

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

Vliv solární radiance na strukturu xylému jehlic smrku ztepilého
Diplomová práce

2014–2016

Bc. Lenka Bartoňová

(zadávací list)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci „Vliv solární radiance na strukturu xylému jehlic smrku ztepilého“ vypracovala 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 vědoma, 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 6. 4. 2016

.....
podpis

Chtěla bych poděkovat především vedoucímu práce doc. Ing. Romanovi Gebauerovi, Ph.D. za jeho ochotu, pomoc, trpělivost a cenné připomínky při vedení práce. Mé díky patří také kolegovi Bc. Petrovi Ambrožovi. Děkuji pracovníkům Lesní správy Loučná nad Desnou, zejména Ing. Jánu Dvořákovi za možnost zpracování výzkumu a poskytnutí důležitých rad ohledně terénního šetření. V neposlední řadě děkuji Ing. Tomáši Mikitovi, Ph.D. za pomoc při geoinformatickém zpracování dat. Děkuji také všem, kteří mi dali cenné rady pro zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Jméno posluchače: Bc. Lenka Bartoňová

Název diplomové práce: Vliv solární radiance na strukturu xylému jehlic smrku ztepilého

Abstrakt:

V práci je hodnocena struktura xylému jehlic smrku ztepilého v závislosti na oslunění a nadmořské výšce. Na území Hrubého Jeseníku byly vybrány stejnověké smrkové porosty v rozdílných nadmořských výškách na jižní a severní expozici, kde byly odebrány vzorky slunných jednoletých prýtů. U jehlic byla provedena analýza xylému se zaměřením na počet tracheid, průměr tracheid, plochu tracheid a plochu xylému. Byla zjištěna více než 50% závislost parametrů xylému na nadmořské výšce a solární radianci, přičemž expozice výrazně ovlivňuje strukturu xylému pouze v nadmořských výškách nad 1200 m. V predikčních mapách je znázorněno, že nejvyšší predikované hodnoty parametrů xylému se nachází mezi 800 m a 1200 m n. m.

Klíčová slova: jehlice, nadmořská výška, radiance, smrk, tracheidy, xylém

Abstract

Name: Bc. Lenka Bartoňová

Thesis title: The influence of solar radiation on xylem structure of Norway spruce needles

Abstract:

In this thesis is evaluated the xylem structure of Norway spruce needles depending on solar radiation and altitude. Same-age spruce stand has been selected on the area of Hruby Jesenik at different altitudes on the southern and northern exposure. Sun needle samples were taken on each stand. The analysis of xylem structure was done. The number of tracheids, tracheid diameter, tracheid area and xylem area were evaluated. It was found that more than 50% dependence of xylem parameters on altitude and solar radiation, where exposure significantly affects the xylem structure only at altitudes above 1 200 m. The prediction maps show that the highest values of predicted xylem parameter values are found between 800 m and 1200 m about sea level.

Key words: needle, altitude, solar radiation, spruce, tracheid, xylem

Obsah

1. Úvod.....	- 1 -
2. Cíl práce.....	- 2 -
3. Současný stav řešené problematiky	- 3 -
3.1. Charakteristika druhu	- 3 -
3.2. Vliv klimatu na růst smrku ztepilého	- 5 -
4. Metodika	- 9 -
4.1. Výběr a umístění lokalit	- 9 -
4.2. Charakteristika území.....	- 10 -
4.3. Odběr vzorků.....	- 11 -
4.4. Zpracování mikroskopických řezů	- 12 -
4.5. Zvýrazňování tracheid.....	- 12 -
4.6. Vyhodnocení příčných řezů	- 13 -
4.7. Hydraulická vodivost	- 13 -
4.8. Statistické zpracování.....	- 14 -
4.9. Zpracování pomocí GIS	- 16 -
5. Výsledky	- 18 -
5.1. Počet tracheid	- 18 -
5.2. Minimální průměr tracheidy	- 20 -
5.3. Maximální průměr tracheidy.....	- 22 -
5.4. Obvod tracheidy	- 24 -
5.5. Plocha tracheidy	- 26 -
5.6. Plocha xylému.....	- 28 -
5.7. Teoretická hydraulická vodivost.....	- 30 -
5.8. Specifická hydraulická vodivost xylému	- 32 -
5.9. Regresní analýza	- 34 -
5.10. Predikční mapy.....	- 37 -
6. Diskuze	- 39 -
7. Závěr	- 43 -
8. Summary	- 44 -
9. Seznam citované literatury.....	- 45 -
10. Seznam příloh	- 49 -
11. Přílohy.....	- 50 -

1. Úvod

Migrační historie a obrovský přirozený areál výskytu smrku ztepilého jsou důkazem jeho schopnosti přizpůsobit se různým lokalitám lišícím se klimatickými, půdními i biotickými faktory (Schmit-Vogt, 1977). Adaptace druhu jako výsledek evolučních procesů vedla ke změnám v jeho v genetické struktuře a vzniku ekotypů – populací přizpůsobených konkrétnímu stanovišti. Lze zde sledovat klinální variabilitu – proměnlivost druhu podél kontinuálního gradientu ekologických faktorů např. podél zeměpisné šířky či nadmořské výšky (Endler, 1977). Klinální variabilita je pozorována u mnoha anatomických, morfologických a fyziologických vlastností smrku ztepilého. Například smrky vyšších nadmořských výšek dříve nasazují pupeny, jejich sazenice vykazují vyšší podíl sušiny v kořenech (Oleksyn et al., 1998), vyšší toleranci k UV-B záření a k suchu než sazenice z nižších nadmořských výšek (Modrzyński a Eriksson, 2002).

Obecně se jednotlivé dřeviny stále přizpůsobují změnám okolního prostředí morfologickými i fyziologickými adaptacemi. Listy různých druhů dřevin jsou mimořádně proměnné v závislosti na oslunění – lze pozorovat rozdíly ve formě, délce života, architektuře žilnatiny či kapacitě fotosyntetické výměny plynů (Sack a Holbrook, 2006). Velká část této variability je spojena s transportem vody xylémem, kdy vodivé dráhy uvnitř listů tvoří podstatnou část odporu k průtoku vody rostlinou, a tak ovlivňují míru transpirace a fotosyntézy. Délka, průměr a tloušťka stěny buněk xylému jsou analyzovány jako faktory určující hydraulickou vodivost xylému (Sack a Holbrook, 2006; Tyree a Zimmermann, 2011). Hydraulická vodivost listů se mezi druhy liší až 65krát (Sack et al., 2005), přičemž u jehličnanů je nižší než u krytosemenných rostlin (Sack a Holbrook, 2006).

Přestože nadmořská výška ovlivňuje anatomickou a morfologickou stavbu smrku ztepilého, není mnoho prací, které by se zabývaly změnou v chemickém složení různých pletiv, alokací biomasy, rychlosti fotosyntézy nebo dýchání s rostoucí nadmořskou výškou (Oleksyn et al., 1998). Bylo například zjištěno, že s nadmořskou výškou se mění koncentrace dusíku, karotenu a chlorofylu v jehlicích (Tjoelker et al., 2007). V kombinaci s reakcemi jehlic na oslunění se jedná o důležitý komplex faktorů ovlivňující fotosyntetickou aktivitu dřevin a tím i schopnost tvorby biomasy. Z pohledu lesního hospodářství se bude jednat především o produkci dřevní hmoty.

2. Cíl práce

V úvodní části práce bylo cílem zpracování literárního přehledu zaměřeného především na morfologii, ekologii a rozšíření smrku ztepilého a na působení klimatu na růst smrku.

Výzkumným úkolem této práce bylo zjištění a postihnutí změn anatomických parametrů xylému u jehlic smrku ztepilého z různých nadmořských výšek ze severně a jižně orientovaných lokalit v Hrubém Jeseníku. Pro každou nadmořskou výšku byla na základě digitálního modelu terénu v programu ArcMap zjištěna hodnota solární radiance. Předmětem zkoumání bylo posouzení vlivu nadmořské výšky a solární radiance na rozměry a počty tracheid, teoretickou hydraulickou vodivost a plochu xylému pomocí regresní analýzy u jednoletých slunných jehlic smrku ztepilého. Dalším cílem práce byla tvorba predikčních map jednotlivých parametrů xylému pro zkoumané území.

3. Současný stav řešené problematiky

3.1. Charakteristika druhu

3.1.1. Taxonomické zařazení druhu

Dle Musila a Hamerníka (2007):

Říše:	<i>Plantae</i> - rostliny
Podříše:	<i>Tracheobionta</i> – cévnaté rostliny
Oddělení:	<i>Pinophyta</i> – jehličnaté rostliny
Řád:	<i>Pinales</i> - borovicotvaré
Čeleď:	<i>Pinaceae</i> - borovicovité
Rod:	<i>Picea</i> – smrk
Podrod:	<i>Picea</i>
Druh:	<i>Picea abies</i> – smrk ztepilý

3.1.2. Morfologie

Smrk ztepilý je nejdůležitější hospodářskou dřevinou střední a severní Evropy v průměru dorůstající výšky 30–40 m (Musil a Hamerník, 2007), ale může dosahovat výšky až 62 m a 2 m výčetní tloušťky (Tjoelker et al., 2007). Smrk je kvůli plochému kořenovému systému, dosahujícímu v průměru hloubky jen 40 cm, považován za naši bořivým větrům nejsnadněji podléhající dřevinu (Musil a Hamerník, 2007). Kmen je průběžný, přímý (Tichá a Úradníček, 2009) a často jsou značně vyvinuty kořenové náběhy (Musil a Hamerník, 2007). Kůra smrku je převážně červenohnědá, hladká, borka do stáří poměrně slabá, penízkovitě odlupčivá a dřevo je žlutobílé, letokruhy zřetelné s relativně ostrým přechodem jarního a letního dřeva (Tichá a Úradníček, 2009). Koruna smrku je nejčastěji pyramidální, špičatá, pravidelně přeslenitá s velmi variabilním větvením (Musil a Hamerník, 2007). Válcovité, špičaté pupeny smrku mohou být pouze 1 mm dlouhé (na bočních stinných výhonech), terminální pupeny naopak mohou dosahovat až 2 cm délky (Tjoelker et al., 2007). Šišky jsou převislé, tmavě hnědé, 10–15 x 3–4 cm velké, s plochými šupinami, plodní šupiny jsou tvarově velmi variabilní (Musil a Hamerník, 2007). Semeno je vejcovité, kávově hnědé, 4–5 mm dlouhé, křídlo se od semena snadno odděluje (Tichá a Úradníček, 2009).

Jehlice, spirálovitě uspořádané na větvici, jsou leskle zelené, zašpičatělé, 10–25 mm dlouhé a 1 mm široké s kosodélníkovým tvarem příčného řezu (Tjoelker et al., 2007).

Vyrůstají z vyniklých výstupků listových polštářků, které tvoří charakteristický zvrásněný povrch větvičky (Musil a Hamerník, 2007). Na zastíněných větvích jsou jehlice rozčísnuté, na slunných větvích kartáčovitě vzpřímené (Tichá a Úradníček, 2009). Délka života jehlic je v nížinách v průměru 4 roky, ve vyšších nadmořských výškách a zeměpisných šířkách 5 a více let (Wachter, 1985). Musil a Hamerník (2007) uvádějí průměrnou životnost jehlic 6 až 9 let, při imisním zatížení pak úměrně méně. Smrky rostoucí v porostech vykazují relativně vysoký index listové plochy (poměr plochy listoví k půdorysné ploše rostliny), jeho hodnotu 10,5 uvádějí Bolstad a Gower (1990).

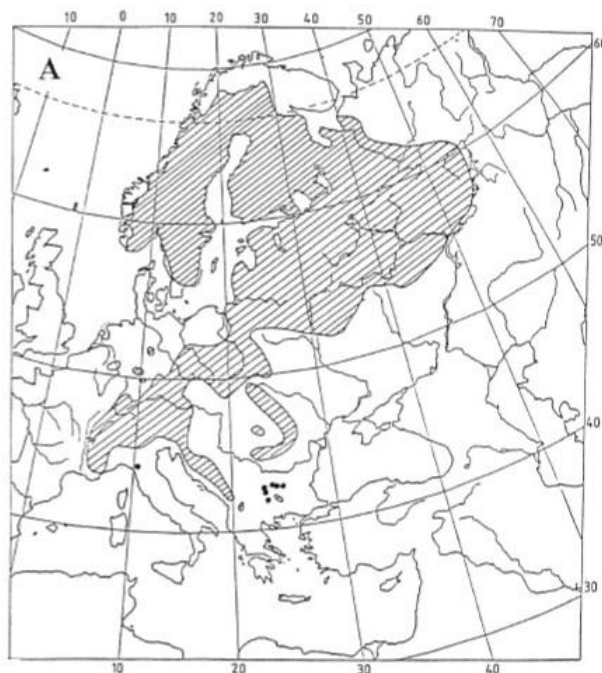
3.1.3. Ekologie

Smrk ztepilý je dominantním druhem vyšších lesních vegetačních stupňů navzdory méně příznivým ekofyziologickým podmínkám, neboť je považován za euryekní druh snášejší jak široké rozpětí půdní kyselosti, tak značné rozpětí kvality humusu (Ambros a Štykar, 1999). Je druhem polostinným se střední až vyšší tolerancí k zástínu a jeho nároky na půdní i vzdušnou vlhkost jsou značné – v teplejších oblastech je nedostatek vláhy limitujícím až hraničním faktorem růstu smrku (Musil a Hamerník, 2007). Ambros a Štykar (1999) považují smrk za druh snášejší dlouhodobé zamokření rhizosféry schopný přežít při vlhkostním režimu bažin a rašelinišť. Tepelné nároky smrku jsou malé, smrk je citlivější k vysokým teplotám než k nízkým (Musil a Hamerník, 2007). K nejdůležitějším selekčním faktorům pro smrk patří sucho, pozdní mrazy, poškození sněhem, zkracování vegetačního období a kompetice s bukem (Ellenberg, 1978).

3.1.4. Rozšíření

K rozšíření smrku ztepilého do jeho současného areálu došlo z několika refugií po poslední době ledové, v závislosti zejména na zvýšení úhrnu srážek. Expanze smrku v posledním tisíciletí je pak dílem lidské činnosti (Tjoelker et al., 2007). Smrk je rozšířen v pohořích střední a jižní Evropy, Východoevropské nížině a na Skandinávském poloostrovu (Úradníček, 2009) (Obr. 1). Nejzápadněji se vyskytuje ve francouzských Alpách, východní hranici areálu tvoří úpatí pohoří Ural, nejsevernější výskyt je zaznamenán v Norsku, jižní naopak v Řecku a Makedonii (Tjoelker et al., 2007). Ambros a Štykar (1999) řadí smrk k druhům se submediteránním rozšířením se subkontinentální tendencí. Musil a Hamerník (2007) vylisují dvě oblasti výskytu – středoevropsko-balkánskou a severoevropskou, které jsou odděleny vnitropolskou

disjunkcí. V České republice jsou těžištěm přirozeného výskytu smrku polohy nad 1000 m n. m., horní hranice souvislých porostů je v Krkonoších 1380 m (Skalická a Skalický, 1997). V nadmořských výškách 700–1000 m smrk dříve přirozeně vytvářel směsi s jedlí a bukem a pod 700 m n. m. byl pouze vtroušenou dřevinou (Musil a Hamerník, 2007). Současné zastoupení smrku v ČR je oproti přirozenému výskytu pětinasobné na úkor lesů jedlobukových, bukových i dubových.



Obr. 1 Geografické rozšíření smrku ztepilého (Tjoelker et al., 2007).

3.2. Vliv klimatu na růst smrku ztepilého

3.2.1. Sluneční záření

Život na zemi v celé své podstatě závisí na sluneční energii a fotosyntéza je jediným biologickým procesem, který této energii využívá (Taiz a Zieger, 2006). Rostliny jsou schopny se adaptovat na převládající kvalitu a kvantitu záření (Larcher, 1988). Rostliny, jež se adaptovaly na stín, vytvářejí větší listové plochy s vyšší koncentrací chlorofylu a naopak rostliny přivyklé vyšší intenzitě záření mají účinný systém vedení vody a listy s několika vrstvami mezofylu a buňkami s četnými chloroplasty (Larcher, 1988). Dalším přizpůsobením rostlin k různé intenzitě slunečního záření je pohyb chloroplastů, jímž rostlina reguluje absorpci světelné energie (Taiz a Zieger, 2006).

Příjem sluneční energie v lesních ekosystémech ve vyšších zeměpisných šířkách ovlivňuje sklon svahu a expozice. Na 50° severní šířky je pro příjem sluneční energie

nejvýhodnější jižní svah se sklonem 30° – při těchto podmínkách může porost získat stejné množství energie jako na rovinách ve Středomoří (Jeník, 1984).

Ačkoli je smrk obecně považován za stín snášejší dřevinu, jeho nároky na světlo se mění v souvislosti se stanovištními podmínkami – v optimálních podmínkách je schopen zmlazovat se pod porostní clonou a naopak v tvrdých podmínkách při horní hranici lesa má vysoké požadavky na světlo (Tjoelker et al., 2007).

Musil a Hamerník (2007) uvádějí, že jehlice smrku rostoucí na slunných prýtech, mají přibližně čtvercový průřez, zatímco jehlice zastíněné jsou plošší. Gebauer et al. (2011) zjistili, že morfologické parametry (šířka, výška a plocha na příčném řezu) slunných smrkových jehlic dosahují obecně vyšších hodnot než parametry jehlic stinných.

3.2.2. Teplota

Průměrná teplota prostředí není pro rostliny tak důležitá jako teplotní extrémy – nejnižší zimní teploty a nejvyšší letní teploty (Mauseth, 2003). Každá rostlina má určité hranice teplot pro přežití. Larcher (1988) uvádí, že je třeba rozlišovat mezi hranicí aktivity, kdy se životní procesy zpomalují na minimum, a letální hranicí, kdy dochází k trvalému poškození až úhynu rostliny. Rostliny vyvinuly řadu mechanismů, jimiž zajišťují odolnost vůči nepříznivým teplotám. Dřeviny mírného pásma například využívají rozpuštěných látek a jiných složek poutajících vodu ke snížení bodu mrznutí vody v pletivech (Larcher, 1988). Obecně v oblastech se sezónním výskytem mrazů dochází u rostlin k tzv. otužování, kdy rostliny postupně získávají schopnost přežít i při tvorbě ledu v pletivech (Larcher, 1988). Neméně důležitá je tolerance rostlin k horku, protože všechny rostliny jsou na horko velmi citlivé v období největšího přírůstu (Larcher, 1988). Listy rostlin rostoucích v chladnějším prostředí jsou schopny fotosyntetizovat při nižších teplotách než listy rostlin v teplejších podmínkách (Taiz a Zieger, 2006).

Obecně platí, že lesy na severních svazích jsou chladnější a svým složením více připomínají severské nebo vysokohorské porosty (Jeník, 1984). Teplota ve vegetačním období je nejdůležitějším faktorem zapříčiňujícím vznik horní hranice lesa (Körner, 2003). Ellenberg (1978) uvádí, že smrk má relativně nízké požadavky na teplo – při horní hranici lesa je schopen přežít průměrnou lednovou teplotu -8 °C, ale naopak je poměrně citlivý k časným a pozdním mrazům během vegetačního období.

Průměrná roční teplota optimální pro růst smrku je +6 °C, nárůst tepla sice zvyšuje přírůsty, avšak pouze do doby než je začne limitovat nedostatek vody (Musil a Hamerník, 2007).

3.2.3. Voda

Voda je nejdůležitějším ekologickým faktorem, který ovlivňuje existenci a rozšíření rostlin (Procházka, 1998a), neboť v ní probíhají biochemické cykly nezbytné pro život rostliny (Taiz a Zieger, 2006). Hospodaření s vodou (příjem, vedení a výdej) je složitý proces, protože při příjmu jedné molekuly CO₂, který musí rostlina přijímat pro stavbu svého těla, ztratí asi 100–500 molekul vody (Procházka, 1998b). Dle Larchera (1988) spotřebují jehličnaté dřeviny pro tvorbu 1 kg sušiny 200–300 l vody. Jehličnany jsou však oproti listnáčům svou stavbou schopny velmi dobře zachovávat vyrovnaný obsah vody – nižší transpiraci jehličnanů pravděpodobně způsobuje výskyt kutikuly v průduších (Larcher, 1988).

Smrk má střední až vyšší nároky na vláhu – hodnota srážkového optima smrku ve vegetační době se u nás pohybuje mezi 490–580 mm (Musil a Hamerník, 2007). Smrk velmi dobře snáší nadbytečnou vlhkost, naopak je ale citlivý na suchá období a nízkou relativní vlhkost vzduchu nesnáší (Musil a Hamerník, 2007). Citlivost k suchu je způsobena mělkým kořenovým systémem, kdy je smrk schopen využívat srážkové vláhy jako primárního zdroje vody, v období přisušku ale nemá přístup k vodě spodní (Tjoelker et al., 2007). Mitscherlich (1971) uvádí, že smrk v horách získává velký podíl vláhy zachycováním vody korunami z mlhy a námrazy.

Limitujícím faktorem pro růst smrku ve vyšších nadmořských výškách je také sníh. Štíhlá, většinou až k zemi zavětvená koruna zvyšuje stabilitu stromů, větve smrků jsou přitisknuté ke kmeni a tak po nich může sníh snadno sklouznout (Banaš, 2007). Tento typ větvení je označován jako deskovitý a v Hrubém Jeseníku jej má asi 80 % smrků (Musil a Hamerník, 2007).

3.2.4. Půdní podmínky

Výraz "půda" se vztahuje na celou řadu látek. Půdy jsou pro rostliny důležité nejen kvůli zásobování minerály, ale také kvůli zásobě vody, dodávání vzduchu ke kořenům a mechanické stabilizaci rostlin (Mauseth, 2003). Rostlinné živiny jsou v půdě obsaženy především v opadu, humusu a těžko rozložitelných anorganických sloučeninách, které se pro rostliny přístupnou zásobou živin stávají velmi pomalu (Larcher, 1988). Na životaschopnost rostlin má přímý vliv půdní reakce – rostliny jsou schopny přežít při pH v rozmezí 3–9, mimo toto rozmezí dochází k vážnému poškození protoplazmy (Larcher, 1988).

Smrk nemá zvláštní nároky na půdu a na obsah jejích živin – odrůstá i na půdách chudších, ale s menšími přírůsty (Musil a Hamerník, 2007). Toto dokládají i Ambros a Štykar (1999), kteří zařazují smrk do trofické řady B~ obsahující druhy se širokým rozpětím půdní kyselosti a schopností odrůstat i při různé kvalitě humusu. Optimum pH pro růst smrku je 4–5 (Musil a Hamerník, 2007). Na velmi bohatých stanovištích však není schopen plně využít svého růstového potenciálu, neboť podléhá konkurenčnímu tlaku eutrofních dřevin (Tjoelker et al., 2007). Smrk osídluje i velmi mělké půdy s tenkou vrstvou humusu, typickým příkladem je růst smrku na horní hranici lesa (Úradníček, 2009).

3.2.5. Proudění vzduchu

Fyziologické působení vzdušného proudění na smrk ztepilý je ve srovnání s jinými druhy dřevin malé a vysoká tolerance k větru je při obsazování exponovaných stanovišť pro smrk výhodná (Mitscherlich, 1971). Smrky, které se musely přizpůsobit drsným klimatickým podmínkám vysokohorských poloh, mají často kvůli dlouhodobému jednosměrnému proudění vzduchu jednostranně deformované tzv. vlajkovité koruny (Banaš, 2007), u kterých je návětrná strana kmene holá a větve vyrůstají na straně závětrné (Jeník, 1984). Na návětrné straně způsobuje vítr vysušování a unášením sněhu a ledových krystalů mechanické poškození větví, pupenů a listů (Banaš, 2007). Jedinci smrku se ale byli schopni adaptovat na podmínky vrcholového fenoménu zakořeňováním větví dotýkajících se půdy tzv. hřížením a následnému vzniku skupin jedinců vegetativního původu, takže vystupují v roztroušených skupinách i nad horní souvisleji zapojenou hranici lesa (Šenfelder a Maděra, 2010).

4. Metodika

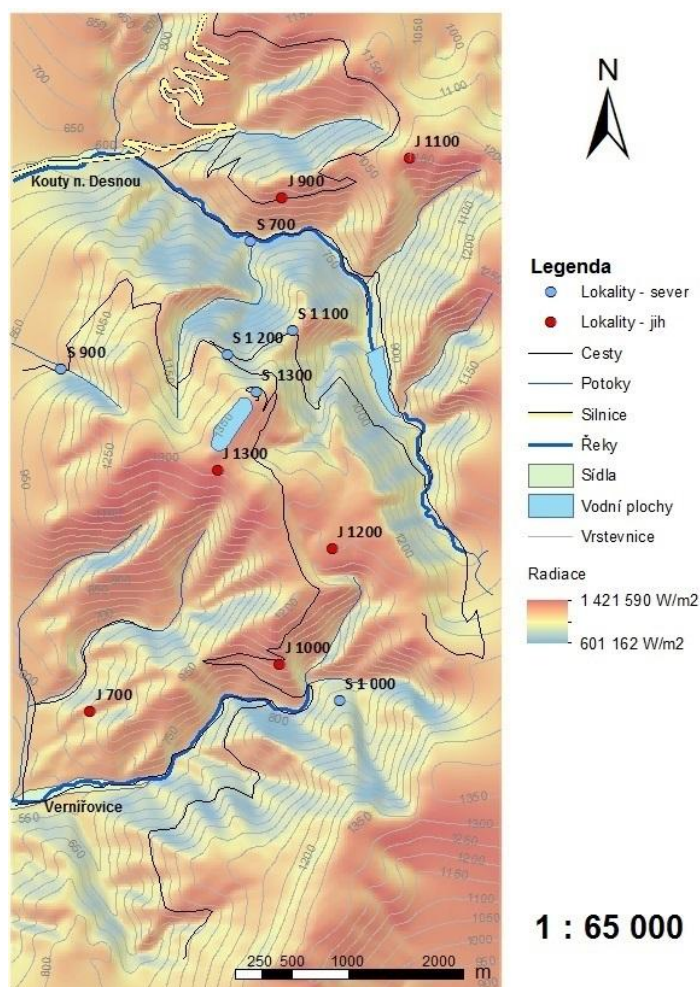
4.1. Výběr a umístění lokalit

Výzkum byl prováděn v Hrubém Jeseníku, v katastrálních územích Loučná nad Desnou a Vernířovice, v oblasti masivu Mravenečník. Polovina výzkumných lokalit byla vybrána již při zpracování bakalářské práce (Bartoňová, 2014). Jednalo se o lokality S 700, S 1100, S 1300, J 700, J 1000 a J 1200. Podmínkami pro jejich výběr byla existence smrkového porostu ve věku od 10 do 20 let a rovnoměrné rozložení lokalit s ohledem na nadmořskou výšku na severní a jižní expozici.

Lokality pro diplomovou práci musely opět splňovat výše zmíněné podmínky. Cílem výběru bylo doplnit je tak, aby každá lokalita na severní expozici měla svůj ekvivalent na expozici jižní a naopak, byly tedy doplněny lokality S 1000, S 1200, J 1100 a J 1300. Pro zpřesnění pak byla vybrána dvojice lokalit v nadmořské výšce 900 m. Vznikly tak řady lokalit na severní a jižní expozici v nadmořských výškách 700, 900, 1000, 1100, 1200 a 1300 m n. m. (Tab. 1, Obr. 2).

Tab. 1 Umístění a charakteristiky lokalit (ÚHÚL, 2016)

Lokalita	GPS souřadnice	Nadmořská výška [m]	Soubor lesních typů	Cílový hospodářský soubor	Pásmo ohrožení imisemi
S 700	50°5'41.985"N, 17°9'22.827"E	685	5A	51	C
S 900	50°4'41.424"N, 17°7'53.066"E	910	6Y	01	C
S 1000	50°2'25.044"N, 17°10'50.812"E	995	6F	51	C
S 1100	50°5'6.413"N, 17°10'4.078"E	1100	7S	75	B
S 1200	50°4'53.116"N, 17°9'28.273"E	1190	7N	71	B
S 1300	50°4'42.867"N, 17°9'47.431"E	1295	8K	02	B
J 700	50°2'32.263"N, 17°8'20.180"E	685	5A	55	C
J 900	50°5'58.375"N, 17°9'46.504"E	900	6F	01	C
J 1000	50°2'59.496"N, 17°10'18.214"E	1010	6F	51	C
J 1100	50°6'16.733"N, 17°11'3.442"E	1110	7K	73	B
J 1200	50°3'43.414"N, 17°10'42.856"E	1195	8S	02	B
J 1300	50°4'10.171"N, 17°9'16.725"E	1310	9K	03	B



Obr. 2 Poloha výzkumných lokalit. Podklad je tvořen rastrem zobrazujícím intenzitu solární radiance vypočtenou v programu ArcGIS (viz níže).

4.2. Charakteristika území

Lokality se nachází v údolí horního toku řeky Desné a říčky Merty, jež je levostranným přítokem právě Desné, spadající do povodí Moravy (Obr. 2). Z hlediska geologického náleží Hrubý Jeseník do krystalinika soustavy lužicko-slezské, v němž převládají hlubinné a přeměněné horniny – granodiorit, žula, rula a fylit (Hruška a Jelínek, 1998). Dle mapových podkladů České geologické služby (2016) tvoří podloží všech výzkumných lokalit rula, vyjma J 700 a J 1200, kde se nachází amfibolit. Převažují zde kyselé, podzolované půdy s morovou humusovou vrstvou (Banaš, 2007), konkrétně podzol a kryptopodzol, na dvou jižních lokalitách se pak nachází kambizem mesobazická (Česká geologická služba, 2016).

Klima Hrubého Jeseníku je dle Quitta (1971) zařazeno do chladné a mírně teplé klimatické oblasti, lokality leží konkrétně v klimatických oblastech MT 6 a CH 7 s průměrnou říjnovou teplotou v intervalu 6–7 °C a CH 4, kde se průměrná říjnová

teplota pohybuje mezi 4–5 °C. V hřebenových oblastech Jeseníků jsou oproti Krkonoším zaznamenávána nižší zimní teplotní minima – důvodem je častější pronikání kontinentálního arktického vzduchu (Tolasz, 2007). Dle Tolasze (2007) se roční úhrny srážek vybraného území pohybují v intervalu od 700 mm v nižších polohách do 1200 mm ve vyšších polohách. Důležitým činitelem je také sněhová pokrývka – počet dní se sněhovou pokrývkou ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku může dosáhnout až 160 dní v roce (Quitt, 1971). Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu se ve vybraném území pohybuje v rozmezí 80–85 % a průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu činí 1400–1500 h (Tolasz, 2007).

Charakter vegetace na lokalitách v 1200 a 1300 m n. m. odpovídá vegetaci horní hranici lesa. V Hrubém Jeseníku je horní hranice lesa, jejíž průměrná výška činí 1302 m n. m., tvořena pouze smrkem ztepilým s pomístnou příměsí jeřábu ptačího (Šenfelder a Maděra, 2010). Chybí zde borovice kleč, která v průběhu holocénního vývoje vegetace ustoupila, a proto zde mohl smrk zaujmout její ekologickou niku (Jeník, 1961). V nižších nadmořských výškách se pak místy vyskytují bukové porosty, které v dřívějších dobách pokrývaly značnou část pohoří Jeseníků (Banaš, 2007).

Rozpětí lesních vegetačních stupňů je od 5. po 9. lesní vegetační stupeň a zastoupeny jsou soubory lesních typů ekologických řad extrémní, kyselé, živné i humusem obohacené (Tab. 1). Z hlediska lesního hospodářství část lokalit patří do lesa ochranného, hospodářské lesy pak spadají do cílových hospodářských souborů 51, 55, 71, 73 a 75. Porosty lokalit položených v nadmořských výškách 1100 m a výše jsou zařazeny do pásma ohrožení imisemi B, níže položené lokality pak do pásma C. Co se týče ochrany přírody, lokality se nachází v CHKO Jeseníky, ptačí oblasti Jeseníky a lokalita J 1200 spadá i do evropsky významné lokality Praděd. Za zmínku stojí i genová základna buku lesního a smrku ztepilého Kosaře, ve které leží lokalita J 1000. (ÚHÚL, 2016)

4.3. Odběr vzorků

Vzorky z šesti lokalit (S 700, S 1100, S 1300, J 700, J 1000 a J 1200) byly odebrány v rámci bakalářské práce (Bartoňová, 2014) dne 5. července 2013. Pro účely diplomové práce byly dne 28. června 2015 odebrány vzorky z dalších 6 lokalit (S 900, S 1000, S 1200, J 900, J 1100, J 1300). Na každé výzkumné lokalitě bylo vybráno deset jedinců smrku. Z každého z nich byl odebrán jeden jednoletý slunný prýt pocházející z třetího přeslenu od vršku daného jedince. Celkem tedy bylo odebráno 60 prýtů (10 prýtů na

lokalitu). Vzorčky byly uzavřeny do umělohmotných zkumavek a zakonzervovány roztokem FAA (formaldehyd-kyselina octová-ethanol; Němec et al., 1962).

4.4. Zpracování mikroskopických řezů

Laboratorní zpracování vzorků počínalo tvorbou příčných mikroskopických řezů. U každého odebraného prýtu byly provedeny řezy z 5 jehlic. Mikroskopické řezy byly na podložním sklíčku barveny kyselinou chlorovodíkovou a floroglucinolem v poměru 3:1 pro zvýraznění xylému a přikryty sklíčkem krycím. Vznikly tak dočasné mikroskopické preparáty. Tímto způsobem bylo celkem vytvořeno 300 preparátů.

Následovalo fotografování mikroskopických řezů pomocí světelného mikroskopu Olympus BX51 (Olympus Co., Japonsko) se zabudovaným fotoaparátem Canon EOS 1100D (Canon Inc., Japonsko). Snímky byly pořizovány a ukládány počítačovým programem QuickPhotomicro 2.3 (Promicra, Česká republika). Pro účely vyhodnocení struktury xylému se detailněji fotil střední válec.

4.5. Zvýrazňování tracheid

Dalším stupněm přípravy na analýzu xylému bylo zvýraznění jednotlivých tracheid na snímcích příčných řezů. Tento úkon byl prováděn jak na snímcích pořízených pro diplomovou, tak pro bakalářskou práci. Celkem tedy bylo zpracováno 600 snímků.

Vlastní zvýrazňování bylo provedeno v grafickém programu GIMP, verze 2.6.6 (GNU Image Manipulation Program, <http://www.gimp.org>) za použití kontrastní bílé barvy (Obr. 3).

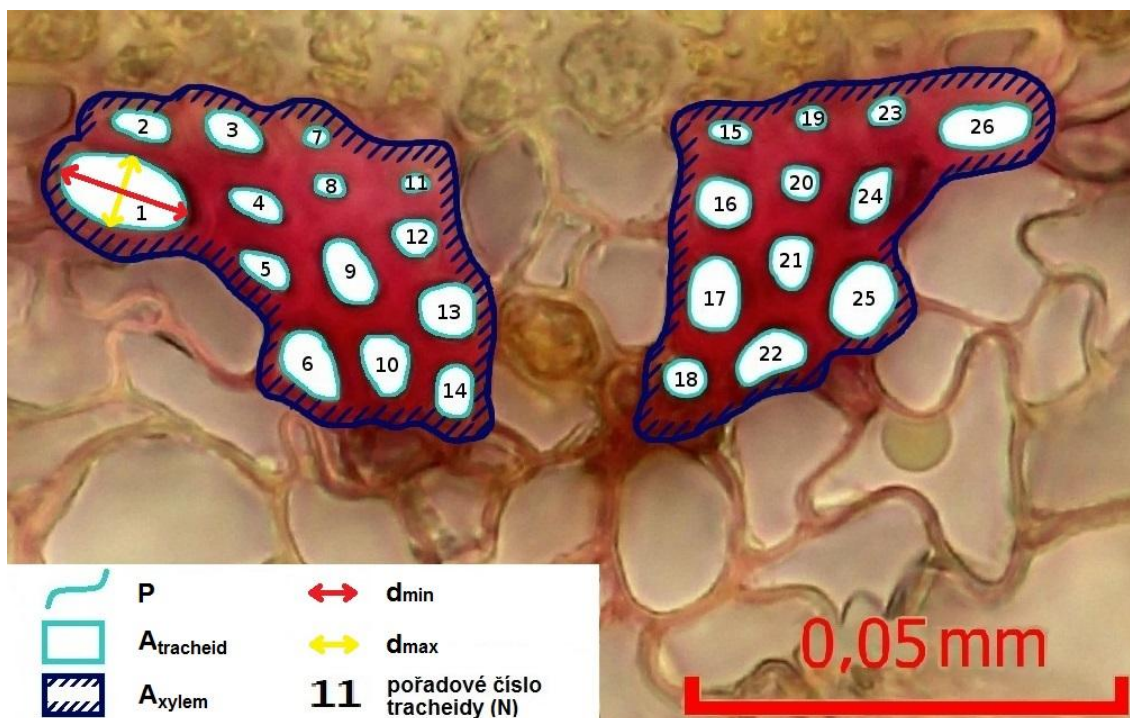


Obr. 3 Uživatelské prostředí programu GIMP – zvýrazňování tracheid

4.6. Vyhodnocení příčných řezů

Měření rozměrů zvýrazněných tracheid bylo prováděno v počítačovém programu ImageTool, verze 3.0 (UTHSCSA, USA). Na základě kontrastního odlišení bílých lumenů tracheid od zbytku snímku mohlo být užito hromadného automatického měření.

Byly měřeny následující rozměry – minimální průměr tracheidy (d_{\min}), maximální průměr tracheidy (d_{\max}), obvod tracheidy (P), plocha tracheidy (A_{tracheid}) a plocha xylému (A_{xylem}) (Obr. 4). Byl také zaznamenáván počet tracheid – N .



Obr. 4 Zjišťované parametry xylému

4.7. Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost na jednotku tlakového gradientu je jedním z nejčastěji měřených parametrů a může být vyjádřena jako podíl toku vody v určité části stonku a tlakového gradientu, jež způsobuje tok. Pokud více kapilár o různých průměrech probíhá paralelně vedle sebe, jako je tomu u tracheid na příčném řezu jehlicí, užívá se pro výpočet teoretické hydraulické vodivosti xylému rovnice Hagen-Poiseuilleho, uváděná například Wooduffem et al. (2008)

$$K_{th_tracheid} = (\pi\rho/8\eta) r_{lum}^4 \quad (4.1)$$

kde ρ je hustota vody při 20 °C (998,205 kg·m⁻³) a η viskozita vody při 20 °C (1,002·10⁻⁹ MPa·s⁻¹) a r_{lum} je poloměr kapiláry.

Vzhledem k tomu, že tvar lumenu tracheid v xylému nebyl kruhového tvaru, byla použita úprava rovnice, která je doporučována Martrem et al. (2000) pro eliptický tvar tracheid.

$$K_{th_tracheid} = \frac{\pi}{64\eta} \frac{a^3 \cdot b^3}{(a^2 + b^2)} \quad [\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}] \quad (4.2)$$

kde a je rovno minimálnímu průměru tracheidy (d_{\min}) a b maximálnímu průměru tracheidy (d_{\max}).

Následoval výpočet specifické hydraulické vodivosti xylému, která vyjadřuje míru pórovitosti jehlice a odráží efektivitu transportu vody, a je rovna podílu sumy hydraulické vodivosti všech tracheid v jehlici a plochy xylému jehlice.

$$K_{S_xylem} = \Sigma K_{th_tracheid} / A_{xylem} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}] \quad (4.3)$$

4.8. Statistické zpracování

Pro porovnání výsledků měření a výpočtů hodnot jednotlivých lokalit byly použity tři statistické operace – popisná statistika (zjištění základních statistických charakteristik), analýza rozptylu (dvoufaktorová ANOVA) a regresní analýza. Všechny operace byly prováděny v programu Statistica 12 (StatSoft, Inc., USA).

Základní statistické charakteristiky

Jedná se o charakteristiky polohy (průměr a medián), variability (směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient) a tvaru (šikmost, špičatost). Tyto statistické charakteristiky poskytují informace jak o poloze souboru v určité množině hodnot, tak zároveň sdělují, jak jsou jednotlivé hodnoty rozptýleny v souboru – jaké jsou odchylky mezi daty či odchylky dat od průměru (Drápela, 2012).

Analýza rozptylu (ANOVA) (dle Drápely, 2012)

Analýza rozptylu je statistický test, jenž testuje nulovou hypotézu o shodě středních hodnot pro více souborů (3 a více). Principem této analýzy je postihnout vliv jednotlivých úrovní faktoru (v rámci této práce nadmořské výšky a solární radiance) na konkrétní měřenou veličinu (parametry xylému). Předpokladem analýzy je, že pokud zkoumané faktory nemají na určitou měřenou veličinu žádný vliv, jejich působení se neprojeví na statistických charakteristikách dané veličiny. Kdyby však měl faktor vliv významný, projeví se to především na rozptylu a aritmetickém průměru. Odlišnost rozptylu a aritmetického průměru je považována za míru intenzity působení těchto faktorů.

ANOVA má množství variant, v této práci byla použita dvoufaktorová ANOVA s nevyváženým modelem.

V případě dvoufaktorové analýzy rozptylu je testováno více nulových hypotéz než v případě jednofaktorové analýzy rozptylu:

- a) Vliv faktoru A je nevýznamný
- b) Vliv faktoru B je nevýznamný
- c) Vliv interakce mezi faktory je nevýznamný

Obecně při analýze rozptylu mohou tedy nastat dvě situace. Buď se nulová hypotéza nezamítá a výpočet končí, protože nebyl prokázán rozdíl středních hodnot jednotlivých souborů, nebo je nulová hypotéza zamítnuta a dalším postupem jsou testy mnohonásobného porovnávání, které identifikují statisticky významné rozdíly mezi soubory.

Mnohonásobná porovnávání mají také funkci statistických testů porovnávajících vzájemné rozdíly mezi skupinovými středními hodnotami a posuzujících jejich významnost. Testů musí být provedeno tolik, kolik je možných kombinací středních hodnot. Existuje množství metod mnohonásobného porovnávání – pro tuto práci vybrána a provedena Tukeyho metoda mnohonásobného porovnávání.

Tukeyho metoda mnohonásobného porovnávání testuje nulovou hypotézu – střední hodnoty dvou skupin se rovnají ($H_0: \mu_A = \mu_B$) a alternativní hypotézu, která je postavena na opaku ($H_1: \mu_A \neq \mu_B$). Pro vyhodnocení se používá testové kritérium (podíl rozdílu středních hodnot skupin a směrodatné odchylky rozdílů průměrů skupin) a kritická hodnota. Pokud je testové kritérium menší než kritická hodnota, je nulová hypotéza o shodě středních hodnot dvou porovnávaných skupin přijata.

Program Statistica 12 užívá pro vyhodnocení Tukeyho testu hladinu významnosti α o zvolené hodnotě 0,05 a p-hodnotu (nejmenší možnou hodnotu α , kdy ještě může být nulová hypotéza zamítnuta) daných souborů. Vyhodnocení je obdobné jako při užití kritické hodnoty a testového kritéria – pokud je p-hodnota nižší než hladina významnosti α , nulová hypotéza není zamítnuta. V kapitole Výsledky jsou pro každý zjišťovaný parametr uvedeny tabulky p-hodnot Tukeyho testu, červeně jsou zvýrazněny p-hodnoty potvrzující statistickou významnost rozdílu mezi testovanými středními hodnotami lokalit ($p < 0,05$). Podtržením jsou pak zvýrazněny hodnoty dvojic lokalit o shodné nadmořské výšce na různé expozici.

Regresní analýza

Tato analýza byla zpracována za účelem vytvoření regresních rovnic pro tvorbu predikčních map. Regresních modelů se používá při situacích, kde je předem určeno, které veličiny jsou proměnnými nezávislými (vysvětlujícími) a která veličina je závislou (vysvětlovanou) proměnnou (Drápela, 2012). Pro účely této práce bylo použito mnohonásobného regresního modelu, neboť vysvětlující proměnné byly dvě – nadmořská výška a solární radiance, vysvětlovanou proměnnou pak konkrétní charakteristika xylému. Bylo zvoleno kvadratické proložení dat, při kterém bylo dosaženo vyššího koeficientu determinace R^2 , který vyjadřuje, jaká část rozptylu hodnot je vysvětlena modelem (Drápela, 2012) než při užití lineárního proložení dat. Data počtu tracheid byla proložena lineárně, neboť kvadratické proložení 3D modelu nebylo možné užít. Výstupem toho zpracování jsou jednak regresní rovnice a také trojrozměrné grafy závislosti měřených veličin, které byly vytvořeny pouze pro některé parametry.

Zpracován byl již zmiňovaný počet tracheid, plocha xylému, hydraulická vodivost a specifická hydraulická vodivost. Z důvodu vazeb mezi minimálním průměrem, maximálním průměrem, obvodem a plochou tracheidy a podobnému koeficientu determinace byla vybrána a zpracována pouze plocha tracheidy. Koeficienty determinace a grafy jsou uvedeny v kapitole Výsledky.

4.9. Zpracování pomocí GIS

V programu ArcMap, verze 10.3 (Esri, USA) byly vytvořeny predikční mapy, pro jejichž tvorbu bylo zapotřebí digitální výškopisné mapy zkoumané oblasti a regresní rovnice pro jednotlivé parametry xylému. Pro tvorbu map byly vybrány pouze ty parametry, pro něž byly vytvořeny trojrozměrné grafy a jejichž závislost na nadmořské výšce a solární radianci je z více než 50 % vysvětlena regresním modelem. Digitální mapa výškopisu byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním. Z výškopisu byla za pomoci nástroje Topo to Raster zhotovena rastrová vrstva digitálního modelu terénu. Na základě této vrstvy byl nástrojem Solar Radiation vytvořen rastr obsahující hodnoty potenciální sumy ročního oslunění jednotlivých míst (buněk rastru). Byla rovněž vytvořena rastrová mapa lesních porostů (zdroj – WMS portál ÚHÚL) a za pomoci nástroje Reclassify upravena na 2 hodnoty buněk: 0 – bezlesí, 1 - les. Příprava pro tvorbu map byla dokončena přepočtem podkladových rastrů nadmořské výšky a solární radiance na rastry s nenulovými hodnotami buněk pouze v místech lesních porostů. Následně byly zhotoveny samotné predikční mapy.

K tvorbě map byl použit nástroj Raster Calculator, do kterého byla vložena regresní rovnice pro daný parametr xylému. Do rovnice byly programem automaticky dosazeny hodnoty nadmořské výšky a solární radiance jednotlivých buněk rastrů a vypočítány tak hodnoty buněk nového rastru predikční mapy daného parametru. Vizualizace byla provedena pomocí programu ArcScene, verze 10.3 (Esri, USA), kde byl rastr daného parametru umístěn jako „plovoucí“ vrstva nad vrstvou výškopisu za vzniku 3D struktury mapy. Následně byla vybrána vhodná barevná symbologie a upravena průhlednost vrstev. Nakonec byly mapy doplněny o vrstvy mapových objektů (toky, komunikace, vodní plochy), legendu a severku.

5. Výsledky

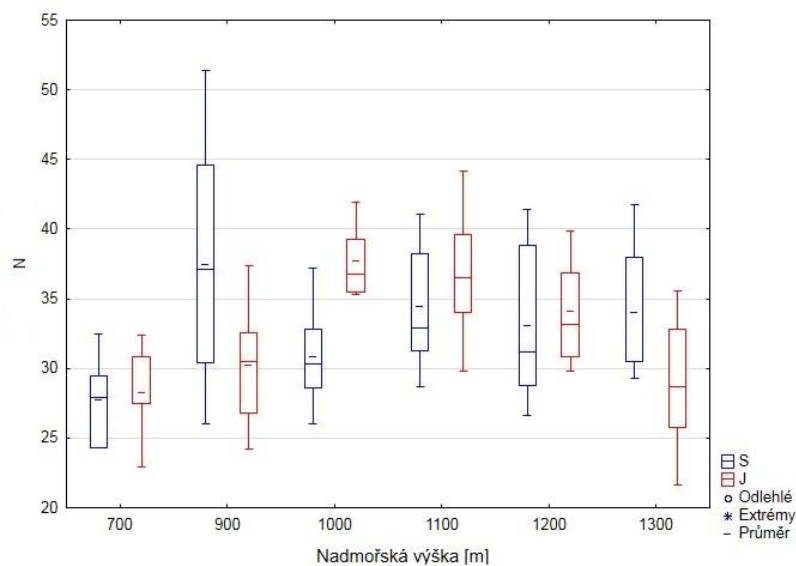
Potenciální suma solární radiance byla vyšší na jižní než na severní expozici (Tab. 2). Na jižní expozici byly nejvyšší hodnoty solární radiance zjištěny ve vyšších nadmořských výškách. Oproti tomu na severní expozici byla nejvyšší hodnota solární radiance změřena v nadmořské výšce 900 m (Tab. 2).

Tab. 2 Srovnání potenciální sumy roční solární radiance na severní a jižní expozici dle lokalit

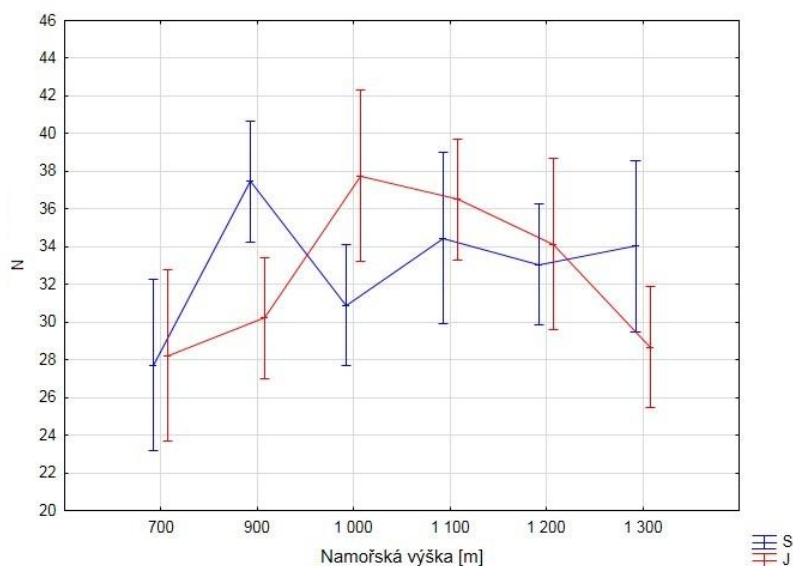
Nadmořská výška [m]	Solární radiance [$W \cdot m^{-2}$]	
	Sever	Jih
700	1 022 635	1 254 285
900	1 125 591	1 345 443
1000	996 896	1 352 950
1100	1 099 852	1 377 617
1200	996 781	1 369 037
1300	1 048 374	1 373 327

5.1. Počet tracheid

Pro počet tracheid v souborech dat jednotlivých lokalit se nevyskytují odlehlá ani extrémní data (Obr. 5). Nesymetrické rozložení dat (levostranné) se vyskytuje pouze u lokality J 1200. Variační koeficient se u všech lokalit pohybuje kolem 20 % (variabilita souborů dat je tedy spíše nižší; příloha 2). Na severní expozici je statistický významný vliv nadmořské výšky na počet tracheid zaznamenán pouze mezi lokalitami S 700 a S 900 (viz Tab. 5), se stoupající nadmořskou pak již nedochází výraznějším ke změnám tohoto parametru (Obr. 6; Tab. 3). Oproti tomu na jižní expozici do nadmořské výšky 1000 m počet tracheid narůstá a od této nadmořské výšky následuje pozvolnější pokles (Obr. 6). Statisticky významně se však liší pouze lokalita J 1100 a J 1300 (Tab. 3). Maximální počet tracheid byl zjištěn na severní expozici v nadmořské výšce 900 m (37,5) a na jižní expozici v 1000 m n. m. (37,8) (příloha 1). Minimální počet tracheid byl pro obě expozice zjištěn v 700 m n. m. (S – 27,7, J – 28,2). Statisticky významný rozdíl mezi expozicemi se nevyskytuje ani u jedné dvojice lokalit se stejnou nadmořskou výškou (Tab. 3).



Obr. 5 Graf rozložení dat parametru počet tracheid (N)



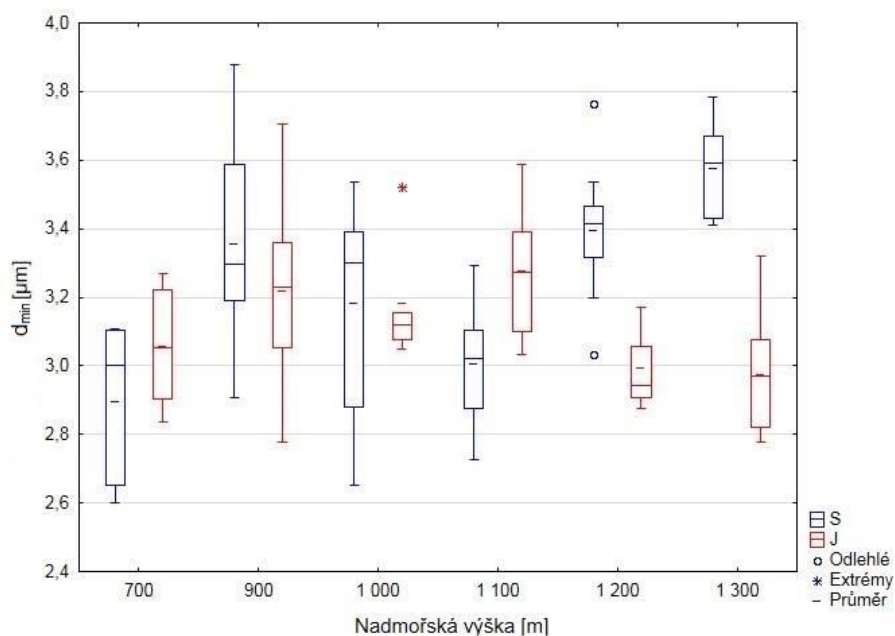
Obr. 6 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro počet tracheid (N)

Tab. 3 Počet tracheid: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

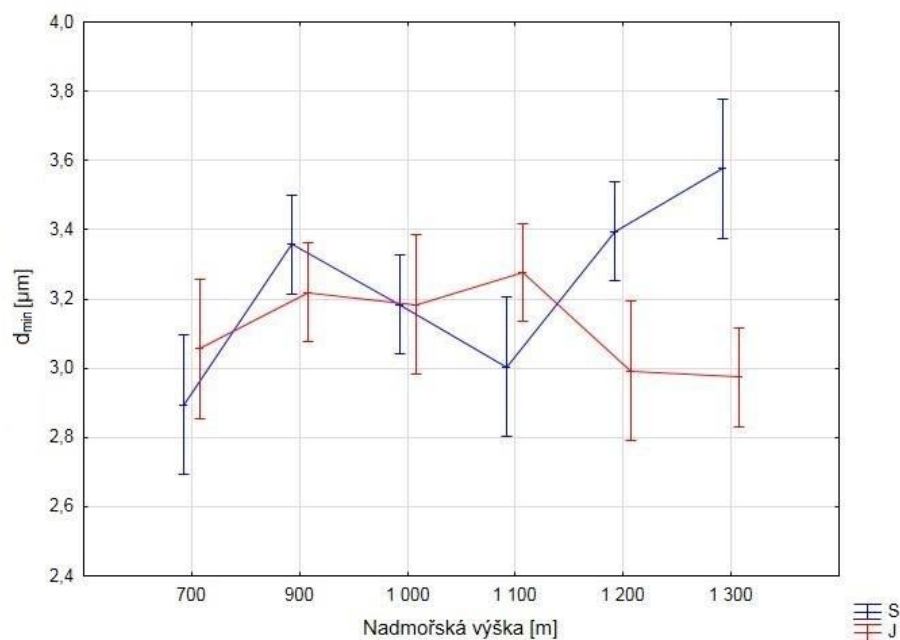
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	1,000	0,699	0,088	0,097	0,999	<u>1,000</u>	0,719	0,749	0,632	0,992	0,036	x
S 900	0,012	0,988	1,000	1,000	<u>0,084</u>	0,060	0,985	0,733	0,995	0,168	x	
S 1000	0,998	0,991	0,373	<u>0,379</u>	1,000	0,998	0,993	0,998	0,980	x		
S 1100	0,646	1,000	<u>1,000</u>	0,997	0,934	0,739	1,000	1,000	x			
S 1200	0,744	<u>1,000</u>	0,929	0,868	0,984	0,851	1,000	x				
S 1300	<u>0,745</u>	1,000	0,999	0,991	0,968	0,815	x					
J 700	1,000	0,798	0,138	0,142	1,000	x						
J 900	1,000	0,961	0,218	0,247	x							
J 1000	0,068	0,992	1,000	x								
J 1100	0,041	0,999	x									
J 1200	0,722	x										
J 1300	x											

5.2. Minimální průměr tracheidy

V souborech dat se nacházejí extrémy pouze u lokality J 1000 a odlehlá data u S 1200 (Obr. 7). Levostranné rozložení je pozorováno právě u dat lokality J 1000. Variační koeficient se pohybuje kolem 10 %, data tedy mají nízkou variabilitu (příloha 2). Průběh minimálního průměru tracheidy (Obr. 8) je na severní expozici značně rozkolísaný, mezi středními hodnotami lokalit S 700 a S 900 je statisticky významný rozdíl (Tab. 4), v intervalu od 900 m do 1100 m n. m. dochází k poklesu, od 1100 m n. m. pak k strmějšímu nárůstu hodnot minimálního průměru tracheidy. Průběh tohoto parametru na jižní expozici je vyrovnanější, od nadmořské výšky 1100 m dochází k opačnému trendu než na expozici severní – k poklesu hodnot (Obr. 8), rozdíly mezi dvojicemi lokalit na odlišných expozicích se tak zvyšují. Nejnižší střední hodnota minimálního průměru tracheidy (2,89 μm) byla na severní expozici zaznamenána v nadmořské výšce 700 m, nejvyšší (3,58 μm) pak i přes zmiňovanou rozkolísanost na nejvýše položené lokalitě (příloha 1). Na jižní expozici lze nejvyšší průměrnou hodnotu pozorovat na lokalitě J 1100 (3,28 μm) a nejnižší v 1300 m n. m. (2,97 μm). V nadmořské výšce 1300 m je rozdíl středních hodnot minimálního průměru tracheidy statisticky významný (Tab. 4) a činí 0,6 μm .



Obr. 7 Graf rozložení dat parametru minimální průměr tracheidy (d_{\min})



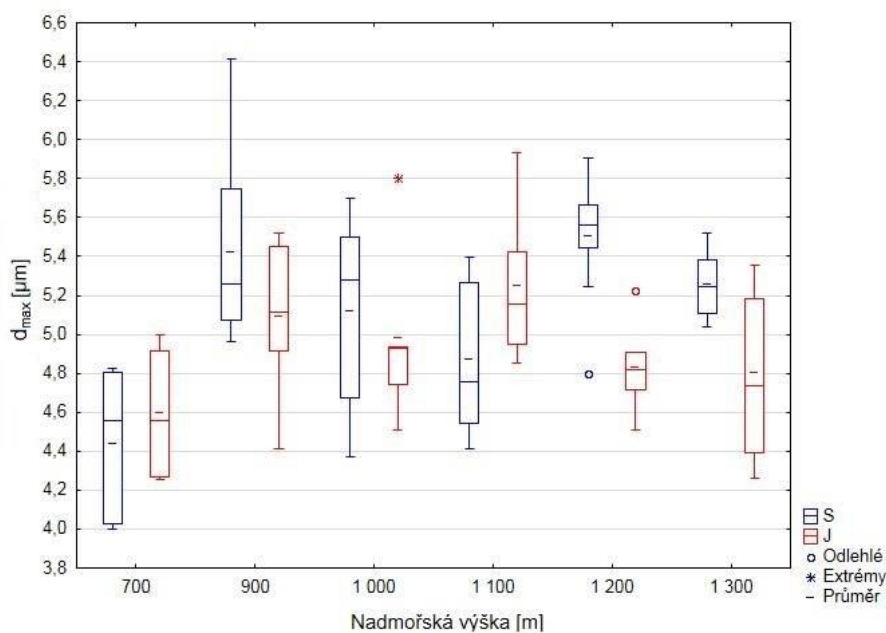
Obr. 8 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro minimální průměr tracheidy (d_{\min})

Tab. 4 Minimální průměr tracheidy: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

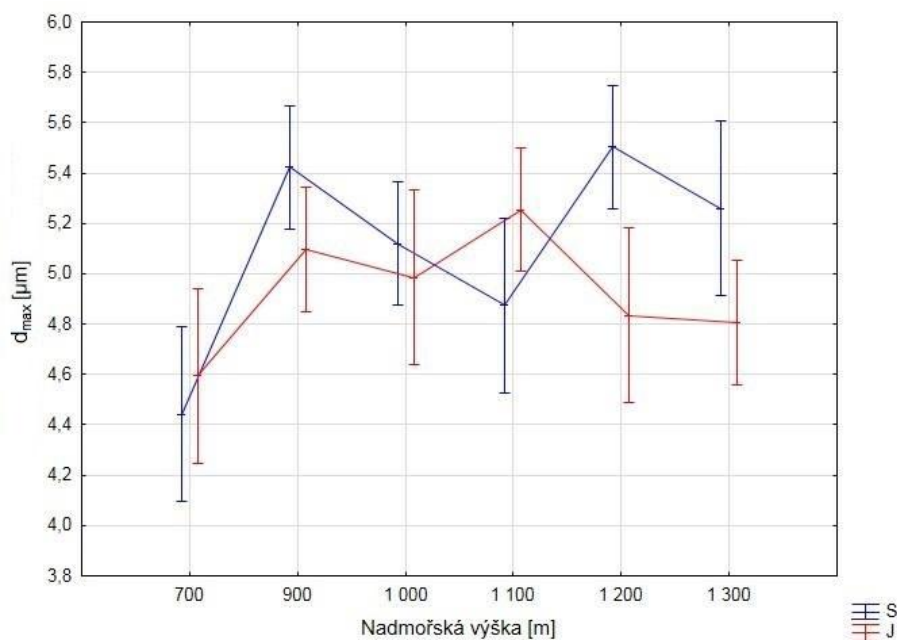
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	1,000	1,000	0,104	0,673	0,288	<u>0,992</u>	0,001	0,007	1,000	0,459	0,017	X
S 900	0,015	0,145	1,000	0,961	<u>0,966</u>	0,405	0,830	1,000	0,180	0,856	x	
S 1000	0,648	0,922	0,999	<u>1,000</u>	1,000	0,997	0,085	0,632	0,949	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,556</u>	0,982	0,848	1,000	0,008	0,088	x			
S 1200	0,005	<u>0,069</u>	0,990	0,862	0,841	0,233	0,946	x				
S 1300	<u>0,000</u>	0,006	0,405	0,227	0,166	0,024	x					
J 700	1,000	1,000	0,829	0,999	0,977	x						
J 900	0,413	0,798	1,000	1,000	x							
J 1000	0,867	0,971	1,000	x								
J 1100	0,134	0,489	x									
J 1200	1,000	x										
J 1300	x											

5.3. Maximální průměr tracheidy

Na lokalitě J 1000 se vyskytují extrémní, na lokalitách S 1200 a J 1200 pak odlehlá data (Obr. 9). Právě na lokalitě J 1000 jsou data rozložena spíše levostranně, průměrná hodnota variačního koeficientu na všech lokalitách je 11 % (příloha 2). Průběh středních hodnot maximálního průměru tracheidy na severní expozici je rozkolísaný, mezi nadmořskými výškami 700 a 900 m dochází k výraznému nárůstu (Obr. 10) a pomocí Tukeyho testu zde byl odhalen statisticky významný rozdíl (Tab. 5). Mezi nadmořskými výškami 900 a 1100 m střední hodnoty klesají a od 1100 m n. m. opět narůstají. Na jižní expozici sice střední hodnoty se zvyšující se nadmořskou výškou také kolísají, však ne tak výrazně jako na expozici severní (Obr. 9). Od nadmořské výšky 1100 m lze pozorovat pokles hodnot (Obr. 10). Nejnížší střední hodnoty maximálního průměru tracheid byly na obou expozicích zaznamenány v nadmořské výšce 700 m (S – 4,44 μm , J – 4,60 μm), nejvyšší hodnota na severní expozici je 5,50 μm v 1200 m n. m., na jižní pak 5,26 μm v 1100 m n. m. (příloha 1).



Obr. 9 Graf rozložení dat parametru maximální průměr tracheidy (d_{max})



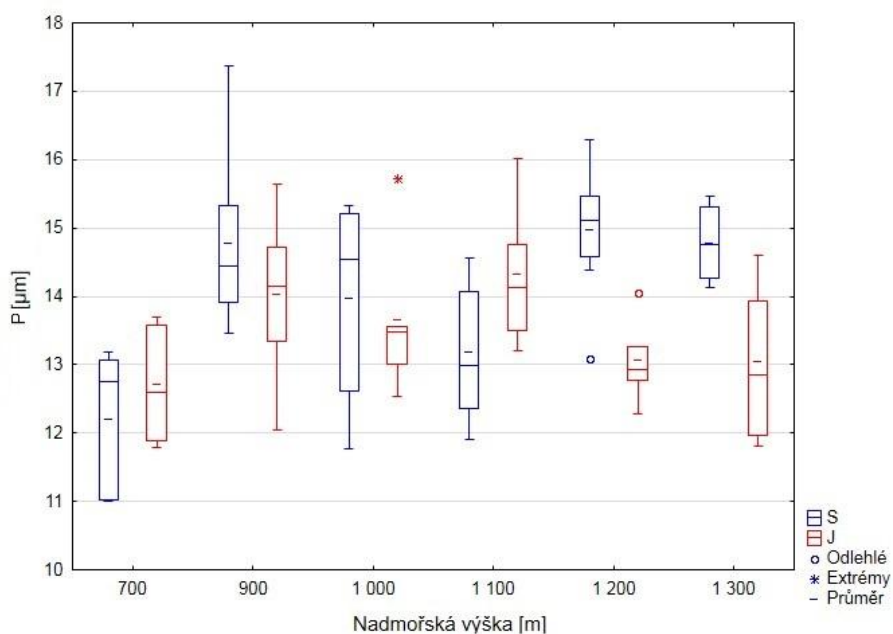
Obr. 10 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro maximální průměr tracheidy (d_{\max})

Tab. 5 Maximální průměr tracheidy: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

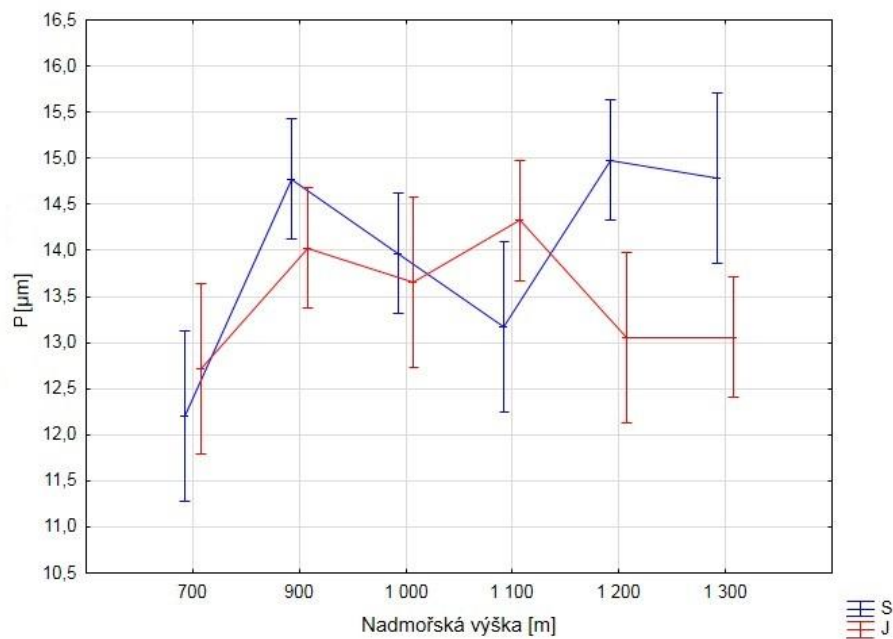
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	0,861	0,905	0,014	0,555	0,110	<u>1,000</u>	0,057	0,000	0,836	0,084	0,001	x
S 900	0,031	0,220	0,998	0,653	<u>0,769</u>	0,011	1,000	1,000	0,313	0,841	x	
S 1000	0,813	0,973	1,000	<u>1,000</u>	1,000	0,387	1,000	0,551	0,991	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,822</u>	1,000	0,996	0,992	0,916	0,145	x			
S 1200	0,007	<u>0,094</u>	0,955	0,397	0,460	0,003	0,992	x				
S 1300	<u>0,604</u>	0,852	1,000	0,993	1,000	0,249	x					
J 700	0,998	0,998	0,104	0,913	0,457	x						
J 900	0,877	0,986	0,999	1,000	x							
J 1000	0,999	1,000	0,981	x								
J 1100	0,310	0,714	x									
J 1200	1,000	x										
J 1300	x											

5.4. Obvod tracheidy

V souboru dat lokality J 1000 se vyskytují extrémy a u obou lokalit v nadmořské výšce 1200 m pak odlehlá data (Obr. 11). Levostranné rozložení dat lze pozorovat u lokality J 1000, variační koeficient se pak u všech lokalit pohybuje kolem 10 % (příloha 2). U obou expozic nelze postihnout jasný trend vývoje obvodu tracheidy s rostoucí nadmořskou výškou, na severní expozici dochází jak k prudkým nárůstům, tak k poklesům, trend jižní expozice, kdy do 1100 m n. m. parametr xylému narůstá a následně začíná klesat, je narušen propadem hodnot v nadmořské výšce 1000 m (Obr. 12). Nejnížší střední hodnoty obvodu tracheidy (příloha 1) jsou zaznamenány v 700 m n. m. (S – 12,20 μm , J – 12,71 μm), nejvyšší pak na severní expozici v nadmořské výšce 1200 m (14,98 μm) a na jižní expozici v 1100 m n. m. (14,33 μm). Statisticky významný rozdíl se nachází mezi expozicemi v nadmořské výšce 1200 m (Tab. 6), rozdíl středních hodnot činí 1,92 μm .



Obr. 11 Graf rozložení dat parametru obvod tracheidy (P)



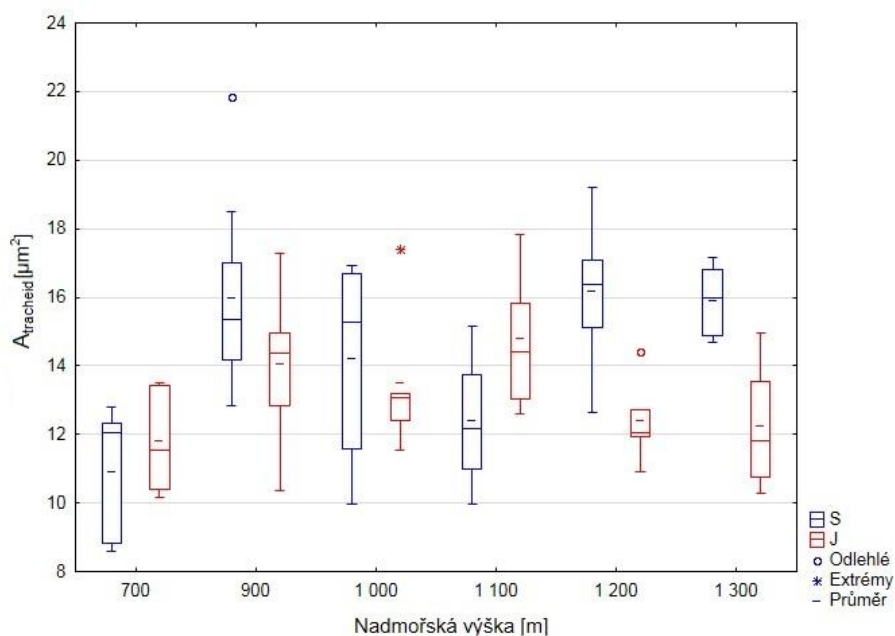
Obr. 12 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro obvod tracheidy (P)

Tab. 6 Obvod tracheidy: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

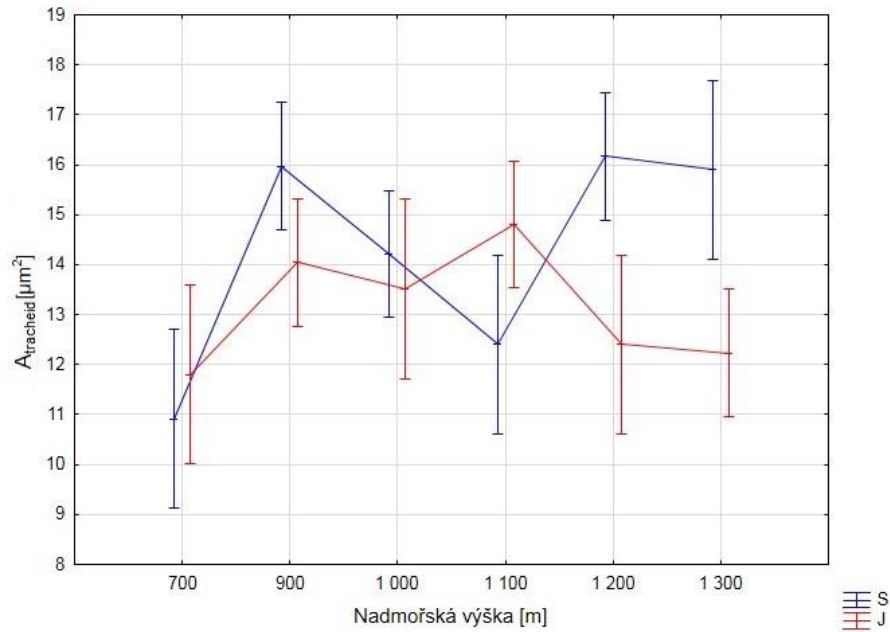
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	0,937	0,976	0,017	0,546	0,076	<u>1,000</u>	0,009	0,000	0,941	0,099	0,001	x
S 900	0,019	0,125	0,998	0,716	<u>0,904</u>	0,024	1,000	1,000	0,197	0,850	x	
S 1000	0,709	0,903	1,000	<u>1,000</u>	1,000	0,543	0,953	0,573	0,961	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,675</u>	1,000	0,936	1,000	0,385	0,084	x			
S 1200	0,005	0,049	0,959	0,466	0,661	0,008	1,000	x				
S 1300	<u>0,115</u>	0,281	1,000	0,853	0,972	0,087	x					
J 700	1,000	1,000	0,183	0,952	0,472	x						
J 900	0,624	0,859	1,000	1,000	x							
J 1000	0,996	0,999	0,989	x								
J 1100	0,226	0,533	x									
J 1200	1,000	x										
J 1300	x											

5.5. Plocha tracheidy

Na lokalitách S 900 a J 1200 se vyskytují odlehlá data, na lokalitě J 1000 pak data extrémní (Obr. 13). Levostranné rozložení dat bylo zaznamenáno u lokalit J 1000 a J 1100, variační koeficient dat všech lokalit se pohybuje kolem 20 %, je tedy mírně vyšší než u obvodu tracheidy (příloha 2). Průběh středních hodnot plochy tracheidy se zvyšující se nadmořskou výškou vykazuje stejný trend, jako u předchozích parametrů (Obr. 14) – na severní expozici dochází od 700 do 900 m n. m. k prudkému nárůstu (statisticky významný rozdíl – viz Tab. 9), následuje pokles a od 1100 m opět nárůst. Na expozici jižní je nárůst do nadmořské výšky 1 000 a následný pokles narušen propadem hodnot v 1000 m n. m. Nejnížší střední hodnoty byly zjištěny v nadmořské výšce 700 m (S – $10,91 \mu\text{m}^2$, J $11,80 \mu\text{m}^2$), naopak nejvyšší na severní expozici v nadmořské výšce 1200 m ($16,17 \mu\text{m}^2$), na jihu pak v 1100 m n. m. ($14,80 \mu\text{m}^2$) (příloha 1). Tukeyho test (Tab. 7) detekoval statisticky významný rozdíl na dvojici lokalit v nadmořské výšce 1200 m, rozdíl středních hodnot plochy tracheidy zde činí $3,77 \mu\text{m}^2$.



Obr. 13 Graf rozložení dat parametru plocha tracheidy (A_{tracheid})



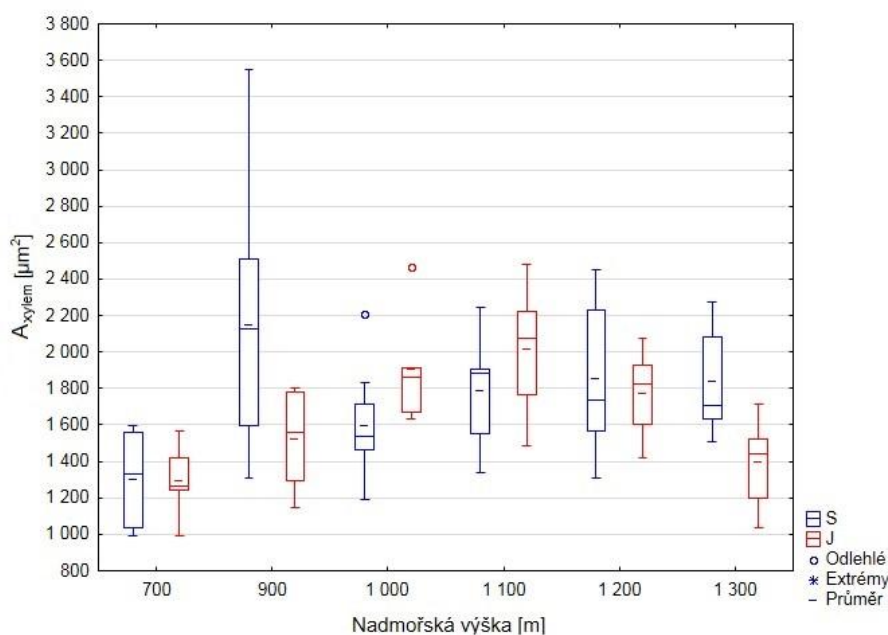
Obr. 14 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro plochu tracheidy ($A_{tracheid}$)

Tab. 7 Plocha tracheidy: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

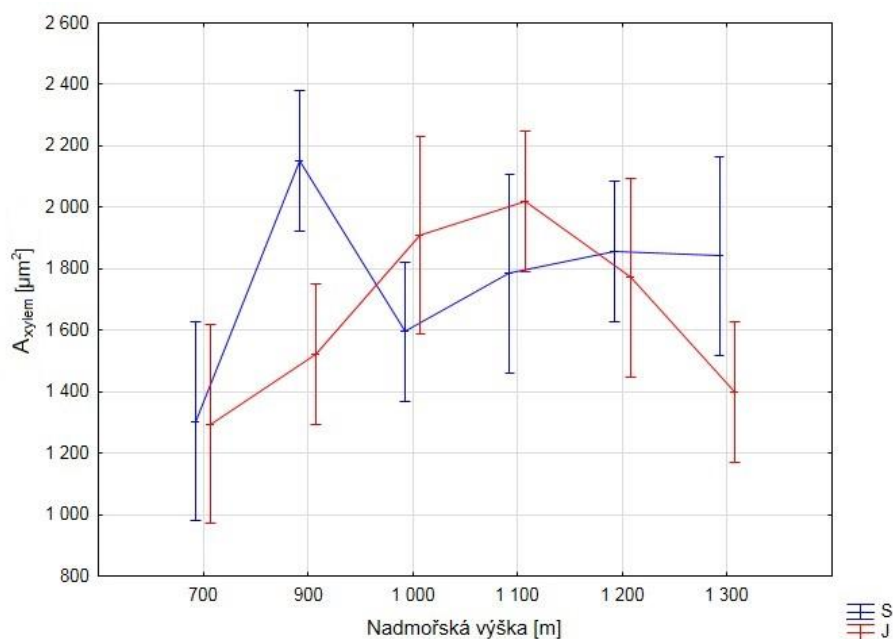
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	0,988	0,990	0,033	0,663	0,188	<u>1,000</u>	0,010	0,001	0,990	0,132	0,001	x
S 900	0,005	0,072	0,977	0,540	<u>0,595</u>	0,015	1,000	1,000	0,072	0,724	x	
S 1000	0,557	0,889	1,000	<u>1,000</u>	1,000	0,568	0,929	0,578	0,889	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,575</u>	0,999	0,941	1,000	0,228	0,045	x			
S 1200	0,002	0,045	0,932	0,420	0,446	0,009	1,000	x				
S 1300	<u>0,057</u>	0,227	0,998	0,777	0,871	0,077	x					
J 700	1,000	1,000	0,239	0,970	0,676	x						
J 900	0,688	0,941	0,999	1,000	x							
J 1000	0,990	0,999	0,990	x								
J 1100	0,180	0,573	x									
J 1200	1,000	x										
J 1300	x											

5.6. Plocha xylému

Odlehlá data se vyskytují pouze u obou lokalit v nadmořské výšce 1000 m (Obr. 15). Levostranně rozložená data lze pozorovat u lokality S 1000 a J 1200, průměrná hodnota variačního koeficientu činí 25 %, data mají tedy větší variabilitu než u předchozích zkoumaných parametrů (příloha 2). Na severní expozici dochází k výraznému nárůstu střední hodnoty plochy xylému do 900 m n. m. (je zde detekován statisticky významný rozdíl – viz Tab. 8), následuje pokles a opětovný nárůst, na expozici jižní střední hodnota kulminuje v 1100 m n. m. ($2019 \mu\text{m}^2$) a poté dochází k poklesu (Obr. 16). Minimální střední hodnoty byly na obou expozicích zaznamenány v nadmořské výšce 700 m, kde jejich rozdíl činil pouze $9 \mu\text{m}^2$ (S – $1304 \mu\text{m}^2$, J – $1295 \mu\text{m}^2$), v nadmořské výšce 900 m se naopak vyskytuje největší (statisticky významný; Tab. 8) rozdíl mezi expozicemi (příloha 1). Nejvyšší střední hodnoty na severní expozici dosahuje plocha xylému v nadmořské výšce 1200 m ($1855 \mu\text{m}^2$), což je pouze o $13 \mu\text{m}^2$ více než na lokalitě S 1300.



Obr. 15 Graf rozložení dat parametru plocha xylému (A_{xylem})



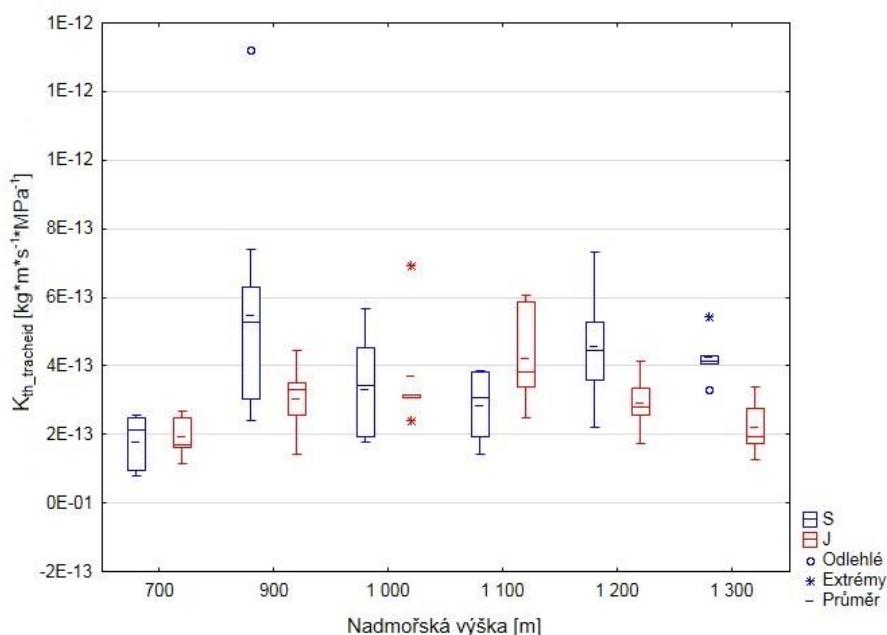
Obr. 16 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro plochu xylému (A_{xylem})

Tab. 8 Plocha xylému: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

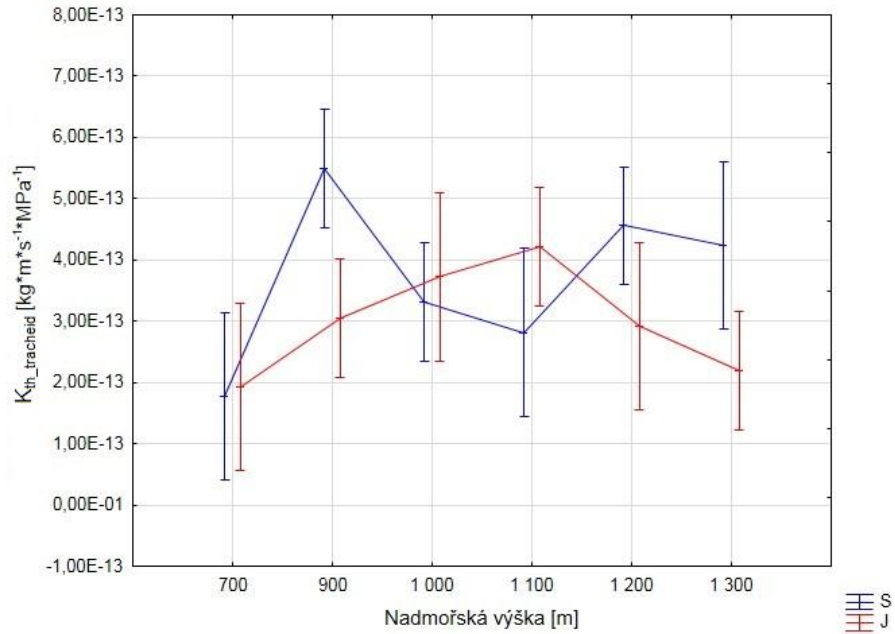
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	1,000	0,667	0,026	0,278	0,994	<u>1,000</u>	0,455	0,213	0,627	0,946	0,003	x
S 900	0,001	0,749	1,000	0,986	<u>0,011</u>	0,003	0,920	0,799	0,789	0,042	x	
S 1000	0,987	0,999	0,288	<u>0,910</u>	1,000	0,934	0,983	0,902	0,998	x		
S 1100	0,726	1,000	<u>0,989</u>	1,000	0,975	0,601	1,000	1,000	x			
S 1200	0,194	<u>1,000</u>	0,997	1,000	0,663	0,194	1,000	x				
S 1300	<u>0,531</u>	1,000	0,999	1,000	0,903	0,430	x					
J 700	1,000	0,642	0,023	0,259	0,991	x						
J 900	1,000	0,983	0,112	0,730	x							
J 1000	0,314	1,000	1,000	x								
J 1100	0,013	0,983	x									
J 1200	0,768	x										
J 1300	x											

5.7. Teoretická hydraulická vodivost

Mezi daty lokality J 1000 se vyskytují extrémy, u lokality S 900 odlehlá data a u lokality S 1300 pak obojí (Obr. 17). Soubory dat na všech lokalitách kromě J 700 a J 900 vykazují levostranné rozdělení (příloha 2), variační koeficient je vysoký, jeho průměrná hodnota na všech lokalitách činí 53 %. Na severní expozici dochází do nadmořské výšky 900 m k nárůstu střední hodnoty, poté k poklesu (do 1100 m n. m.) a opětovnému nárůstu. Na jižní expozici střední hodnoty teoretické hydraulické vodivosti víceméně plynule narůstají až po hodnotu $4,21 \cdot 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$ v 1100 m n. m., následuje pokles (Obr. 18). Nejnížší hodnoty teoretické hydraulické vodivosti byly zaznamenány v nadmořské výšce 700 m (S – $1,77 \cdot 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$, J – $1,92 \cdot 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$) a nejvyšší hodnoty na severní expozici teoretická hydraulická vodivost dosahuje v 900 m n. m. ($5,48 \cdot 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$) (příloha 1). Mezi dvojicí lokalit právě v nadmořské výšce 900 m odhalil Tukeyho test statisticky významný rozdíl (Tab. 9). Nelze opomenout, že rozdíl středních hodnot nejnižší a nejvyšší položené lokality na jižní expozici činí pouze $0,26 \cdot 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$.



Obr. 17 Graf rozložení dat parametru teoretická hydraulická vodivost ($K_{th_tracheid}$)



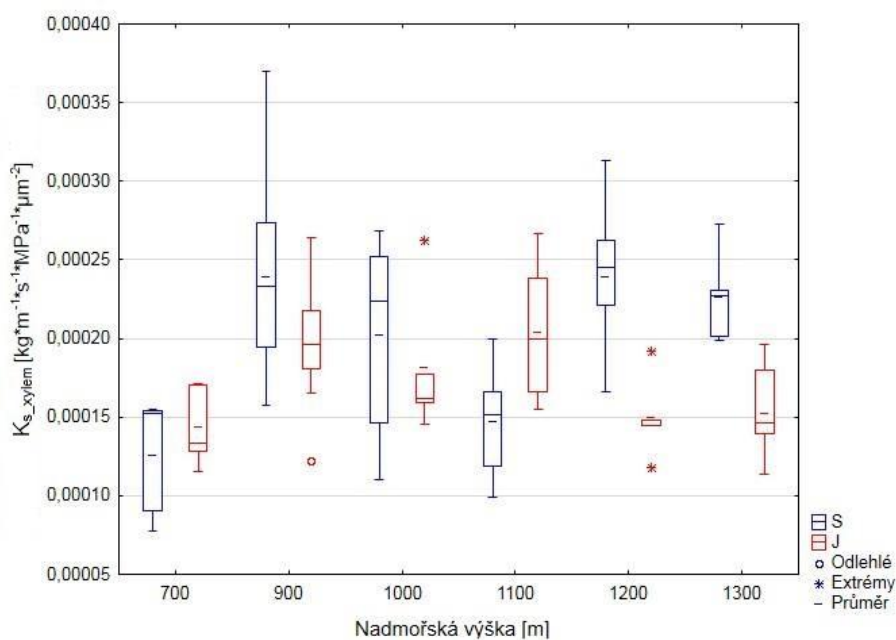
Obr. 18 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro teoretickou hydraulickou vodivost ($K_{th_tracheid}$)

Tab. 9 Teoretická hydraulická vodivost: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

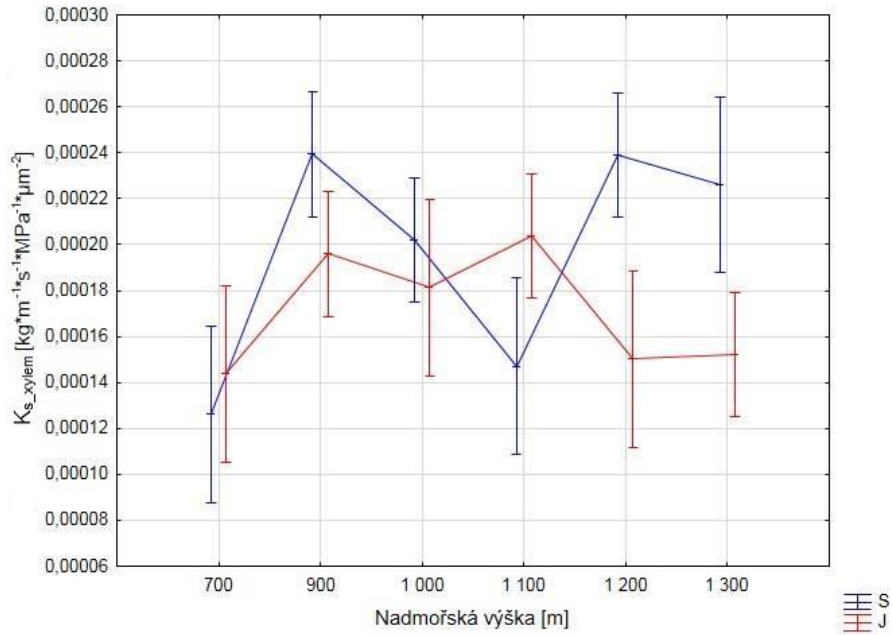
	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	1,000	0,990	0,162	0,690	0,933	<u>1,000</u>	0,332	0,059	0,995	0,791	0,002	x
S 900	0,001	0,111	0,780	0,622	<u>0,029</u>	0,003	0,941	0,968	0,083	0,088	x	
S 1000	0,884	1,000	0,977	<u>1,000</u>	1,000	0,880	0,994	0,814	1,000	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,880</u>	0,999	1,000	0,999	0,945	0,646	x			
S 1200	0,040	<u>0,723</u>	1,000	0,997	0,554	0,094	1,000	x				
S 1300	<u>0,392</u>	0,967	1,000	1,000	0,956	0,429	x					
J 700	1,000	0,997	0,237	0,787	0,972	x						
J 900	0,983	1,000	0,863	1,000	x							
J 1000	0,801	1,000	1,000	x								
J 1100	0,145	0,923	x									
J 1200	0,999	x										
J 1300	x											

5.8. Specifická hydraulická vodivost xylému

Z grafu rozložení dat (Obr. 19) je patrné, že u lokality J 900 se vyskytují odlehlá data, u lokalit J 1000 a J 1200 pak extrémní. Na lokalitách J 1000 a J 1300 jsou data rozložena levostranně, variační koeficient je nižší než u teoretické hydraulické vodivosti a činí 34 % (příloha 2). Trend vývoje středních hodnot je na severní expozici obdobný jako u teoretické hydraulické vodivosti, na jižní expozici je rozdíl v propadu hodnoty u lokality J 1000 (Obr. 20). Tukeyho testem (Tab. 10) bylo zjištěno, že jak mezi sousedními lokalitami S 700 a S 900, tak mezi dvojicí lokalit v nadmořské výšce 1200 m existuje statisticky významný rozdíl. Nejnížší hodnoty specifické hydraulické vodivosti xylému byly zaznamenány v 700 m n. m. (S – $1,26 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$, J – $1,40 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$), nejvyšší hodnoty, na jižní expozici pak v 1100 m n. m. ($2,04 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$) (příloha 1). Na severní expozici bylo maxima dosaženo v podstatě shodně v 900 i 1100 m n. m. – $2,39 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$, střední hodnota se zde liší pouze o $0,004 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$. Mezi lokalitami J 1200 a J 1300 se nachází rozdíl pouhých $0,02 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$.



Obr. 19 Graf rozložení dat parametru specifická hydraulická vodivost xylému (K_{s_xylem})



Obr. 20 Graf intervalových odhadů střední hodnoty pro specifickou hydraulickou vodivost xylému (K_{s_xylem})

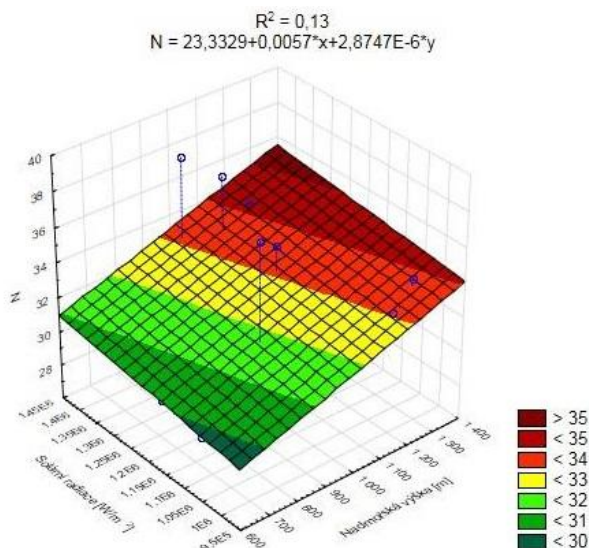
Tab. 10 Specifická hydraulická vodivost xylému: Tukeyho test mnohonásobného porovnání – p-hodnoty (podtrženy jsou p-hodnoty srovnávající lokality se stejnou nadmořskou výškou, ale různou expozicí svahu)

	J 1300	J 1200	J 1100	J 1000	J 900	J 700	S 1300	S 1200	S 1100	S 1000	S 900	S 700
S 700	0,994	0,999	0,062	0,675	0,142	<u>1,000</u>	0,021	0,001	1,000	0,076	0,001	x
S 900	0,001	0,015	0,789	0,382	<u>0,518</u>	0,006	1,000	1,000	0,010	0,732	x	
S 1000	0,307	0,561	1,000	<u>0,999</u>	1,000	0,377	0,997	0,746	0,469	x		
S 1100	1,000	1,000	<u>0,418</u>	0,982	0,647	1,000	0,162	0,011	x			
S 1200	0,001	<u>0,016</u>	0,801	0,393	0,533	0,007	1,000	x				
S 1300	<u>0,093</u>	0,208	0,998	0,887	0,979	0,123	x					
J 700	1,000	1,000	0,331	0,965	0,549	x						
J 900	0,506	0,734	1,000	1,000	x							
J 1000	0,984	0,992	0,998	x								
J 1100	0,256	0,507	x									
J 1200	1,000	x										
J 1300	x											

5.9. Regresní analýza

5.9.1. Počet tracheid

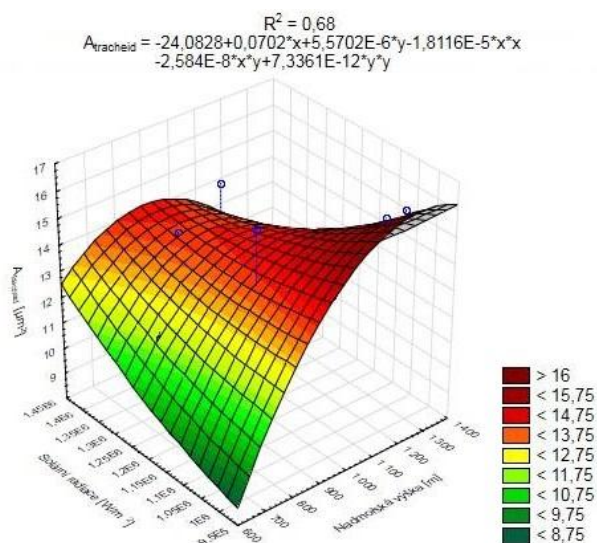
Obecně platí, že s nárůstem nadmořské výšky a solární radiance narůstá počet tracheid (N) (Obr. 21). Nicméně koeficient determinace lineárního proložení dat je velmi malý (0,12) a počet tracheid je tedy jen z 13 % vysvětlen užitým modelem.



Obr. 21 Graf závislosti počtu tracheid (N) na nadmořské výšce (x) a solární radianci (y)

5.9.2. Plocha tracheidy

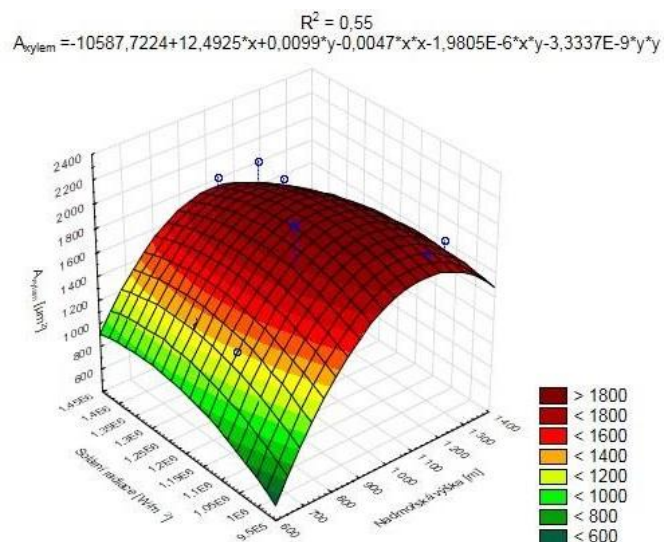
Pro plochu tracheidy (A_{tracheid}) platí, že s narůstající nadmořskou výškou plocha narůstá rychleji než s narůstající solární radiancí (Obr. 22). U nejvyšších hodnot obou vysvětlujících proměnných dochází naopak k poklesu plochy tracheidy. Byla zjištěna významná závislost plochy tracheidy na nadmořské výšce a solární radianci. Změna v nadmořské výšce a v solární radianci z 68 % vysvětluje změnu v ploše tracheidy.



Obr. 22 Graf závislosti plochy tracheidy (A_{tracheid}) na nadmořské výšce (x) a solární radianci (y)

5.9.3. Plocha xylému

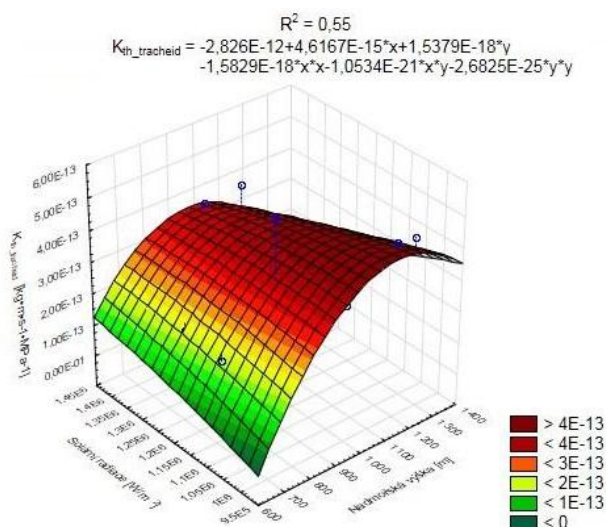
S narůstající solární radiancí plocha xylému (A_{xylem}) mírně narůstá, s nadmořskou výškou narůstá do 1100 m n. m., poté dochází k poklesu hodnoty tohoto parametru (Obr. 23). Byla zjištěna závislost plochy xylému na nadmořské výšce a solární radianci. Změna těchto dvou proměnných z 55 % vysvětluje změnu v ploše xylému.



Obr. 23 Graf závislosti plochy xylému (A_{xylem}) na nadmořské výšce (x) a solární radianci (y)

5.9.4. Teoretická hydraulická vodivost

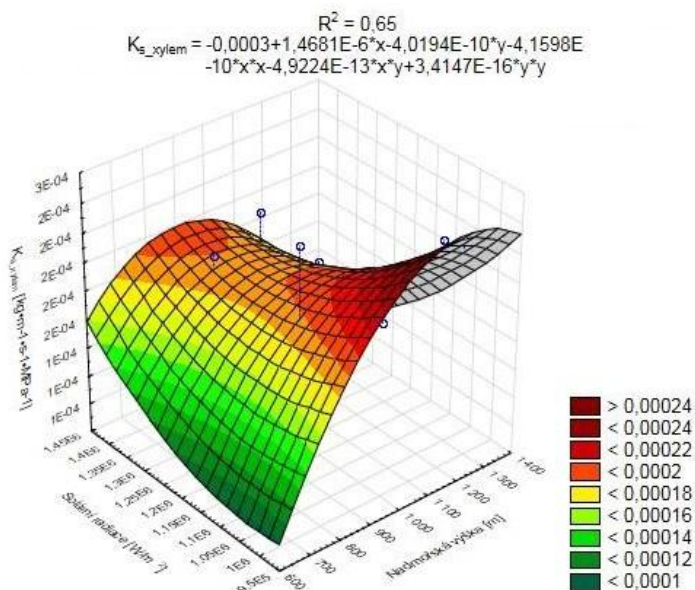
Teoretická hydraulická vodivost ($K_{\text{th_tracheid}}$) do nadmořské výšky 1100 m narůstá a poté dochází k jejímu poklesu (Obr. 24). U závislosti na solární radianci je zaznamenán mírný nárůst. Změna v teoretické hydraulické vodivosti je z 55 % vysvětlena změnami nadmořské výšky a solární radiance.



Obr. 24 Graf závislosti teoretické hydraulické vodivosti ($K_{\text{th_tracheid}}$) na nadmořské výšce (x) a solární radianci (y)

5.9.5. Specifická hydraulická vodivost xylému

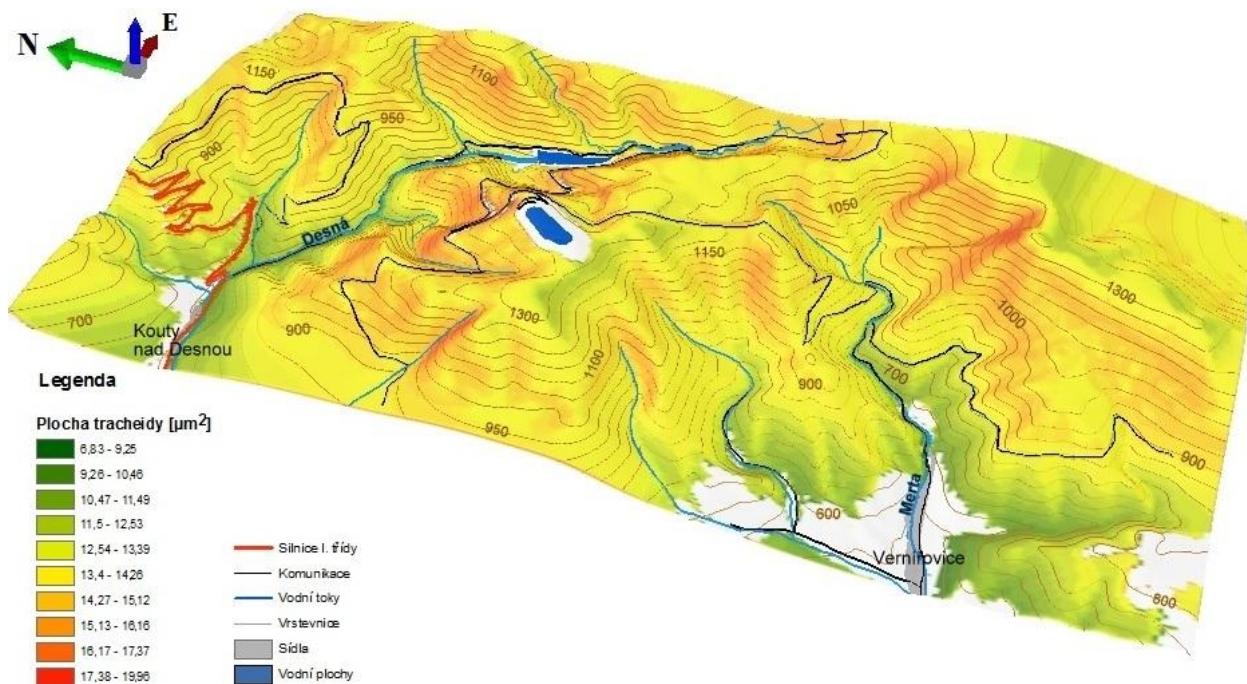
Spolu s nárůstem obou vysvětlujících proměnných specifická hydraulická vodivost xylému (K_{s_xylem}) narůstá, avšak v maximech nadmořské výšky i solární radiance dochází k poklesu specifické hydraulické vodivosti xylému (Obr. 25). Závislost tohoto parametru na nadmořské výšce a solární radianci je stejná jako u plochy xylému – změny vysvětlujících proměnných z 65% vysvětlují změnu specifické hydraulické vodivosti xylému.



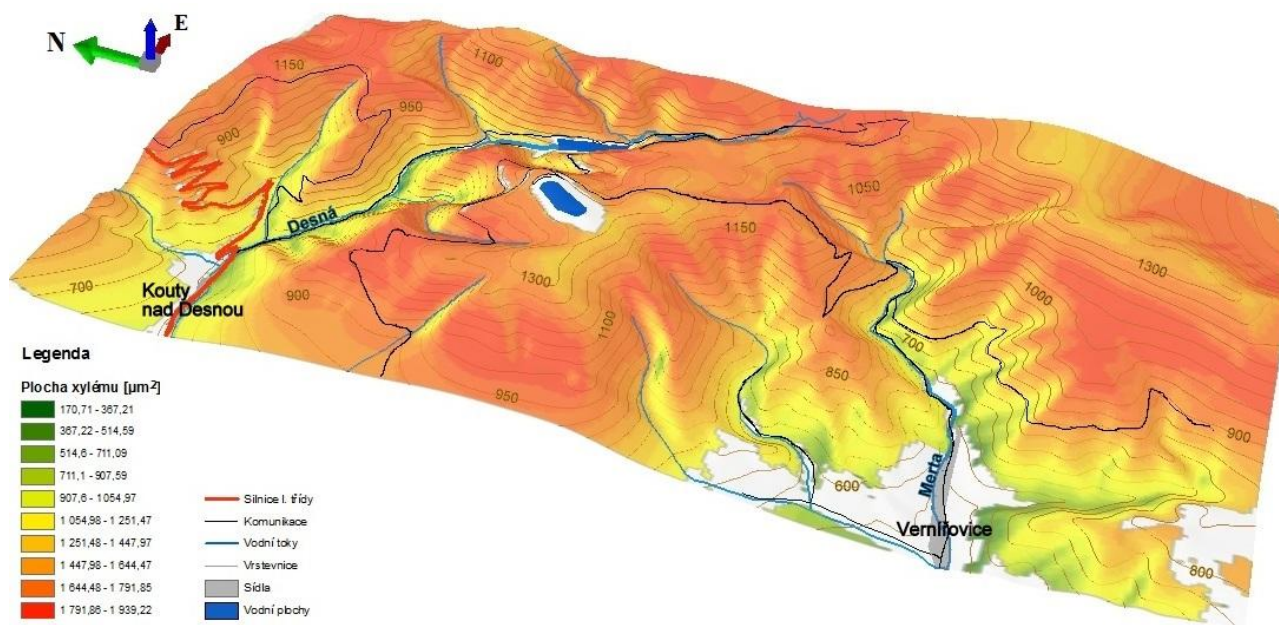
Obr. 25 Graf závislosti specifické hydraulické vodivosti xylému (K_{s_xylem}) na nadmořské výšce (x) a solární radianci (y)

5.10. Predikční mapy

Nižší hodnoty plochy tracheid jsou predikovány pro nejnižší nadmořské výšky, ale také vrcholové partie zkoumaného území (Obr. 26). Lze pozorovat pás vyšších hodnot v rozpětí nadmořských výšek od 800 do 1200 m a nejvyšší hodnoty plochy tracheid jsou predikovány pro severozápadní až západní expozici (Obr. 26).

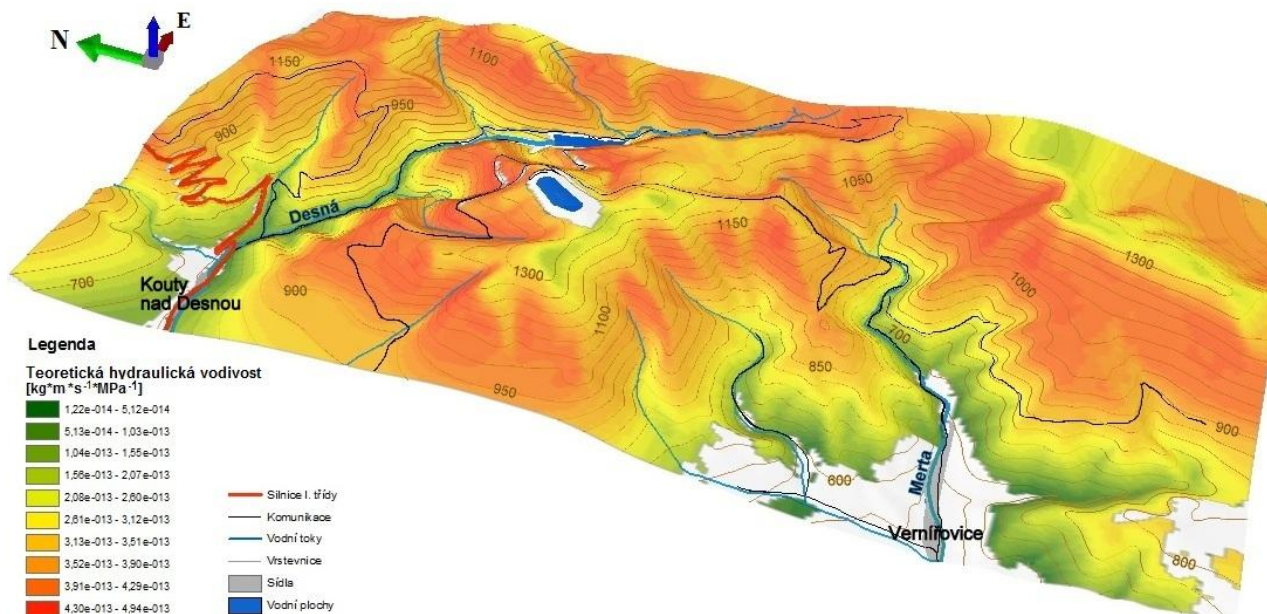


Obr. 26 Predikční mapa plochy tracheid v oblasti masívu Mravenečník a jeho okolí
Nejnižší hodnoty plochy xylému jsou predikovány pro údolí (do 700 m n. m.), nejvyšší hodnoty se nacházejí v nadmořských výškách od 800 m do 1200 m na západní expozici a pokles hodnot ve vrcholových partiích není tak výrazný (Obr. 27).



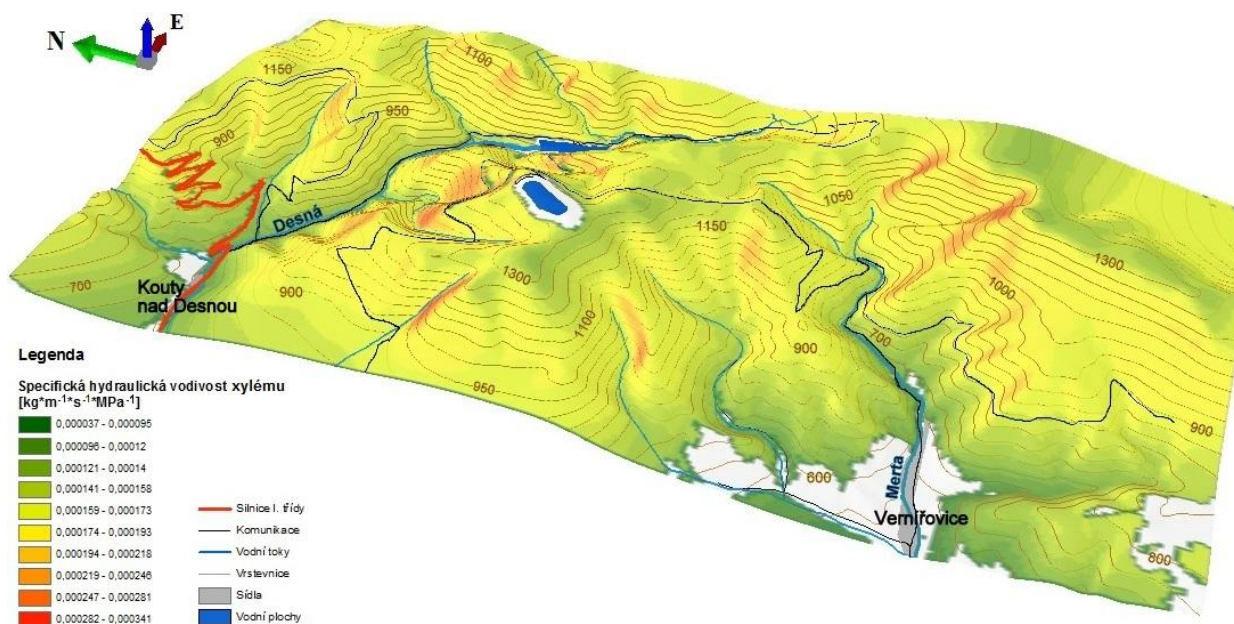
Obr. 27 Predikční mapa plochy xylému v oblasti masívu Mravenečník a jeho okolí

Výrazně nízké hodnoty teoretické hydraulické vodivosti jsou predikovány pro údolí až do nadmořské výšky 750 m, výše je pozorovatelný pás vyšších hodnot, nejvyšší hodnoty byly vypočteny pro západní až severozápadní expozici, v nejvyšších polohách potom hodnoty teoretické hydraulické vodivosti výrazně klesají (Obr. 28).



Obr. 28 Predikční mapa teoretické hydraulické vodivosti v oblasti masívu Mravenečník a jeho okolí

Pro většinu plochy zájmového území je predikována nižší hodnota specifické hydraulické vodivosti xylému, nárůst hodnot lze pozorovat pouze ve vyšších nadmořských výškách (900 až 1200 m n. m.) na západní expozici (Obr. 29).



Obr. 29 Predikční mapa specifické hydraulické vodivosti xylému v oblasti masívu Mravenečník a jeho okolí

6. Diskuze

Počet tracheid

Gebauer et al. (2012) zjistili, že xylém slunných jehlic (tj. jehlice s větší sumou roční solární radiance než stinné jehlice) obsahuje jen nepatrně víc tracheid než je tomu u jehlic stinných. Toto tvrzení platí i pro výsledky této práce, protože nebyly zjištěny rozdíly mezi severní a jižní expozicí u lokalit ve stejné nadmořské výšce. V práci Gebauera et al. (2015) je průměrný počet tracheid stinných jehlic 20,4 a slunných jehlic 35,1. V této práci byly zjištěny o něco vyšší počty tracheid u jehlic na severní expozici (27,7-37,5). Na jižní expozici však počty tracheid odpovídají hodnotám uváděným v práci Gebauera et al (2015) a pohybují se v intervalu od 28,2–37,7. Pro regresní analýzu počtu tracheid nebylo možno užít kvadratického proložení dat, neboť suma čtverců odchylek byla vysoká. Při užití lineárního proložení byl výsledný koeficient determinace pouhých 0,13. Výsledný počet tracheid jehlic tedy není závislý na změně nadmořské výšky a solární radiance.

Rozměry tracheid

Minimální průměr, maximální průměr, obvod a plocha tracheidy spolu úzce souvisí a u všech těchto parametrů lze pozorovat prakticky identický průběh středních hodnot se zvyšující se nadmořskou výškou. Minimální a maximální průměr tracheid a plocha tracheid dosahuje dle Gebauera et al. (2011) vyšších hodnot u jehlic slunných. V této práci však bylo zjištěno, že v nadmořské výšce nad 1200 m byla plocha a obvod tracheidy větší na severní expozici s nižší sumou solární radiance než na jižní expozici. Stejně tak minimální průměr tracheidy byl větší na severní expozici v nadmořské výšce 1 300 m. Gebauer et al. (2015) uvádějí hodnoty minimálního průměru tracheid slunných jehlic 3,8 μm a stinných 3,4 μm , maximální průměr tracheid pak 6,2 μm (slunné jehlice) a 5,2 μm (stinné jehlice). Hodnoty jak minimálního, tak maximálního průměru tracheid na severní expozici s výsledky Gebauera et al. (2015) korespondují, na jižní expozici jsou však o něco nižší. V rámci této práce byly minimální a maximální průměry tracheidy na severní expozici (tj. lokality s nižší sumou solární radiance) v průměru o 0,12 μm (resp. o -0,13 μm pro maximální průměr) vyšší než na expozici jižní. Hodnoty obvodu tracheidy jsou také oproti očekávání v nadmořských výškách nad 1200 m vyšší na severní expozici ve srovnání s expozicí jižní. Rozdíl mezi expozicemi činil průměrně 0,51 μm . Stejně tak i plocha tracheidy byla vyšší na severní než na jižní expozici a průměrný rozdíl činil 1,13 μm^2 . Výsledky Gebauera et al. (2015) se pohybují

v intervalu 9,6–19,5 μm^2 pro stinné, 15,2–25,1 μm^2 pro slunné jehlice, přičemž výsledky této práce tomuto tvrzení odpovídají pouze pro severní expozici (12,2–14,9 μm^2 , na jižní expozici jsou hodnoty nižší (11,8–14,8 μm^2) – vyplývá to z již zmiňovaných nižších hodnot maximálního a minimálního průměru tracheid.

Odchylka výsledků této práce od předchozích publikovaných dat je způsobena naprosto odlišnými hodnotami parametrů na lokalitách při horní hranici lesa (na severní expozici se jedná o vysoké, na jižní expozici naopak o nízké hodnoty). Důvodem je pravděpodobně dobré zásobení vodou na expozici severní a naopak vysychání jižně orientovaných stanovišť. Koeficienty determinace se u všech čtyř měřených rozměrů tracheid pohybují kolem 0,7. To znamená, že ze 70 % jsou tyto parametry závislé na nadmořské výšce a solární radianci.

Plocha xylému

U tohoto parametru se nenachází tak výrazný propad hodnot u lokality J 1000 jako v předchozích případech, pravděpodobně je to způsobeno vyšším počtem tracheid, kterými je xylém tvořen. U lokality S 900 byla zaznamenána velmi vysoká hodnota plochy xylému (2151 μm^2), která je více než dvojnásobkem plochy xylému zjištěné pro méně osluněné jehlice v práci Gebauera et al. (2015). Naopak pro více osluněné jehlice zmiňovaní autoři uvádějí interval hodnot od 1780 do 2340 μm^2 . Hodnoty plochy xylému jsou v této práci o něco nižší a pohybují se od 1295 μm^2 do 2019 μm^2 . Užitím kvadratického modelu regresní analýzy bylo zjištěno, že nadmořská výška a solární radiance vysvětlují změny plochy xylému z 55 %.

Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost, která vyjadřuje podíl toku vody a tlakového gradientu, roste se zvětšujícím se průměrem tracheid (Tyree a Ewers, 1991). V závislosti na nadmořské výšce a solární radianci vykazuje teoretická hydraulická vodivost podobný trend, jako tomu bylo u minimálního a maximálního průměru tracheidy – ve vyšších nadmořských výškách dosahuje teoretická hydraulická vodivost vyšších hodnot na severní expozici. Gebauer et al. (2012) uvádějí, že změny tvaru a rozměrů tracheid jsou reakcí na nižší zásobení jedince vodou. Vyšší průměrná hodnota teoretické hydraulické vodivosti na severní než na jižní expozici proto může být způsobena lepší dostupností půdní vody na severní expozici.

Specifická hydraulická vodivost je měřítkem schopnosti jehlice vést vodu. Vedení vody se zvyšuje s počtem tracheid na jednotku plochy řezu xylémem a také se čtvrtou mocninou průměru tracheidy dle Hagen-Poiseuilleho zákona (Eldhuset et al., 2013). V této práci se hodnoty pohybují v rozmezí $1,26 \cdot 10^{-4}$ až $2,39 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$ a na severní expozici jsou v průměru o $0,29 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$ vyšší než na expozici jižní. Toto zjištění odpovídá průběhu výchozích veličin (teoretické hydraulické vodivosti a ploše xylému) na jednotlivých expozicích.

Vliv nadmořské výšky a expozice

Obecně měřené parametry vykazují při měnící se nadmořské výšce a různé expozici obdobný trend. Na jižní expozici dochází k nárůstu středních hodnot všech parametrů (vyjma počtu tracheid) až do nadmořské výšky 1100 m a poté následuje jejich pokles. Naopak na severní expozici dochází k nárůstu mezi nadmořskými výškami 700 a 900 m, poté následuje kolísání hodnot – ve většině případů prudký pokles a opětovný nárůst. Lze pozorovat, že v 700 m n. m. jsou střední hodnoty parametrů jak severní, tak jižní expozice víceméně obdobné, a většinou se jedná o minimální hodnoty daného parametru. Z tohoto faktu lze usuzovat, že v nižších nadmořských výškách nemá solární radiance na strukturu xylému jehlic zásadní vliv. Dá se tak i předpokládat ze srovnání lokalit z hlediska geomorfologie, kdy na severní expozici byla lokalita umístěna v hlubokém zářezu řeky Desné a na expozici jižní na plně osluněném hřbetu. Lze však i uvažovat, že na jižní expozici jsou nižší rozměry zapříčiněny vysýchavostí stanoviště, na severní expozici zase nižším osluněním v kombinaci s inverzní polohou lokality.

Na severní expozici v nadmořské výšce 900 m jsou střední hodnoty všech parametrů nápadně vysoké a statistickým testováním zde byl zjištěn rozdíl mezi expozicemi u plochy xylému a teoretické hydraulické vodivosti. V té nadmořské výšce již začíná mít vliv solární radiance na strukturu xylému. Nicméně vysvětlení rozdílu mezi expozicemi je nutno hledat také v rozdílném zásobení stanovišť vodou a proudění vzduchu (prostředí severní lokality je vlhčí a vzhledem k proudění vzduchu uzavřenější). Eldhuset et al. (2013) uvádějí, že na parametry xylému má vliv i vlhkost stanoviště, hodnoty parametrů u jedinců plně zásobovaných vodou dosahují vyšších hodnot, což pravděpodobně vysvětluje odchylky hodnot všech zkoumaných parametrů zjištěných u jedinců lokality S 900.

U všech parametrů vyjma počtu tracheid je pozorovatelný propad hodnot na obou expozicích v nadmořské výšce 1000 m. Důvodem poklesu zde může být poloha lokalit

vzhledem ke geomorfologii terénu. Lokality se nachází v uzavřeném zaříznutém údolí říčky Merty, které má předpoklady k častým výskytům inverzí.

V nadmořské výšce 1200 m je u rozměrů tracheid pozorován výrazný rozdíl mezi severní a jižní expozicí a u ostatních parametrů jsou hodnoty obou expozic prakticky shodné. Rozdíly mezi expozicemi v nadmořské výšce 1300 m se již projevují i u počtu tracheid, plochy xylému a teoretické hydraulické vodivosti. Všechny lokality těchto nadmořských výšek jsou vystaveny vrcholovému fenoménu a výrazně ovlivňovány extrémními podmínkami horní hranice lesa.

Predikce

Z vypracovaných predikčních map je možné vyčíst přibližné hodnoty parametrů xylému na různých stanovištích v oblasti masívu Mravenečník. U všech predikčních map je pozorovatelné, že nejvyšší predikované hodnoty se nacházejí v nadmořských výškách od 800 m do 1200 m a na západní až severozápadní expozici. Vysvětlení se nabízí v lepším přizpůsobení se smrku méně příznivým podmínkám způsobovaným silným prouděním vzduchu, omezení jeho výskytu na sušších jižních svazích, kde mu je konkurentem buk a také v menším světelném požitku severní expozice. Těmto faktorům smrk pravděpodobně přizpůsobil anatomickou strukturu svých jehlic.

Zásoba porostů

V nižších nadmořských výškách (700 m) jsou vyšší specifická hydraulická vodivost a vyšší světelný požitek možným důvodem vyšší průměrné porostní zásoby smrku ve věku 20 let na jižní (169 m³/ha) než na severní expozici (135 m³/ha), průměrný rozdíl zásob tak činí 34 m³/ha (TAXONIA CZ, 2016). Naopak v polohách nad 1100 m n. m., kde všechny zkoumané parametry xylému dosahují nižších hodnot na expozici jižní, je nižší i průměrná porostní zásoba (sever 88 m³/ha, jih 75 m³/ha; TAXONIA CZ, 2016). Z tohoto porovnání vyplývá, že parametry xylému jehlic smrku mají pravděpodobně velmi vysoký vliv na hodnotu zásoby mladých porostů smrku ztepilého.

7. Závěr

U všech zkoumaných parametrů xylému byl zjištěn obdobný trend vývoje hodnot s narůstající nadmořskou výškou. Na jižní expozici dochází k nárůstu středních hodnot parametrů až do nadmořské výšky 1100 m a poté následuje jejich pokles. Naopak na severní expozici dochází k nárůstu mezi nadmořskými výškami 700 a 900 m, poté následuje kolísání hodnot – ve většině případů prudký pokles a opětovný nárůst.

Na dvojici lokalit v nejnižší zkoumané nadmořské výšce 700 m byly hodnoty parametrů xylému téměř totožné, vliv expozice tedy nebyl v nižších polohách potvrzen. Statisticky významné rozdíly hodnot parametrů mezi dvojicemi lokalit ve stejné nadmořské výšce na různé expozici byly zjištěny pouze u nadmořských výšek 1200 m a 1300 m, kde se nižší hodnoty nacházely na expozici jižní. Významný vliv expozice byl tedy zjištěn jen u porostů při horní hranici lesa.

Rozměry tracheid (minimální a maximální průměr tracheidy, obvod a plocha tracheidy) jsou dle regresní analýzy přibližně ze 70 % závislé na nadmořské výšce a solární radianci. Hodnoty plochy xylému a teoretické hydraulické vodivosti jsou závislé na nadmořské výšce a solární radianci z 55 % a od těchto dvou parametrů odvíjející se specifická vodivost xylému je z 65 % vysvětlena regresním modelem. Počet tracheid pravděpodobně významně ovlivňuje jiný faktor, neboť závislost na nadmořské výšce a solární radianci činí pouhých 12 %.

Zajímavé výsledky poskytuje geoinformatické zpracování dat a vytvořené predikční mapy, neboť nejvyšší predikované hodnoty parametrů xylému se nacházejí v nadmořských výškách od 800 m do 1200 m na západní expozici.

V nižších nadmořských výškách jsou vyšší specifická hydraulická vodivost xylému a vyšší solární radiance na jižní expozici pravděpodobným důvodem vyšších zásob mladých porostů smrku. Naopak v polohách nad 1100 m n. m., kde všechny zkoumané parametry xylému dosahují nižších hodnot na expozici jižní, je nižší i průměrná porostní zásoba. Z tohoto porovnání vyplývá, že parametry xylému jehlic smrku – především specifická hydraulická vodivost xylému, která je měřítkem schopnosti jehlic vést vodu - jsou vhodnými indikátory pro odhad produkce mladých porostů smrku ztepilého.

8. Summary

It was found a similar trend in the development of values of all observed xylem parameters with increasing altitude. The mean values of the parameters increase up to an altitude of 1100 m on southern exposure and then their decline. On the northern exposure can be observed an increase of studied xylem parameters in altitudes between 700 and 900 m, followed by fluctuation of values and in most of the cases a sharp decline and rebound.

Botj examined sites in (on the north and south exposure) the lowest altitude of 700 m had almost identical xylem parameters. Thus the effect of exposure was not confirmed at lower altitudes. Statistically significant differences in xylem parameter values between localities at the same altitude differing by exposure were found only at altitudes of 1200 m and 1300 m, where lower values could be observed on the southern exposure. A significant effect of exposure can be assumed only on stands at the upper limit of the forest.

Tracheid dimensions (minimum and maximum tracheid diameter, perimeter and tracheid area) according to regression analysis depend approximately 70% on the altitude and solar radiation. Xylem area and theoretical hydraulic conductivity depend approximately 55% on the altitude and solar radiation and specific hydraulic xylem conductivity, which is calculated from both above mentioned parameters, is explained by 65% from variation in the altitude and solar radiation. Number of tracheids is probably significantly influenced by another factor, because depending on the altitude and solar radiation amounts to only 12%.

Interesting results are provided by geoinformatic data processing and created prediction maps. The highest predicted values of xylem parameters are located from 800 m to 1200 m above sea level and at the western exposure.

At lower altitudes higher specific hydraulic xylem conductivity and higher solar radiation are likely reasons of higher stock of young spruce stands at southern exposure. Conversely, in sites at altitude above 1100 m, where all the examined xylem parameters are lower on the southern exposure, the average stock of stand is lower. This shows that the xylem parameters of spruce needles - especially specific hydraulic xylem conductivity, which is a measure of ability of the needles to water conduction - are likely to have a very high impact on the values of stock of young Norway spruce stands.

9. Seznam citované literatury

- AMBROS, Zdeněk a Jan ŠTYKAR. *Geobiocenologie I*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1999, 63 s. ISBN 80-715-7397-3.
- BANAŠ, Marek. *Jeseníky: chráněná krajinná oblast*. Rožnov pod Radhoštěm: Správa CHKO Jeseníky, 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. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.
- BOLSTAD, Paul V. a Stith T. GOWER. Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer. [online] *Tree Physiology*. 1990, **7**(1-2-3-4), 115-124. [cit. 4. 2. 2016]. ISSN 0829-318x. Dostupné z: doi: 10.1093/treephys/7.1-2-3-4.115
- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. Geologická mapa 1 : 50 000. [online]. Praha: Česká geologická služba. [cit. 10. 2. 2016]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- DRÁPELA, Karel. Statistické metody. MENDELU. *User.mendelu.cz* 2012 [online] [cit. 15. 2. 2016]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/teorie%20text%20I.pdf
- ELDHUSET, Toril Drabløs, Nina Elisabeth NAGY, Daniel VOLAŘÍK, Isabella BØRJA, Roman GEBAUER, Igor A. YAKOVLEV a Paal KROKENE. Drought affects tracheid structure, dehydrin expression, and above- and belowground growth in 5-year-old Norway spruce [online]. *Plant and Soil*. 2013, **366**(1-2), 305-320. [cit. 14. 3. 2016]. ISSN 0032-079x. Dostupné z: doi: 10.1007/s11104-012-1432-z
- ELLENBERG, Heinz. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. 2., völl. neu bearb. Aufl. Stuttgart: E. Ulmer, 1978, 981 s.
- ENDLER, John A. *Geographic variation, speciation, and clines*. New Jersey: Princeton University Press, 1977. ISBN 06-910-8192-1
- GEBAUER, Roman, Daniel VOLAŘÍK, Josef URBAN, Isabella BØRJA, Nina Elisabeth NAGY, Toril Drabløs ELDHUSET a Paal KROKENE. Effects of different light conditions on the xylem structure of Norway spruce needles [online]. *Trees*. 2012, **26**(4), 1079-1089. [cit. 14. 3. 2016]. ISSN 0931-1890. Dostupné z: doi: 10.1007/s00468-012-0684-9.

- 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 [online]. *Ecology and Evolution*. 2015, **5**(21), 4989-4998. [cit. 14. 3. 2016]. ISSN 20457758. Dostupné z: doi: 10.1002/ece3.1766
- 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 [online]. *Tree Physiology*. 2011, **31**(10), 1103-1113. [cit. 15. 3. 2016]. Dostupné z: doi: 10.1093/treephys/tpr081
- HRUŠKA, Boris a Stanislav JELÍNEK. *Lesnická geologie*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. ISBN 80-715-7321-3.
- JENÍK, Jan. *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku*. Praha: Nakladatelství československé akademie věd, 1961, 409 s.
- JENÍK, Jan. *Velký obrazový atlas lesa*. Bratislava: Mladé letá, 1984. 66-256-84.
- KÖRNER, Christian. *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. 2. vyd. New York: Springer, 2003, 344 s. ISBN 35-400-0347-9.
- LARCHER, Walter. *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha: Academia, 1988, 368 s. 21-102-88.
- MAUSETH, James D. *Botany: an introduction to plant biology*. 3. vyd. Boston: Jones and Bartlett Publishers, 2003, 848 s. ISBN 07-637-2517-X.
- MARTRE, Pierre, Jean-Louis DURAND a Herve COCHARD. Changes in axial hydraulic conductivity along elongating leaf blades in relation to xylem maturation in tall fescue [online]. *New Phytologist*. 2000, **146**(2), 235-247. [cit. 15. 2. 2016]. ISSN 0028646x. Dostupné z: doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00641.x
- MITSCHERLICH, Gerhard. *Wald, Wachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums: Waldklima und Wasserhaushalt*. Frankfurt am Main: Sauerländer, 1971. ISBN 37-939-0110-6.
- MODRZYŃSKI, Jerzy a Gösta ERIKSSON. Response of *Picea abies* populations from elevational transects in the Polish Sudety and Carpathian mountains to simulated drought stress [online]. *Forest Ecology and Management*. 2002, **165**(1-3), 105-116. [cit. 20. 2. 2016]. ISSN 03781127. Dostupné z: doi: 10.1016/S0378-1127(01)00651-X

- MUSIL, Ivan a Jan HAMERNÍK. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin*. Praha: Academia, 2007, 352 p. ISBN 80-200-1567-1.
- NĚMEC, Bohumil et al. *Botanická mikrotechnika*. Praha: ČSAV, 1962, 482 s.
- OLEKSYN, Jacek, Jerzy MODRZYNSKI, Mark G. TJOELKER, R. Z. YTKOWIAK, Peter B. REICH a Piotr KAROLEWSKI. Growth and physiology of *Picea abies* populations from elevational transects: common garden evidence for altitudinal ecotypes and cold adaptation [online]. *Functional Ecology*. 1998, **12**(4), 573-590. [cit. 19. 2. 2016]. ISSN 0269-8463. Dostupné z: 10.1046/j.1365-2435.1998.00236.x
- PROCHÁZKA, Stanislav. *Botanika: morfologie a fyziologie rostlin*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998a. ISBN 80-715-7313-2.
- PROCHÁZKA, Stanislav. *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 1998b. ISBN 80-200-0586-2.
- SACK, Lawren, Melvin T. TYREE a Michele N. HOLBROOK. Leaf hydraulic architecture correlates with regeneration irradiance in tropical rainforest trees [online]. *New Phytologist*. 2005, **167**(2), 403-413. [cit. 14. 2. 2016]. ISSN 0028646x. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01432.x
- SACK, Lawren a Michele N. HOLBROOK. Leaf hydraulics [online]. *Annual Review of Plant Biology*. 2006, **57**(1), 361-381. [cit. 14. 2. 2016]. ISSN 1543-5008. Dostupné z: doi: 10.1146/annurev.arplant.56.032604.144141
- ŠENFELDR, Martin a Petr MADĚRA. Horní hranice lesa v Hrubém Jeseníku. *Lesnická práce*. V Písku: Čs. matice lesnická, 2010, roč. 89, č. 8.
- SKALICKÁ, A. a V. SKALICKÝ. *Picea* A. DIETR. In: HEJNÝ, Slavomil a Bohumil SLAVÍK. *Květena České republiky*. 2. vyd. Praha: Academia, 1997, s. 317-326. ISBN 80-200-0643-5.
- SCHMIDT-VOGT, Helmut. *Die Fichte: Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften*. Berlin: Parey, 1977. ISBN 34-900-8216-8.
- TAIZ, Lincoln a Eduardo ZEIGER. *Plant physiology*. 4th ed. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 2006. ISBN 978-087-8938-568.
- TAXONIA CZ. *Textová část LHP pro LHC Loučná nad Desnou 2016–2025*. Olomouc, 2016.

- TICHÁ, Soňa a Luboš ÚRADNÍČEK: *Multimediální obrazový atlas dřevin*. Elektronické skriptum na DVD. Brno: MZLU, 2009. ISBN 978-80-7375-274-3
- TJOELKER, Mark G., Adam BORATYŃSKI a Władysław BUGAŁA (eds.). *Biology and ecology of Norway spruce*. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2007. ISBN 14-020-4840-8.
- TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- TYREE, Melvin T. a Frank W. EWERS. The hydraulic architecture of trees and other woody plants [online]. *New Phytologist*. 1991, **119**(3), 345-360. [cit. 14. 2. 2016]. ISSN 0028-646x. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00035.x
- TYREE, Melvin T. a Martin H. ZIMMERMANN. *Xylem structure and the ascent of sap*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2077-685.
- ÚHÚL [Ústav pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem]. *Oblastní plány rozvoje lesů. Katalog mapových informací* [online]. 2016 [cit. 10. 2. 2016]. Dostupné z: <http://geoportal.uhul.cz/OPRLMapNew/>
- ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky*. 2., přeprac. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-808-7154-625.
- WACHTER, H.. *Zu Lebensdauer von Fichtennadeln in einigen Waldgebieten Nordrhein-Westfalens*. Forst- Holzwirt, 1985, 40 (16), 420-425.
- WOODRUFF, David R., Frederick C. MEINZER a Barbara LACHENBRUCH. Height-related trends in leaf xylem anatomy and shoot hydraulic characteristics in a tall conifer: safety versus efficiency in water transport [online]. *New Phytologist*. 2008, **180**(1), 90-99. [cit. 15. 2. 2016]. ISSN 0028646x. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02551.x
- QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971, 73 s.

10. Seznam příloh

Příloha 1 Průměrné hodnoty sledovaných mikroskopických parametrů xylému na jednotlivých lokalitách.....	- 50 -
Příloha 2 Statistické charakteristiky souborů naměřených hodnot.....	- 51 -

11. Přílohy

Příloha 1 Průměrné hodnoty sledovaných mikroskopických parametrů xylému na jednotlivých lokalitách

Parametr	Lokalita - sever [m n. m.]						Lokalita - jih [m n. m.]						
	700	900	1000	1100	1200	1300	700	900	1000	1100	1200	1300	
N	\bar{x}	27,70	37,46	30,88	34,44	33,04	34,02	28,22	30,22	37,76	36,52	34,12	28,66
	SE	0,09	0,20	0,13	0,14	0,15	0,16	0,09	0,11	0,15	0,13	0,16	0,13
d_{\min} [μm]	\bar{x}	2,89	3,36	3,18	3,00	3,40	3,58	3,06	3,22	3,18	3,28	2,99	2,97
	SE	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
d_{\max} [μm]	\bar{x}	4,44	5,42	5,12	4,87	5,50	5,26	4,60	5,10	4,98	5,26	4,84	4,81
	SE	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
p [μm]	\bar{x}	12,20	14,77	13,97	13,18	14,98	14,78	12,71	14,03	13,66	14,33	13,06	13,05
	SE	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
A_{tracheid} [μm^2]	\bar{x}	10,91	15,97	14,21	12,40	16,17	15,90	11,80	14,04	13,52	14,80	12,40	12,23
	SE	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,07	0,05	0,07	0,04
A_{xylem} [μm^2]	\bar{x}	1304	2151	1595	1785	1855	1842	1295	1523	1909	2019	1771	1398
	SE	$\pm 6,86$	$\pm 14,09$	$\pm 7,57$	$\pm 8,93$	$\pm 9,45$	$\pm 8,95$	$\pm 5,35$	$\pm 6,1$	$\pm 9,72$	$\pm 8,65$	$\pm 10,24$	$\pm 6,68$
$K_{\text{th_tracheid}}$	\bar{x}	1,78	5,49	3,32	2,82	4,56	4,24	1,93	3,05	3,72	4,21	2,92	2,19
	SE	$\pm 0,02$	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 0,02$
$K_{\text{s_xylem}}$	\bar{x}	1,44	2,39	2,02	1,47	2,39	2,26	1,40	1,96	1,81	2,04	1,50	1,52
	SE	$\pm 0,06$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,09$	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,06$	$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$

vysvětlivky k Tab. 1 \bar{x} - průměrná hodnota, SE – střední chyba

$K_{\text{th_tracheid}}$ – jednotky $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1} \cdot 10^{-13}$

$K_{\text{s_xylem}}$ – jednotky $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1} \cdot 10^{-4}$

Příloha 2 Statistické charakteristiky souborů naměřených hodnot

	Lokalita	Medián	Směro- datná odchylka	Variační koeficient	Špičatost	Šikmost	Lokalita	Medián	Směro- datná odchylka	Variační koeficient	Špičatost	Šikmost
N	J 700	28,00	4,94	17,50	-0,53	0,15	S 700	27,00	5,01	18,08	0,49	0,63
d _{min}		3,10	0,28	9,08	-0,13	0,05		2,86	0,33	11,40	-0,37	0,14
d _{max}		4,56	0,50	10,82	0,04	0,40		4,37	0,56	12,69	-0,66	0,32
P		12,69	1,28	10,09	-0,03	0,30		12,04	1,50	12,27	-0,69	0,22
A _{tracheid}		11,57	2,27	19,22	-0,02	0,43		10,41	2,71	24,85	-0,51	0,39
A _{xvlem}		1276	270,09	20,85	-0,45	0,33		1268	346,25	26,55	0,37	0,62
K _{th tracheid}		1,7E-13	8,8E-14	45,56	-0,08	0,78		1,6E-13	1,1E-13	63,64	0,16	0,95
K _{s xvlem}		0,00014	4,3E-05	7,16	-0,31	0,48		0,00012	5,4E-05	42,44	-0,23	0,53
N	J 900	29,50	5,30	17,54	-0,48	0,32	S 900	37,50	9,88	26,37	-0,39	0,14
d _{min}		3,20	0,31	9,65	-0,13	0,34		3,34	0,34	10,25	-0,78	0,10
d _{max}		5,10	0,52	10,11	0,30	0,60		5,43	0,56	10,36	-0,19	0,19
P		13,89	1,34	9,56	-0,45	0,30		14,74	1,47	9,92	-0,29	0,19
A _{tracheid}		13,96	2,48	17,65	-0,66	0,26		15,61	3,11	19,47	-0,14	0,45
A _{xvlem}		1561	307,87	20,21	-0,94	-0,17		2085	711,58	33,08	0,53	0,60
K _{th tracheid}		3,1E-13	1,2E-13	37,78	-0,47	0,18		5,0E-13	3,4E-13	61,17	3,02	1,56
K _{s xvlem}		0,00019	5,4E-05	27,47	-1,12	0,23		0,00024	7,3E-05	30,71	0,15	0,48
N	J 1000	35,50	7,55	19,99	-0,76	0,21	S 1000	30,00	6,44	20,87	0,63	0,87
d _{min}		3,15	0,32	10,16	1,01	1,04		3,22	0,34	10,76	-0,44	0,03
d _{max}		4,83	0,67	13,51	0,29	0,97		5,10	0,61	11,91	-0,44	0,28
P		13,34	1,74	12,71	0,41	1,02		14,06	1,60	11,48	-0,47	0,14
A _{tracheid}		12,93	3,29	24,35	0,86	1,17		14,41	3,06	21,50	-0,12	0,30
A _{xvlem}		1879	491,13	25,73	0,21	0,68		1541	382,57	23,99	1,28	1,06
K _{th tracheid}		3,2E-13	2,6E-13	69,97	5,35	2,16		3,2E-13	1,7E-13	50,33	3,31	1,40
K _{s xvlem}		0,00016	7,7E-05	42,41	2,59	1,50		0,00021	6,9E-05	34,11	0,34	0,53
N	J 1100	36,00	6,73	18,44	-0,41	-0,20	S 1100	34,00	7,18	20,86	-0,80	0,26
d _{min}		3,23	0,29	8,99	1,04	0,80		3,01	0,31	10,47	-0,46	0,32
d _{max}		5,19	0,52	9,94	1,23	0,75		4,79	0,57	11,67	-0,11	0,32
P		14,16	1,36	9,50	1,29	0,74		13,01	1,49	11,34	-0,06	0,35
A _{tracheid}		14,51	2,69	18,16	1,36	0,85		11,83	2,85	23,00	-0,01	0,57
A _{xvlem}		1997	436,85	21,63	-0,90	-0,10		1737	451,00	25,27	-0,69	0,17
K _{th tracheid}		3,9E-13	1,8E-13	41,67	0,88	0,86		2,2E-13	1,7E-13	61,36	0,84	1,05
K _{s xvlem}		0,0002	5,7E-05	28,01	1,50	0,85		0,00014	6,1E-05	41,76	0,46	0,82
N	J 1200	32,00	8,21	24,05	2,42	1,38	S 1200	33,00	7,56	22,87	-0,27	0,39
d _{min}		3,00	0,39	12,90	-0,59	0,10		3,39	0,26	7,62	0,24	0,23
d _{max}		4,81	0,65	13,38	-0,77	0,33		5,46	0,42	7,58	0,46	-0,32
P		12,87	1,69	12,98	-0,79	0,26		14,91	1,10	7,37	0,61	-0,26
A _{tracheid}		12,23	3,29	26,51	-0,73	0,34		15,98	2,29	14,19	0,44	0,10
A _{xvlem}		1632	516,97	29,19	1,97	1,36		1882	477,09	25,72	0,03	0,53
K _{th tracheid}		2,2E-13	2,1E-13	73,41	3,16	1,53		4,5E-13	1,9E-13	42,47	2,30	1,07
K _{s xvlem}		0,00015	7,2E-05	47,71	-0,22	0,51		0,00024	5,6E-05	23,33	0,08	0,12
N	J 1300	28,00	6,51	22,72	0,50	0,20	S 1300	33,00	7,93	23,32	0,69	0,51
d _{min}		2,96	0,24	8,15	0,07	0,58		3,58	0,35	9,67	-0,56	0,15
d _{max}		4,81	0,48	9,93	-0,88	0,03		5,34	0,61	11,63	-0,41	0,01
P		13,12	1,19	9,09	-0,71	0,08		14,89	1,62	10,99	-0,50	0,00
A _{tracheid}		12,15	1,93	15,80	-0,13	0,41		16,04	3,19	20,04	-0,50	0,08
A _{xvlem}		1366	337,27	24,13	-0,27	0,38		1754	452,11	24,54	-0,22	0,54
K _{th tracheid}		2,0E-13	9,8E-14	44,55	3,18	1,51		4,0E-13	1,9E-13	44,14	1,78	1,00
K _{s xvlem}		0,00015	3,6E-05	23,98	2,14	0,94		0,00023	6,9E-05	30,73	-0,73	0,08