny, což může mít vzhledem k předpokládané globální změně klimatu a následnému možnému posunu lesních vegetačních stupňů nedozírné dopady na stabilitu takovýchto lesních porostů.

Nadmořská výška a expozice svahů ovlivňuje celou řadu abiotických faktorů, jako jsou kupříkladu množství srážek, rychlost větru, teplota aj. (Tolasz, 2007; Žalud, 2010), jež mají přímý vliv na růst a morfologii rostlin. Značné rozdíly jsou jak mezi nížinnými a horskými polohami, kde konkrétní jedinci musí odolávat klimatickým podmínkám v podobě vrcholového fenoménu (Šenfeldr, Maděra, 2010), tak také na jednotlivých expozicích (na severních svazích jsou nižší teploty a méně slunečního záření než na jižních svazích) (Tolasz, 2007). Proto je i vzhledem k probíhající tvorbě modelů postihující možný vliv změn klimatu na druhovou skladbu a rozšíření lesních porostů důležité zjistit, do jaké míry má změna nadmořské výšky a solární radiace vliv na růst jehlic smrku ztepilého, které mají z hlediska tvorby asimilátů centrální postavení v metabolismu rostliny. Tyto parametry pak mohou sloužit jako indikátory změn klimatu u smrku ztepilého, nebo mohou být využity k posouzení růstu smrku ztepilého v horských oblastech.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je na základě výsledků anatomicko-morfologické analýzy zjistit míru variability asimilačního aparátu smrku ztepilého (*Picea abies*) vlivem rostoucí nadmořské výšky na severních a jižních svazích v pohoří Hrubý Jeseník. Předmětem šetření bude slunná jednoletá jehlice. Dalším neméně důležitým cílem bude tvorba modelů a predikčních map v programu ArcGIS posuzujících vliv nadmořské výšky a solární radiace (vypočítané na základě morfologie terénu a potenciální sumy ročního oslunění území) na měřené rozměry jehlic. Predikční mapy budou zpracovávány pouze za předpokladů zjištění kladných korelačních vztahů mezi zkoumanými veličinami. Kvůli zpřesnění výsledků a větší vypovídající hodnotě predikčních map budou v této práci použity výsledky ze tří lokalit na jižní expozici z bakalářské práce „Vliv jižní expozice na morfologicko-anatomickou stavbu jehlic“ (Bartoňová, 2014) a ze tří lokalit na severní expozici z bakalářské práce „Vliv nadmořské výšky a severní expozice na morfologickou a anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého“ (Ambrož, 2014).

3. Současný stav řešené problematiky

3.1. Členění rodu *Picea*

Počátek vývoje rodu *Picea* – smrk se datuje do konce druhohor. V třetihorách byl důležitou někdy až dominantní složkou lesních porostů. Postupné ochlazování a nástup dob ledových ve čtvrtohorách však způsobil výrazné změny ve skladbě evropské vegetace. Dnes se rod *Picea* dělí do dvou podrodů a čtyř sekcí. (Musil, Hamerník, 2003; Tjoelker et al., 2007)

Taxonomické zařazení druhu *Picea abies* je dle Musila, Hamerníka (2003) následující:

- Řád:** *Pinales* – borovicotvaré
Čeleď: *Pinaceae* – borovicovité
Rod: *Picea* – smrk
Podrod: *Picea*
Sekce: *Picea (Eupicea)*
Druh: *Picea abies* – smrk ztepilý

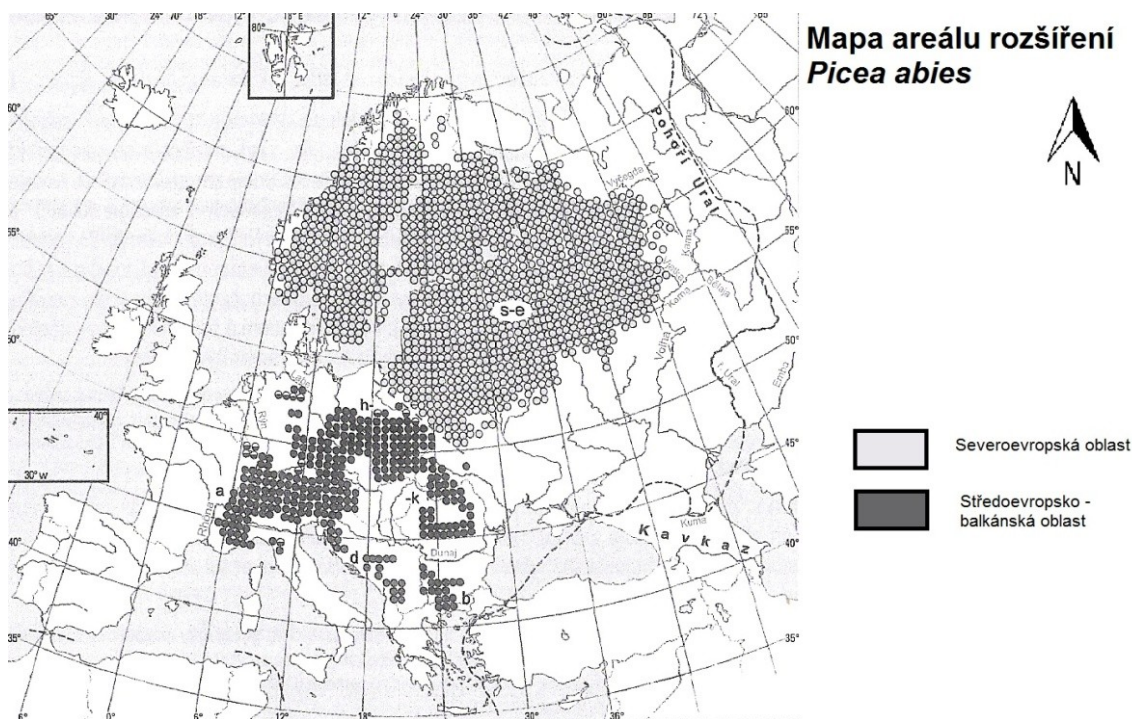
3.2. Charakteristika druhu *Picea abies*

Smrk ztepilý (*Picea abies*) je dřevina s průběžným přímým kmenem a kuželovitou korunou dosahující výšky až 50 m a průměru 1,5 m (Úradníček, Maděra, 2001). Kůra se vyznačuje hladkým povrchem s červenohnědou barvou, borka je do stáří poměrně slabá, později šupinovitě až penízkovitě odlupčivá (Tichá, Úradníček, 2009).

Letorosty jsou hnědavé až červenožluté, mohou být lysé či s náznakem slabého ochlupení (Úradníček, Maděra, 2001). Jehlice jsou 25–35 mm dlouhé a 1 mm široké (Tjoelker et al., 2007). Tvar příčného řezu jehlic je v rámci jehlice značně variabilní, u báze je poněkud zploštělý, zatím co na vrcholu jehlice je téměř čtvercový (Tjoelker et al., 2007). Rozvržení jehlic v rámci jedince se odvíjí od intenzity osvětlení, kdy na zastíněných větvích jsou přibližně dvouřadě rozložené (stinné jehlice), kdežto na osluněných větvích jsou kartáčovitě vzpřímené (slunné jehlice) (Tichá, Úradníček, 2009).

3.3. Rozšíření druhu *Picea abies* v Evropě

Areál rozšíření *Picea abies* je soustředěn do střední, severní a jihovýchodní Evropy, kde sahá téměř až k pohoří Ural (Úradníček, 2003). Musil a Hamerník (2003) dělí jeho výskyt na dvě oblasti (Obr. 1). V první středoevropsko-balkánské oblasti se smrk vyskytuje ostrůvkovitě převážně v horských polohách. Druhá severoevropská oblast je sice mnohem rozsáhlejší, ale na druhou stranu zde smrk nevystupuje do takové nadmořské výšky jako v oblasti první, najdeme ho tudíž spíše v pahorkatinách a nížinných rovinách (Musil, Hamerník, 2003; Úradníček, 2003). Severní hranice přirozeného výskytu smrku je závislá na délce vegetačního období, přičemž nejseverněji se objevuje v nížinných polohách Norska ($69^{\circ}47's.s.$) (Musil, Hamerník, 2003; Tjoelker et al., 2007).



Obr. 1 Mapa areálu rozšíření *Picea abies* v Evropě (Musil, Hamerník, 2003)

3.4. Ekologické nároky druhu *Picea abies*

Smrk ztepilý je světlomilná dřevina snášející v mládí zástin, takže snadno vniká do porostů jiných dřevin a postupně zaujímá jejich místo (Úradníček, 2009). Na půdu je nenáročný, řadí se mezi tzv. euryvalentní mezofyty, které rostou v širokém rozpětí půdní kyselosti (pH 4,2–7,0) (Ambros, Štykar, 2004). Na vápnatých půdách ovšem často ustupuje buku (*Fagus sylvatica*). Hydrické podmínky jsou pro růst smrku limitním faktorem, nedostatek vláhy ho oslabuje a v důsledku toho je pak náchylnější k napadení

houbami či hmyzími škůdci. Na druhou stranu dobře prosperuje ve vlhkostním režimu bažin a rašelinišť (Ambros, Štykar, 2004). Díky svému povrchovému kořenovému systému je značně náchylný k vývratům, málo odolný je také k působení imisí, zejména v podobě SO₂ (Úradníček, 2009). Na příznivých stanovištích horských poloh může vytvářet klimaxové stádium tj. vrcholné stádium sukcese (Laštůvka, Krejčová, 2000).

3.5. Vliv abiotických činitelů na růst a vývoj druhu *Picea abies*

3.5.1. Solární radiace

Sluneční záření je nejen zdrojem energie a stimulatorem růstu, ale i rizikem poškození (Larcher, 1988). Jeho intenzita a délka expozice silně kolísá jak se vzdáleností od rovníku, tak s rostoucí nadmořskou výškou (Rubin, 1963). Některé rostliny proto vyvinuly různé adaptační mechanismy např. fototaxe, fotoperiodismus, aby se těmto podmínkám přizpůsobily (Larcher, 1988). Nedostatek fotosynteticky aktivní radiace (FAR) má za následek snížení syntézy stavebních látek buněčných stěn, což vede k redukci růstu nadzemních částí rostlin (Špinlerová, 2014). Rostliny přizpůsobené k růstu ve stínu vytvářejí listoví s velkou plochou, které má i vysokou koncentraci chlorofylu (Larcher, 1988). Naopak jedinci vystavení vyšším intenzitám záření vytvářejí účinný systém pro vedení vody ve stoncích a jejich asimilační aparát má několik vrstev mezofylu, četné chloroplasty a tlustší vnější stranu pokožky (Slavíková, 1986; Larcher, 1988). Transmise (průchod) záření závisí na struktuře a tloušťce listu, čím je asimilační aparát tenčí a měkčí, tím více záření propouští (Špinlerová, 2014).

Musil, Hamerník (2003) uvádějí, že osluněné jehlice *Picea abies* mají přibližně čtvercový průřez, zatím co zastíněné jehlice jsou daleko plošší (tj. se snižující se intenzitou záření narůstá poměr mezi výškou a šířkou jehlice).

3.5.2. Vítr

Jeho vliv na růst a morfologii smrku ztepilého je nejvíce zřejmý v horských lokalitách, kde často způsobuje deformace v podobě vlajkových korun (Musil, Hamerník 2003). Příčinou jejich vzniku je dlouhodobé vystavení jednosměrnému vzdušnému proudění, kdy na návětrné straně vítr způsobuje vysušování a mechanické poškozování větví, pupenů a jehlic prachovými částicemi tzv. koraze (Bláha, 2003; Banaš, 2007). Průměrná výška smrků na hranici lesa v pohorí Hrubý Jeseník se pohybuje okolo 10 m (Tremel 2007). Díky dobré schopnosti adaptace na drsné podmínky vrcholového fenoménu může smrk roztroušeně vystupovat v podobě skupin jedinců vegetativního

původu vzniklých převážně hřížením větví tj. zakořeňováním větví dotýkajících se půdy, i nad horní souvisleji zapojenou hranici lesa (Musil, Hamerník, 2003; Šenfelder, Maděra, 2010). Modelace terénu v horách může značně usměrňovat a urychlovat větry, které poté mohou ovlivňovat místní klima (Bláha, 2003). Převládající silné západní větry vanoucí v nejvyšších polohách Jeseníků jsou schopny během zimy nafoukat v závětrných karech sních do mocných vrstev. Proto má většina smrků v těchto lokalitách ulámané větve nebo terminální části (Bláha, 2003; Banaš, 2007). Na jaře se však jedná o podstatný zdroj vody (Banaš, 2007). Dalším ohrožením přímo související s větrem je námraza. Ta se tvoří vždy na návětrné straně při teplotách povrchu stromu mírně pod bodem mrazu (Banaš, 2007; Baránek, Čermák, Palovčíková, 2014). V důsledku jejího působení se lámou jak větve, tak i celé dřeviny.

3.5.3. *Voda*

Voda tvoří podstatnou část rostliny, přičemž vytváří jedinečné prostředí, kde mohou probíhat biochemické reakce. Vyšší rostliny, z převážné většiny, přijímají vodu z půdy za pomoci kořenového systému, jehož buňky mají nižší vodní potenciál než okolní půdní roztok (Larcher, 1988). Výdej pak probíhá nejvíce transpirací přes asimilační aparát (nízkou transpiraci jehličnanů oproti krytosemenným rostlinám pravděpodobně působí vosková zátka v dutině průduchů) (Larcher, 1988). Nemůže-li rostlina snížit svůj vodní potenciál pod hodnotu vodního potenciálu půdy, dochází k vadnutí (Larcher, 1988). Takto vyvolaný vodní stres je příčinou snížení turgidity v rostlinných buňkách (Špinlerová, 2014). Dochází nejprve k menšímu růstu listů (obzvláště při nedostatku vody na začátku růstového cyklu) a v návaznosti na to k redukci fotosyntézy (Bláha, 2003; Špinlerová, 2014). Voda je v pletivech přemísťována pomocí cévních svazků (Procházka, 1998). Velikost vodivých elementů a jejich celková plocha je ukazatelem toho, jak jsou jednotlivé části prýtu zásobeny vodou, tzn. rostliny co silně transpirují mají obvykle větší vodivé elementy i vodivou plochu (Larcher, 1988). Jehličnaté dřeviny obecně lépe zachovávají vyrovnaný obsah vody než některé druhy listnatých dřevin např. jasan (Larcher, 1988).

3.5.4. Teplota

Teplota se řadí mezi primární faktory ovlivňující růst a vývoj rostlin. Každý životní proces tedy probíhá v jistém teplotním optimu ohraničeném maximální a minimální teplotou, která se ale může při adaptaci rostlin k podmínkám prostředí výrazně změnit (Larcher, 1988). Optimální rozmezí teplot pro fotosyntézu se u rostlin mírného pásma pohybuje od 15 do 25 °C, růst prýtlů však začíná už při teplotách nad 0 °C (Špinlerová, 2014). Je-li ovšem jedinec vystaven limitním teplotám, dochází k řadě chemických procesů, jejichž důsledek je odvislý od intenzity a doby expozice (Špinlerová, 2014). Přílišné horko způsobuje denaturaci bílkovin, zatímco mráz a chlad poškozují biomembrány buněk nebo je podnětem k vytváření krystalků ledu uvnitř buněk, které může vést k protržení membrán a tím k odumření buněk (Larcher, 1988). Odolnost vůči mrazu a chladu získávají rostliny procesem otužování, jehož spouštěcím faktorem je postupné dlouhodobé vystavování teplotám těsně nad 0 °C (Larcher, 1988). Různé orgány či pletiva rostlin se v teplotní odolnosti značně liší, např. reprodukční orgány jsou zvláště citlivé na chlad, kdežto nadzemní část prýtlů je nejvíce odolná jak proti chladu tak proti horku (Larcher, 1988). Musil, Hamerník (2003) udávají, že optimální průměrná teplota pro růst smrku přesahuje 6 °C.

Na konci zimy či v před jaří (především u porostů na jižních svazích nebo nad hranicí teplotních inverzí) může nastat situace, kdy osluněné části korun jsou značně zahřívány, což vede ke zvýšení transpirace (Zahradník, Holuša, 2014). Ztráta vody přitom nemůže být doplněna z půdy, protože je buď zmrzlá nebo velmi chladná cca do 2 °C (Baránek, Čermák, Palovčíková, 2014). Důsledkem je pak nekontrolované smrštění parenchymatických buněk, nasátí vzduchu a odumírání buněk provázené oxidací fenolických látek včetně ligninu (Baránek, Čermák, Palovčíková, 2014). Tento jev je souhrnně označován jako fyziologická (klimatická) sypavka nebo zimní vysychání (Zahradník, Holuša, 2014). Projevuje se zčervenáním až zhnědnutím jehlic a jejich rychlým odumřením (Baránek, Čermák, Palovčíková, 2014).

3.5.5. Půda

Živiny jsou v půdě obsaženy buď v podobě roztoku, nebo jsou vázané na koloidních částicích (Procházka, 1998). Jejich nedostatek se u rostlin projevuje zakrslým růstem, předčasným stárnutím a barevnými odchylkami asimilačního aparátu souhrnně označované jako kareční jevy (Larcher, 1988). Obsah živin v rostlinách se může lišit

v závislosti na klimatických podmínkách. Larcher (1988) například uvádí, že rostliny chladných oblastí mají vysoký podíl dusíku a jedinci rostoucí na chudých a kyselých půdách mají zase nízký obsah popelovin. Variabilní je i obsah živin v rámci koruny jedince (Tjoelker et al., 2007). Kromě obsahu živin je důležitým ukazatelem mající přímý vliv na růst a vývoj rostlin půdní reakce (pH) (Blaha, 2003). Obecně platí, že většina půd je mírně kyselá až neutrální, přičemž už při pH menším než 3 a větším jak 9 je vážně poškozována protoplazma v kořenových buňkách většiny cévnatých rostlin (Larcher, 1988). Nízké pH pak omezuje základní metabolické procesy v rostlinách (uzavírání průduchů, rychlost fotosyntézy aj.), v důsledku čehož dochází ke snížení přírůstu nadzemní biomasy (Špinlerová, 2014).

4. Metodika

4.1. Charakteristika zájmového území

Na území pohoří Hrubý Jeseník byla, na základě terénního šetření vybrána oblast masívu Mravenečník, jehož nejvyšší vrchol tvoří horní nádrž vodní přečerpávací elektrárny Dlouhé stráně (1 343 m n. m.). Vzdálenost této kóty od nejvyššího vrcholu Hrubého Jeseníku (Praděd 1 492 m n. m.) je vzdušnou čarou přibližně 5,5 km severovýchodně.

Celé zmíněné pohoří spadá do soustavy Českého masívu, oblasti moravskoslezské a regionu silezika (Česká geologická služba, 2014). Geologický podklad tvoří z převážné většiny přeměněné horniny s různým stupněm metamorfózy, jako příklad lze uvést ruly (biotitická, chlorotická aj.), pararuly, křemence a fylity (Banaš, 2007). Výskyt nepřeměněných usazených a vyvřelých hornin či minerálů není tak častý, zřídka se objevuje droba, křemen či gabro (Banaš, 2007). Z pedologického hlediska se zde nachází půdní typy typické pro horské a podhorské polohy. V níže položených oblastech dominuje kambizem a to variety oglejené (na vodou ovlivněných stanovištích) či mesobazické. Ve vyšších polohách se můžeme nejčastěji setkat s půdním typem kryptopodzol subtyp modální (Němeček a kol., 2001; Česká geologická služba, 2014). Vrcholy a hřebeny hor jsou charakteristické výskytem podzolu a rankeru (Němeček a kol., 2001; Česká geologická služba, 2014).

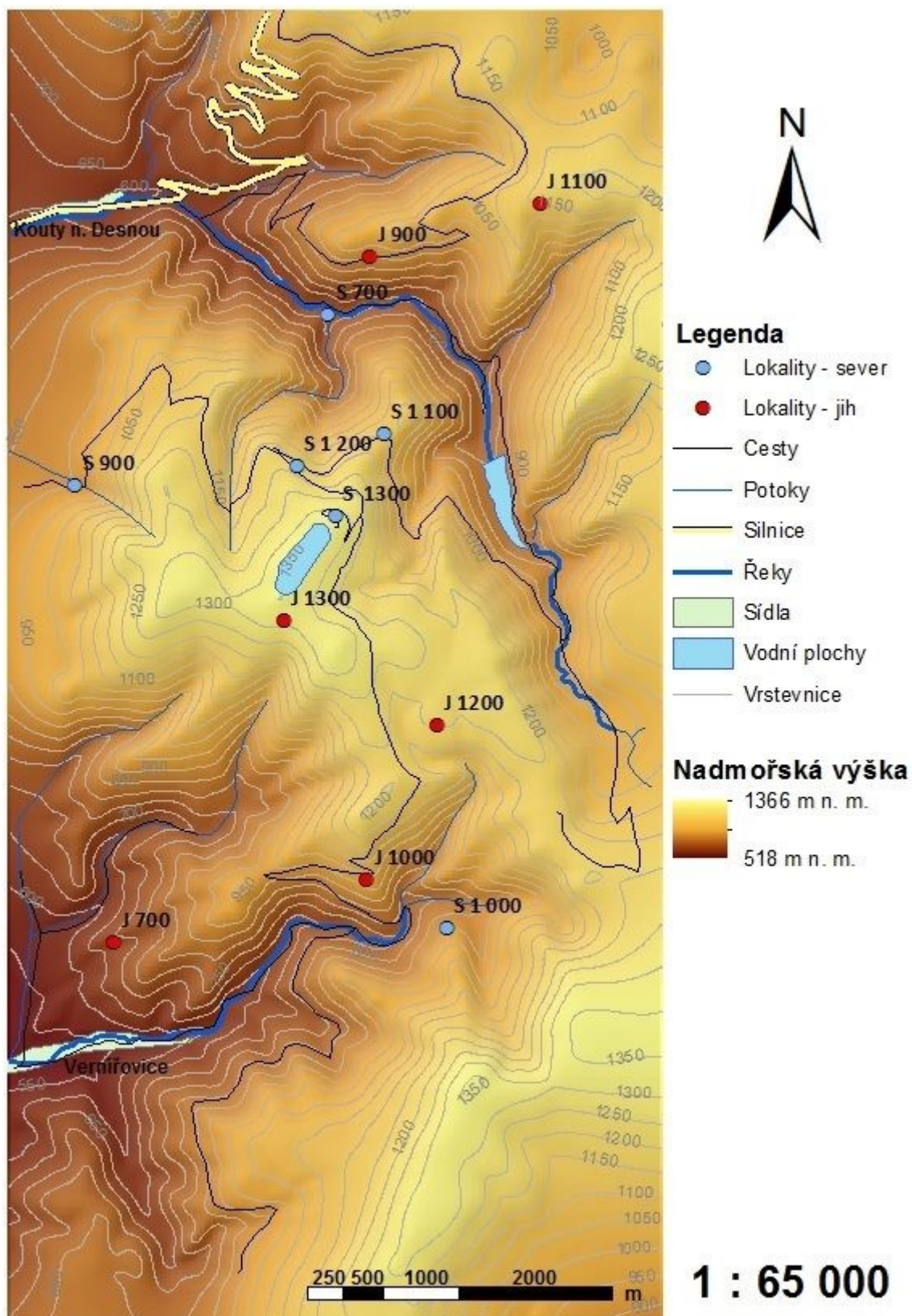
Průběh teplot v Hrubém Jeseníku má stejně jako na území celé České republiky s rostoucí nadmořskou výškou klesající tendenci (přibližně o 0,61 °C na 100 m) (Žalud, 2010). Je však značně ovlivněn jednak podnebím, které je na pomezí oceánského a kontinentálního klimatu, tak také expozicí, kde na severních svazích je nižší teplota než na jižních (Tolasz, 2007). Klimatické podmínky jsou obecně dosti proměnlivé a často je ovlivňuje morfologie terénu. Příkladem může být tvorba teplotních inverzí, které způsobují pokles teplot proti teplotnímu gradientu (Vysoudil, 2004; Žalud, 2010). V důsledku to znamená, že nízké teploty naměříme jak v horských, tak v údolních polohách (Tolasz, 2007). Quitt (1971) zařadil zájmové území do chladných klimatických oblastí CH 4 až CH 7. Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje od 2 do 6 °C v závislosti na nadmořské výšce a expozici (Štěpánová, 2010). Srážkový úhrn úzce souvisí s prouděním větru a nadmořskou výškou, proto návětrné svahy a výše položené oblasti mají i vyšší úhrny srážek (Tolasz, 2007).

Za léto v průměru spadne okolo 450 mm, jde o nejdeštivější období v roce, naopak v průměru nejméně srážek spadne v zimním období a to přibližně 250 mm (Tolasz, 2007). Horské oblasti na území ČR dosahují průměrného ročního úhrnu srážek kolem 1 400 mm (Žalud, 2010), dopadá zde však daleko méně sluneční radiace než v nížinných lokalitách, výjimku tvoří zimní období, ve kterém díky inverzní vrstvě v nížinách dopadá v horských oblastech srovnatelné nebo i vyšší množství slunečního záření (Tolasz, 2007). Horské polohy nad 1 000 m n. m. jsou zařazeny do pásma ohrožení imisemi kategorie B, níže položené oblasti spadají do pásma ohrožení C (UHUL, 2015). Průměrná výška horní hranice lesa v pohoří Hrubý Jeseník činí 1 302 m n. m., tvoří ji smrk ztepilý (*Picea abies*) s příměsí jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia*) (Šenfelder, Maděra, 2010).

4.2. Výběr lokalit

V zájmové oblasti bylo v různých nadmořských výškách vybráno 6 ploch s jižní a 6 ploch se severní expozicí s porostem smrku ztepilého ve věku 10–20 let. Podkladem pro určení ploch byla porostní mapa zapůjčená od místní lesní správy Loučná nad Desnou. Tato diplomová práce navazuje na bakalářské práce Ambrož (2014) a Bartoňová (2014), ze kterých přebírá výsledky ze tří lokalit s jižní expozicí a ze tří lokalit se severní expozicí.

Nejnižší lokalita se severní expozicí (dále jen S 700) se nachází v nadmořské výšce 700 m n. m. v blízkosti řeky Desná, dále na severním svahu následují lokality S 900 (900 m n. m.), S 1 000 (1 000 m n. m.), S 1 100 (1 100 m n. m.), S 1 200 (1 200 m n. m.) a S 1 300 ve výšce 1 300 m n. m. Lokality s jižní expozicí postihují stejné nadmořské výšky jako u severního svahu. Nejnižší položená jižní plocha je tedy v 700 m n. m. (dále J 700), na ní navazuje J 900 (900 m n. m.), J 1 000 (1 000 m n. m.), J 1 100 (1 100 m n. m.), J 1 200 (1 200 m n. m.) a nejvýše položená J 1 300 ve výšce 1 300 m n. m. Pro lepší přehled jsou všechny lokality vyznačeny na mapě digitálního modelu terénu (Obr. 2).



Obr. 2 Digitální model terénu zájmového území s vyznačenými lokalitami.

GPS souřadnice jednotlivých lokalit a zastoupení souboru lesních typů (SLT) dle Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem (2015) jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 GPS souřadnice a výčet SLT dle lokalit

Lokalita	GPS souřadnice	SLT
S 700	50°5'41.985"N, 17°9'22.827"E	5A
S 900	50°4'41.424"N, 17°7'53.066"E	6Y
S 1 000	50°2'25.044"N, 17°10'50.812"E	6F
S 1 100	50°5'6.413"N, 17°10'4.078"E	7S
S 1 200	50°4'53.116"N, 17°9'28.273"E	7N
S 1 300	50°4'42.867"N, 17°9'47.431"E	8K
J 700	50°2'32.263"N, 17°8'20.180"E	5A
J 900	50°5'58.375"N, 17°9'46.504"E	6F
J 1 000	50°2'59.496"N, 17°10'18.214"E	6F
J 1 100	50°6'16.733"N, 17°11'3.442"E	7K
J 1 200	50°3'43.414"N, 17°10'42.856"E	8S
J 1 300	50°4'10.171"N, 17°9'16.725"E	9K

4.3. Odběr vzorků

Odběr vzorků byl proveden dvěma způsoby v závislosti na požadavcích konkrétních prací.

U prvního odběru vzorků (plochy S 700, S 1 100, S 1 300, J 700, J 1 000 a J 1 200), uskutečněného v rámci zmíněných bakalářských prací v roce 2013, bylo na každé lokalitě vybráno 5 jedinců tak, aby nebyli zastíněni, výrazně poškozeni a věkově se příliš nelišili. Z každého takto vybraného jedince se posléze ze třetího přeslenu od vrcholu stromu odebralo 5 slunných jednoletých prýtů. Celkem bylo odebráno 25 vzorků za lokalitu, které se poté uschovaly do označených zkumavek s roztokem FAA (formaldehyd-kyselina octová-ethanol; Němec a kol., 1962)

Druhý odběr byl proveden na lokalitách S 900, S 1 000, S 1 200, J 900, J 1 100, J 1 300 v roce 2015. Na jednotlivých plochách bylo vybráno 10 zdravých, nezastíněných a přibližně stejnověkých jedinců. Z každého se následně ze třetího přeslenu od vrcholu stromu odebral jeden jednoletý slunný prýt. Konečný počet 10 odebraných prýtů na lokalitu byl uschován obdobným způsobem jako v předcházejícím případě.

Všechny takto odebrané vzorky se dopravily do laboratoře na ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobioceonologie; Mendelova univerzita, kde proběhlo jejich zpracování.

4.4. Zpracování vzorků

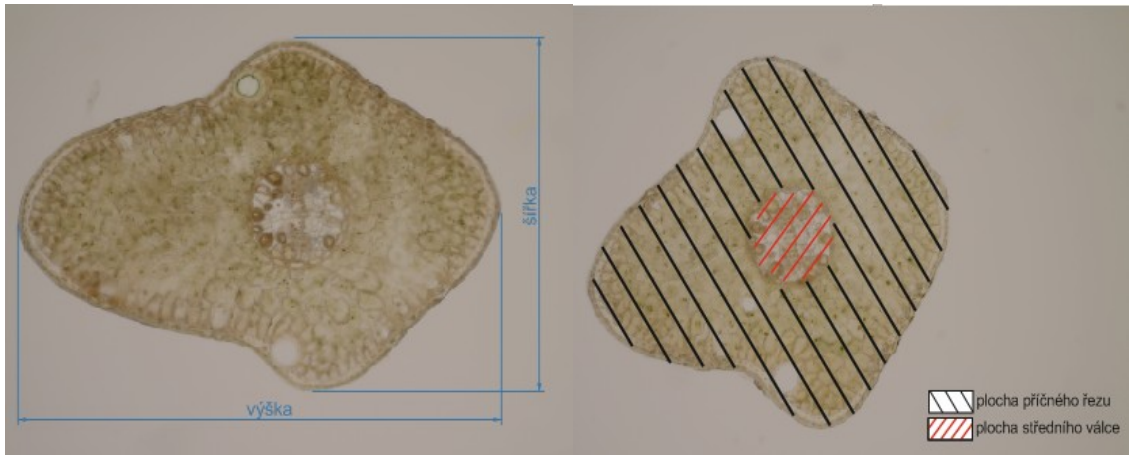
V laboratoři byly vzorky zpracovány následujícím způsobem:

Pro analýzu řezu bylo z každého prýtu odebráno 5 jehlic tak, že v dolní části na svrchní straně prýtu byla pinzetou odebrána jehlice a v pravidelně vzdálených intervalech se pokračovalo až k jeho konci. Z jednotlivých jehlic se pak na bázi ručně žiletkou zhotovily příčné řezy a vytvořil se mikroskopický preparát. Ten se označil číslem, aby bylo zřejmé, z kterého stromu a z jaké plochy pochází a uskladnil se.

Odběr jehlic pro analýzu délky a projekční plochy byl realizován stejnou metodikou, tedy v pravidelných intervalech se ze svrchní strany prýtů odebíralo 5 jehlic. Jehlice z lokalit S 900, S 1 000, S 1 200, J 900, J 1 100 a J 1 300 byly navíc vloženy do předem připravených a označených papírových sáčků za účelem jejich pozdějšího vysušení.

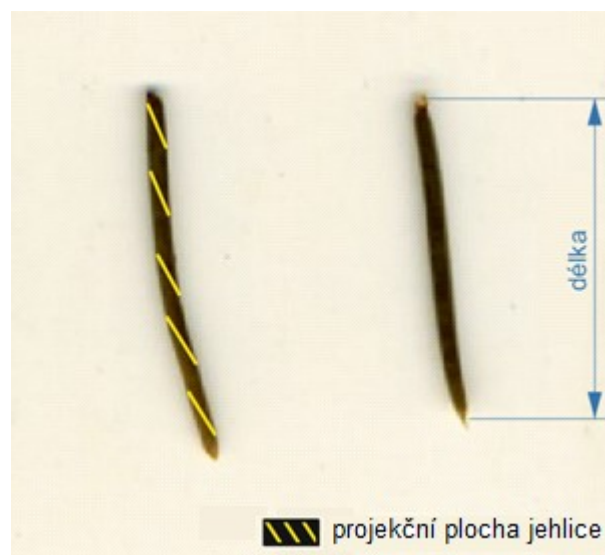
4.5. Analýza jehlic a příčných řezů

Z mikroskopického preparátu byl pomocí světelného mikroskopu Olympus BX51 se zabudovaným fotoaparátem Canon EOS 1100D nasnímán jednak celý řez jehlice a v detailnějším měřítku také centrální válec jehlice. Výsledné snímky se následně vyhodnocovaly v počítači v programu ImageJ 1.47v (viz. kap. 4.6.), kde se ručním měřením zjišťovala výška řezu (v), šířka řezu ($š$), plocha řezu ($Ř$) a plocha středního válce (SV) jehlic (Obr. 3 a 4). Pro stanovení celkové délky (d) a projekční plochy jehlic (J) (Obr. 5) se jednotlivé skupiny jehlic s měřítkem pomocí scanneru naskenovaly a poté obdobným způsobem zpracovaly v programu ImageJ 1.47v (viz. kap. 4.6.). Sušení jehlic probíhalo v sušičce po dobu 48 hodin při teplotě 85 °C.



Obr. 3 Měření výšky a šířky jehlic

Obr. 4 Měření plochy Ř a plochy SV



Obr. 5 Měření délky a projekční plochy jehlic

4.6. Měření v programu ImageJ 1.47v

Rozměry, které se určovaly z mikroskopického preparátu příčného řezu jehlic, byly stanoveny ručně za pomoci přímek a polygonů. Výška a šířka jehlic se měřila přímkou jako největší vzdálenost mezi dvěma krajními body příčného řezu jehlice za předpokladu, že obě měrné přímky budou na sebe kolmé. Opsáním polygonu a stanovením jeho plochy byla zjištěna plocha příčného řezu a plocha středního válce jehlic. Ke zjištění délky a projekční plochy jehlic byl v toto programu využit nástroj Analyze particles.

4.7. Vyhodnocení pomoci statistických analýz

K vyhodnocení a prezentaci naměřených výsledků byly vybrány dvě hlavní statistické metody a to: zjištění základních statistických veličin a dvoufaktorová ANOVA. Obě tyto analýzy se zhotovovaly v programu Statistica 12.

4.7.1. Základní statistické veličiny

Z těchto veličin se jednalo zejména o charakteristiky polohy reprezentované průměrem a mediánem, dále o charakteristiky variability zastoupené směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem, a o charakteristiky tvaru jako je šikmost a špičatost (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012). Tyto statistické charakteristiky informují jednak o poloze souboru v určité množině hodnot a zároveň nám sdělují, jak jsou jednotlivé hodnoty rozptýleny v souboru, tzn. jak se liší navzájem, či jak se odchyľují od střední hodnoty (Drápela, 2012).

4.7.2. Analýza rozptylu ANOVA

Označení ANOVA pochází z anglického názvu ANalysis Of Variance (Drápela, 2012). Jde o statistický test, který testuje nulovou hypotézu o shodě středních hodnot pro více souborů (3 a více) proti hypotéze alternativní (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012). Myšlenkou tohoto testu je postihnout vliv jednotlivých úrovní faktoru (v našem případě se jedná o nadmořskou výšku a expozici) na konkrétní měřenou veličinu (výška jehlice, plocha příčného řezu jehlice atd.). Vychází tedy z předpokladu, že pokud zkoumané faktory nemají na určitou měřenou veličinu žádný vliv, pak se jejich působení neprojeví na statistických charakteristikách dané veličiny (Drápela, 2012). Kdyby ovšem vliv faktoru byl významný, projeví se to především na míře variability (rozptyl) a aritmetickém průměru (Drápela, 2012). Odlišnost rozptylu a aritmetického průměru se poté považuje za míru intenzity působení těchto faktorů (Drápela, 2012).

Analýza ANOVA má značné množství variant (Drápela, 2012). Jelikož budou srovnávány dva rozdílné faktory (expozice a nadmořská výška) bude na rozdíl od bakalářské práce pro vyhodnocení výsledku použita dvoufaktorová ANOVA (Drápela, 2012). Stejně jako ANOVA jednofaktorová i dvoufaktorová ANOVA porovnává nulovou a alternativní hypotézu (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012). Na rozdíl od ní však testuje více nulových hypotéz (H_0), které dle Drápely (2012) zní:

1. Vliv faktoru A (expozice) je nevýznamný
2. Vliv faktoru B (nadmořská výška) je nevýznamný
3. Vliv interakce T je nevýznamný

Je-li vliv interakce nulový, znamená to, že rozdíl v průměrech mezi jednotlivými úrovněmi faktoru A je konstantní a není nikterak ovlivněn hladinami faktoru B (Drápela, 2012). Na druhou stranu pokud je interakce přítomna, pak jednotlivé úrovně jednoho faktoru ovlivňují hodnoty úrovní faktoru druhého (Drápela, 2012). Vzhledem k nevyváženosti dat v jednotlivých souborech byla pro tuto práci zvolena dvoufaktorová ANOVA s opakováním a nevyváženým model (Drápela, 2012).

Při závěrečné analýze mohou tedy zákonitě nastat dvě situace. Buď nulová hypotéza platí, v tomto případě výpočet končí, protože nebyl prokázán rozdíl středních hodnot jednotlivých souborů (Drápela, 2012). Nebo je nulová hypotézu zamítnuta a dál se pokračuje testy mnohonásobného porovnávání (tzv. Post-hoc metody), které identifikují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými dvojicemi (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012).

Testy mnohonásobného porovnávání srovnávají vzájemné rozdíly mezi skupinovými průměry a zároveň posuzují jejich významnost (Drápela, 2012). Metod mnohonásobného porovnávání je celá řada. Mezi nejznámější patří například metoda Tukeyho, Sheffeho, Duncana aj. (Budíková, Králová, Maroš, 2010). Mají ovšem obecně nižší sílu testu než samotná ANOVA, může tedy někdy nastat situace, kdy ANOVA zamítne hypotézu H_0 , přičemž testy mnohonásobného porovnávání nedetekují žádný významný rozdíl (platí především u testů s nižší silou) (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012). Vzhledem k vyváženému třídění a vhodnosti síly byla vybrána *Tukeyho metoda* (Budíková, Králová, Maroš, 2010; Drápela, 2012).

Tukeyho metoda mnohonásobného porovnávání testuje (Drápela, 2012):

- Nulovou hypotézu, která tvrdí že střední hodnoty dvou skupin se rovnají ($H_0: \mu_A = \mu_B$)
- Alternativní hypotézu, která říká opak ($H_1: \mu_A \neq \mu_B$)

Testové kritérium o tvaru:

$$q = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{SE}$$

kde SE je střední chyba, tj. směrodatná odchylka rozdílů průměrů skupin A a B, se porovnává s kritickou hodnotou $q_{\alpha; N-k; k}$ ($N-k$ udává počet stupňů volnosti). Pokud je testové kritérium q menší než kritická hodnota, pak je nulová hypotéza o shodě středních hodnot dvou porovnávaných skupin přijata.

Program Statistica 12, pomocí kterého se Tukeyho test počítal, porovnává hladinu významnosti α o zvolené hodnotě 0,05 s p-hodnotu (tj. nejmenší možnou hodnotu α , kdy ještě můžeme zamítnout nulovou hypotézu) daných souborů (Drápela, 2012). Vyhodnocení je poté obdobné jako v předcházejícím případě, tzn. pokud je p-hodnota menší než α , nulová hypotéza je zamítnuta.

4.7.3. Regresní analýza

Regresní analýza byla zpracována za účelem určení regresní rovnice z vytvořených trojrozměrných grafů (dále jen 3D graf) jako nedílnou součást pro následnou modelaci predikčních map. Tato analýza je založena na principu nalezení vhodného lineárního či jiného modelu, který nahrazuje měřené hodnoty závislé proměnné (vysvětlované) hodnotou nezávislou (vysvětlující) (Drápela, 2012). Jelikož nezávislých proměnných bylo více než jedna (solární radiace a nadmořská výška), bylo pro sestavení grafů zapotřebí použít mnohonásobný regresní model (Drápela, 2012). Závislou proměnou pak tvořily jednotlivé zvolené rozměry jehlic. Na základě posouzení vývojového trendu měřených veličin byl jako nejreprezentovanější model vybrán model kvadratický.

Nedílnou součástí regresní rovnice je koeficient determinace (R^2), který vyjadřuje jaká část variability závislé proměnné je vyjádřena daným modelem (Budíková, Králová, Maroš, 2010). Anatomické a morfologické rozměry jehlic pro modelaci predikčních map a 3D grafů se vybíraly právě podle toho koeficientu, kdy se braly v potaz ty rozměry jehlic, které měly koeficient determinace větší rovno jak 0,5 (tzn. že 50 % měřených hodnot je vyjádřeno vybraným modelem (Drápela, 2012). Výpočet koeficientu determinace byl proveden dle metodiky Drápely (2010).

4.8. Tvorba predikčních map

Predikční mapy se zpracovávaly v programu ArcGIS 10.2. Pokladem pro jejich tvorbu bylo získání digitální výškopisné mapy od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a vypočítání regresní rovnice s pozdější modelací 3D grafů v programu Statistica 12 pro dané rozměry jehlic. Z výškopisu se následně nástrojem Topo to Raster vyhotovil digitální model terénu. Z tohoto rastru byl za pomoci nástroje Solar Radiation zhotoven další rastr, který zobrazoval hodnoty potenciální sumy ročního oslunění jednotlivých míst. Poté byly vytvořeny jednotlivé predikční mapy za použití nástroje Raster Calculator s vloženými regresními rovnicemi. Z automaticky dosazených hodnot nadmořské výšky a solární radiace jednotlivých buněk rastru do regresní rovnice určil program hodnoty buněk cílového rastru. V závěrečné fázi se do mapy vložila vrstva objektů, jako vodní toky či komunikace, a doplnila se legenda, severka a měřítko.

5. Výsledky

5.1. Průměrné hodnoty rozměrů jehlic

Níže uvedené tabulky zobrazují průměrné hodnoty a střední chybu měřených rozměrů jehlic na dotčených expozicích. Údaje v tabulkách jsou seřazeny vždy vzestupně dle nadmořské výšky. Tab. 2 a 3 udává průměrné hodnoty rozměrů příčného řezu, zatím co Tab. 4 a 5 zobrazuje průměrné hodnoty délky jehlice a projekční plochy jehlice. Nejvyšší průměrná délka jehlice byla zjištěna na lokalitě S 1 000 a nejnižší na lokalitě S 1 300 (Tab. 4 a 5). U lokalit J 1 100 byla změřena největší průměrná projekční plocha jehlice (Tab. 4 a 5).

Tab. 2 Průměrné hodnoty anatomicko-morfologických rozměrů příčného řezu jehlic lokalit se severní expozicí

Lokalita	Výška [μm]	Šířka [μm]	Plocha Ř [μm ²]	Plocha SV [μm ²]
S 700	991,25 ±11,5	898,98 ±12,85	589 032,94 ±11 091,95	44 127,01 ±1 028,68
S 900	1 077,64 ±14,8	1 124,35 ±30,52	794 956,5 ±27 828,15	72 668,19 ±3 882,34
S 1 000	1 084,55 ±13,64	1 009,59 ±21,64	717 194,7 ±19 966,78	54 900,48 ±1 847,28
S 1 100	1 105,44 ±9,99	1 103,57 ±8,56	790 048,44 ±8 404,52	65 130,17 ±1 072,68
S 1 200	1 044,32 ±11,97	1 108,86 ±11,93	754 796,6 ±15 342,14	65 338,51 ±1 313,22
S 1 300	1 052,04 ±11,45	1 075,54 ±15,69	728 508,53 ±14 433,11	62 300,48 ±1 315,08

Tab. 3 Průměrné hodnoty anatomicko-morfologických rozměrů příčného řezu jehlic lokalit s jižní expozicí

Lokalita	Výška [μm]	Šířka [μm]	Plocha Ř [μm ²]	Plocha SV [μm ²]
J 700	935,15 ±11,46	838,29 ±13,69	518 293,04 ±11 710,62	38 055,95 ±938,78
J 900	1 092,19 ±15,19	989,99 ±25,95	702 721,88 ±20 175,18	55 357,54 ±2 193,45
J 1 000	1 007,02 ±10,5	1 065,88 ±18,84	698 828,39 ±16 565,71	57 871,94 ±1 973,65
J 1 100	1 112,93 ±12,47	1 240,96 ±19,75	884 915,49 ±19 457,26	83 612,57 ±2 760,31
J 1 200	1 080,81 ±10,56	1 124,22 ±8,93	777 473,42 ±9 318,54	70 998,62 ±1 389,79
J 1 300	1 013,88 ±11,94	1 033,04 ±19,13	690 438,05 ±18 469,94	56 986,95 ±1 432,84

Tab. 4 Průměrné hodnoty délky a projekční plochy (J) jehlic lokalit se severní expozicí

Lokalita	Délka [mm]	Plocha J [mm ²]
S 700	14,74 ±0,17	16,75 ±0,27
S 900	15,91 ±0,3	18,56 ±0,69
S 1 000	16,95 ±0,35	19,94 ±0,51
S 1 100	13,44 ±0,18	15,75 ±0,31
S 1 200	13,61 ±0,39	15,86 ±0,57
S 1 300	12,07 ±0,14	12,96 ±0,24

Tab. 5 Průměrné hodnoty délky a projekční plochy (J) jehlic lokalit s jižní expozicí

Lokalita	Délka [mm]	Plocha J [mm ²]
J 700	14,49 ±0,19	15,55 ±0,31
J 900	16,36 ±0,33	19,90 ±0,69
J 1 000	14,58 ±0,22	14,88 ±0,34
J 1 100	16,01 ±0,44	20,56 ±0,74
J 1 200	13,36 ±0,18	15,12 ±0,31
J 1 300	12,14 ±0,22	12,59 ±0,34

5.1.1. Hmotnost vysušených jehlic

Jehlice na lokalitě J 1 100 měly největší množství sušiny, naopak nejlehčí jehlice byly zvaženy na lokalitě J 1 300 (Tab. 6).

Tab. 6 Váha jehlic ve vysušeném stavu

Lokalita	Váha sušiny [mg]
S 900	295
S 1 000	278
S 1 200	249
J 900	237
J 1 100	336
J 1 300	170

5.2. Hodnoty solární radiace

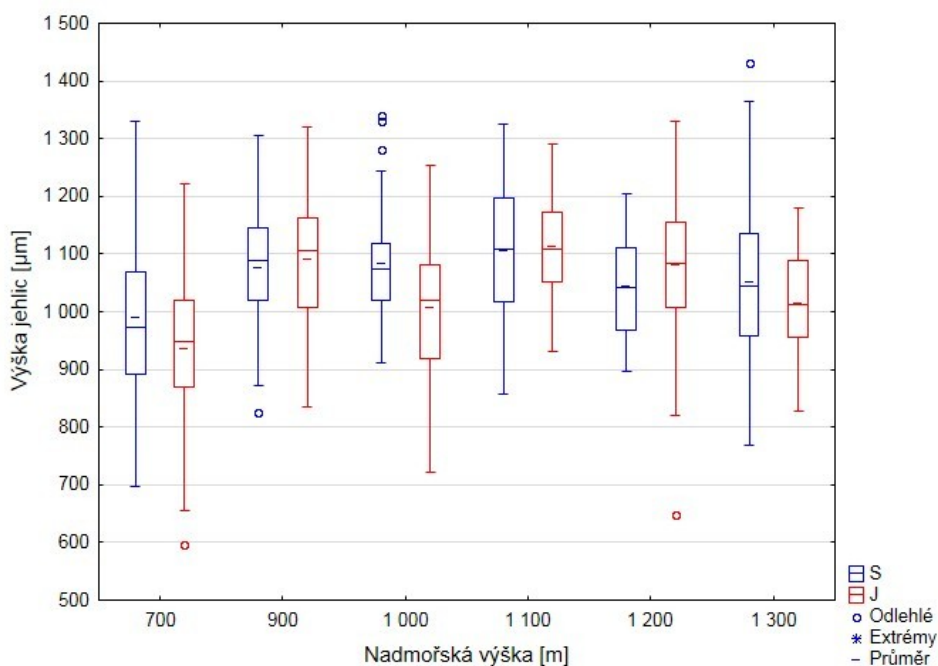
Lokality s jižní expozicí měly v souhrnu vyšší hodnotu solární radiace než lokality na severních svazích (Tab. 7). Vůbec největší vypočítaná hodnota solární radiace byla zjištěna na lokalitě J 1 100 a nejnižší na lokalitě S 1 000 (Tab. 7).

Tab. 7 Vypočítané hodnoty solární radiace na jednotlivých lokalitách

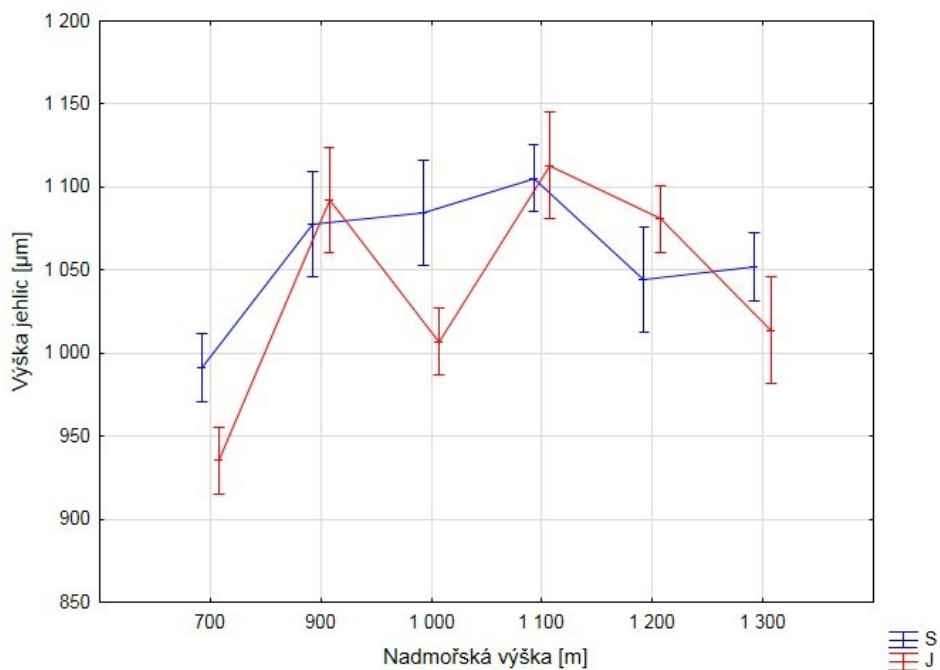
Nad. výška [m]	Solární radiace [W/m ²]	
	sever	jih
700	1 132 510	1 242 380
900	1 125 591	1 345 443
1 000	996 781	1 416 800
1 100	1 227 540	1 377 617
1 200	996 896	1 381 030
1 300	1 014 770	1 373 327

5.3. Výška jehlice

Výška jehlic na severní expozici se zvětšuje do nadmořské výšky 1 100 m n. m. průměrně o 28,5 μm na 100 m, k horní hranici lesa (do 1 300 m n. m.) však klesá průměrně o 26,5 μm na 100 m (Obr. 6 a 7). Podobně se výška jehlice měnila i na jižní expozici (Obr. 7). Na rozdíl od severní expozice je zde však viditelný výrazný pokles dat ve výšce 1 000 m n. m. (Obr. 7). Lokality na severní a jižní expozici ve stejné nadmořské výšce se významně lišily v 700 a 1 000 m n. m. (Tab. 8). V obou případech byla výška jehlice na severní expozici větší než na jižní expozici (Obr. 7). Nejvyšší průměrné hodnoty výšky jehlice bylo dosaženo na lokalitě J 1 100 (Obr. 7). Výška jehlic na severní expozice se pohybovala v rozmezí od 991 do 1052 μm a na jižní expozici v rozmezí od 935 do 1 013 μm (Tab. 2 a 3). Porovnáme-li rozvržení dat v jednotlivých souborech dojdeme k následujícím výsledkům: u lokalit J 700, S 900, S 1 000, J 1 200 a S 1 300 byl zjištěn výskyt odlehlých dat (Obr. 6, příloha 1 a 2), nejvyšší variability souboru dosahuje lokalita S 700 (12,97 %) a u lokality S 1 000 lze očekávat nesouměrné (pravostranné) rozdělení dat (příloha 1 a 2).



Obr. 6 Krabicový graf výšky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



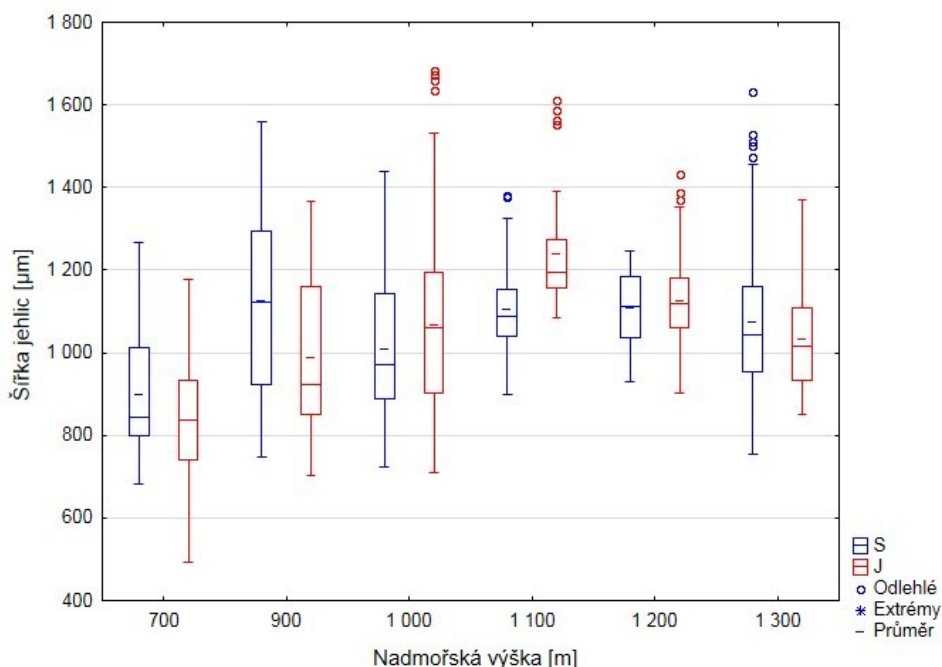
Obr. 7 Graf analýzy rozptylu výšky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

Tab. 8 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro výšku jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny staticky významné rozdíly mezi lokalitami.

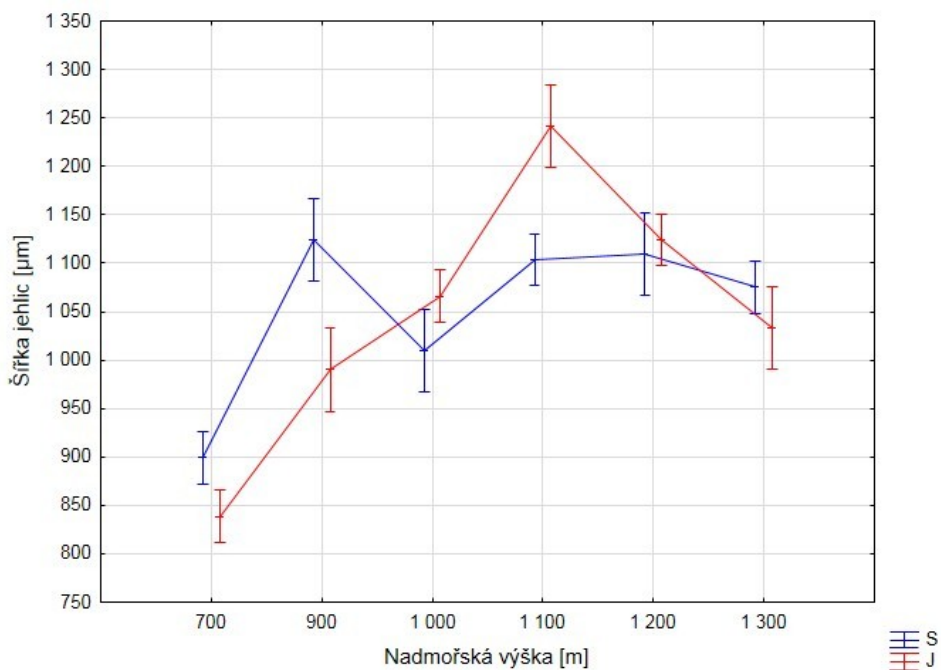
Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
J 900	0,000	1,000	1,000	1,000	0,637	0,633
J 1 000	0,995	0,013	0,003	0,000	0,736	0,084
J 1 100	0,000	0,931	0,986	1,000	0,114	0,069
J 1 200	0,000	1,000	1,000	0,872	0,762	0,709
J 1 300	0,991	0,192	0,089	0,000	0,976	0,706

5.4. Šířka jehlic

Z Obr. 9 je patrné, že vývoj hodnot šířky jehlic na jižním svahu je diametrálně odlišný oproti svahu severnímu. U lokalit s jižní expozicí se šířka jehlic zvětšuje v průměru o 100 μm na 100 m do výšky 1 100 m n. m. (zde dosahuje svého maxima) a od této hranice poté klesá v průměru o 79 μm na 100 m. Na severních svazích šířka roste pouze do nadmořské výšky 900 m n. m. (maximum) a dále vykazuje neměnný charakter (Obr. 9). Celkově nejširší jehlice byly zaznamenány u lokality J 1 100. Šířkový interval na severních svazích (899–1124 μm) má menší rozpětí než interval na jižní expozici (838–1241 μm) (Tab. 2 a 3). Do výšky 900 m n. m. jsou však jehlice na severní expozici oproti jižní širší (Obr. 9). Mírný propad dat ve vývojovém trendu lze pozorovat u lokality S 1 000. Variabilita jednotlivých souborů není nikterak velká, řádově nepřekračuje 20 % (příloha 1 a 2). Výskyt odlehlých dat je pozorovatelný u lokalit s vyšší nadmořskou výškou, extrémní hodnoty se neobjevují u žádného souboru (Obr. 8). Téměř souměrného rozdělení dat dosahuje lokalita J 700. Lokalita J 1 100 se statisticky významně odlišuje od všech ostatních zkoumaných lokalit (příloha 4). Statisticky významný rozdíl u lokalit ve stejné nadmořské výšce byl na obou expozicích zaznamenán v 900 a 1 100 m (Tab. 9).



Obr. 8 Krabicový graf šířky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



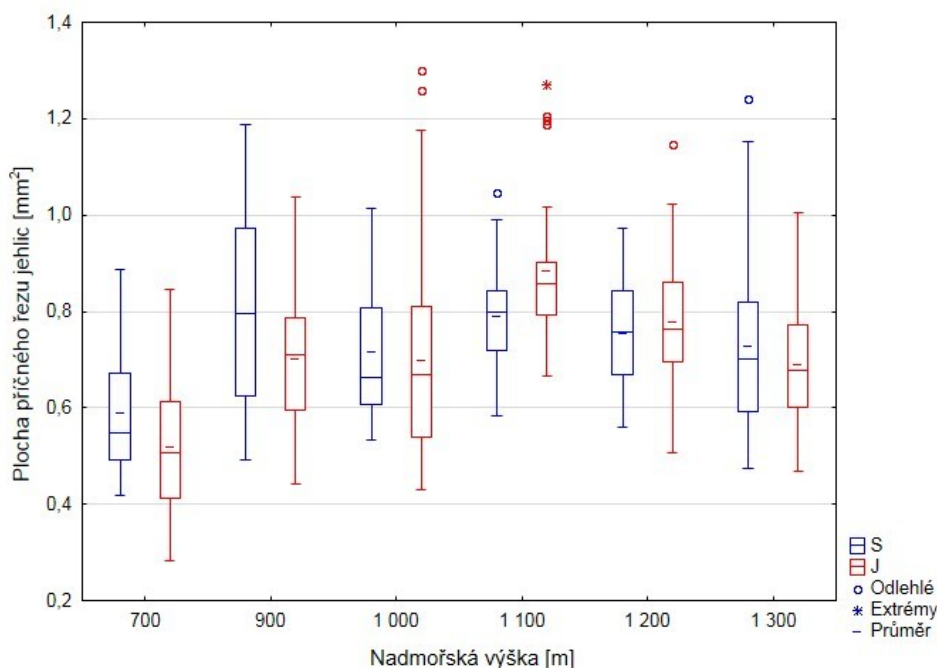
Obr. 9 Graf analýzy rozptylu šířky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

Tab. 9 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro šířku jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny staticky významné rozdíly mezi lokalitami.

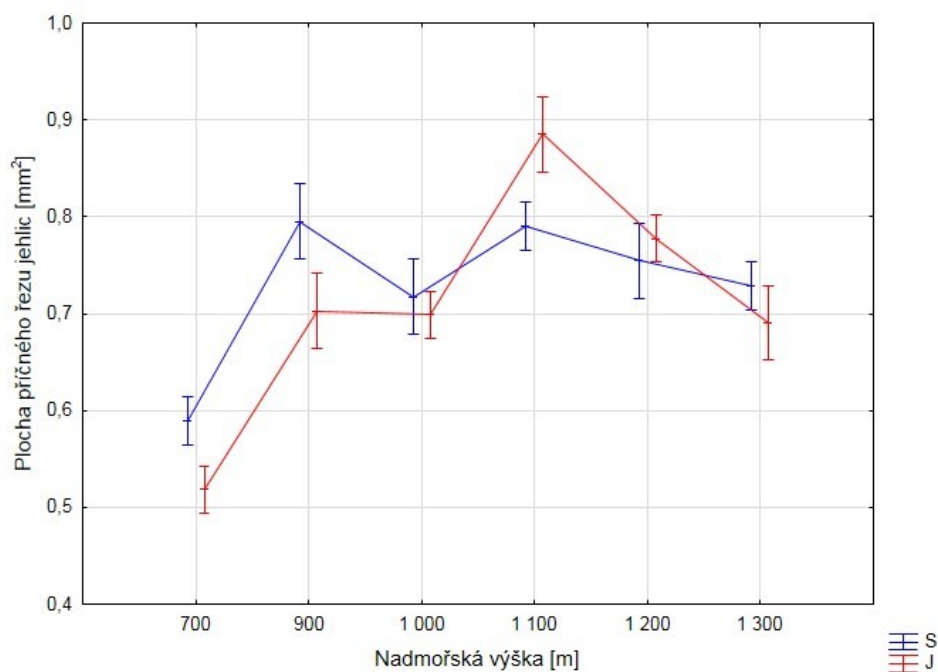
Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
J 900	0,021	0,001	1,000	0,001	0,006	0,042
J 1 000	0,000	0,496	0,558	0,735	0,882	1,000
J 1 100	0,000	0,008	0,000	0,000	0,001	0,000
J 1 200	0,000	1,000	0,001	0,996	1,000	0,337
J 1 300	0,000	0,117	1,000	0,206	0,361	0,889

5.5. Plocha příčného řezu jehlic

Vývoj hodnot plochy příčného řezu jehlic je velice podobný vývoji šířky jehlic (Obr. 9 a 11). U jižní expozice můžeme tedy pozorovat postupný vzestup dat až do dosažení maximální hodnoty v 1 100 m n. m. (v průměru o 91 600 μm^2 na 100 m) a poté následný pokles v průměru o 97 200 μm^2 na 100 m výšky až po horní hranici lesa (Obr. 11). Na severním svahu roste plocha příčného řezu do výšky 900 m n. m. a od této hranice se nikterak významně neliší (Obr. 11 a příloha č. 5). Plocha Ř se na jižní expozici pohybuje v rozmezí 518 293–884 915 μm^2 , na severní od 589 033 do 794 957 μm^2 . Na rozdíl od dvou předcházejících zkoumaných rozměrů jehlic je variabilita dat v jednotlivých souborech nepatrně vyšší (příloha č. 1 a 2). U lokality J 1 100 si můžeme všimnout výskytu odlehlých i extrémních dat (Obr. 10). Lokalita S 1 100 vykazuje data normálně zahroceného souboru (koeficient špičatosti je roven 0) (příloha 2). Nejnižší průměrná hodnota byla zjištěna na lokalitě J 700, tato lokalita se rovněž statisticky významně odlišuje od všech zbývajících lokalit (Obr. 11 a příloha 5). Severní a jižní lokality s maximálními průměrnými hodnotami plochy příčného řezu jehlic (S 900 a J 1 100) se od sebe statisticky významně neliší (příloha č. 5). Výrazné statistické rozdíly u ploch ve stejných nadmořských výškách na obou expozicích lze pozorovat v 700, 900 a 1 100 m.



Obr. 10 Krabicový graf plochy příčného řezu jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



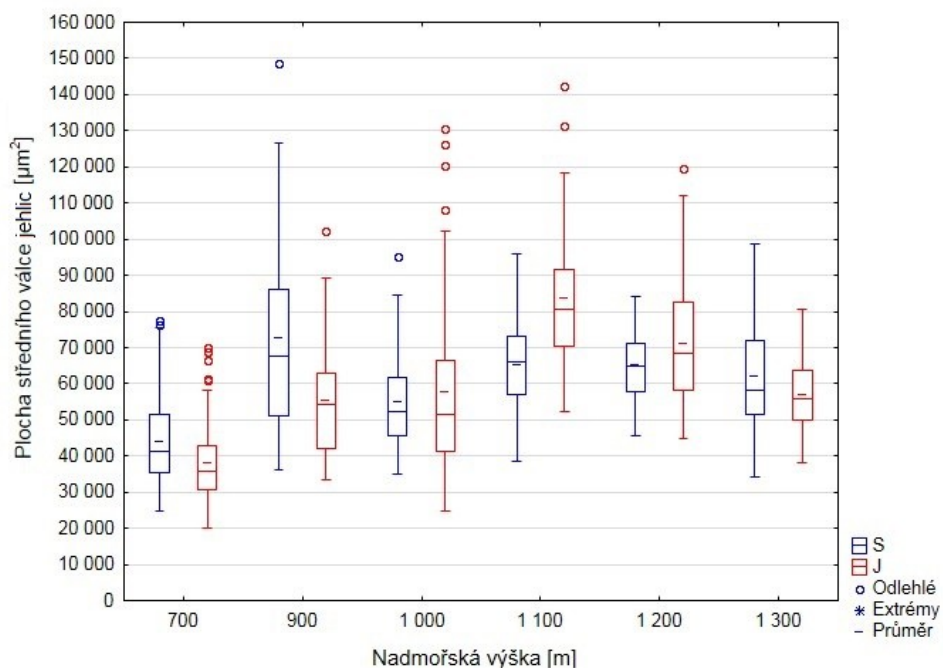
Obr. 11 Graf analýzy rozptylu plochy příčného řezu jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

Tab. 10 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu příčného řezu jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny staticky významné rozdíly mezi lokalitami.

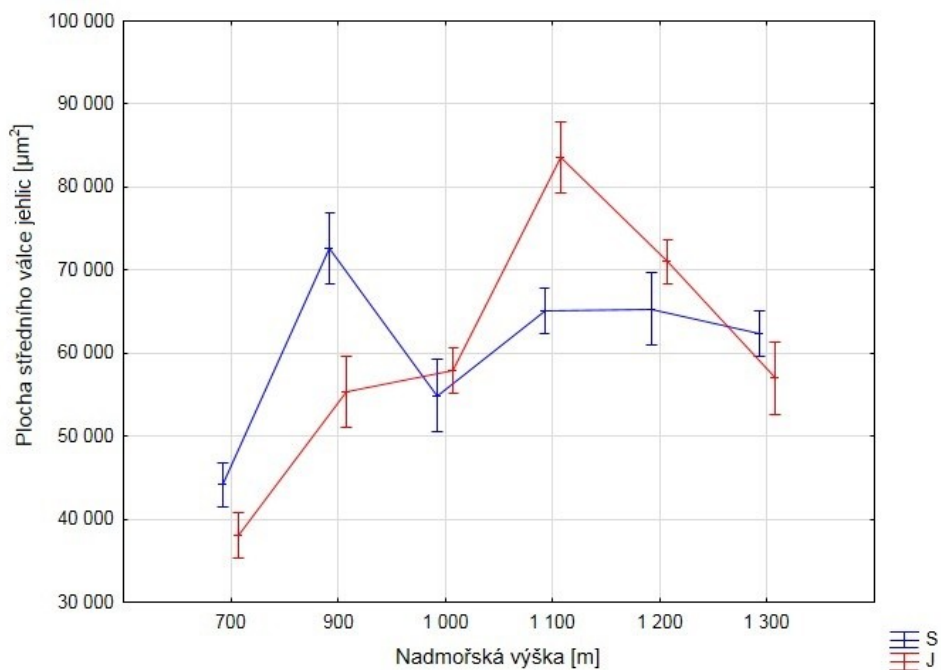
Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
J 900	0,000	0,046	1,000	0,010	0,783	0,995
J 1 000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,411	0,878
J 1 100	0,000	0,058	0,000	0,003	0,000	0,000
J 1 200	0,000	1,000	0,293	1,000	0,998	0,193
J 1 300	0,001	0,010	0,998	0,001	0,475	0,899

5.6. Plocha středního válce jehlic

Z Obr. 12 je patrný výskyt odlehlých dat u většiny zkoumaných souborů. Co se týče rozdělení dat ve zkoumaných souborech dominuje spíše levostranné rozdělení (příloha 1 a 2). U lokality J 1 000 pozorujeme největší variabilitu dat v souboru ze všech analyzovaných rozměrů jehlic (příloha 1 a 2). Průběh hodnot na jižní expozici je opět srovnatelný s předchozími rozměry. Plocha středního válce roste až do svého maxima v 1 100 m n. m. (průměrně o 11 389 μm^2 na 100 m) a poté vesměs lineárně klesá o přibližně 13 000 μm^2 na 100 m (Obr. 13). Na severním svahu se plocha středního válce zvětšuje pouze do výšky 900 m n. m. a dále až k horní hranici lesa vykazuje neměnný charakter (Obr. 13). U lokality S 1 000 však opět pozorujeme výrazný pokles hodnot měřené veličiny. Jižní expozice postihuje větší interval plochy SV (38 056–83 613 μm^2) než expozice severní (44 127–72 668 μm^2) (Tab. 2 a 3). Tukeyho test detekoval statisticky významný rozdíl mezi lokalitami ve stejných nadmořských výškách na obou expozicích v 900 a 1 100 m (Tab. 11). Lokalita s maximální průměrnou hodnotou plochy SV (J 1 100) se významně liší od všech ostatních lokalit (příloha č. 6).



Obr. 12 Krabicový graf plochy středního válce jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



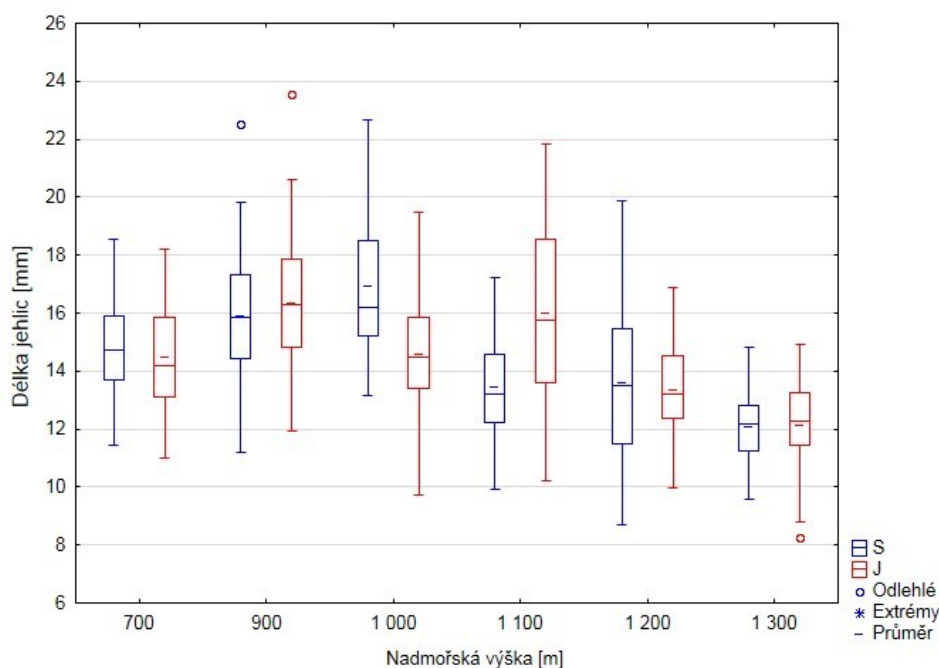
Obr. 13 Graf analýzy rozptylu plochy středního válce jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

Tab. 11 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu středního válce jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny staticky významné rozdíly mezi lokalitami.

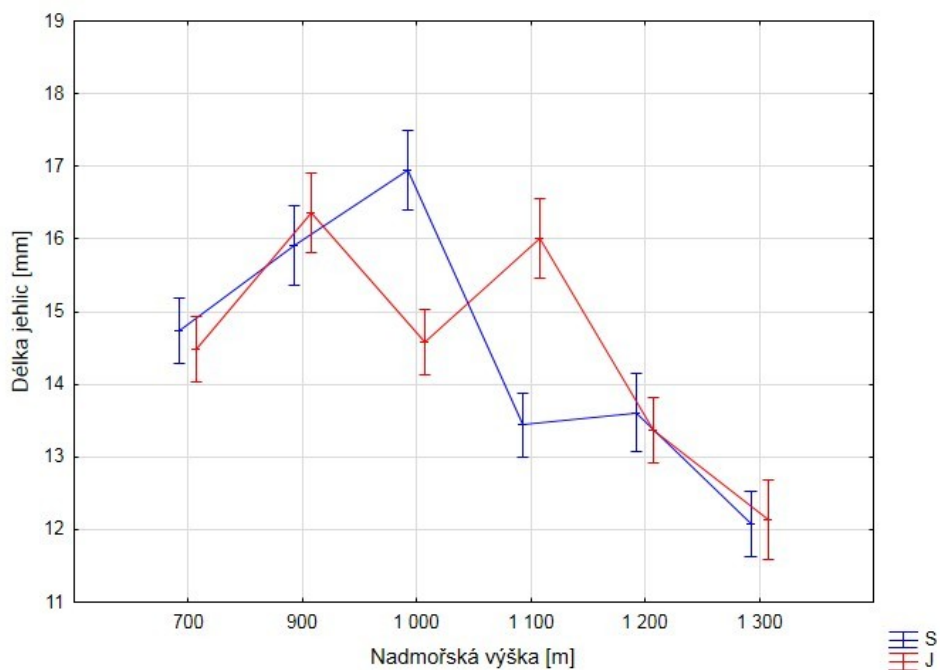
Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
J 900	0,001	0,000	1,000	0,009	0,059	0,241
J 1 000	0,000	0,000	0,993	0,012	0,151	0,511
J 1 100	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
J 1 200	0,000	1,000	0,000	0,113	0,567	0,001
J 1 300	0,000	0,000	1,000	0,075	0,233	0,664

5.7. Délka jehlic

Vývoj délky jehlic v závislosti na nadmořské výšce je značně odlišný od trendu anatomických rozměrů příčného řezu jehlic. Délka jehlic na severním svahu roste průměrně o 0,74 mm na 100 m do výšky 1 000 m n. m., kde má těsně pod hranicí 17 mm své maximum, a následně strmě klesá průměrně o 1,63 mm na 100 m až ke svému minimu nacházející se na lokalitě S 1 300 (Obr. 15). Pomineme-li rapidní pokles dat na lokalitě J 1 000, je průběh hodnot na jižní expozici téměř autentický (Obr. 15). U jižní expozice byl zjištěn menší délkový interval (12,14–16,01 mm) než na severní expozici (12,07–16,95 mm). Rozvržení dat v jednotlivých souborech je celkem pravidelné, nevyskytují se žádné extrémní hodnoty, odlehlá data můžeme pozorovat pouze u lokalit S 900, J 900 a J 1 300 (Obr. 14). Zvýšenou variabilitu souboru vykazuje jen lokalita S 1 200 (příloha 1 a 2). Dle Tukeyho testu se lokality s nejkratšími jehlicemi (S 1 300 a J 1 300) statisticky významně odlišují od všech ostatních lokalit vyjma vzájemné interakce (příloha č. 7). Značné rozdíly u ploch ve stejných nadmořských výškách na obou expozicích lze pozorovat v 1 000 a 1 100 m (Tab. 12).



Obr. 14 Krabicový graf délky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



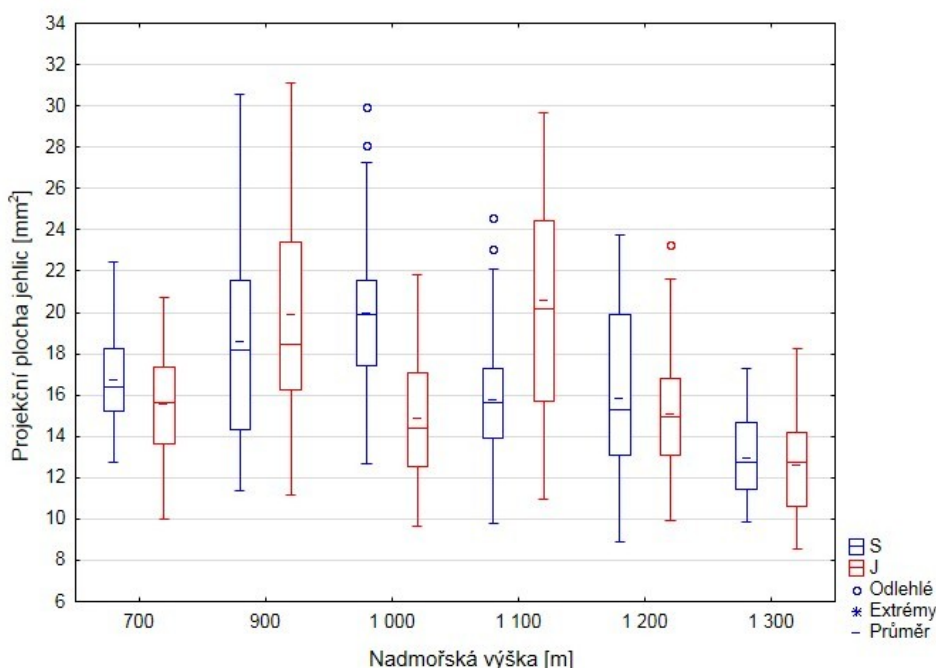
Obr. 15 Graf analýzy rozptylu délky jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

Tab. 12 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro délku jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny staticky významné rozdíly mezi lokalitami.

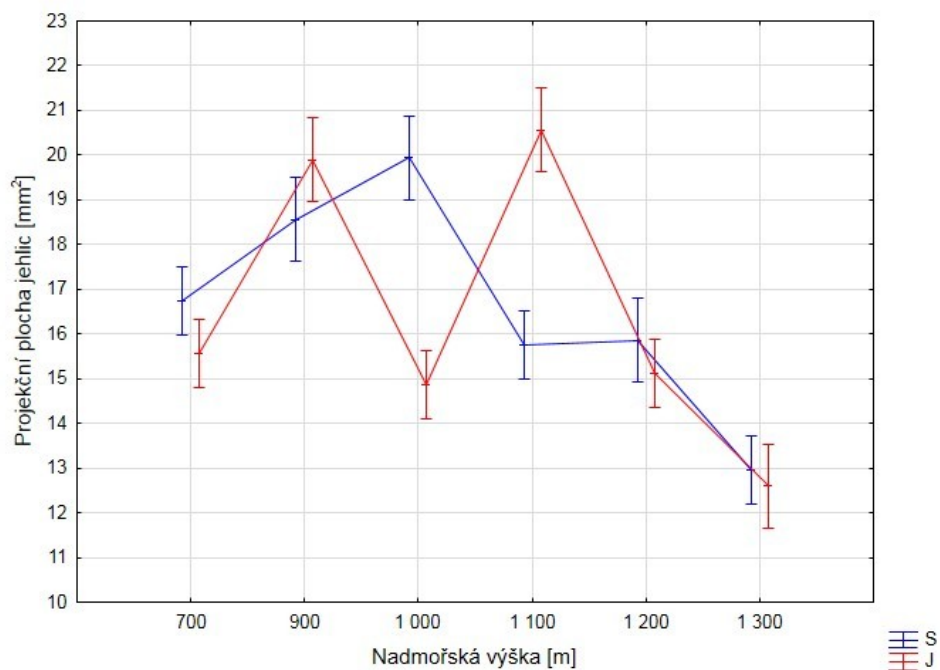
Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	1,000	0,004	0,000	0,050	0,377	0,000
J 900	0,000	0,993	0,938	0,000	0,000	0,000
J 1 000	1,000	0,011	0,000	0,019	0,223	0,000
J 1 100	0,019	1,000	0,410	0,000	0,000	0,000
J 1 200	0,001	0,000	0,000	1,000	1,000	0,003
J 1 300	0,000	0,000	0,000	0,014	0,009	1,000

5.8. Projekční plocha jehlic

Největší průměrné hodnoty projekční plochy jehlic bylo dosaženo na lokalitě J 1 100 (Obr. 16 a 17). Výskyt odlehlých dat byl zaznamenán pouze u lokalit S 1 000, S 1 100 a J 1 200 (Obr. 16). Extrémy nebyly detekovány vůbec (Obr. 16). Vývojový trend projekční plochy jehlic v závislosti na nadmořské výšce kopíruje vývojový trend délky jehlic. Na severní expozici roste projekční plocha jehlic v průměru o 1,06 mm² na 100 m a od této hranice průměrně o 2,33 mm² na 100 m následně klesá až k horní hranici lesa (Obr. 17). Vyjma propadu dat u lokality J 1 000 je průběh hodnot na jižním svahu téměř totožný (Obr. 17). Největší projekční plocha jehlic byla zjištěna na jižní expozici ve výšce 1 100 m n. m. (Tab. 2 a 3). Nejmenší průměrnou hodnotu daného rozměru jehlic naměříme na nejvýše položených lokalitách zájmového území (S 1 300 a J 1 300) (Obr. 17). Jižní expozici dosahuje hodnot projekční plochy jehlic v rozmezí od 12,59 do 20,56 mm² a severní od 12,96–19,94 mm². Severní a jižní lokality ve stejných nadmořských výškách se od sebe statisticky významně neliší, kromě vzájemné interakce lokality S 1 000 s J 1 000 a S 1 100 s J 1 100 (Tab. 13).



Obr. 16 Krabicový graf projekční plochy jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah



Obr. 17 Graf analýzy rozptylu projekční plochy jehlic v závislosti na nadmořské výšce pro severní a jižní svah

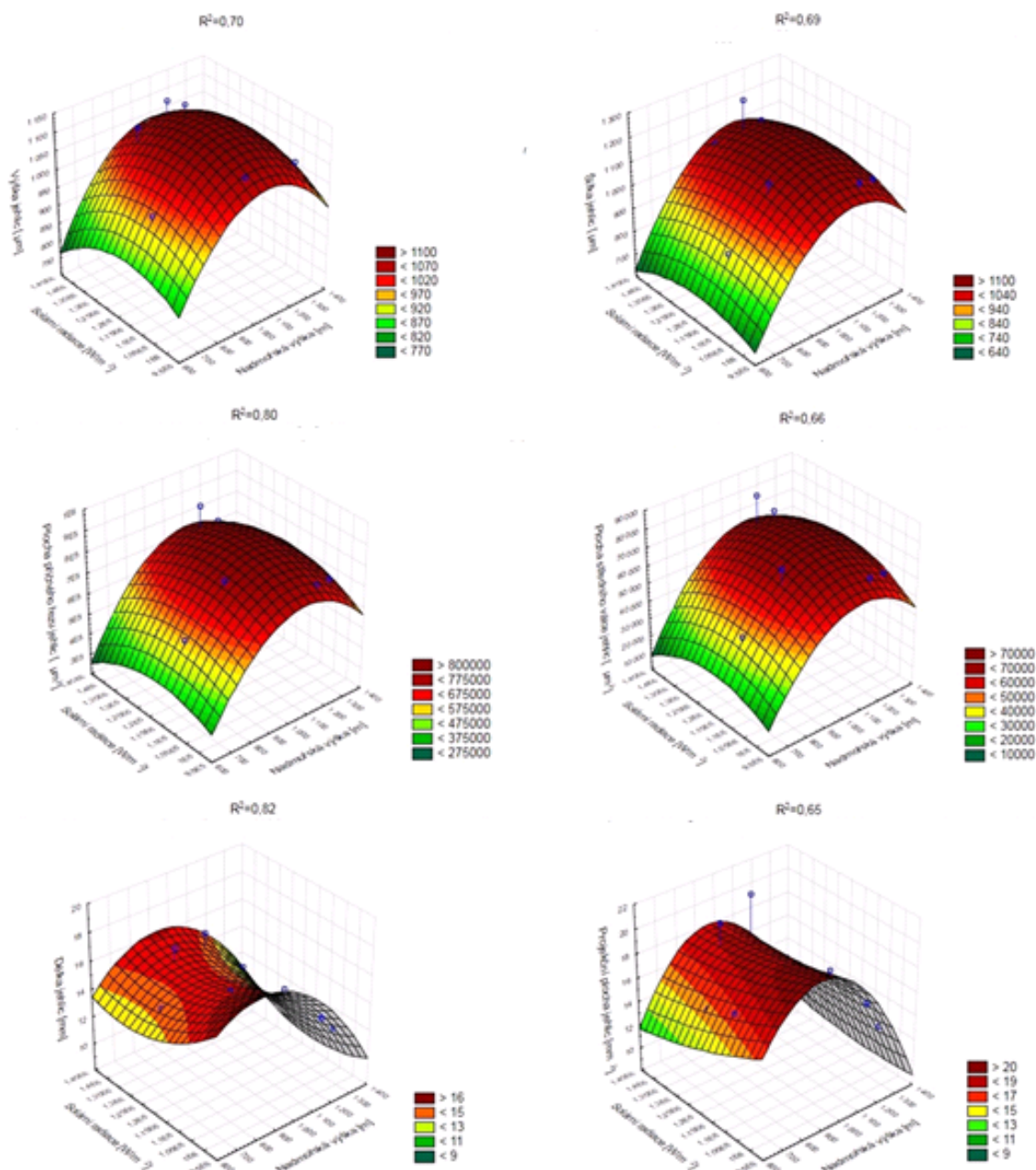
Tab. 13 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro projekční plochu jehlic – srovnání severní a jižní expozice. Červeně jsou vyznačeny statisticky významné rozdíly mezi lokalitami.

Lok.	S 700	S 900	S 1 000	S 1 100	S 1 200	S 1 300
J 700	0,561	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000
J 900	0,000	0,700	1,000	0,000	0,000	0,000
J 1 000	0,031	0,000	0,000	0,914	0,911	0,024
J 1 100	0,000	0,114	0,999	0,000	0,000	0,000
J 1 200	0,114	0,000	0,000	0,992	0,989	0,005
J 1 300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000

5.9. Trojrozměrné grafy

Následující 3D grafy zobrazují závislost vybraných měřených rozměrů jehlic na dvou vzájemně působících faktorech – nadmořské výšce a hodnot solární radiace vypočítané pro jednotlivé lokality. V horní části grafu je uveden koeficient determinace (R^2). Regresní rovnice modelu daných rozměrů jehlic jsou pro přehlednost zobrazeny v tabulce 14.

Nejvyšší koeficienty determinace byly vypočítány pro délku jehlic (82 %) a plochu příčného řezu jehlice (80 %) (Obr. 18). Nejnížší byly naopak zjištěny u projekční plochy jehlic (65 %) a plochy středního válce (66 %) (Obr. 18). Z 3D grafů jsou zřejmé dva trendy: (1) s rostoucí hodnotou solární radiace a nadmořské výšky dochází nejdříve u výšky jehlice, šířky jehlice, plochy příčného řezu jehlice a plochy středního válce k nárůstu hodnot a od určitého bodu již zvyšování radiace a nadmořské výšky vede k poklesu sledovaných parametrů jehlic; (2) s rostoucí nadmořskou výškou se do určitého bodu zvětšuje délka a projekční plocha jehlice, ale oproti první trendu rostoucí solární radiace a nadmořská výška vede od této hranice k snížení hodnot sledovaných parametrů až na minimální hodnoty (Obr. 18).



Obr. 18 3D grafy anatomicko-morfologických rozměrů jehlic smrku ztepilého

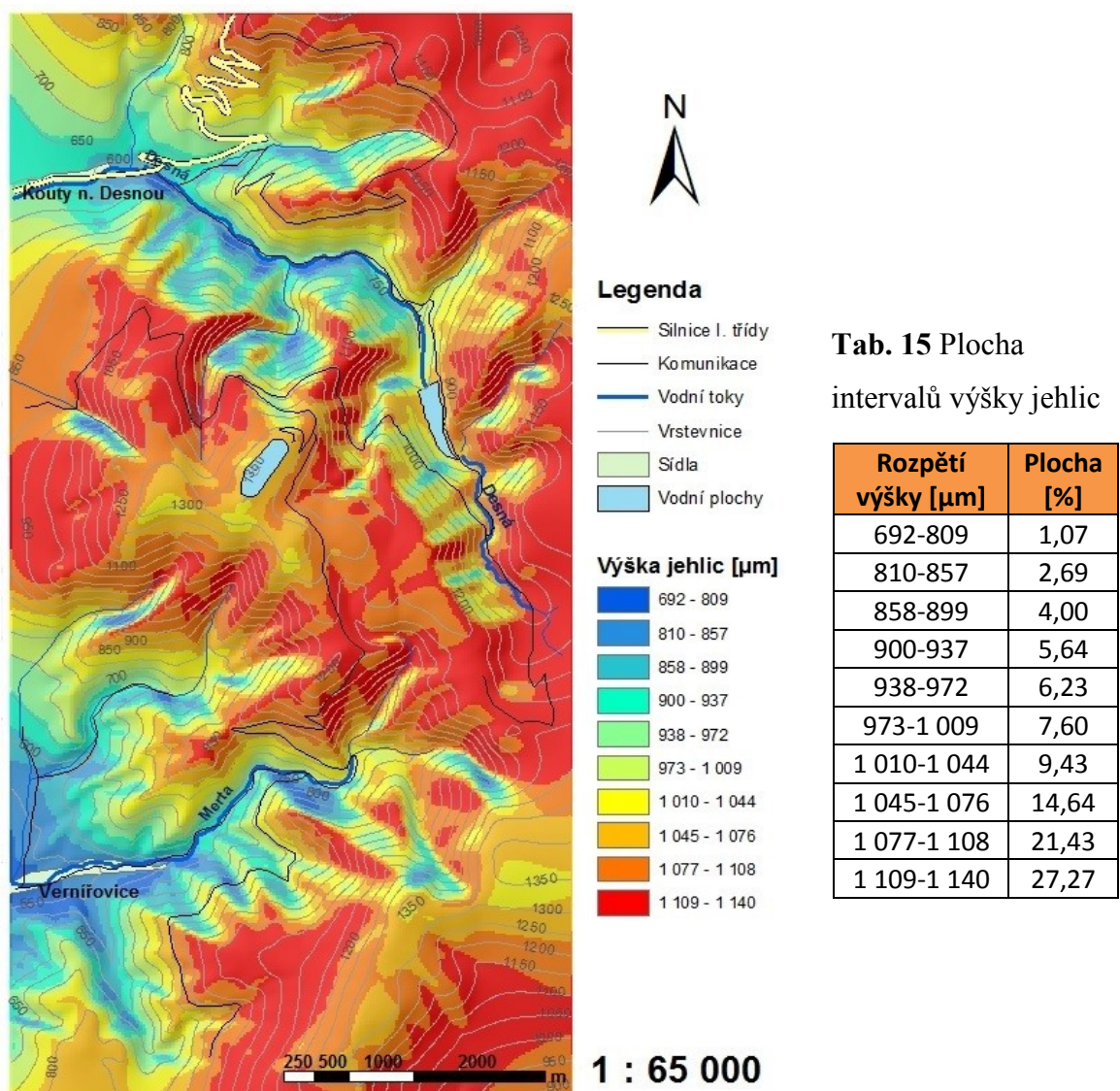
Tab. 14 Regresní rovnice anatomicko-morfologických rozměrů jehlic

Rozměr	Regresní rovnice
Výška	$-1700,4061+2,1884*x+0,0028*y-0,0011*x*x+1,588E-7*x*y-1,2544E-9*y*y$
Šířka	$-2439,927+3,3633*x+0,0028*y-0,0016*x*x+1,6042E-7*x*y-1,2253E-9*y*y$
Plocha Ř	$-3,2805E6+3443,0809*x+3,7067*y-1,7209*x*x+0,0003*x*y-1,6888E-6*y*y$
Plocha SV	$-4,1627E5+375,3828*x+0,4619*y-0,1839*x*x+3,1249E-5*x*y-2,0524E-7*y*y$
Délka	$48,8641+0,0297*x-7,4144E-5*y-2,4207E-5*x*x+1,0784E-8*x*y+2,5483E-11*y*y$
Plocha J	$11,6704+0,069*x-3,7324E-5*y-4,5664E-5*x*x+1,3623E-8*x*y+8,2552E-12*y*y$

5.10. Predikční mapy

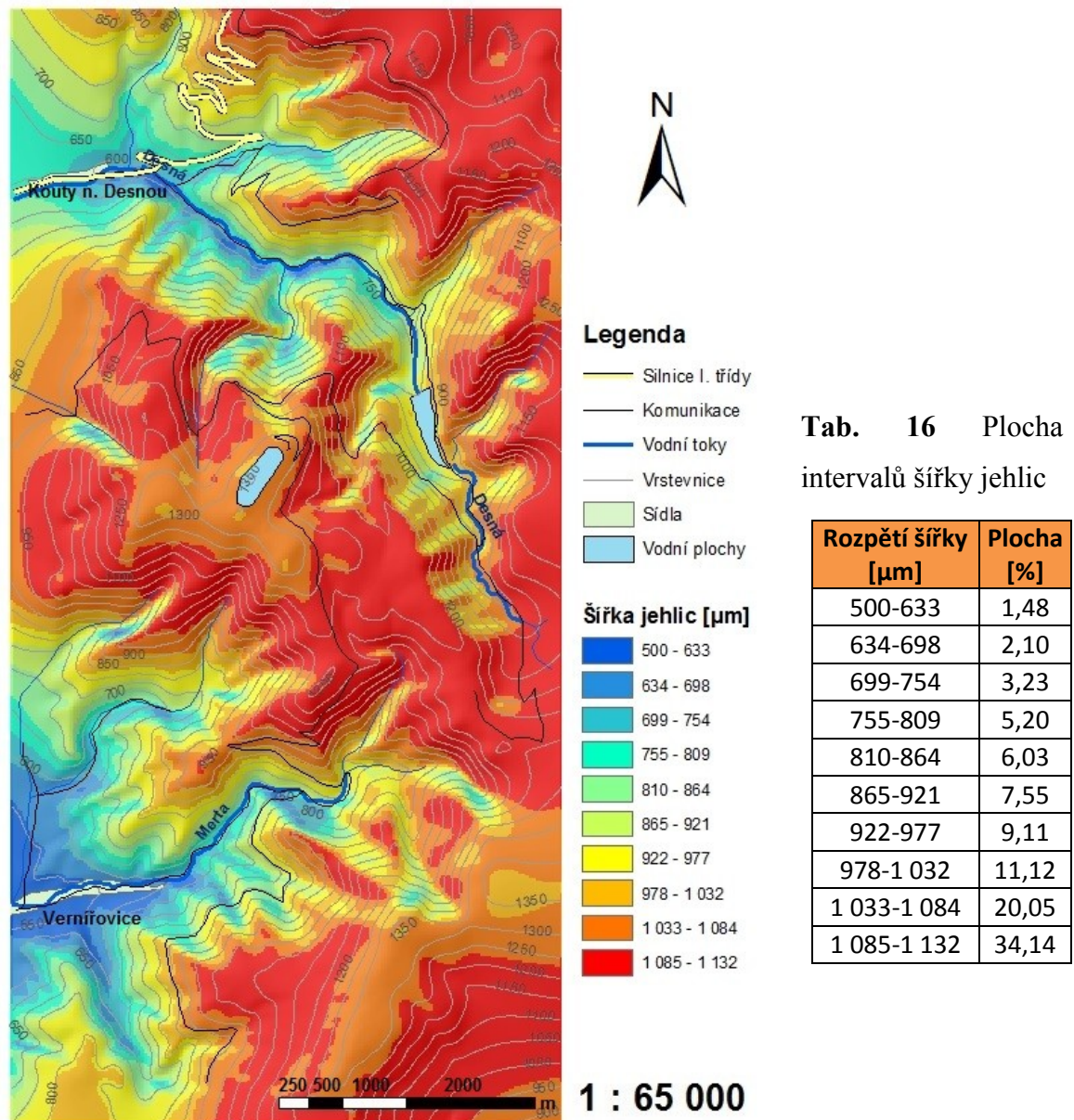
Níže uvedené predikční mapy zobrazují modelový výskyt vybraných rozměrů jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci s pravděpodobností určenou velikostí koeficientu determinace (viz kapitola 5.3.).

Nejnižší hodnotu výšky jehlice můžeme obecně pozorovat v níže položených oblastech (Obr. 19). Stejných hodnot však dosahují i některé horské oblasti se severní expozicí. Plošně je na zájmovém území nejvíce zastoupen šířkový interval 1 109–1 140 μm (Tab. 15). Podobnou plochu zájmového území zaujímá velice široký interval od 692–1 009 μm (Tab. 15).



Obr. 19 Predikční mapa výšky jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

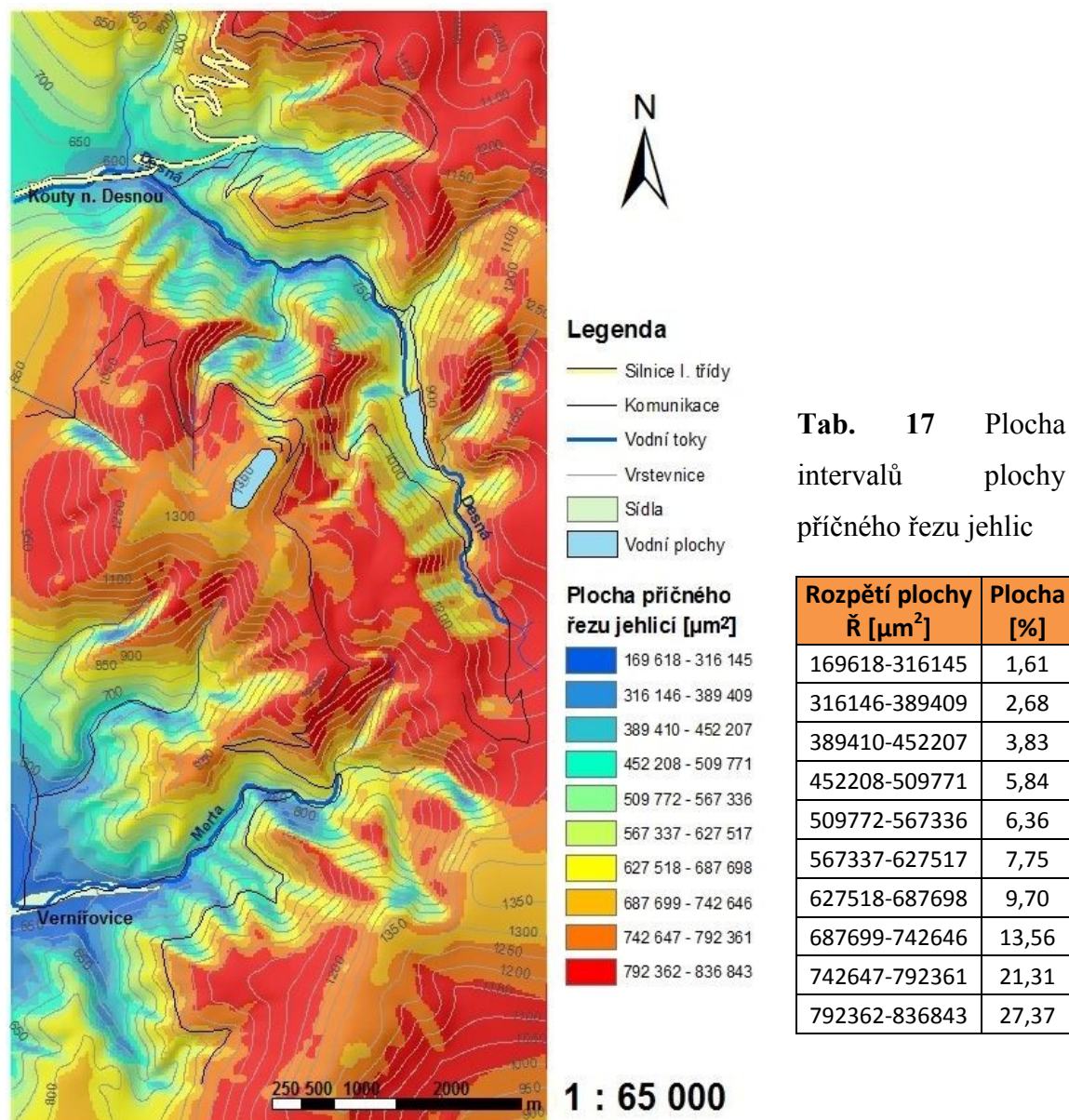
Nejužší jehlice se vyskytují převážně v nižších polohách, ojediněle v zaříznutých údolích se severní orientací. Nejširší jehlice můžeme naopak pozorovat v nadmořských výškách od 1 000 do 1 200 m n. m. (Obr. 20). Na severních svazích je vlivem nadmořské výšky a solární radiace dosaženo menších šířkových rozměrů jehlic, než je tomu na svazích jižních. Plošně je na dotčeném území nejvíce zastoupen šířkový interval 1 085–1 130 μm (Tab. 16). Obdobnou plochu zaujímají jehlice šířky 500–977 μm (Tab. 16).



Tab. 16 Plocha intervalů šířky jehlic

Obr. 20 Predikční mapa šířky jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

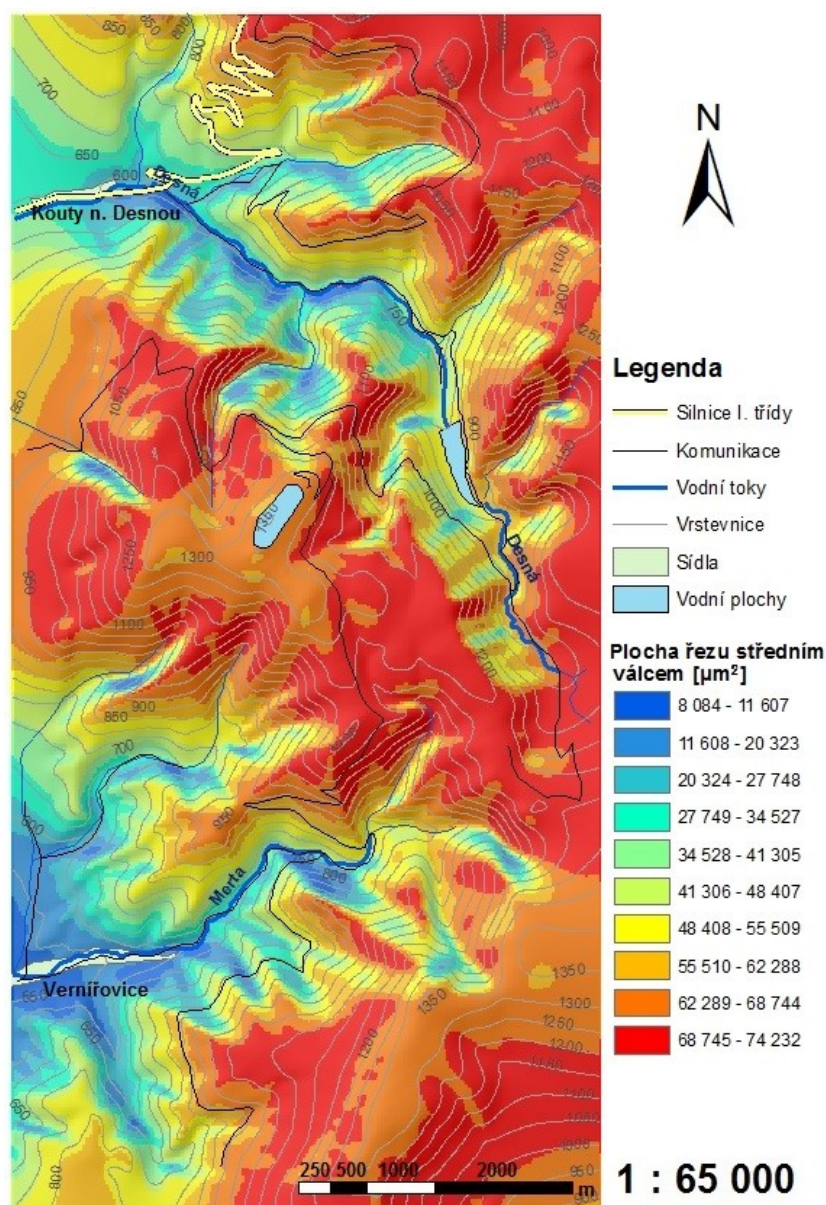
Plocha příčného řezu má obdobný průběh jako dva předcházející rozměry jehlic, přičemž větší podobnost však nalezneme spíše s šířkou než s výškou jehlic (Obr. 21). Nejnižších hodnot tohoto morfologického rozměru tedy dosahují nejnižše položené oblasti. Zřetelné je i postupné snižování plochy příčného řezu jehlic v horských polohách. Jehlice s plochou příčného řezu nad $740\,000\ \mu\text{m}^2$ zaujímají okolo 50 % zájmového území. Největší plochu zobrazeného území zaujímá interval $792\,362\text{--}836\,843\ \mu\text{m}^2$ (Tab. 17).



Tab. 17 Plocha intervalů plochy příčného řezu jehlic

Obr. 21 Predikční mapa plochy příčného řezu jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

Plocha středního válce jehlic má v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci srovnatelný průběh s plochou příčného řezu jehlic (Obr. 21 a 22). Jižně orientované svahy dosahují značně vyšších hodnot plochy středního válce než svahy severní. Maximální hodnoty na jižní expozici lze přibližně pozorovat v nadmořských výškách 1 100 m n. m. Od této hranice dochází k postupnému snižování rozměrů této veličiny. Přes 50 % zobrazeného území zaujímá plocha středního válce větší než 62 000 μm^2 . Plošně nejméně je zastoupen interval 8 084–11 607 μm^2 , naopak nejvíce interval od 68 745 do 74 232 μm^2 (Tab. 18).

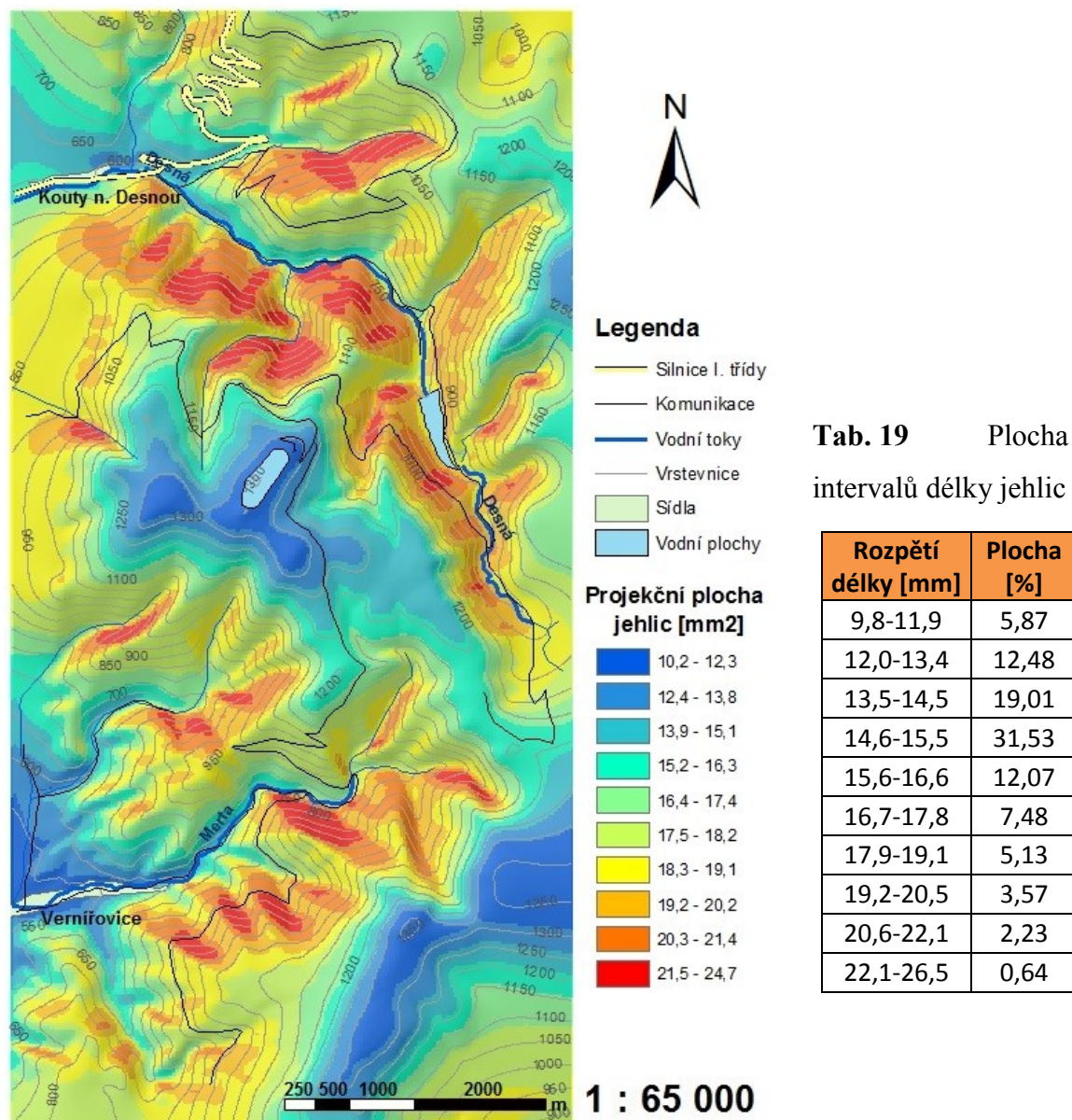


Tab. 18 Plocha intervalů plochy středního válce jehlic

Rozpětí plochy SV [μm^2]	Plocha [%]
8 084-11 607	1,29
11 608-20 323	2,87
20 324-27 748	4,12
27 749-34 527	5,57
34 528-41 305	6,43
41 306-48 407	7,81
48 408-55 509	9,53
55 510-62 288	10,89
62 289-68 744	22,21
68 745-74 232	29,28

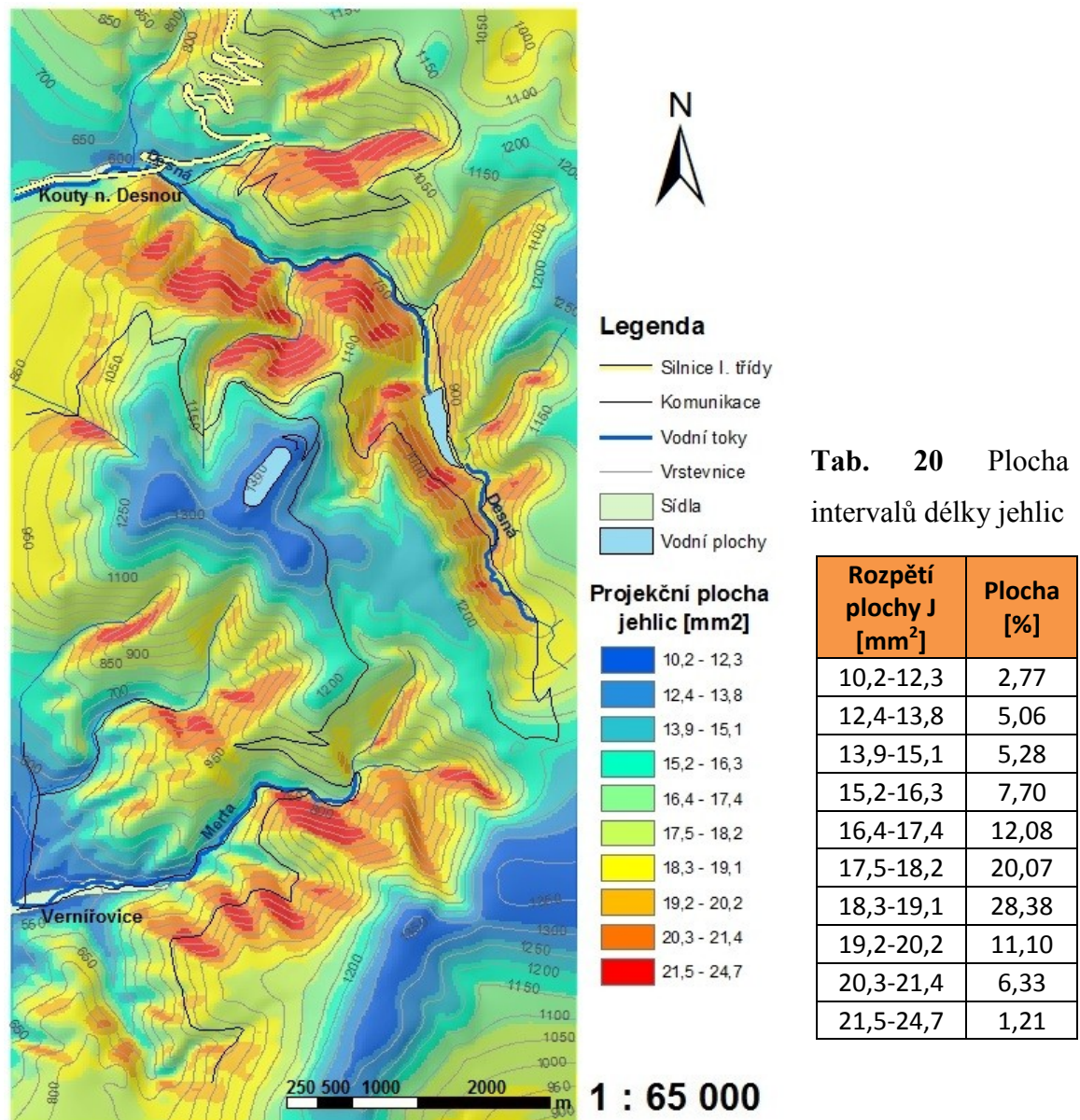
Obr. 22 Predikční mapa plochy středního válce jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

Trend délky jehlic se od morfologicko-anatomických rozměrů příčného řezu jehlic značně odlišuje (Obr. 23). Nejkratší jehlice byly zjištěny v nejnižších položených horských oblastech, nejdelší jehlice najdeme pod horní hranicí lesa (cca 1 000 m n. m.) (Obr. 23). V okolí masivu Mravenečník jsou plošně nejvíce zastoupeny jehlice v rozpětí 14,6–15,5 mm (na 31,5% území), výskyt jehlic nad 20 mm lze považovat za ojedinělý (Tab. 19).



Obr. 23 Predikční mapa délky jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

Jedinci rostoucí na hřebenech hor a v údolních oblastech v okolí potoků a řek dosahují vůbec nejnižších hodnot projekční plochy jehlic (Obr. 24). Těžištěm výskytu jehlic s největší projekční plochou jsou nadmořské výšky od 900 do 1 100 m. Největší plochu zaujímají jehlice s projekční plochou 18,3–19,1 μm^2 (Tab. 20). Jehlice s projekční plochou nad 15 μm^2 se vyskytují na 80 % zobrazeného území.



Obr. 24 Predikční mapa projekční plochy jehlic v závislosti na nadmořské výšce a solární radiaci

6. Diskuze

6.1. Výška, šířka a plocha příčného řezu jehlic

Obecně lze říct, že průběh hodnot šířky, výšky a plochy příčného řezu jehlic v závislosti na nadmořské výšce vykazuje na severní i jižní expozici až na drobné odchylky obdobný charakter (Obr. 7, 9 a 11). Srovnáme-li však severní a jižní expozici u jednotlivých rozměrů jehlic zvláště, zjistíme, že do nadmořské výšky 1 000 až 1 100 m je průměrná hodnota rozměrů jehlic na jižní expozici menší, než je tomu na expozici severní. Od této hranice je vývoj opačný (tj. větších hodnot je dosaženo na jižních svazích), ale vzájemné rozdíly na jednotlivých lokalitách nejsou statisticky významné (Obr. 7, 9 a 11). Dle Musila a Hamerníka (2003) je horní hranice lesa v Berchtesgadenských Alpách na severní expozici položena přibližně o 100 m n. m. níže oproti expozici jižní. Obdobný jev lze pozorovat i v oblasti Jeseníků. Důvodem jsou především lepší klimatické podmínky (vyšší průměrná teplota, vyšší intenzita slunečního záření, delší vegetační období) panující na jižní straně (Slavíková, 1986; Tolasz, 2007). Z hlediska trofnosti stanoviště, posuzované na základě zastoupení SLT (Plíva, 1987), nebyl u zkoumaných rozměrů jehlic prokázán významný vliv (Tab. 1). Gebauer et al. (2011) uvádějí, že se šířka jehlic smrku ztepilého pohybuje v rozmezí 400–1 500 μm a výška jehlice v rozmezí od 1 150 do 1 500 μm . Podobné rozpětí uvádí také Tjoelker et al. (2007). V této práci zjištěný šířkový (838–1 241 μm) a výškový (935–1 113 μm) interval na severní i jižní expozici koresponduje s těmito závěry. Stejně jako u šířky, tak i u výšky jehlic bylo nejmenších hodnot dosaženo na lokalitách s nejnižší nadmořskou výškou (Tab. 2 a 3). Vývoj hodnot plochy příčného řezu jehlic s nadmořskou výškou lépe kopíruje vývojový trend šířky než výšky jehlic (Obr. 7, 9 a 11).

Za povšimnutí stojí významný pokles hodnot na lokalitě S 1 000 u šířky a plochy příčného řezu jehlic (Obr. 9 a 11). Vzhledem k tomu, že se na lokalitách v nadmořské výšce 1 000 m nevyskytují v analyzovaných souborech extrémní hodnoty a zároveň variabilita dat není nikterak velká (příloha č. 1), můžeme vyloučit působení jednostranně zaměřeného činitele, který by zvýhodňoval pouze určité jedince (konkurence, mechanické poškození aj.). Pokles dat je tedy pravděpodobně způsoben lokálně působícím faktorem. Jelikož je lokalita S 1 000 umístěná v zaříznutém údolí v blízkosti potoku, což vytváří předpoklad pro tvorbu teplotních inverzí (Vysoudil, 2004) a současně zamezuje přísunu přímého slunečního záření (tomu odpovídá

i nejnižší vypočítaná hodnota solární radiace (Tab. 9), lze do jisté míry přisoudit menší rozměry jehlic právě tvorbě teplotních inverzí a nižší ozáření. Větší šířka u osluněných jehlic oproti zastíněným jehlicím byla zjištěna například v pracích Niinemets (1997), Stenberg et al. (1998) a Messier et al. (1999). U výšky jehlic na lokalitě J 1 000 pozorujeme obdobný jev náhlého poklesu dat (Obr. 7), který bude pravděpodobně zapříčiněn spolupůsobením více vnějších faktorů. Působení jednostranně zaměřeného činitele je díky absenci extrémů a nízké variabilitě dat v souboru rovněž vyloučeno (příloha č. 2).

Vliv vrcholového fenoménu u šířky, plochy příčného řezu a částečně i výšky jehlic je znatelný především na jižní expozici. Podstatné změny v anatomické a morfologické stavbě jehlic v průběhu několika desítek výškových metrů ve vyšších nadmořských výškách poukazují na schopnost smrku ztepilého citlivě reagovat na měnící se podmínky vnějšího prostředí se snahou optimalizovat svůj růst a vývin. Tolasz (2007) uvádí, že rychlost prodělení vzduchu v nadmořských výškách 1 000 m a více dosahuje rychlostí až 4–7 ms⁻¹. Tato skutečnost může být další příčinou poklesu hodnot měřených anatomicko-morfologických parametrů směrem k horní hranici lesa. Vzhledem k tomu, že výška, šířka ani plocha příčného řezu jehlic neroste či neklesá s rostoucí nadmořskou výškou lineárně (Obr. 7, 9 a 11), nelze s jistotou říct, že na jejich vývoj má vliv faktor, který se s nadmořskou výškou lineárně zvětšuje či zmenšuje (teplota, množství srážek aj.) (Slavíková, 1986; Tolasz, 2007). Je tedy pravděpodobné, že anatomicko-morfologické rozměry příčného řezu jehlic budou odvislé od kombinace více faktorů. Pro podrobnější určení míry variability jednotlivých abiotických faktorů a omezení účinku méně častých činitelů lze doporučit zvýšení počtu ploch v daných nadmořských výškách.

6.2. Plocha středního válce jehlic

Středním válcem (SV) jehlice se rozumí část jehlice obsahující cévní svazky (xylém a floém), pericykl a hraniční obvodovou vrstvu tvořenou buňkami endodermis (Procházka, 1998). Trend vývoje hodnot u plochy středního válce vykazuje na obou expozicích značnou podobnost s trendem plochy příčné řezu (Obr. 11 a 13). To potvrzuje i Tjoelker et al. (2007), který zjistil vzájemný vztah mezi velikostí plochy příčného řezu a plochou SV jehlic. Rozmezí hodnot plochy SV zjištěná v této práci (36 000–81 000 μm^2) je větší než uvádí Gebauer et al. (2015). Gebauer et al. (2015) zjistili, že v rámci stromu mají osluněné jehlice větší plochu SV oproti zastíněným

jehlicím. Malá hodnota plochy SV v nejnižších lokalitách by tedy mohla být částečně vysvětlena nižší radiací. Tento závěr by platil pro jižní svahy, nicméně na severním svahu je plocha SV při menší solární radiaci mnohdy větší jako na jižním svahu. Je tedy zřejmé, že plocha SV není závislá pouze na solární radiaci, ale další faktory jako je morfologie terénu spolu s tvorbou teplotních inverzí a nerovnoměrným rozložením srážek hrají roli v konečné velikosti plochy SV. Dle Larchera (1988) vytváří rostliny zásobené větším množstvím vody větší vodivé elementy. Gebauer et al. (2015) uvádějí, že stres suchem snižuje anatomické a morfologické parametry osluněných jehlic až o 45 %. Polohy se severní expozicí jsou vlivem většího přísunu atmosférických srážek díky převládajícímu severozápadnímu proudění vzduchu a vyšší relativní vlhkosti vzduchu více zásobeny vodou (Slavíková, 1986; Tolasz, 2007; Ambrož, 2014; Bartoňová, 2014). Intenzita solární radiace je zde však oproti jižním polohám menší (Tab. 7). Množství dostupné vody se v nižších nadmořských výškách tedy jeví jako jeden z klíčových faktorů ovlivňující velikost plochy SV. Naopak v horských polohách bude zřejmě jedním z hlavních faktorů množství dopadajícího slunečního záření.

6.3. Délka jehlic

V bakalářské práci (Ambrož, 2014) se délka jehlic na severních svazích s rostoucí nadmořskou výškou zmenšovala. V této diplomové práci však tento trend nebyl potvrzen, jelikož délka jehlic na severní i jižní expozici rostla do svého maxima ve výšce 1 000 m n. m. a následně k horní hranici lesa postupně klesala (Obr. 15). Oproti ostatním měřeným parametrům, které měly nejmenší rozměry na nejnižších lokalitách, byla nejmenší průměrné délky jehlic zjištěna na nejvyšší lokalitě. Kratší jehlice u horského a vysokohorského ekotypu smrku ztepilého, které dokládá ve své práci i Klápště (2008), by mohly být důsledkem působení vrcholového fenoménu (Šenfelder, Maděra, 2010). V tom případě by extrémní klimatické podmínky (především rychlost a síla větru, kratší vegetační doba aj.) panující v horských polohách hrály rozhodující úlohu v délkovém růstu asimilačního aparátu smrku ztepilého. Rubin (1963) také publikoval, že prodlužovací růstovou fází buněk brzdí krátkovlnná část slunečního spektra (modré a fialové paprsky), typické pro horské polohy. Hodnoty délek jehlic zjištěných v této práci souhlasí s literárními (Tichá, Úradniček 2009). Co se týče vývoje délky s rostoucí nadmořskou výškou jsou si obě expozice značně podobné (Obr. 15). Oproti ostatním měřeným parametrům se délky jehlic na různých expozicích

ve stejných nadmořských výškách od sebe statisticky významně nelišily, vyjma vzájemné interakce S 1 000 s J 1 000 a S 1 100 s J 1 1000 (Tab. 12). Pokles délky jehlice na lokalitě J 1 000 bude pravděpodobně důsledkem reakce smrku na lokální mikroklima.

6.4. Projekční plocha jehlic

Od projekční plochy jehlice se odvíjí celá řada fyziologických procesů rostliny, jež mají přímý vliv na chod fotosyntézy a transpiraci rostlin (Procházka, 1998). Je dána kombinací dvou parametrů, šířky a délky jehlice. Vývojový trend hodnot obou morfologických rozměrů je však s rostoucí nadmořskou výškou odlišný (Obr. 9 a 15). Větší podobnost trendů dat a vzájemných rozdílů jednotlivých lokalit u délky a projekční plochy jehlic naznačuje významný vliv délky jehlice na celkovou projekční plochu asimilačního aparátu smrku ztepilého (Obr. 15 a 17). Rozdíl v projekční ploše jehlice mezi lokalitami umístěnými v 1 100 m n. m. a lokalitami v 1 300 m n. m. činil na jižní expozici bezmála 8 mm² (tj. 37 %; Tab. 5) a na severní expozici přibližně 7 mm² (tj. 32 %; Tab. 5). Tento znatelný rozdíl potvrzuje enormní působení vrcholového fenoménu na asimilační aparát smrku ztepilého (Šenfelder, Maděra, 2010). Jehlice na severní expozice měly v průměru vyšší obsah sušiny, než jehlice na jižních svazích (Tab. 6).

Jak již bylo zmíněno velikost a struktura asimilačního aparátu velkou měrou ovlivňuje rychlost fotosyntézy a množství transpirované vody. Dle údajů z lesního hospodářského plánu mají stejnověké smrkové porosty v obdobných nadmořských výškách na jižní expozici vyšší hektarovou zásobu než smrkové porosty na severních svazích (TAXONIA CZ, 2016). Doplněním anatomicko-morfologických parametrů jehlic o měření rychlosti fotosyntézy a transpirace pomocí gravimetrických metod (Procházka, 1998) a o množství jehlic na jednotku plochy lesního porostu (LAI – leaf area index; Larcher 1988) by tedy bylo možné, na základě vztahů mezi těmito parametry určit produkční potenciál smrku ztepilého v různých nadmořských výškách a odlišných expozicích pro oblast Hrubého Jeseníku na základě jednoduše měřitelných veličin (např. délky nebo šířky jehlice).

6.5. Predikce

Predikce je předpověď či odhad určitého jevu, který se opírá o vědeckou teorii. Nejvyšší hodnota solární radiace ($1\,416\,800\text{ W/m}^2$) byla namodelována pro lokalitu J 1 000 a nejnižší byla na druhou stranu zjištěna u lokality S 1 000 ($996\,781\text{ W/m}^2$) (Tab. 9). Zde je třeba však uvést, že se jedná o namodelované hodnoty nikoliv skutečně zjištěné. Pro lepší zmapování světelných podmínek panujících na jednotlivých lokalitách by bylo vhodné modelovou solární radiaci doplnit vlastním měřením. Nicméně vhodnost použití hodnot solární radiace na základě modelu ukazují poměrně vysoké korelační koeficienty u všech měřených anatomicko-morfologických parametrů jehlic (R^2 v rozmezí od 0,65 do 0,82) (Obr. 18). Tyto zjištěné kladné korelační vztahy detekují, že současné působení nadmořské výšky a solární radiace z velké části vysvětluje změnu v anatomicko-morfologické stavbě asimilačního aparátu smrku ztepilého. U žádného z rozměrů však nebyla zjištěna lineární závislost. Srovnáme-li jednotlivé veličiny na obou expozicích, dojdeme k závěru, že na jižní expozici je maximálních hodnot šířky, výšky, plochy příčného řezu a plochy středního válce dosaženo plošně na větším území a ve vyšších nadmořských výškách, než je tomu na expozici severní (Obr. 19–24). Důvodem by mohly být vyšší namodelované hodnoty solární radiace a vhodnější klimatické podmínky (vyšší teplota, delší vegetační doba aj.) panující na jižní expozici. Tento trend potvrzuje posunutí horní hranice lesa na jižní expozici oproti severní expozici (Bláha, 2003; Musil, Hamerník, 2003). Na druhou stranu u délky a projekční plochy jehlic jsou větší průměrné hodnoty pozorovány na svazích se severní orientací. Příčinou by opět mohlo být vyšší množství dopadající solární radiace, kdy jedinci rostoucích na jižním svahu vytváří slunný typ asimilačního aparátu charakteristický menší plochou (Larcher, 1988).

7. Závěr

V této diplomové práci byly zjištěny rozdíly v morfologických a anatomických rozměrech jehlic s rostoucí nadmořskou výškou na severní i jižní expozici. U výšky, šířky, plochy příčného řezu a plochy středního válce jehlic byly nejmenší průměrné hodnoty daných veličin na obou expozicích zjištěny u nejnižše položených lokalit. Jižní expozice dosahovala maximálních hodnot těchto rozměrů ve výšce 1 100 m n. m. a na severních svazích byla tato hranice zjištěna ve výšce 900 m n. m. Ani v jednom případě nebyl zjištěn lineární vývoj dat s rostoucí nadmořskou výškou. Na jižní expozici jsou navíc vzhledem k maximálním hodnotám dosažených ve vyšších nadmořských výškách patrné menší účinky vrcholového fenoménu a s tím související posun horní hranice lesa do vyšších nadmořských výšek oproti severní expozici. U délky a projekční plochy jehlic byly nejvyšší hodnoty zaznamenány v obdobných nadmořských výškách. Nejnižší hodnoty můžeme na rozdíl od anatomických rozměrů příčného řezu jehlic pozorovat u lokalit s největší nadmořskou výškou (1 300 m). Také u těchto parametrů nebyla zjištěna lineární závislost s rostoucí nadmořskou výškou. Tato skutečnost je jedním z důkazů značného vlivu vrcholového fenoménu na asimilační aparát smrku ztepilého. Kvůli pravděpodobnému výskytu lokálně působících vnějších činitelů, jejichž vliv na morfologii jehlic je nejlépe pozorovatelný u lokalit S 1 000 a J 1 000, se doporučuje zvýšit počet ploch v jednotlivých nadmořských výškách, které by lépe a s větší přesností postihovaly mikroklimatické podmínky.

Dle predikčních map zobrazujících závislost morfologicko-anatomických rozměrů jehlic na nadmořské výšce a solární radiaci byl vliv solární radiace prokázán u všech zkoumaných rozměrů (koeficient determinace nebyl menší než 0,65). Jižní expozice dosahovala větších hodnot šířky, výšky, plochy příčného řezu a plochy centrálního válce jehlic než expozice severní. U délky a projekční plochy jehlic byly vyšší hodnoty zjištěny na severní expozici. Vliv expozice byl prokázán u všech zkoumaných rozměrů jehlic. Jelikož byly hodnoty solární radiace namodelované podle morfologie terénu a potenciální sumy ročního oslunění území, bylo by vhodné ověřit modelové hodnoty solární radiace vlastním měřením.

8. Summary

In this thesis the differences in morphological and anatomical sizes of needles with increasing altitude in north and south exposure were found. The smallest average values of morphological and anatomical sizes of cross-sectional area of needles were observed at both exposures in the lowest-placed localities. Southern exposure reached the highest values of these dimensions at altitude of 1 100 m.a.s.l. On the northern exposure the limit was discovered at altitude of 1 000 m.a.s.l. There was not found linear progress with increasing altitude in any occurrence. On the southern exposure there was less visible the effect of peak phenomenon (also due to the maximal values reached in the higher altitudes). This enabled the shift of upper treeline to the higher altitude on the southern exposure with the comparison to the northern exposure. The highest values of length and area of needles were detected at similar altitudes. The lowest values, in contrast to the anatomical parameters measured on the needle cross-sections, were observed at localities with the highest altitude (1 300 m.a.s.l.). The linear progress of these parameters with increasing altitude was not found. These results confirmed the considerable influence of peak phenomenon on assimilative apparatus of Norway spruce. The influence of locally-acting external factors was the most conspicuous at locations S 1000 and J 1000; therefore, it is recommended to increase the number of localities in every altitude that better and more accurately characterize climatic conditions.

According to the prediction maps depicting the dependence of morphological and anatomical parameters of needles on the altitude and solar radiation, the influence of solar radiation was proved in all cases (coefficient of determination was not lower than 0.65). The southern exposure reached higher values for width, height, cross-sectional area and the area of central cylinder needles than northern exposure. On the other hand, higher values of length and needle area were discovered on northern exposure. The effect of exposure was proved for all needle parameters. It would be advisable to check model values of solar radiation by independent measurement, because the values of solar radiation were modelled by terrain morphology and the potential amount of annual area insolation.

9. Literatura

AMBROS, Zdeněk a ŠTYKAR, Jan. *Geobiocenologie*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1999. 63 s. ISBN 80-715-7397-3.

AMBROŽ, Petr. *Vliv nadmořské výšky a severní expozice na morfologickou a anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého*. Brno, 2014. 46 s. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta

BANAŠ, Marek. *Jeseníky: chráněná krajinná oblast*. Vyd. 1. Editor Kateřina Kočí. Rožnov pod Radhoštěm, 2007, 211 s. ISBN 978-802-5415-610.

BARTOŇOVÁ, Lenka. *Vliv nadmořské výšky a jižní expozice na morfologicko-anatomickou stavbu jehlic smrku ztepilého*. Brno, 2014. 41 s. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

BERÁNEK, Jakub, ČERMÁK Petr, PALOVČÍKOVÁ Dagmar. *Atlas poškození dřevin* [online] citováno 15. ledna 2016. Dostupné World Wide Web: <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/361-fyziologicka_sypavka.html>

BLÁHA, Ladislav. *Rostlina a stres*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2003, 156 s. ISBN 80-86555-32-1.

BUDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. *Průvodce základními statistickými metodami*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2010, 272 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3243-5.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ MAPA. *Pedologická mapa 1:50 000*. [online] citováno 14. února 2014. Dostupné na World Wide Web: <<http://mapy.geology.cz/pudy>>

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Geologická mapa 1:50 00*. [online] citováno 14. února 2014. Dostupné na World Wide Web: <http://mapy.geology.cz/geocr_50/>

DRÁPELA, Karel. *Statistické metody*. 2012, [online] citováno 30. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/teorie%20text%20I.pdf>

DRÁPELA, Karel. *Návody k použití statistických programů*. 2010, [online] citováno 30. ledna 2016. Dostupné na World Wide Web: <http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Navody_k_pouziti_statistickych_programu/Excel/>

DRÁPELA, Karel a ZACH, Jan. *Statistické metody I.: pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství*. Vyd. 1. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 135, [16] s. ISBN 80-715-7416-3.

GEBAUER, Roman, Daniel VOLAŘÍK, Josef URBAN, Isabella BØRJA, Nina Elisabeth NAGY, Toril Drabløs ELDHUSET a Paal KROKENE. *Effect of thinning on anatomical adaptations of Norway spruce needles*. *Tree Physiology*. 2011-10-11, roč. 31, č. 10, s. 1103-1113. DOI: 10.1093/treephys/tpr081. Dostupné na World Wide Web: <<http://treephys.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/treephys/tpr081>>

GEBAUER, Roman, Daniel VOLAŘÍK, Josef URBAN, Isabella BØRJA, Nina Elisabeth NAGY, Toril Drabløs ELDHUSET a Paal KROKENE. *Effects of prolonged drought on the anatomy of sun and shade needles in young Norway spruce trees*. *Ecology and Evolution* [online]. 2015,5(21), 4989-4998 [cit. 2016-02-14]. DOI: 10.1002/ece3.1766. ISSN 20457758. Dostupné na World Wide Web: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ece3.1766>>

JENÍK, Jan. *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství československé akademie věd, 409 s.

KLÁPŠTĚ, Jaroslav. *Návrh šlechtitelského programu pro posázavský smrk*. Praha, 2008. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská

KREJZAR, Tomáš a a kol. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2014*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2015. ISBN 978-80-7434-242-4.

LAŠTŮVKA, Zdeněk a KREJČOVÁ, Pavla. *Ekologie*. Vyd. 1. Brno: Konvoj, 2000. 184 s.

LARCHER, Walter. *Fyziologická ekologie rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1988, 361 s. 21-102-88.

MEISSER, C., R. DOUCET, J.C. RUEL, Y. CLAVEAU, C. KELLY and M.J. LECHOWICZ. 1999. *Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests*. *Can. J. For. Res.* 29:812–823.

MUSIL, Ivan a HAMERNÍK, Jan. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2007. 177 s. ISBN 80-200-1567-1.

- NĚMEC, Bohumil. *Botanická mikrotechnika*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 482 s.
- NĚMEČEK, Jan. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Vyd. 1. Česká zemědělská univerzita, 2001, 79 s.
- NIINEMETS, Ü. 1997. *Distribution patterns of foliar carbon and nitrogen as affected by tree dimensions and relative light conditions in the canopy of Picea abies*. *Trees* 11:144–154
- PLÍVA, Karel. *Typologický klasifikační systém ÚHUL*. Vyd. 1. Brandýs nad Labem: ÚHUL Brandýs nad Labem, 1987. 52 s.
- PROCHÁZKA, Stanislav. *Fyziologie rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1998, 73 s. ISBN 80-200-0586-2.
- PRŮŠA, Eduard. *Pěstování lesů na typologických základech*. Vyd. 1. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2001, 593 s. ISBN 80-86386-10-4.
- QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV, 1971, 73 s., 5 l. příl. *Studia Geographica*, 16.
- RUBIN, Boris Anisimovič a Miroslav DVOŘÁK. A KOL. *Kurs fiziologii rastenij*. Vyd. 2. Moskva: Gosudarstvennoje izdatel'stvo, 1963, 488 s.
- SLAVÍKOVÁ, Jiřina. *Ekologie rostlin*. Vyd. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p. v Praze, 1986. ISBN 14-446-86.
- STENBERG, P., T. KANGAS, H. SMOLANDER and S. LINDER. 1999. *Shoot structure, canopy openness and light interception in Norway spruce*. *Plant Cell Environ.* 22:1133–1142.
- ŠENFELDR, Martin a Petr MADĚRA. *Horní hranice lesa v Hrubém Jeseníku*. Lesnická práce. V Písku: Čs. matice lesnická, 2010, roč. 89, č. 8.
- ŠPINLEROVÁ, Zuzana. *Ekofyziologie dřevin*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 108 s.
- ŠTĚPANOVÁ, Marie. *Mapy podnebí Česka v prostředí google maps*. *GISLib* [online] citováno 12. ledna 2016. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. Dostupné na World Wide Web: <<http://gislib.upol.cz/app/stepanova10/map.html>>

TAXONIA CZ. *Textová část LHP pro LHC Loučná nad Desnou 2016–2025*. Olomouc, 2016.

TICHÁ, Soňa a ÚRADNÍČEK, Luboš: *Multimediální obrazový atlas dřevin*. Elektronické skriptum na DVD. Vyd. 1. Brno: MZLU, 2009. ISBN 978-80-7375-274-3

TJOELKER, MARK G., edited by Mark G., Adam Boratyński and Władysław Bugała. *Biology and ecology of Norway spruce*. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2007.

TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Vyd. 1. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TREML, Václav. *Effect of terrain morphology and geomorphic processes on position and dynamics of alpine timberline*. A case study from the High Sudetes, Czech Republic. In GOUDIE, Andrew S. a Jan KALVODA. *Geomorphological variations*. Prague: P3K, 2007, s. 339-360.

ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky: chráněná krajinná oblast*. 2., přeprac. vyd. Editor Kateřina Kočí. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009, 367 s. ISBN 978-808-7154-625.

ÚRADNÍČEK, Luboš. *Lesnická dendrologie I.: (Gymnospermae)*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 70 s. ISBN 80-7157-643-3.

ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESA BRANDÝS NAD LABEM [UHUL]. *OPRL*. [online] citováno 27. prosince 2015. Brandýs nad Labem, 2015. Dostupné na World Wide Web: <<http://geoportal.uhul.cz/OPRLMapNew/>>

ÚRADNÍČEK, Luboš a Petr MADĚRA. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice lesnická, 2001, 333 s. ISBN 80-86271-09-9.

VYSOUDIL, Miroslav. *Meteorologie a klimatologie*. Vyd. 1. Olomouc, 2004, 281 s. ISBN 80-244-0875-9.

ZAHRADNÍK, Petr (ed.) a Jaroslav HOLUŠA. *Metodická příručka integrované ochrany rostlin pro lesní porosty*. Vyd. 1. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2014, 376 s. ISBN 978-80-7458-057-4.

ŽALUD, Zdeněk. *Bioklimatologie: doprovodné texty k přednáškám*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2010, 136 s.

10. Seznam příloh

Příloha 1 Základní statistické veličiny rozměrů jehlic u lokalit se severní expozicí.....	54
Příloha 2 Základní statistické veličiny rozměrů jehlic u lokalit s jižní expozicí.....	55
Příloha 3 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro výšku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit.....	56
Příloha 4 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro šířku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit.....	56
Příloha 5 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu příčného řezu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit	57
Příloha 6 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu příčného řezu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit	57
Příloha 7 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro délku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit.....	58
Příloha 8 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro projekční plochu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit	58

11. Přílohy

Příloha 1 Základní statistické veličiny rozměrů jehlic u lokalit se severní expozicí

Lokalita	Rozměr	Medián	Sm. odch.	Var. koef.	Šik.	Špič.
S 700	Výška [μm]	973,52	128,58	12,97	0,20	-0,31
	Šířka [μm]	845,13	143,65	15,98	0,90	-0,31
	Délka [mm]	14,74	1,47	9,96	0,07	-0,30
	Plocha Ř [μm^2]	549212,01	124011,74	21,05	0,81	-0,48
	Plocha SV [μm^2]	41154,72	11501,03	26,06	0,83	0,19
	Plocha J [mm^2]	16,37	2,27	13,57	0,48	-0,44
S 900	Výška [μm]	1088,90	104,67	9,71	-0,33	-0,17
	Šířka [μm]	1121,31	215,84	19,20	-0,09	-1,00
	Délka [mm]	15,86	2,15	13,51	0,53	0,79
	Plocha Ř [μm^2]	796541,09	196774,71	24,75	0,17	-0,94
	Plocha SV [μm^2]	67662,02	27452,27	37,78	0,82	0,06
	Plocha J [mm^2]	18,15	4,93	26,55	0,71	-0,01
S 1 000	Výška [μm]	1074,67	96,48	8,90	0,83	0,56
	Šířka [μm]	970,81	152,99	15,15	0,67	-0,10
	Délka [mm]	16,19	2,46	14,50	0,50	-0,65
	Plocha Ř [μm^2]	663325,10	141186,42	19,69	0,86	-0,57
	Plocha SV [μm^2]	52333,46	13062,24	23,79	0,94	0,83
	Plocha J [mm^2]	19,90	3,58	17,95	0,56	0,48
S 1 100	Výška [μm]	1107,27	111,69	10,10	-0,08	-0,78
	Šířka [μm]	1088,96	95,65	8,67	0,67	0,62
	Délka [mm]	13,19	1,52	11,30	0,39	-0,16
	Plocha Ř [μm^2]	798676,07	93965,34	11,89	0,27	0,00
	Plocha SV [μm^2]	66081,40	11992,88	18,41	-0,03	-0,28
	Plocha J [mm^2]	15,64	2,66	16,91	0,59	1,39
S 1 200	Výška [μm]	1042,75	84,62	8,10	0,15	-1,07
	Šířka [μm]	1113,38	84,38	7,61	-0,26	-1,00
	Délka [mm]	13,50	2,78	20,44	0,51	-0,38
	Plocha Ř [μm^2]	756959,80	108485,31	14,37	0,14	-1,01
	Plocha SV [μm^2]	64811,64	9285,89	14,21	0,12	-0,58
	Plocha J [mm^2]	15,32	4,06	25,60	0,20	-1,02
S 1 300	Výška [μm]	1043,36	127,95	12,16	0,49	0,17
	Šířka [μm]	1044,58	175,47	16,31	0,82	0,60
	Délka [mm]	12,16	1,19	9,86	0,07	-0,48
	Plocha Ř [μm^2]	702112,79	161367,05	22,15	0,75	0,11
	Plocha SV [μm^2]	58159,22	14703,05	23,60	0,42	-0,63
	Plocha J [mm^2]	12,72	2,04	15,72	0,44	-0,72

Příloha 2 Základní statistické veličiny rozměrů jehlic u lokalit s jižní expozicí

Lokalita	Rozměr	Medián	Sm. odch.	Var. koef.	Šik.	Špič.
J 700	Výška [μm]	949,52	128,12	13,70	-0,34	-0,23
	Šířka [μm]	837,78	153,05	18,26	0,02	-0,20
	Délka [mm]	14,19	1,61	11,10	0,35	-0,77
	Plocha Ř [μm^2]	508084,23	131451,33	25,36	0,43	-0,54
	Plocha SV [μm^2]	35977,18	10537,79	27,69	0,87	0,48
	Plocha J [mm^2]	15,62	2,71	17,45	-0,05	-0,60
J 900	Výška [μm]	1105,47	107,43	9,84	-0,08	-0,15
	Šířka [μm]	922,01	183,50	18,54	0,62	-0,77
	Délka [mm]	16,28	2,32	14,18	0,65	0,59
	Plocha Ř [μm^2]	710692,49	142660,09	20,30	0,39	-0,38
	Plocha SV [μm^2]	54199,51	15510,04	28,02	0,83	0,71
	Plocha J [mm^2]	18,45	4,91	24,67	0,64	-0,24
J 1 000	Výška [μm]	1019,18	117,43	11,66	0,07	-0,66
	Šířka [μm]	1063,86	211,50	19,84	0,71	0,46
	Délka [mm]	14,48	1,94	13,31	0,08	0,27
	Plocha Ř [μm^2]	670367,41	185949,66	26,61	0,76	0,37
	Plocha SV [μm^2]	51437,39	22066,03	38,13	1,14	0,94
	Plocha J [mm^2]	14,43	2,94	19,75	0,28	-0,62
J 1 100	Výška [μm]	1107,88	88,20	7,92	0,04	-0,47
	Šířka [μm]	1195,54	139,68	11,26	1,48	1,50
	Délka [mm]	15,75	3,13	19,52	0,21	-0,97
	Plocha Ř [μm^2]	858167,76	137583,61	15,55	1,43	1,94
	Plocha SV [μm^2]	80569,23	19518,35	23,34	1,43	2,24
	Plocha J [mm^2]	20,19	5,21	25,33	0,12	-0,98
J 1 200	Výška [μm]	1084,25	118,04	10,92	-0,35	0,62
	Šířka [μm]	1119,82	99,87	8,88	0,41	0,65
	Délka [mm]	13,19	1,52	11,40	0,17	-0,20
	Plocha Ř [μm^2]	764694,08	104600,30	13,45	0,30	0,27
	Plocha SV [μm^2]	68658,82	15600,39	21,97	0,69	-0,07
	Plocha J [mm^2]	14,96	2,67	17,68	0,59	0,50
J 1 300	Výška [μm]	1012,38	84,43	8,33	0,02	-0,59
	Šířka [μm]	1014,70	135,26	13,09	1,05	0,76
	Délka [mm]	12,27	1,55	12,80	-0,43	0,09
	Plocha Ř [μm^2]	677536,71	130602,21	18,92	0,73	0,29
	Plocha SV [μm^2]	55746,81	10131,69	17,78	0,46	-0,02
	Plocha J [mm^2]	12,74	2,42	19,25	0,32	-0,58

Příloha 3 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro výšku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,000	x										
S 1000	0,000	1,000	x									
S 1100	0,000	0,955	0,995	x								
S 1200	0,199	0,954	0,846	0,066	x							
S 1300	0,002	0,975	0,874	0,013	1,000	x						
J 700	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
J 900	0,000	1,000	1,000	1,000	0,637	0,633	0,000	x				
J 1000	0,995	0,013	0,003	0,000	0,736	0,084	0,000	0,001	x			
J 1100	0,000	0,931	0,986	1,000	0,114	0,069	0,000	0,999	0,000	x		
J 1200	0,000	1,000	1,000	0,872	0,762	0,709	0,000	1,000	0,000	0,883	x	
J 1300	0,991	0,192	0,089	0,000	0,976	0,706	0,003	0,033	1,000	0,001	0,026	x

Příloha 4 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro šířku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,000	x										
S 1000	0,001	0,010	x									
S 1100	0,000	1,000	0,014	x								
S 1200	0,000	1,000	0,056	1,000	x							
S 1300	0,000	0,761	0,300	0,955	0,980	x						
J 700	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
J 900	0,021	0,001	1,000	0,001	0,006	0,042	0,000	x				
J 1000	0,000	0,496	0,558	0,735	0,882	1,000	0,000	0,123	x			
J 1100	0,000	0,008	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
J 1200	0,000	1,000	0,001	0,996	1,000	0,337	0,000	0,000	0,108	0,000	x	
J 1300	0,000	0,117	1,000	0,206	0,361	0,889	0,000	0,964	0,982	0,000	0,020	x

Příloha 5 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu příčného řezu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,000	x										
S 1000	0,000	0,188	x									
S 1100	0,000	1,000	0,079	x								
S 1200	0,000	0,957	0,973	0,939	x							
S 1300	0,000	0,163	1,000	0,025	0,994	x						
J 700	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
J 900	0,000	0,046	1,000	0,010	0,783	0,995	0,000	x				
J 1000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,411	0,878	0,000	1,000	x			
J 1100	0,000	0,058	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
J 1200	0,000	1,000	0,293	1,000	0,998	0,193	0,000	0,062	0,001	0,000	x	
J 1300	0,001	0,010	0,998	0,001	0,475	0,899	0,000	1,000	1,000	0,000	0,011	x

Příloha 6 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro plochu příčného řezu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,000	x										
S 1000	0,002	0,000	x									
S 1100	0,000	0,141	0,005	x								
S 1200	0,000	0,435	0,038	1,000	x							
S 1300	0,000	0,004	0,161	0,956	0,991	x						
J 700	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
J 900	0,001	0,000	1,000	0,009	0,059	0,241	0,000	x				
J 1000	0,000	0,000	0,993	0,012	0,151	0,511	0,000	0,998	x			
J 1100	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
J 1200	0,000	1,000	0,000	0,113	0,567	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	x	
J 1300	0,000	0,000	1,000	0,075	0,233	0,664	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	x

Příloha 7 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro délku jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,046	x										
S 1000	0,000	0,256	x									
S 1100	0,003	0,000	0,000	x								
S 1200	0,074	0,000	0,000	1,000	x							
S 1300	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	x						
J 700	1,000	0,004	0,000	0,050	0,377	0,000	x					
J 900	0,000	0,993	0,938	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
J 1000	1,000	0,011	0,000	0,019	0,223	0,000	1,000	0,000	x			
J 1100	0,019	1,000	0,410	0,000	0,000	0,000	0,001	0,999	0,004	x		
J 1200	0,001	0,000	0,000	1,000	1,000	0,003	0,023	0,000	0,008	0,000	x	
J 1300	0,000	0,000	0,000	0,014	0,009	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	x

Příloha 8 Tukeyho test mnohonásobného porovnávání pro projekční plochu jehlic – vzájemné interakce jednotlivých lokalit

Lok.	S 700	S 900	S 1000	S 1100	S 1200	S 1300	J 700	J 900	J 1000	J 1100	J 1200	J 1300
S 700	x											
S 900	0,126	x										
S 1000	0,000	0,659	x									
S 1100	0,802	0,000	0,000	x								
S 1200	0,951	0,003	0,000	1,000	x							
S 1300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x						
J 700	0,561	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x					
J 900	0,000	0,700	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
J 1000	0,031	0,000	0,000	0,914	0,911	0,024	0,986	0,000	x			
J 1100	0,000	0,114	0,999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,998	0,000	x		
J 1200	0,114	0,000	0,000	0,992	0,989	0,005	1,000	0,000	1,000	0,000	x	
J 1300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,002	x