

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie

**Dynamika růstu a změny vitality smrku ztepilého
(*Picea abies* /L./ Karst.) v podmínkách
vrcholových částí Orlických hor**

Disertační práce

2016

Martin Čermák

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci **Dynamika růstu a změny vitality smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v podmínkách vrcholových částí Orlických hor** zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím 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 Směrnicí 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, 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 7. 1. 2016

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku této práce.

Děkuji své školitelce, paní RNDr. Mileně Martinkové, CSc., za ochotu, se kterou mi po celou dobu studia předávala své bohaté znalosti a za trpělivost při vedení disertační práce.

Za neocenitelnou konzultační pomoc zasluhuje velký dík Ing. Václav Nárovec, CSc. z Výzkumné stanice Opočno (Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.).

Za pomoc při terénních pracích děkuji Ing. Jarmile Nárovcové, Ph.D., Ing. Václavu Nárovcovi CSc., Václavu Nárovcovi, Jiřímu Nárovcovi, Zuzaně Čermákové, Zdeňku Čermákovi a Ing. Zuzaně Špinlerové, Ph.D.

Za spolupráci v oblasti analýzy obrazu děkuji RNDr. Pavlu Mazalovi, Ph.D.

Zvláštní poděkování zaslouží Jitka Richterová a Ing. Vladimír Černošous, Ph.D. z Výzkumné stanice Opočno (Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.), Ing. Jaroslav Šimerda ze Správy lesů Kristiny Colloredo Mansfeldové, a Ing. Libor Krček ze Správy Kolowratských lesů za poskytnutí informací, materiálu a zázemí, bez nichž by tato práce vznikala jen obtížně.

Doc. Ing. Ivanu Musilovi, CSc. patří dík za zevrubné prostudování první verze práce, korekturu textu a za všechny podnětné připomínky.

Za podporu a pomoc při dokončení práce děkuji doc. Ing. Jindřichu Pavlišovi, Ph.D., Ing. Haně Habrové, Ph.D. a Ing. Petru Němcovi, Ph.D.

Práce vznikla za podpory grantů MSM 434100005, MSM 6215648902 a GA ČR 526/03/H36.

Martin Čermák: Dynamika růstu a změny vitality smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) v podmínkách vrcholových částí Orlických hor

Abstrakt

Disertační práce zabývající se dynamikou růstu smrku ztepilého a jeho poškozením zlomy sněhem na vybraných lokalitách Orlických hor přináší detailní poznatky o významných parametrech týkajících se průměru kmene v bodě zlomu a vertikálním umístěním bodu zlomu na kmeni. Porovnáním klimatických dat s hodnotami středních šířek letokruhů byly potvrzeny předpokládané vztahy mezi příznivým a nepříznivým poměrem srážek a teplot pro tvorbu letokruhů, přičemž pozornost byla taktéž věnována šířce jednotlivých souborů buněk jarního a letního dřeva. Z anatomického, histologického a morfologického hlediska byly objasněny homologické vztahy mezi jehlicí a stonkem a podrobně popsány struktury vzrostného vrcholu stonku.

Klíčová slova: smrk ztepilý, *Picea abies*, růst, zlomy, prýt, Orlické hory

Martin Čermák: Growth dynamics and vitality changes of the Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) in upper parts of the Orlicke hory Mountains

Abstract

Presented dissertation thesis deals with Norway spruce growth dynamics and snow break damages in Orlicke hory Mountains (Czech Republic). Important parameters describing relations between diameter of break points on trunk and vertical localisation of such points have been analyzed. Trough comparison of climatic data (temperature and precipitation) with mean tree ring widths where found favourable and unfavourable conditions for growth. Attention was paid also to creation of spring and summer wood cells. Anatomical, histological and morphological approach was applied to description of homological relation between needles and stems as well as detail of shoot apex structure.

Key words: Norway spruce, *Picea abies*, growth, breaks, shoot, Orlicke hory Mountains

Obsah

1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE	4
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED A POPIS PROBLEMATIKY	5
3.1 POŠKOZENÍ DŘEVIN ABIOTICKÝMI ČINITELI VE VZTAHU KE STUDOVANÉ PROBLEMATICE	5
3.1.1 Abiotické faktory a jejich vliv na horské lesní ekosystémy	5
3.1.2 Zlomy a jejich členění.....	7
3.1.3 Zlomy sněhem.....	8
3.1.4 Patologické účinky nízkých teplot na dřeviny.....	13
3.2 ORLICKOHOŘSKÝ BIOREGION.....	16
3.2.1 Poloha a základní údaje.....	16
3.2.2 Geologie a geomorfologie	17
3.2.3 Půdy.....	18
3.2.4 Podnebí (klíma).....	18
3.2.5 Hydrologie a hydrogeologie.....	19
3.2.6 Biogeografie	19
3.2.7 Přirozená a současná dřevinná skladba.....	20
3.2.8 Fauna	20
3.2.9 Vliv člověka a ochrana přírody	21
3.3 POŠKOZENÍ LESNÍCH POROSTŮ V ORLICKÝCH HORÁCH.....	22
3.3.1 Historie oslabování vitality lesních porostů v Orlických horách	22
3.3.2 Kauzální faktory ovlivňující stav lesních porostů v Orlických horách.....	27
3.4 SMRK ZTEPILÝ.....	29
3.4.1 Vývoj, taxonomické zařazení a popis rodu <i>Picea</i> a druhu <i>Picea abies</i>	29
3.4.2 Popis druhu	32
3.4.3 Původ, chorologie a ekologické nároky	33
3.4.4 Upotřebení a hospodářský význam.....	34
3.4.5 Poškození ve vztahu k horským ekosystémům.....	35
3.5 FYZIOGNOMIE, HISTOLOGIE A VÝVIN PRÝTU SMRKU ZTEPILÉHO	37
3.5.1 Terminologické vymezení pojmu prýt.....	37
3.5.2 Sekundární růst a klimatické faktory.....	38
4. MATERIÁL A METODY.....	40
4.1 ANALÝZA STRUKTURY POROSTŮ A FAKTORŮ PODMIŇUJÍCÍCH ZLOMY STROMŮ	40
4.1.1 Charakteristika šetřených lokalit	40
4.1.2 Analýza klimatických dat.....	41
4.1.3 Výběr vzorníkových stromů, měření jejich parametrů a odběr vzorků.....	43
4.1.4 Měření a vyhodnocení tloušťkových přírůstků z disků	44
4.1.5 Měření a vyhodnocení tloušťkových přírůstků z vývrvtů.....	46
4.2 ANALÝZA ANATOMICKÉ STAVBY A MORFOLOGIE PRÝTŮ	46
5. VÝSLEDKY	47
5.1 ANALÝZA STRUKTURY POROSTŮ A FAKTORŮ PODMIŇUJÍCÍCH ZLOMY STROMŮ	47
5.1.1 Biometrie porostu na lokalitě Komáří vrch a porovnání růstu poškozených a nepoškozených jedinců.....	47
5.1.2 Analýza vrcholových zlomů	50
5.1.3 Analýza tvorby letokruhů na bázích vrcholových zlomů	56
5.1.4 Analýza změn plochy letokruhů na bázích vrcholových zlomů.....	60
5.1.5 Analýza klimatických dat.....	62
5.2 ANATOMICKÁ A MORFOLOGICKÁ STAVBA A VÝVIN PRÝTU SMRKU ZTEPILÉHO	64
5.2.1 Anatomická stavba prýtu	64
5.2.2 Prostorové uspořádání jehlic v pupenu a na prýtu	67
5.2.3 Poškozování prýtu smrku ztepilého v období vegetačního klidu	70
6. DISKUSE.....	73
6.1 ZHODNOCENÍ PROBLEMATIKY KORUNOVÝCH ZLOMŮ V KONTEXTU VÝSLEDKŮ PRÁCE	73

6.1.1. Zlomy, jejich vznik a regenerace kmene	73
6.1.2 Analýza sekundárního tloušťnutí kmene na bázích zlomů	80
6.2 FUNKČNÍ ANATOMIE PRÝTU, MORFOLOGIE A OVLIVŇOVÁNÍ ABIOTICKÝMI ČINITELI	83
6.2.1 Anatomie a morfologie prýtu	83
6.2.2 Vybrané fyziologické aspekty vývinu prýtu a jeho poškozování abiotickými činiteli	86
7. ZÁVĚR	89
8. SUMMARY	91
9. SEZNAM POUŽITÉ A CITOVANÉ LITERATURY	93
10. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A PŘEVODNÍ FAKTORY	104

1. Úvod

Lesní dřeviny a jejich společenstva prosperují za určitého rozsahu specifických podmínek, faktorů, vnějšího prostředí. Život dřevin za okrajovými hodnotami řídicího faktoru je dán jejich odolností snášet stres. Pod vlivem stresu dochází u dřevin ke změnám růstu a vývinu, zhoršování zdravotního stavu, poškození vegetativních či generativních orgánů a v nejzávažším případě k jejich odumírání.

Současný zhoršený zdravotní stav lesních ekosystémů, zejména v horských oblastech, je obvykle způsoben kombinací více stresových faktorů a znepokojuje odborníky i laickou veřejnost. Za základní činitele, kteří se na tomto stavu podílí, je možné označit vlivy antropogenní (činnosti) a abiotické činitele. I přes popis jednotlivých antropogenních činitelů a mechanismů jejich působení stále chybí důkladná syntéza, která by zcela ozřejmila jejich úlohu v širším, ekosystémovém měřítku. Výstupy základního výzkumu nejsou vždy přijímány do praxe a současný stav lesních ekosystémů je možno nadále pokládat za neuspokojivý.

Smrk ztepilý – *Picea abies* (L.) KARSTEN – je hlavní produkční dřevinou středoevropských hospodářských lesů (MUSIL A HAMERNÍK 2007). Zde je často pěstován ve stejnověkových monokulturách a na stanovištích, která neodpovídají jeho ekologickým nárokům. Z toho vyplývají zákonité důsledky neuspokojivého zdravotního stavu smrčín, které se manifestovaly a manifestují oslabováním až odumíráním těchto porostů vlivem abiotických i biotických činitelů.

Abiotické činitele lze považovat ve smrkových porostech za původce značných škod, zvláště, jedná-li se o porosty hospodářské a vzniklé umělou obnovou (VICENA ET AL. 1979). Pro stabilitu a zdravotní stav porostů vzniklých umělou obnovou se jako značně rizikové jeví použití sazenic, jejichž kořenové systémy byly (opakovaně) upravovány podřezáváním (vstup patogenů apod.).

Pro významné zhoršení zdravotního stavu lesních porostů v zájmovém území Orlických hor, kde se smrk ztepilý vyskytuje v oblasti svého ekologického optima (MUSIL A HAMERNÍK 2007) i v rámci areálu svého přirozeného rozšíření (NOŽIČKA 1972), bylo klíčové období 70.–80. let 20. století, tj. období imisně ekologické kalamity. Tehdy došlo ke kritickému narušení životního prostředí vstupem vysokých depozic polutantů, které vyústilo v oslabení zdravotního stavu lesů, zejména

smrku zteplého, v gradaci kambioxylofágního hmyzu a smýcení smrkových porostů na ploše větší než 2 500 ha. Výsadba náhradních společenstev lesních dřevin byla řešena jako prioritní celospolečenský úkol. Při přípravě stanovišť pro výsadbu se experimentovalo s mechanickou a chemickou úpravou půdního prostředí. Zalesňovací práce byly provedeny často v rozporu se základními pravidly přenosu osiva, správné biotechniky pěstování a výsadby sadebního materiálu (VACEK ET AL. 2000). Nutno však dodat, že s kalamitou podobného typu i rozsahu neměla lesnická praxe ani výzkum zkušenost a poznatky k řešení této problematiky se získávaly průběžně. S důsledky těchto negativních vlivů se lesníci v Orlických horách potýkají i v současné době.

V posledních desetiletích byly na našem území zaznamenány zvýšené frekvence nevyrovnanosti chodu meteorologických prvků (a působení jejich extrémních hodnot), které nepříznivě doléhají také na lesní dřeviny všech věkových stádií a zásadním způsobem ovlivňují jejich zdravotní stav. V současnosti se působením těchto vlivů mění zejména vodní a teplotní režim krajiny, dochází ke zvyšování rychlosti větru a narůstá četnost vichřic a bouřek (a s tím související mechanické poškození dřevin), mění se také intenzita a rozložení srážek. Všechny tyto nepříznivé vlivy doléhají také na lesní porosty Orlických hor (např. ČERNOHOUS 2000).

Za kritickou část roku, kdy dochází k výraznému ovlivnění zdravotního stavu jednotlivých stromů i celých lesních porostů, je možné označit období zimní, tedy období vegetačního klidu. Po jeho skončení se poškození manifestuje nejmarkantněji a vzbuzuje zvýšený zájem odborníků i laické veřejnosti. K poškození dřevin v období vegetačního klidu dochází zejména v souvislosti s ukládáním a působením pevných srážek – sněhu a námrazy. Na jedné straně působí sníh uložený na dřevinách jako ochrana před poškozením spojeným s nízkými teplotami pokud je lehký, na straně druhé může taktéž způsobovat těžká poškození stromů a jejich porostů pokud je nadměrně těžký a v lesnictví může způsobovat velké ekonomické ztráty a narušení ekosystémů (JALKANEN A KONÓPKA 1998).

K poškození lesních porostů v Orlických horách došlo v nedávné době například v zimě 2001/2002, kdy největší škody utrpěl asimilační aparát mladých smrkových porostů. Tehdy bylo poškození způsobeno zejména mrazovou desikací pletiv a následným rozvojem houbových organismů (M. ČERMÁK 2003). V zimě 2005/2006 došlo k silnému poškození nadzemního systému mnoha druhů dřevin všech věkových stupňů vlivem námrazy, těžkého sněhu a větru. Rozsah tohoto poškození měl celorepublikový rozměr a neovlivnil tedy jen porosty Orlických hor. K nejrozsáhlejší

sněhové kalamitě došlo v Orlických horách naposledy v zimě 1966/1967, po níž byly zdokumentovány citelné ztráty na produkci dřevní hmoty i ostatních funkcí lesa (KADLUS 1968).

2. Cíl práce

Předkládaná disertační práce sleduje dva hlavní cíle. Prvním z cílů je zhodnocení dynamiky růstu smrku ztepilého *Picea abies* (L.) KARSTEN a jeho poškození zlomy na vybraných lokalitách v modelové oblasti Orlických hor, zejména s ohledem na analýzu vlivu abiotických (klimatických) činitelů na utváření vnitřní struktury (pletiv), změny délkového a tloušťkového růstu a zdravotního stavu nadzemního systému. Z hlediska posouzení vnitřních struktur kmene byla detailní pozornost věnována zjištění podílu jarního a letního dřeva v rámci jednotlivých letokruhů. V návaznosti na provedená šetření bylo praktickým cílem přesněji identifikovat kritické místo na kmeni stromů, ve kterém dochází k takovému přetížení mechanických pletiv, že vznikne zlom.

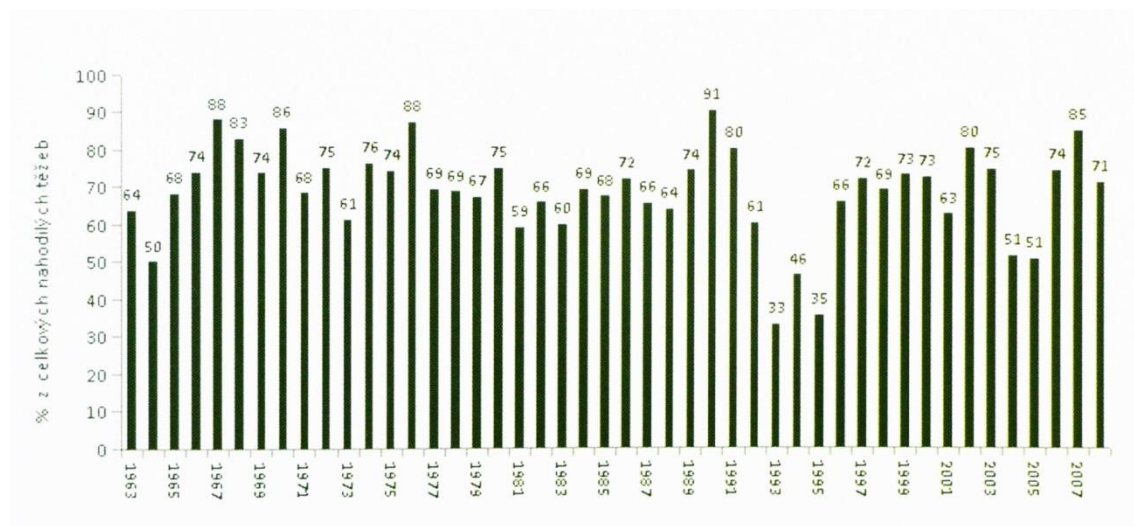
Druhým cílem bylo popsání morfologie a anatomické stavby prýtu smrku ztepilého s návrhem zpřesnění jeho terminologického popisu. Součástí této práce byla taktéž analýza homologických vztahů mezi pletivy stonku a jehlic. Dílčím výstupem bylo taktéž rozkrytí funkcí struktur vzrostného vrcholu vzhledem k možnosti odolávat mrazu a schopnost nahosemenných dřevin vydělovat (kompartimentovat) mrazem poškozené části pletiv od pletiv zdravých.

3. Literární přehled a popis problematiky

3.1 Poškození dřevin abiotickými činiteli ve vztahu ke studované problematice

3.1.1 Abiotické faktory a jejich vliv na horské lesní ekosystémy

Dle studia sledované problematiky se jeví nepřehlednější rozčlenění abiotických faktorů ovlivňujících dynamiku lesa přehled uvedený v práci P. ČERMÁKA (2010). Ten uvádí, že nejvýznamnějšími jsou faktory klimatické: extrémní teploty, srážky (přivalové deště, mokrý sníh, námrazy, nedostatek srážek), vítr, popřípadě laviny (Krkonoše, Jeseníky). Další z významných faktorů, a to oheň, je v našich podmínkách faktorem především antropogenním, příčinami požáru jsou v naprosté většině neadekvátní aktivity člověka.



Obr. 1: Podíl živelných a nahodilých těžeb (vítr, sníh, námraza) na celkových nahodilých těžbách za celou ČR v období 1963–2008 (P. ČERMÁK 2010).

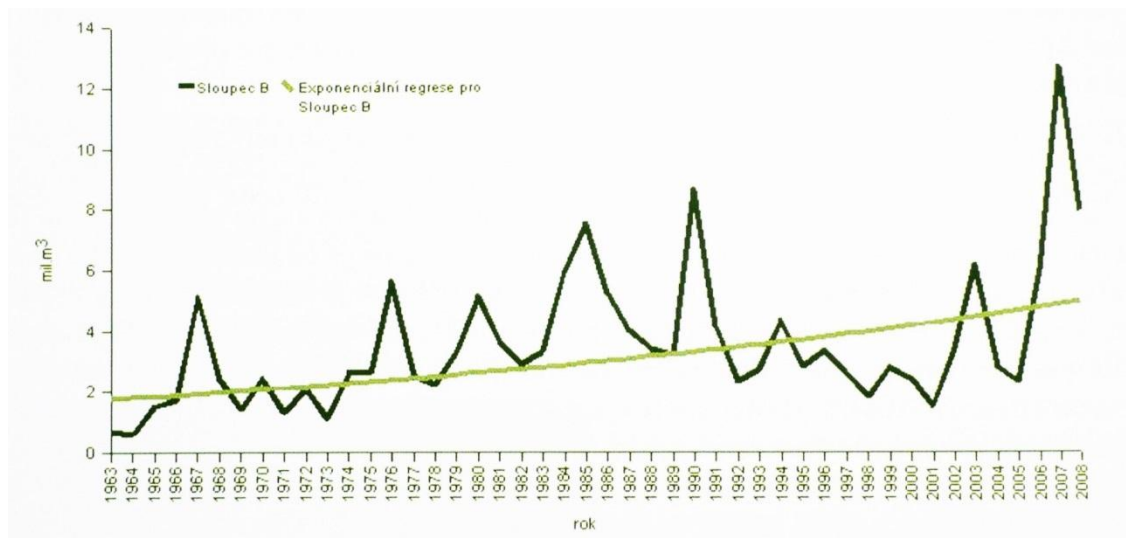
Tentýž autor dále uvádí, že disturbance jsou obecně jedním z nejdůležitějších určovatelných časoprostorových dynamik v lesních ekosystémech, disturbance způsobené větrem, sněhem a námrazou potom patří v našich lesích k nejvíce frekventovaným. Vítr, sníh a námraza jsou dlouhodobě hlavní příčinou nahodilých těžeb, jejich podíl na nahodilých těžbách je za posledních 45 let každoročně vyšší než 50 %, s výjimkou let 1993–1995 s vysokými kůrovcovými těžbami a těžbami vyvolanými suchem (obr. 1) na celkových nahodilých těžbách za celou ČR v období 1963–2008, průměrný podíl těchto

těžeb je 69 %. V absolutních hodnotách vykazují živelné nahodilé těžby zřejmý trend nárůstu (obr. 2). V období let 1963–1973 byly v ČR živelné nahodilé těžby ještě relativně nízké, v průměru 1,8 mil. m³. Od roku 1974 byly pouze dvakrát (v letech 1998, 2001) roční živelné nahodilé těžby nižší než 2 mil. m³, roční průměr činí 4,1 mil. m³ (i díky extrémním letům 1985, 2007, 2008 s živelnými těžbami nad 7 mil. m³). Ještě PFEFFER (1961) ve své ochraně lesů udával objem polomů cca 10 % z celkové těžby. VICENA (2001) uvádí pro období 1960–1975 již cca 17 % z celkové těžby. Od konce 70. let byl podíl polomů v jednotlivých letech od 15 % až do téměř 70 % celkové roční těžby, v extrémním roce 2007 s orkámem Kyrill potom dokonce 80 % z celkové roční těžby.

O sledování kalamit v řádu staletí (konkrétně od roku 1091 do roku 1627) se pokusil KOUBA (2006). Tento autor vypátral na základě studia českých kronik historické záznamy o poškození lesních porostů a potvrdil, že k takovýmto událostem docházelo již před mnoha staletími a zaměřuje se na vítr, sníh mráz, kroupy, lesní požáry a hmyz. Při popisu škod autor uvádí, že zprávu popisující přímo škody sněhem, tj. zlámání stromů v lese, se podařilo nalézt pouze jednu, ve *Starých letopisech českých* k datu 6. listopadu 1448. Ve svém článku týž autor dále uvádí, že „za zprávy s vysoce pravděpodobným poškozením lesů byly považovány ty, které uvádějí výjimečné množství sněhu, takové, že si jej žijící nepamatují, nebo že podobné bylo naposledy např. před 40 či 100 lety (tento uváděný časový rozdíl je většinou možno v kronikách doložit), těžký sníh ve spojení s oblevou, sníh, který zcela znemožnil dopravu, resp. cestování apod.“ Škody na stromech uvádí Kosmas k 20. květnu 1125, i když měl možná více na mysli stromy ovocné. Staré letopisy české uvádí škody na lesích pozdními mrazy, které přišly před 1. květnem 1485, nejen v Čechách. Vysoce pravděpodobné poškození lesů mrazem určují zprávy o vymrznutí řek a potoků, zamrznutí studní, úmrtí lidí, ztrátách na dobytku, koních, silné pozdní mrazy (květen) apod. Rovněž těchto zpráv je velký počet.

Na celoevropské úrovni analyzovali SCHELHAAS ET AL. (2003) data o přírodních kalamitách v 19. a 20. století získaná z třiceti zemí. Na základě této studie zjistili, že v letech 1950–2000 bylo ročně poškozeno v průměru 35 mil. m³ dřeva. Z abiotických faktorů se na celkovém poškození podílel vítr 53 %, oheň 16 %, sníh 3 % a další abiotické faktory 5 %. Podíl biotických faktorů na celkovém poškození činil 16 %, přičemž byl z poloviny způsoben vlivem kůrovců. Ke škodám sněhem totiž autoři uvádí,

že je méně významné, než škody způsobené větrem, a dosahuje odhadovaného průměru 1 milionu m³ za rok pro sledované období let 1950–2000. K tomuto údaji dále uvádí, že jeho zvyšující se hodnota je pravděpodobně důsledkem četnějšího provádění podrobnějších analytických studií. Nejvíce byl tento typ poškození zaznamenán v Německu, Rakousku, České a Slovenské republice, přičemž v jiných zemích jen nahodile.



Obr. 2: Živelné nahodilé těžby a trend jejich vývoje za celou ČR v období 1963–2008 (P. ČERMÁK 2010).

3.1.2 Zlomy a jejich členění

Ve vztahu k studovanému tématu lze shrnout problematiku zlomů dle VICENY (1995b). Ten definuje zlom jako přelomení kmene způsobené vlivem větru, sněhu, námrazy, ledovky, zemními a sněhovými lavinami a půdními sesuvy a takto popisuje jejich členění:

Zlom vrcholový vzniká odlomením apikální části koruny. Pokud zůstane zachována alespoň jedna třetina bazální zelené části koruny, stromy přežívají. Z nejvyššího poškozeného (pseudo)přeslenu se vztyčí náhradní vrchol, z jedné větve vznikne – vrchol bajonetový, zdvižením dvou větví – vrchol lyrovitý nebo z více větví – vrchol svícnový. Pod zlomem bývá kmen napaden hnilobou, která postupuje bazipetálně a může dosáhnout délky až několik metrů (viz obr. 95 a obr. 96). Nový vrchol dosáhne zpravidla do korunové úrovně, stromy však mají menší tloušťkový přírůst. Pokud zůstane zachováno jen několik bazálních zelených větví, stromy po 2 až 3 letech odumírají. Jejich zpracování je možno při větších kalamitách odložit až po

zpracování hlavní polomové hmoty. V oblastech postižovaných častěji námrazou mohou být stromy vrcholovým zlomem postiženy i několikrát a bývají tak silně deformovány.

Zlom korunový vzniká při odlomení celé zelené koruny. Zbývající pahýly je nutno pokácet a zpracovat. Musí být zpracovány i odlomené, na zemi ležící koruny, poněvadž je napadá lýkožrout smrkový, lýkožrout lesklý a další škodlivý hmyz.

Zlom kmenový vzniká při zlomení kmene mezi zelenou korunou a půdou. Během svého vývinu se stromy přizpůsobují svou stavbou a tvarem působení tlaků a namáhání. Bazální část kmene je vždy zesílena v průřezu vysoko vystupujícími kořenovými náběhy. Stromy solitérní a stromy rostoucí v řídkém zápoji bývají nižší a kmen je v dolní části zesílen. Takové stromy mají proto nižší výtvarnice (0,4–0,5). Stromy rostoucí v hustém zápoji mívají výtvarnice vyšší (0,6–0,7). Podobně štíhlostní koeficient je u solitérů nižší (0,5–0,8; respektive 50–80), v hustých porostech pak vyšší (0,9–1,4; respektive 90–140). Stromy s nižšími hodnotami výtvarnic a štíhlostních koeficientů jsou odolnější. V dolní části kmene se stromy lámou zřídka, ke zlomení dochází v bazální části jen u nahnilých stromů. Zdravé stromy se lámou zpravidla ve výšce 6–8 m nad zemí.

3.1.3 Zlomy sněhem

Mokrý sníh a zejména pevně lpící ledový obal korun přísně symetrických zvětšuje namáhání kmene na vzpěr. Tento druh ohrožení stability stromu se zpravidla nevyskytuje samostatně, ale nejčastěji v kombinaci s ohybem, který může být způsoben buď bočním tlakem větru, nebo jen vlastní excentricitou těžiště koruny přetížené např. námrazou, jež se může v závislosti na vzdušném proudění vytvářet nerovnoměrně. Oba účinky mohou v nepříznivém případě působit společně a výsledkem jsou zimní zlomy vršků těsně pod korunou (SEREDA 1994).

Rozsah škod sněhem je dle NECHLEBY (1996) podmíněn následujícími faktory:

- 1) Stanovištěm – střední pohoří a předhoří vysokých hor v pásmu od 400 do 800 m n. m. trpí sněhovým polomem nejčastěji.
- 2) Dřevinou – v zimě zelené jehličnany poskytují tíži vlhkého sněhu větší oporu než stromy v zimě bezlisté.

3) Stářím porostů a stromů – mlaziny trpí sněhem nejvíce, obzvláště pokud vynikly z hustého zmlazení. Husté sije a přirozené zmlazení trpí více než kultury sázené, probrané porosty méně než neprobrané. Množství a rozdělení sněhu v různých porostech viz tab. 1.

Tab. 1: Množství sněhu v různých porostech dle Bühlera (NECHLEBA 1996)

Výšce sněhu na volném prostranství vedle porostu (cm)	Typ porostu	Výška sněhu pod porostem (cm)	Zachycení sněhu v korunách stromů (%)
33	smrk, 15 let, umělá obnova	8	76
33	smrk, 40 let, hustý, přirozeně zmlazený	4	88
28	smrk, 90 let, zapojený porost	13	54
28	buk, 35 let, tyčkovina	25	11
28	buk, 35 let, laťovina	25	11
33	buk, 70 let	27	18

Sněhové srážky, pokud nečiní škody, můžeme v lesních porostech hodnotit pozitivně. NECHLEBA (1996) uvádí, že i dosti vysoká vrstva suchého, sypkého sněhu lesu značně prospívá, chrání mladé kultury před škodami mrazem, zvěří, jakož i při kácení a transportu dříví. Kdysi byla vyšší vrstva sněhu ve vysokých horách předpokladem a podmínkou pro dopravu dříví do údolí. I při nasazení současné lesnické techniky (harvestory, procesory, odvozní soupravy) je vyšší sněhová pokrývka žádoucí, neboť umožňuje ušetření lesních cest a půdy. Tající sníh poskytuje lesní vegetaci cennou jarní vláhu.

Dle WAGNERA (1930) mokrý sníh působí škody na lesních porostech jen tehdy, napadne-li ho větší množství v krátkém časovém sledu, popřípadě jestliže se kumuluje v korunách stromů při opakovaných spadech v delším časovém období nebo při současném působení větru. Současně záleží i na délce doby, po kterou sníh koruny stromů zatěžuje; čím déle lpí sníh v korunách stromů, tím je větší nebezpečí, že se zmenší pružnost dřeva a dojde k jeho únavě.

VICENA ET AL. (1979) uvádí, že ve smrkových porostech dosahuje nebezpečí škod sněhem svého maxima ve věku 20–50 let (v tzv. kritickém věku). V druhé polovině obmýtní doby se nebezpečí ztlačuje. Ve starších porostech bývá poměr mezi výškou a průměrem stromů již příznivější; škody sněhem se v těchto porostech soustřeďují spíše do horních partií korun.

Při sněhových polomech bývají tedy většinou postiženy porosty mladší, někdy se však projeví větší škody sněhem spíše v porostech středního věku, kdežto mladší i starší porosty zůstanou ušetřeny. K poškození starších porostů dochází hlavně v těch případech, kdy se sníh objeví spolu s námrazou.

Ve své publikaci popisuje NYKÄNEN (1997), že škody sněhem v geografickém prostoru Evropského společenství způsobují každoročně poškození, které je objemově odhadováno na 4 mil. m³ dřevní hmoty. Četnost tohoto typu poškození nastává v závislosti na lokálních klimatických podmínkách s různou periodou opakování – od každoročního, po výskyt jednou za desetiletí. V budoucnosti lze dle mínění tohoto autora předpokládat zvýšený výskyt škod sněhem v důsledku globálních klimatických změn, kdy se riziko tohoto poškození bude zvyšovat z důvodu vyšší pravděpodobnosti výskytu sněhových srážek při teplotách blízkých 0 °C. Závažnost poškození sněhem je závislá na rozměrových parametrech stromů. Sbíhavost kmene a rozměry koruny podmiňují stabilitu stromů. Mírná sbíhavost kmene, asymetrie korun a rigidně horizontální větvení zvyšují riziko poškození, ačkoliv podstatné jsou také podmínky stanovištní. Pěstební zásahy od založení lesa, přes jeho výchovu až obnovu mohou pozitivně ovlivnit stabilitu stromů a porostů.

Sněhová zátěž – kombinace sněhu, ledu a námrazy – působící na stromy a související poškození stromů zlomy byly zjišťovány JALKANENEM A KONÔPKOU (1998) na třech druzích dřevin: na smrku ztepilém (*Picea abies*), borovici lesní (*Pinus sylvestris*) a bříze pýřité (*Betula pubescens*). Pokusy byly prováděny v zimě 1993 až 1994 v jižním Laponsku (severní Finsko), přičemž tamní hranice stromové vegetace leží v nadmořské výšce okolo 400 m n. m. V téže práci se nachází výpočet sněhové zátěže, která zlomy způsobila.

Vlivem druhu dřeviny na ukládání sněhu v hřebenových částech Krkonoš se zabývali BARTOŠ ET AL. 2009. Ve své studii sledovali dvacetileté jedince smrku ztepilého, modřínu opadavého, kleče horské, jeřábu ptačího a břízy karpatské a bělokoré. Při popisu porostu uvádí poškození smrku zlomy ze zimy 2004/2005, kdy napadlo nadprůměrné množství sněhu. Do průměrné výšky sněhové pokrývky 100 cm zaznamenávají nejvyšší hodnoty ukládání sněhu v porostu kleče, nejnižší v porostu břízy. Vystoupavé větve kleče způsobují v prvním období zachytávání sněhu a jeho

nakypření. S dalším nárůstem výšky a zejména hmotnosti sněhu jsou větve přitlačovány k zemi. Obdobně působí zpočátku i spodní větve u smrku a u modřínu. Se zvětšující se výškou sněhu byla nejvyšší vrstva sněhu naměřena ve smrku, kde dosáhla při kulminaci průměrné hodnoty 286 cm. Nejnižší maximální průměrná výška sněhové pokrývky byla naměřena v porostu břízy – 173 cm.

Problematika prevence škod abiotickými činiteli byla a dodnes zůstává důležitým úkolem lesnické praxe i výzkumu. Dodnes respektované jsou například výsledky práce českého lesníka Josefa Bohdaneckého (BOHDANECKÝ 1890) a řady dalších nestorů tohoto oboru, například profesora Konšela (KONŠEL 1931). Vyčerpávajícím způsobem řeší otázku pěstění lesa a prevence proti škodám sněhem a námrazou přímo v zájmovém území Orlických hor VULHM VS Opočno (KADLUS 1964, PAŘEZ 1972, SLODIČÁK 1982, 1983a, 1983b 1983c, 1985a, 1985b a 1987, SLODIČÁK A NOVÁK 2004 a SLODIČÁK ET AL. 2009, SOUČEK 2009).

Posouzení rozsahu poškození zlomy lze kromě pozemního terénního šetření v porostech provádět také na základě dat získaných metodami dálkového průzkumu Země. Kromě posuzování leteckých snímků lze taktéž využívat nejmodernější technologie, které v oblasti monitoringu stavu lesních porostů a jejich poškození abiotickými činiteli nebyly doposud v dostatečné míře využity – jedná se například o technologii LiDAR. Interpretací dat získaných technologií LiDAR se v porostech borovice lesní (*Pinus sylvestris*) poškozených korunovými zlomy v letech 2009–2010 ve Finsku zabývali VASTARANTA ET AL. (2012). S úspěchem vytvořili model pro detekci poškození na úrovni jednotlivých stromů, který taktéž ověřili v praxi.



Obr. 3: Setřásání nánosů sněhu vrtulníkem. Akce „Metla“ u Uslaru v Dolním Sasku, SRN, leden 1979. Náklady 700 DM na hodinu. Foto: Weihs.

Pokud bylo v korunách stromů uloženo takové množství sněhu, které může způsobovat zlomy, bývá prakticky nemožné sníh z korun stromů uměle odstraňovat. Pozoruhodný způsob celoplošného odstraňování sněhu z korun stromů byl experimentálně odzkoušen v SRN (viz obr. 3). Sníh zde byl z korun stromů setřásán prouděním a tlakem vzduchu, který vytváří listy rotoru vrtulníku. Nevýhodou toho projektu byla vysoká ekonomická nákladnost (SCHMIDT-VOGT 1991).



Obr. 4: Vrcholové a korunové zlomy smrku ztepilého, způsobené sněhem a námrazou, jsou v horských polohách velmi časté. Severní svah pod Anenským vrchem, 25. 2. 2006.



Obr. 5: U listnatých dřevin (zde buk lesní) způsobuje těžký sníh a námraza zlomy větví, kmenové zlomy se vyskytují zřídka. Tvary korun a nepravidelnosti jejich utváření mohou být ovlivňovány také větrem (viz levá část snímku). Severní svah pod Anenským vrchem, 15. 4. 2011.



Obr. 6: Funkce opadu listů (jeřáb ptačí) ve vztahu k mechanické zátěži (sníh, resp. námraza, ledovka) v kontrastu ke smrku ztepilému, který má vytrvalé listy. Anenský vrch, 25. 2. 2006.



Obr. 7: Ukládání sněhu v korunách dospělých jedinců smrku ztepilého a buku lesního. V porovnání s jedinci v časných fázích ontogene měly tyto stromy již letitou zkušenost se zátěží – tvorba reakčního dřeva, vyšší investice do struktur zabezpečujících pružnost a pevnost skeletu (viz obr. 4). Neratov v OH, 25. 2. 2006.



Obr. 8: Jednostranný (vlajkový) vývin korun buku lesního utvářelo proudění vzduchu v jednom převládajícím směru. Anenský vrch, 25. 2. 2006.



Obr. 9: Ukládání sněhu a námrazy v korunách dospělých smrků ztepilých ve vrcholových polohách. Anenský vrch, 25. 2. 2006.

3.1.4 Patologické účinky nízkých teplot na dřeviny

Nejvýznamnější klimatické události, které ovlivňovaly růst a prosperitu dřevin a jejich porostů v recentní době.

Zima 1928/29

Dlouhé trvání velmi nízkých teplot (mrazů) zařadilo zimu 1928/29 mezi nejstudenější zimní období u nás od počátků meteorologických pozorování. Celostátní teplotní rekord $-42,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ze dne 11. února 1929 (Litvínovice u Českých Budějovic) je údajem všeobecně známým a dosud platným (TOLASZ 2007). Strachota (1930) rozvedl některé podrobnosti o průběhu vybraných meteorologických prvků v zimě 1928/29, ze kterého vyplývá, že silné mrazy se na většině území tehdejšího Československa vyskytovaly již od prosince 1928. V období od 1. do 15. února 1929 teplota vzduchu na mnoha místech nevystupovala nad $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a mnohde dosáhla svého historického minima. Po slabé oblevě ve 2. polovině února pokračovaly v první dekádě března 1929 opět silné mrazy s hodnotami pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teprve v polovině března se oteplilo k hodnotám nad nulu, a poté nastalo pozvolné tání sněhu, který „se i v nižších polohách našich lesů udržel až do konce března v dosti vysoké vrstvě“.

Tentýž autor rovněž popsal, že duben byl zpočátku sychravý a že se výrazněji oteplilo teprve po 8. 4. 1929. Tuto informaci musíme považovat za velmi důležitou, protože zřejmě vypovídá o pozvolnosti oteplování vzduchu na jaře roku 1929. Předpokládaná absence prudkých teplotních výkyvů v tomto nejrizikovějším období působení teplot na dřeviny se pravděpodobně také promítá do relativně mírného zhodnocení účinků neobyčejně tuhé zimy v roce 1928–29 na lesní dřeviny, které

provedl POLANSKÝ (1930): „*Hodnoty, které si dosud bezprostřední škody způsobené tuhou zimou v lese vyžádaly, ač lze je odhadnouti hodnotou statistickou, netvoří položku takovou, aby bylo nutno mluvit o újmě citelné*“.

Jako „dosti mírné“ pak o rok později POLANSKÝ (1931) vyhodnotil i druhotné účinky této tuhé zimy na lesní dřeviny a na jejich zdravotní stav. Obojí zhodnocení se opíralo o analýzu a syntézu údajů ze dvou celostátních dotazníkových akcí.

Ze Zprávy o mrazových škodách ze zimy r. 1928–29, kterou publikoval HENDRYCH (1930), vplynuly rovněž některé nové poznatky. Autor shromáždil údaje z vlastních pozorování na polesí Paršovice (školní polesí lesnické školy v Hranicích) a zdůrazňuje zejména to, že mnohde na kmenech došlo v důsledku mrazů k popraskání, roztrhání a odlupování kůry včetně rozpukání dřeva. Míra poškození jednotlivých stromů i lesních porostů mrazem přitom korelovala s mírou jejich oslunění. Nejpoškozenější po zimě 1928/29 zde byly porosty tenkokorých dřevin (jedle, buk aj.) na jižních a jihozápadních expozicích.

Zima 1955/56

Platnost poznatků popsaných po zimě 1928/29 byla potvrzena při vyhodnocení škod mrazem po tuhé zimě v letech 1955/56. V závěru ledna (25. 1. 1956) do střední Evropy pronikl studený arktický vzduch ze severovýchodu a poté až do 29. 2. 1956 teploty na mnoha místech nevystoupily nad bod mrazu. Významněji se oteplilo teprve po 20. březnu. Ve smrkových porostech na jižních a jihozápadních expozicích byl stejně jako po zimě 1928/29 pozorován největší podíl zimním mrazem poškozených stromů. Výraznější škody byly v roce 1956 evidovány především u soliterních dřevin, u stromů v okrajích lesních porostů, v porostech s nízkým zakmeněním, jakož i v polohách vystavených proudění vzduchu a imisí (ZEIGER ET AL. 1958).

Březen 1977

Jestliže první příklad (zima 1928/29) dokumentoval dlouhodobé působení mimořádně nízkých zimních teplot, které nemělo dramatický dopad na lesní hospodářství, pak naopak zcela fatálně může v závěru zimy na dřeviny působit teplotní zvrát v podobě oteplení a náhlého ochlazení. Rostliny otužené již pouze k nízkým kladným teplotám v takovém případě nemohou úspěšně čelit zamrznutí vody v pletivech. Tvorba krystalů ledu v pletivech vede neodvratně k dehydrataci (vyschnutí) buněk;

objemové změny tuhnoucí a rozmrzající vody způsobí destrukci buněčných membrán, mechanické roztrhání pletiv a jejich odumření.

„Příkladem může být předjaří roku 1977, kdy jev rezivění jehlic smrku plošně postihl Krušné a Jizerské hory, zasáhl do západních Krkonoš a místy byl zaznamenán na Broumovsku; podhůřím Orlických hor pak pronikl až na Svitavsko. Tato odezva má zřejmý ráz fyziologického vysýchání jehlic, ...“ doslova dokumentuje TESAŘ (1985) značný plošný rozsah mrazového poškození lesních porostů ČR v závěru března 1977. Tatáž událost byla později popsána v Krušných horách následovně: Tehdy po předchozím teplém únoru a souvisle po sobě následujících 24 březnových dnech (3. až 26. 3. 1977), kdy průměrné denní teploty vzduchu neklesaly po bod mrazu a kdy se v závěru uvedeného období i na horách pohybovaly kolem +10 °C, došlo (27. 3. 1977) k nasunutí mas chladného vzduchu ze severu a k propadu teplot až k -13 °C (MATERNA 2002).

Silvestr 1978

V souvislosti s prudkým zimním poklesem teplot je pamětihodný přelom let 1978/79. V průběhu silvestrovské noci na celém našem území teploty vzduchu prudce poklesy z hodnot vysoko nad bodem mrazu ojediněle až k teplotám arktickým (-30 °C). Výjimečnost tohoto teplotního zvratu spočívala nejen v mimořádně silném, ale také ve velmi rychlém ochlazení (pokles o více než 2 °C za hodinu). Podrobný rozbor povětrnostní situace kolem Silvestra 1978 uveřejňuje na svých osobních webových stránkách PSIKA (2005). Autor uvádí, že ve střední Evropě se podobná situace vyskytuje velice zřídka a že ji lze srovnat snad jen s blizzardem, čili jevem, který je daleko více typický pro zimní období na severoamerickém kontinentu.

V 70. letech minulého stoletím byly již naše lesy dlouhodobě pod stresem znečištění ovzduší a následně změněných půdních podmínek, což ještě více podvazovalo jejich odolnost vůči účinkům ochlazení. Prudký pokles teplot spolu s vlivem imisí tehdy odstartoval významnou etapu chřadnutí našich horských lesů. Podrobnosti o nežádoucích účincích zimních a pozdních mrazů na obnovu lesa v imisních oblastech poté popsali mnozí lesničtí odborníci (FIŠERA 1991; FLEMMING A KREČMER 1986; JIRGLE 1982; KAŇÁK 2004; KREČMER 1984; MATERNA 1982; MRKVA 2000; PEŘINA 1985; TESAŘ 1985 a další). V jejich zkušenostech lze i dnes hledat a nacházet východiska pro úsilí o zlepšování stavu lesů.

3.2 Orlickohorský bioregion

3.2.1 Poloha a základní údaje

Zájmové území Orlických hor leží na východě východních Čech a menší částí zasahuje do Polska (následující popis území se týká pouze území v ČR). Bioregion zabírá geomorfologický celek Orlické hory a severní část Podorlické pahorkatiny, v ČR má rozlohu 644 km² (CULEK 1996).



Obr. 10: Národní přírodní rezervace Bukačka, příklad přírodě blízkého lesního ekosystému, 6. 7. 2004.



Obr. 11: Vrchovištní rašeliniště s jezírky. Jelení lázeň, 8. 7. 2004.

Bioregion je tvořen plochou pahorkatinou na kyselých břidlicích s ostrovy křídý. Zahrnuje vegetační stupně od 3. dubovo-bukového do 7. smrkového. Vegetačními jednotkami jsou převážně květnaté bučiny (obr. 10), na hřbetech jsou malé plochy acidofilních bučin, přirozených smrčin a suťových lesů. Biota má typický hercynský (sudetský) ráz, obohacena je glaciálními relikty na rašeliništích (obr. 11). Horské prvky mají vztah hlavně k Hrubému Jeseníku. Nereprezentativní zóna zahrnuje nižší okrajové části území, do nichž nezasahují acidofilní horské bučiny.

V lesích dnes převládají kulturní smrčiny s doznívajícím silným poškozením imisemi, na svazích jsou zbytky horských bučin, hodnotné jsou některé vlhké louky a rašeliniště (CULEK 1996). Velkoplošně se ve vrcholových částech pohoří vyskytuje introdukovaná borovice kleč, jejíž porosty po imisní kalamitě a odumření horského lesa chrání mělkou půdu před vlhkostními a teplotními výkyvy a následnou erozí. Porosty kleče by měly být postupně vytěsňovány výsadbami autochtonních druhů dřevin, které později vytvoří přírodě blízké porosty (ŠPINLEROVÁ 2005).

295 m, nejvyšším bodem je vrchol Velké Deštné – 1 115 m. Typická výška bioregionu je 500–1 090 m (CULEK 1996).

3.2.3 Půdy

Na hlavním hřbetu převládají kambizemní podzoly, v nejvyšších polohách (nad 950 m n. m.) pak typické podzoly. Lokálně se na hřbetu objevují kyselé rankery nebo organozemě typu rašelin. V nižších částech pohoří se vyvinul souvislý pás dystrických kambizemí a při okraji bioregionu i kyselých typických kambizemí (CULEK 1996).

3.2.4 Podnebí (klíma)

Dle Quitta leží orlickohorský bioregion v mírně teplých oblastech MT3 a MT5, vyšší části v chladné oblasti CH7, polohy nad 800 m v CH6 a nejvyšší hřbety v CH4, která je na území ČR nejchladnější.

Vyšší polohy jsou tedy chladné (Deštné – průměrná roční teplota 5,4 °C, průměrný roční úhrn srážek 1 116 mm), na hřbetech průměrné roční teploty klesají pod 4°C. Celá oblast je bohatá srážkami (průměrný roční úhrn srážek: Kunštát 1 126 mm, Rokytnice v OH 1 015 mm, Bartošovice-Hadinec 1 323 mm), které se však do nižších poloh rychle mění (Náchod – průměrná roční teplota asi 7,2 °C, průměrný roční úhrn srážek 753 mm). V zaříznutých údolích se projevují teplotní inverze (CULEK 1996). Ve vrcholových částech pohoří (viz obr. 8) jsou patrné zřetelné náznaky vrcholového fenoménu (KADLUS 1967b).

Vybrané klimatické charakteristiky pro lesní vegetační stupně (dle ÚHÚL), vyskytující se v Orlických horách, doplněné údaji o plošné výměře a procentickém zastoupení jednotlivých vegetačních stupňů (viz tab. 2), shrnuje ve své práci VACEK (2003).

Tab. 2: Charakteristika lesních vegetačních stupňů (dle ÚHÚL) na území OH (VACEK ET AL. 2003)

Lesní vegetační stupně	Výměra (ha)	Zastoupení (%)	Nadmořská výška (m)	Průměrná teplota (°C)	Roční srážky (mm)	Vegetační doba (dny)
5 jedlobukový	5 124	23,4	500–700	5,5–6,5	800–980	125–140
6 smrkobukový	12 537	56,7	600–900	4,5–5,5	900–1 050	110–130
7 bukosmrkový	4 157	18,8	900–1 050	4,0–4,5	1 050–1 200	90–110
8 smrkový	243	1,1	1 050–1 115	4,0	1 200–1 300	80–90

Popisem klimatických poměrů v zájmovém území Orlických hor se zabývají také COUFAL A SEDLÁČEK (1977). Tito autoři popisují srážkový stín na závětrné straně pohoří.

Úplný přehled klimatických charakteristik na území tehdejšího Československa za období 1901 až 1950 shrnuje ve své publikaci KOLEKTIV (1960). Podrobnější přehled podnebí pro území současné ČR za období 1961 až 2000 (1960 až 1990) popisuje TOLASZ (2007).

3.2.5 Hydrologie a hydrogeologie

Zájmové území je odvodňováno vodními toky, jejichž síť náleží úmoří Severního moře. Mezi nejvýznamnější toky OH patří Zlatý potok, Bělá, Divoká Orlice, Zdobnice, Olešenka. Kněžná, Liberský potok aj. Podrobný popis hydrologických a hydrogeologických charakteristik lze nalézt v práci REŽNÉHO (1977).

3.2.6 Biogeografie

Podle CULKA (1996) jsou Orlické hory samostatným sosiekoregionem, na který navazuje na severu Kladská kotlina (Polsko), západě Podorlická pahorkatina, na jihu Zábřežská vrchovina a na východě Hanušovická vrchovina.

Území Orlických hor leží převážně v oreofytiku ve fyto geografickém okrese 95. Orlické hory (s výjimkou východní části fyto geografického podokresu 95b. Králická hornatina). Část se nachází v mezofytiku ve fyto geografickém okrese 59. Orlické podhůří a zabírá některé okrajové partie fyto geografického podokresu 63a. Žamberecko.

Dle SKALICKÉHO (1988) jsou Orlické hory shodně řazeny do fyto geografické oblasti *oreofytikum*, fyto geografického obvodu *České oreofytikum* (*Oreophyticum Massivi bohemicum*).

Vegetační stupně dle SKALICKÉHO (1988): (suprakolinní-) submontánní až supramontánní. Culek (1996) popisuje jako potenciální přirozenou vegetaci na většině plochy bioregionu květnaté bučiny (*Dentario enneaphylli-Fagetum*), které se střídají s acidofilními bučinami podhorského i horského typu.

3.2.7 Přírozená a současná dřevinná skladba

Informace pro porovnání přírozené a současné dřevinné skladby lesních porostů v zájmovém území Orlických hor obsahuje tab. 3. Tato tabulka obsahuje taktéž údaje o výhledově cílovém zastoupení jednotlivých druhů dřevin.

Tab. 3: Přírozená, současná a cílová dřevinná skladba (%) v OH (MIKESKA ET AL. 1999)

SM	JD	BO	MD	DG	JDo	KOS	o. j.	j.
Přírozená druhová skladba								
36,0	25,0	+						61,0
Současná druhová skladba								
85,4	0,6	0,2	1,4	+	+	0,8	0,4	88,8
Cílová druhová skladba								
70,1	2,9	1,0	2,8	0,5	0,3	+	+	77,6

Tab. 3: – pokračování

BK	DB	JV	LP	JS	OL	BR	BRp	JL	JR	o. l.	l.
Přírozená druhová skladba											
35,0	+	1,2	0,2	0,3	0,7	0,3	1,1	0,1	0,1	+	39,0
Současná druhová skladba											
5,0	+	0,7	+	0,2	2,5	1,6	+	+	1,2	+	11,2
Cílová druhová skladba											
15,1	0,2	2,5	1,6	0,8	0,9	0,8	0,2	0,1	0,2	+	22,4

Vysvětlivky: SM – smrk ztepilý, JD – jedle bělokorá, BO – borovice lesní, MD – modřin evropský, DG – douglaska tisolistá, JDO – jedle obrovská, KOS – borovice kosodřevina, o. j. – ostatní jehličnaté dřeviny, j. – jehličnaté dřeviny celkem, BK – buk lesní, DB – duby, JV – javory, LP – lípy, JS – jasan ztepilý, OL – olše, BR – bříza bradavičnatá, BRP – bříza pýřitá, JL – jilmy, JR – jeřáby, o. l. – ostatní listnaté dřeviny, l. – listnaté dřeviny celkem; + – dřevina vtroušená

3.2.8 Fauna

V bioregionu je zastoupena hercynská fauna podhorského a montánního stupně (rejsek horský, kos horský aj.). Druhové spektrum je vzhledem k malému plošnému rozsahu postupně dále ochuzované imisní zátěží. Zdejší fauna má zřejmé vztahy k fauně Jesenického bioregionu. Tekoucí vody patří do pstruhového pásma.

Významné druhy – Savci: ježek západní (*Erinaceus europaeus*), j. východní (*E. concolor*), rejsek horský (*Sorex alpinus*), netopýr pobřežní (*Myotis dasycneme*), netopýr severní (*Eptesicus nilsoni*). Ptáci: kos horský (*Turdus torquatus*), lejsek malý (*Ficedula parva*), ořešník kropenatý (*Nucifraga caryocatactes*), čečetka zimní (*Carduelis flammea*), hýl rudý (*Carpodacus erythrinus*). Obojživelníci: čolek horský

(*Triturus alpestris*). Plazi: ještěrka živorodá (*Lacerta vivipara*), zmije obecná (*Vipera berus*). Měkkýši: vrásenka pomezní (*Discus ruderatus*), slimáčník horský (*Semilimax kotulae*), slimáčnice lesní (*Eucobresia nivalis*), řasnatka tmavá (*Macrogaster badia*). Hmyz: šídlo rašelinné (*Aeschna subarctica*); zpracováno dle CULKA (1996).

3.2.9 Vliv člověka a ochrana přírody

Popis ovlivnění zájmového území člověkem lze nalézt například v práci ŠPINLEROVÉ (2005). Podrobnější popis historie ovlivnění lesních porostů Orlických hor člověkem je popsán v kapitole 3.3. Představu o současné plošné struktuře využití zájmového území poskytuje tab. 4, která dokládá významné plošné zastoupení lesních porostů (48 %).

Za účelem ochrany přírody a krajiny Orlických hor byla v roce 1969 vyhlášena Chráněná krajinná oblast Orlické hory. V současné době má CHKO rozlohu 204 km² a její součástí jsou dále maloplošná chráněná území. Konkrétně se jedná o 2 národní přírodní rezervace, 13 přírodních rezervací a 6 přírodních památek (ANONYM 2002).

Tab. 4: Plošná struktura vybraných typů využití území v bioregionu v % (CULEK 1996)

Plocha bioregionu	Orná půda	Travní porosty	Lesy	Vodní plochy
644 km ²	23	20	48	0,6

3.3 Poškození lesních porostů v Orlických horách

3.3.1 Historie oslabování vitality lesních porostů v Orlických horách

V Orlických horách lze dle VACKA ET AL. (2000) určit dvě hlavní období, kdy byl působením člověka takřka celoplošně silně narušen odolnostní potenciál lesních ekosystémů. V prvním období (léta 1574–1703) byly původní bukové a smíšené smrkojedlobukové lesy Orlických hor téměř zcela vytěženy a holiny byly zalesňovány převážně nepůvodními populacemi smrku ztepilého. Tím byla značně snížena ekologická stabilita tamních lesů a zejména pak několikanásobně poklesla přirozená rezistence, perzistence a resilience těchto přeměněných lesních porostů s výrazně dominantním smrkem ztepilým (představu o přirozené a současné dřevinné skladbě porostů Orlických hor podává tab. 3).

Ke sněhové kalamitě došlo v zimě 1966/1967, po níž byly zdokumentovány citelné ztráty na produkci dřevní hmoty i ostatních funkcích lesa (KADLUS 1968). Ve druhém období (od konce 70. let 20. století) již potenciálně velmi labilní lesní ekosystémy zasáhl vliv silícího imisně ekologického zatížení prostředí, na jehož typ je smrk ztepilý velmi citlivý. Makroskopické změny poškození až odumírání převažujících smrkových monokultur v tomto období však nepůsobily jen imise, ale i řada nepříznivých abiotických i biotických činitelů (sucho, mráz, hmyzí škůdci, houbová a virová onemocnění atd.). K výrazným poruchám docházelo po stresu, do kterého se tyto porosty dostávaly při nestandardním kolísání faktorů teplo a voda v atmosférickém i půdním prostředí. Naproti těmto přirozeným ekologickým činitelům v té době byly imise novým, pro rostlinný organismus cizorodým faktorem, který zejména počátkem 80. let působil ve stále větším rozsahu a se zvyšující se intenzitou. K urychlenému postupu destrukce porostů mnohdy přispívala i nepřiměřeně prováděná nebo naopak zanedbávaná hospodářská opatření (např. nerespektování převládajícího směru větru při umístování těžeb, nedodržování či zanedbávání zásad ochrany lesa, zejména v boji proti kůrovcům, použití nevhodných technologií obnovy, nerespektování zásad přenosu reprodukčního materiálu, nedostatečný myslivecký management). Odumírající porosty byly rychle a velkoplošně těženy a posléze zalesňovány. Jejich porostní mikroklima bylo zcela změněno. Klimatická extremita horských a hřebenových poloh byla podstatně zhoršena a dosud negativně působí na současné porosty.



Obr. 13: Devastace horského lesa způsobená imisně-ekologickou kalamitou. Výjimečně přežily pouze jednotlivé stromy. Vrcholová část OH, u Kunštátské kaple, 7. 7 2004.



Obr. 14: Regenerace smrku ztepilého po ztrátě primární koruny vlivem imisí a dalších abiotických faktorů. Komáří vrch, 15. 4. 2006.

Nově vzniklé pokalamitní porosty, opět často nevhodné genetické kvality, byly zakládány postupně – v období největšího poškozování imisně ekologickými stresy (viz obr. 13, obr. 14 a obr. 15) a v období ústupu poškozování, tj. v průběhu 80. let 20. století. V současné době zde převažují porosty z období do roku 1990. Asi třetina pochází z obnovy po roce 1990 (cca 600 ha). Celková rozloha těchto pokalamitních porostů dosáhla 1 950 ha. Nové porosty byly vysazovány do půd se sníženou úrodností, velmi silně kyselých, s velmi sníženou zásobou přístupných živin, zejména s nedostatkem hořčíku, draslíku a vápníku. Nešetrné bylo i celoplošné shrnování klestu do valů s narušením svrchní humusové vrstvy (obr. 16).



Obr. 15: Torza smrků ztepilých zdevastovaných imisně-ekologickou kalamitou plní i po odumření významné role (zmírněné proudění vzduchu, částečné stínění, zábrana soliflukce atp.). V daném místě nedošlo k narušení půdního prostředí těžkou technikou. Komáří vrch, 15. 4. 2006.



Obr. 16: Vrcholové části OH. Vlevo nahoře jsou patrné zbytky lesního porostu, poškozeného během imisně-ekologické kalamity. Odumřelé stromy byly odtěženy; dále bylo provedeno odstranění svrchní vrstvy půdy, která byla spolu s pařezy a těžebními zbytky uložena do valů; jako náhradní dřevina zde byla vysázena například borovice kleč. Vrcholová část OH, 1. 6. 2006.

Při obnově pokalamitních holin používané (nerozpadavé) obaly krytokořenných sazenic měly často i zábranný vliv na růst kořenů a tím i na tvar a funkci kořenových soustav (deformace), na výživu, statickou stabilitu a životnost stromů. Velkoplošně zakládané výsadby trpěly ve vegetačním období častými a dlouhými periodami sucha. Dodnes trpí klimatickými extrémy – výkyvy zimních i jarních teplot s neobvyklými kladnými i zápornými hodnotami, mrazem a vysycháním, tlakem sněhových vrstev, vylamováním větví, houbovými patogeny apod. Nově vzniklé porosty jsou dosud negativně ovlivňovány antropickou zátěží. Po snížení přísunu SO_2 jsou ovlivňovány dalšími škodlivinami, zejména chlorem, fluorem a přízemním ozonem. Nejhorší zátěží jsou vysoké depozice oxidů dusíku, které způsobují ztráty živinových kationtů z půdy, sníženou odolnost vůči mrazu a houbovým patogenům, náchylnost k napadení hmyzími škůdci (VACEK ET AL. 2000).

Odrůstání smrkových kultur, založených na rozsáhlých imisních holinách v Orlických horách, jejich zdravotní stav a předpoklady pro zajištění kultur, se v první polovině 90. let jevíly víceméně jako bezproblémové. Až do roku 1995 nebyly v těchto porostech zaznamenány vážnější příznaky poškození, které by mohly vyvolat obavu o budoucnost nově vznikajících porostů (HUSÁK 2000). Výjimkou byl pouze případ úzce lokálních problémů s vyžráváním prýtlů ve smrkových kulturách kolem

Pěticestí (1 004 m n. m.), zaznamenaný v roce 1994. ŠACH (1994) konstatoval, že apikální výhony smrků „byly zřejmě poškozeny jednak fyziologickým suchem“, jednak že „došlo k četným mechanickým porušením výhonů v důsledku mimořádně vysoké a tedy i hmotné sněhové pokrývky“. NÁROVEC (1998) zmiňuje, že v navštívených porostech bylo možné konstatovat skupinkovité prořezávání mlazin vlivem narůstající mortality smrku a také prohlubující se defoliaci některých jednotlivých výhonů či větví. Závažnou skutečností přitom bylo zjištění, že kořenový systém většiny již odumřelých vzorníků původně vysazovaných krytokořených sazenic vykazoval různé typy deformací včetně případů strangulace kořenů a kmínku nerozpadavým obalem (podrobněji JURÁSEK 2000).

Fytopatologické a entomologické analýzy z tehdy odebraných vzorníků nepotvrdily přítomnost žádného konkrétního biotického původce poškození, tj. defoliace jednotlivých výhonů či mortality celých stromků. K tomu zpracovaná zpráva (Nárovec 1998) definovala celkem 12 hypotéz možných příčin aktuálně nevyhovujícího zdravotního stavu smrkových mlazin na hřebenu Orlických hor. Jednou z vyslovených hypotéz byla i možnost, že koncové výhony smrku poškozuje houba *Ascocalyx abietina* (LAGERB.) SCHLÄPFER–BERNHARD. V následném dvouletém období (červen 1998 až květen 2000) uskutečnili pracovníci Lesní ochranné služby VÚLHM Jíloviště-Strnady společně s pracovníky VÚLHM – Výzkumné stanice Opočno řadu výjezdů do terénu s cílem tuto pracovní hypotézu o přítomnosti houby *A. abietina* na území ČR potvrdit, eventuálně vyvrátit. Šetření, orientovaná výhradně na fytopatologický průzkum hřebenových poloh centrální části Orlických hor, se uskutečnila v termínech 23. června 1998, 2. a 8. června 1999, 20. a 30. července 1999, 12. září 1999, 18. a 19. května 2000. Žádné z nich však přítomnost houby *Ascocalyx abietina*, resp. anamorfy *Brunchorstia pinea* (KARST.) HÖHN. na smrku v Orlických horách nepotvrdila (podrobněji např. LIŠKA 1998, SOUKUP 1999). Dokonce i šetření, realizovaná ještě ve dnech 18. a 19. května 2000 ve smrkových mlazinách Orlických hor a Králického Sněžníku (tedy přesně 4 týdny před vlastním nálezem pyknid *B. pinea* na větvičkách poškozených smrků), bylo možné uzavřít konstatováním, že tato houba nalezena nebyla, resp. její možnou přítomnost nebylo možné dokladovat konkrétní herbářovou položkou (průkazným nálezem). I nadále se proto usuzovalo (resp. stále usuzuje), že na aktuálním poškození kultur smrku ztepilého a smrku pichlavého v Orlických horách mají rozhodující vliv spíše faktory abiotické povahy, neboť na poškozených výhonech nebyl zjištěn ani jakýkoliv jiný biotický původce poškození (NÁROVEC 1998). Zásadní zlom

z hlediska verifikace hypotézy o přítomnosti houby *A. abietina* v orlickohorských smrčinách nastal teprve o několik týdnů později. Stojí za zaznamenání, že prvotním nálezcem pyknid anamorfy *Brunchorstia pinea* na smrku v ČR nebyl žádný z tuzemských lesníků, nýbrž odborník (botanik) ze zahraničí: pan Prof. Dr. Hardy Pfanz z Univerzity v Essenu. Dne 15. června 2000 spolu se svými studenty a s doprovodem pracovníků VÚLHM navštívil Orlické hory a poukázal přitom na počínající fruktifikaci anamorfního stadia houby *A. abietina* na větvičkách mladých smrků v kulturách kolem Malé Deštné (1 090 m n. m.). V dalším období realizovaná fytopatologická šetření (23. a 27. června 2000, 11. a 12. července 2000 aj.) pak již mohla pouze potvrdit správnost názoru německého profesora. Výskyt pyknid anamorfy *B. pinea* byl přitom zjištěn nejen v Orlických horách, ale i v okolních pohraničních pohořích (Králický Sněžník, Jeseníky aj.) Takto o nálezu informoval NÁROVEC (2001). Rozpracováním této problematiky se dále zabývají autora této práce M. ČERMÁKA (2003) a M. ČERMÁKA ET AL. (2005b).

V zimě 2005/2006 byly lesní porosty Orlických hor zasaženy sněhovou kalamitou, která způsobila značné škody zlomy kmene, zejména smrků ztepilých (obr. 17 a obr. 18). Podmínky pro vznik zlomů v zimě 2005/2006 popisují na základě měření KANTORA ET AL. 2007 z oblasti Deštné ŠIMERDA A NÁROVEC (2007): Sněhové polomy v průběhu zimy 2005/2006 byly v Orlických horách předznamenány nadprůměrnými sněhovými srážkami, které napadaly ve dvou rozhodujících vlnách: nejprve v období od 15. do 23. prosince 2005 (na volné ploše napadlo 85 cm čerstvého sněhu), poté mezi 6. a 11. únorem 2006 (dalších 85 cm nového sněhu). Vznik vlastních polomů pak byl soustředěn do několika etap, které následovaly vždy po oblevách s oteplením k 0 °C, nebo po epizodách, kdy ztěžklé sněhové závěsy v korunách stromů dále zvyšovaly útvary tvořící se námrazy. Námrazky pevně ulpělé na záchytném povrchu stromů, přitom podporovaly další ukládání sněhových srážek v korunách. Jakmile hmotnost závěsů sněhu a námrazy v korunách stromů překročila meze pevnosti dřeva v tlaku nebo ohybu, byl již vznik a další průběh sněhové kalamity neodvratný.



Obr. 17: Boční pohled na porost smrku ztepilého ukazuje charakter poškození stromů – délku a plošný rozsah otevřených ran při vrcholových zlomech v kmenovině. Západní svah pod Jelení lázní, 17. 4. 2006.



Obr. 18: Zlomy v kmenovině smrku ztepilého – vysoká frekvence zlomů byla zvláště patrná poté, co odtála sněhová pokrývka (jarní vzhled). Východní svah pod Malou Deštnou, 14. 5. 2006.

3.3.2 Kauzální faktory ovlivňující stav lesních porostů v Orlických horách

Většina autorů zabývajících se problematikou ochrany lesa se soustřeďuje na popis jednotlivých činitelů a mechanismů, které způsobují poškození dřevin a jejich porostů (HRUŠKA ET AL. 2000 apod.). Doposud však není dořešena důkladná syntéza, která by zcela ozřejmila úlohu všech nepříznivých faktorů a činitelů v širším, ekosystémovém měřítku. Pokus o výčet kauzálních faktorů, které nepříznivě ovlivňují současný zdravotní stav lesních porostů v Orlických horách, se uceleně nachází v publikaci M. ČERMÁKA (2003) a pro potřebu této práce byl následovně upraven.

Abiotické faktory

- a) orografie a geomorfologie pohoří (lokalizace, orientace, tvar a rozsáhlost pohoří)
- b) klimatické – chod teploty a vlhkosti vzduchu (atmosférické), úhrny srážek, evaporační požadavky atmosféry, záření, vítr, mráz, sníh, ledovka, výkyvy a rychlost změn, délka vegetačního období
- c) geologické podloží, půdní typy, hloubka prokořenění, dostupnost minerálních živin a jejich forem, půdní vlhkost, teplota a jejich změny, půdní vzduch, hloubka půd, jejich fyzikální a chemické vlastnosti, změny pH – zakyselovací rázy, vstup polutantů
- d) znečištění ovzduší

Biotické faktory

- a) primární patogenní organismy, sekundární patogeni kolonizující odumřelá pletiva, aktivace endofytických organismů – mykoplasmy (MLO – mycoplasma-like organisms), rickettsiové bakterie (RLB – rickettsia-like bacterium), houby
- b) absentující symbionti kořenů – mykorhizické houby
- c) rostlinstvo (změny fytoocenóz, kompetice, synergismus, význam zastiňování, kořenových anastomóz aj.)
- d) hmyz parazitický, resp. fytofágní, exo- i endogenní
- e) zvěř (např. okus, ohryz)

Antropogenní faktory

- a) historické působení (exploatace, zalesňování nepůvodními druhy dřevin a dřevinami odlišné provenience, imisně ekologická kalamita a její řešení)
- b) současné dopady (vstup polutantů do ekosystému, kvalita sazenic v lesních školkách, kvalita a původ vysázených jedinců, kvalita provedení výsadeb, výběr a zastoupení druhů, zhutňování půd, turistika).

3.4 Smrk ztepilý

3.4.1 Vývoj, taxonomické zařazení a popis rodu *Picea* a druhu *Picea abies*

Smrk ztepilý – *Picea abies* (LINNAEUS) KARSTEN, 1881, je systematickými botaniky řazen do oddělení rostlin nahosemenných. První zástupci rostlin nahosemenných – a současně první semenné rostliny vůbec – se objevují v mladších prvohorách. Hlavní rozvoj nahosemenných však ustává již koncem druhohor. Počátek vývoje rodu *Picea* sahá nejméně do konce druhohor, v jejichž vrstvách byl na území bývalého Československa nalezen jeden z předchůdců dnešních druhů – *P. protopicea*. V evropských třetihorních vrstvách byla objevena již řada taxonů, které je podle šišek možno řadit k druhům rostoucím dnes pouze v Asii a Americe. Koncem třetihor se smrky staly důležitou součástí tehdejších lesů, často jejich dominantou. Postupné ochlazování a nástup dob ledových ve starších čtvrtohorách však způsobily rozsáhlé změny ve skladbě evropské vegetace. V tomto procesu se uplatnili i předchůdci tří druhů, vyskytující se dnes v Evropě, tj. *P. omorika*, *P. obovata* a *P. abies* (MUSIL a HAMERNÍK 2007).

Morfologii a fylogenetický vývoj nahosemenných rostlin podrobně popisují například COULTER a CHAMBERLAIN (1917), komplexní monografii tohoto oddělení zpracoval VIDAKOVIĆ (1991). Taxonomií rodu *Picea* se zabývá také práce SCHMIDT-VOGT (1977).

Zařazení smrku ztepilého do taxonomického systému, upraveno dle KUBÍČKA (2003), VIDAKOVIČE (1991), HEJNÉHO A SLAVÍKA (1988) a SCHMIDTA (1991).

Superregnum *Eucaryota* – jaderní

Regnum *Vegetabilia* (= *Plantae*) – rostliny

Subregnum *Gymnospermobionta* – nahosemenné

Divisio *Pinophyta* (= *Gymnospermae*) – rostliny nahosemenné

Subdivisio *Coniferophytina*

Classis *Pinopsida* (= *Pinateae*) – jehličnany

Subclassis *Pinidae*

Ordo *Pinales* – borovicotvaré

Familia *Pinaceae* LINDL.– borovicovité

Subfamilia *Abietoidae* LINDL. emend. PILGER et MELCHIOR

Genus *Picea* A. DIETRICH – smrk

Subgenus *Picea*

Sectio *Picea*

Species *P. abies* (LINNAEUS) KARSTEN – smrk ztepilý

Nejčastějším synonymem, se kterým se v literatuře setkáváme je *Picea excelsa* (LAM.) LINK, 1841. Přehled dalších synonym udává publikace SKALICKÁ, SKALICKÝ (1988): *Pinus abies* L., 1753; *Abies rubra* (HILL) A.DIETR., 1757; *Picea rubra* (HILL) A.DIETR., 1824; *Pinus excelsa* Lam., 1779; *Abies excelsa* (LAM.) POIRET, 1805; *Picea vulgaris* LINK, 1830; *Abies excelsa* subsp. *alpestris* BRÜGGER, 1866; *Picea alpestris* (BRÜGGER) STEIN, 1887; *Picea abies* subsp. *vulgaris* (LINK) DOMIN et subsp. *alpestris* (BRÜGGER) DOMIN, 1936; *Picea excelsa* subsp. *vulgaris* (LINK) A. et GR., 1912 et subsp. *alpestris* (BRÜGGER) A. et GR., 1912 sensu DOSTÁL, 1948; *Chamaepicea fatrense* MALOCH, 1932; *Pinus picea* DU ROI, 1771 non L.

Vědecké jméno rodu *Picea* pochází dle ŠMÍDA (1978) pravděpodobně z latinského *pix, picis* = smůla, pryskyřice; *piceus* = smolný. Druhové jméno *abies* značí staré latinské jméno pro jedli, snad od *abietes* = bělost; spíše je to však slovo praindoevropského původu. Další, často používané druhové jméno, *excelsa*, ztepilý, nebo také vysoko čnící, pochází z latinského *excello* = vynikám, předčím.

České národní jméno se upraveno dle POLÍVKY (1902) vyvinulo ze staroslověnského kmene *smrѣčь*, podobně jako chorvatsky *smrek*, malorusky *смеpeкь*, polsky *smereka*, *świerk*.

Národní jména smrku ztepilého ve vybraných jazycích (upraveno dle prací ÚRADNÍČEK et al. 2009 a SCHMIDT-VOGT 1977): anglicky – *Norway Spruce*, německy – *die Gewöhnliche Fichte*, *die Gemeine Fichte*, *die Rot-Fichte*, alternativně jsou používána také jména *Europäische Fichte* a dokonce také *die Rottanne*, španělsky – *Picea*, *Abeto rojo*, řecky – *Ερυθρελάτη*, slovensky – *smrek obyčajný*, rusky – *Ель европейская*, *Е. обыкновенная*, francouzsky – *Épicéa commun*, *Sapin rouge*, italsky *Abete rosso*, norský, švédsky – *Gran*.

Rod *Picea* A. DIETERICH, 1824 – smrk popisují KLIKA et al. (1953), SKALICKÁ A SKALICKÝ (1988), VIDA KOVIĆ (1991) jako jednodomé, vždyzelené, monopodiálně větvené stromy s větvemi v pseudopřeslenech (tj. ve stažené šroubovici, nikoliv v pravých přeslenech, upraveno autorem viz kapitola 6.2.1), s jehlicemi šroubovicovitě (nikoliv spirálovitě, upraveno autorem viz kapitola 6.2.1) uspořádanými, na průřezu víceméně čtverhrannými, nebo plochými, přisedlými na krátkých stopkách, které neopadávají s jehlicemi zanechávajícími na stoncích drsné jizvy. Samčí reprodukční orgány se tvoří v úžlabí loňských (tj. z předchozího roku) jehlic, uspořádané jsou v šištících; pylová zrna mají dva vzdušné vaky mezi exinou a intinou. Samičí reprodukční orgány jsou uskupeny ve vrcholových šištících na loňských prýtech; šišky jsou převislé nebo směřovány ven. Šišky dozrávají v prvním roce, jsou nerozpadavé; podpůrné šupiny jsou kratší než plodné šupiny; semena mají malou velikost a hmotnost a jsou okřídlená; počet děložních lístků je 4–15 (7–9) kusů.

V mírných a chladných oblastech severní polokoule, se (dle pohledu různých autorů) vyskytuje 40–50 druhů tohoto rodu, zvláště ve východní Asii.

Hlavními nositeli rozlišovacích znaků jsou šišky a jejich semenné šupiny. Řadí se do dvou skupin: hojnější je skupina 1 – typ *morinda*, s tuhými, většinou neohebnými, tmavěji hnědými semennými šupinami. Do této skupiny náleží i *Picea abies*. Méně častá je skupina 2 – typ *casicta*, se šupinami tenkými až papírovitými, ohebnými, světleji hnědými; do skupiny 2 patří například *Picea pungens*, *P. engelmannii* a *P. sitchensis* (MUSIL A HAMERNÍK 2007).

3.4.2 Popis druhu

Následující popis druhu je sestaven, poupraven a doplněn na základě studia těchto pramenů: POLÍVKA (1902), BAYER (1916), DOMIN (1925), SKALICKÝ A SKALICKÁ (1988), VÍDAKOVÍČ (1991), KOBLÍŽEK (2000), ÚRADNÍČEK ET AL. (2009) a MUSIL A HAMERNÍK (2007). Smrk ztepilý je strom dorůstající výšky 20–40 (výjimečně až 69) m, průměru kmene $d_{1,3}$ okolo 1 m (výjimečně až 1,82 m) a dožívá se věku 300 až 400 (maximálně 600) let. Kořenový systém je u vzrostlých stromů plochý, bez detekovatelného hlavního kořene. Kmen je přímý, koruna kuželovitá; borka je červenohnědá nebo šedá, odlupuje se v tenkých šupinách. Větve v horní části koruny jsou až vzpřímené (vzácně), uprostřed rovnovážně odstálé, v dolní části dolů skloněné. Postupná změna polohy bazálních částí větví v prostoru je umožněna přítomností reakčního dřeva (tahového a tlakového). V zápoji dolní větve z nedostatku světla odumírají, solitérní jedinci jsou zavětvení až k zemi; stonky prýtlů hnědavé až červenožluté, lysé, vzácně slabě chlupaté. Pupy úzce kuželovité, zašpičatělé, světle hnědé, bez pryskyřice. Tuhé, čárkovité, přihrocené, smáčknutě čtyřhranné listy – jehlice jsou 10–25 mm dlouhé, 1,0–1,5 mm široké, na větvích jsou seřazeny ve šroubovici s divergencí 13/34 nebo 21/55 (viz obr. 73). Jehlice přisedají zúženou bází na vyniklé parenchymatické polštářky prýtlů (viz obr. 57); na stromě setrvávají 5–9 let (při imisním a jiném stresovém zatížení přiměřeně méně), po opadu zanechávají kosočtverečné jizvy.

Jedná se o rostlinu jednodomou, poprvé kvetoucí ve 30–50 letech (solitéry), obvykle však kolem 60 let (v porostu); kvete koncem dubna a začátkem května (až června). Samčí šištice jsou rozmístěny po celé koruně (zejména však při bázi) v paždí jehlic na loňských prýtech, jsou drobné, červené, po rozkvětu žluté. Samičí šištice se vyskytují v apikální části koruny na koncích loňských prýtlů, jsou zelené nebo červené (obsahem antokyanu), vzpřímené. Šišky typu *morinda* jsou převislé, válcovité, nerozpadavé, 100 až 160 mm dlouhé, otevírající se (vlivem sucha na jaře) a opadávající druhým rokem. Šupiny jsou na šišce postaveny s divergencí 8/21 (ortostich/parastich). Okraje šupin jsou velmi různě tvarovány od zaokrouhlených přes uťaté až po zašpičatělé s vlnitými okraji. Semenné roky se opakují jednou za 4 až 6 let, ve vyšších polohách až za 10 let. Jen výjimečně přichází jeden semenný rok bezprostředně za druhým. Pokud se tak ale stane, visí na stromě vedle sebe prázdné i plné šišky. Semeno je tmavohnědé, vejcovité, s blanitým, snadno oddělitelným křídlem. Semeno klíčí ihned a klíčící rostliny mají 5 až 11 (7–9) děložních lístků a 1 skupinu jehlic obklopujících terminální pupen pro příští rok.

Smrk ztepilý má dřevo měkké, poměrně lehké, z našich jehličnatých dřevin je nejpružnější a nejpevnější (dlouhovlákné dřevo), bez zřetelně odlišeného jádra. Barva dřeva nažloutlá nebo světle žlutavě hnědá, letokruhy jsou ostře vyznačené, vrstva pozdního dřeva v nich přechází poznenáhlu do dřeva jarního. Dřeň je úzká, má nanejvýše 5 mm v průměru, dřeňové paprsky jsou patrné jen lupou. Pryskyřičné kanálky jsou drobné, zvláště dobře jsou patrné na transversálním řezu (vertikální kanálky) a tangenciálním (horizontální kanálky). Epiteliální buňky jsou tlustostěnné, nejčastěji v počtu 10–12 kusů. Lýkodřevní paprsky jsou většinou jednovrstevné, méně často vícevrstevné. Dřevní parenchym chybí. Radiální průměr jarních tracheid se pohybuje v rozmezí 20–40 μm , tloušťka stěn u jarních tracheid bývá 2–4 μm , v letním dřevě 4–8 μm . Tracheidy dosahují délky 1,7–2,9–3,7 mm, podíl tracheid ve dřevě činí 94,5–95,3–96,5 %. Dřeňové paprsky jsou 7–11 buněk vysoké, v počtu po 25–35 na 1 mm^2 řezu. Podíl lýkodřevních paprsků dosahuje hodnot 4,4–4,7–5,5 %, parenchym pryskyřičných kanálků je zastoupen 0,0–1,4–5,8 % (upraveno dle BALABÁNA 1955).

Dle NĚMCE (1964) byla zjištěna objemová hmotnost čerstvého smrkového dřeva (40–60 % relativní vlhkosti) $740 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, dřeva vyschlého na vzduchu (10–15 % relativní vlhkosti) $470 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a dřeva uměle dosušeného (8–10 % relativní vlhkosti) $440 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. 1 m^3 (prostorový) vyschlé smrkové tříslové kůry váží 110 kg.

Kvalitní vzorové mikrofotografie typického smrkového dřeva v radiálním, tangenciálním a transversálním řezu jsou dostupné například ve SCHWEINGRUBEROVĚ (1990) publikaci.

Smrk ztepilý je dle SCHMIDT-VOGTA (1977) dřevina s vysokým polymorfizmem a rozsáhlým areálem rozšíření. Týž autor své tvrzení podporuje uvedením německého přísloví „*Jede Ficht' hat ein anders G'sicht*“ (každý smrk má jinou tvář).

3.4.3 Původ, chorologie a ekologické nároky

Popsat přirozené rozšíření sledovaného druhu je dle VIDA KOVIČE (1991) díky vlivu člověka velmi obtížné. Můžeme si být téměř jistí, že smrk ztepilý nemá svůj původ v Evropě. Smrk ztepilý má souvislý výskyt ve vertikálním rozptylu od hladiny moře na severní hranici, blízko 70. rovnoběžky, až po 2 300 m n. m. v jižních Alpách.

O odolnosti, vitalitě a přizpůsobivosti smrku ztepilého na okraji areálu výskytu působivě píše dobovým jazykem BAYER (1916). „*I tenkrát, kdy suché mrazivé větry a spousta sněhové zničí vrcholy těchto trpaslíků, když vichřice sederou a zničí část*

koruny proti nim vystavenou, zelená se statně několik posledních větví po větru obrácených neb při zemi chráněných, obhajujíc právo na žití v podmínkách nejtěžších; tak velká jest energie a schopnost přizpůsobovací, že sestupuje s hor a hornatin čím severněji tím více do rovin, posléze na tundrách Lapponstva mění se smrk v nízký keř, jehož větve široce se rozprostírajíce neb v mechu a lišejníku se plazíce hledají v blízkosti země a pod příkrovem sněhovým ochranu před mrazivými větry vše ničícími.“

Na celém území ČR je zastoupen horský smrk hercynsko-karpatské oblasti a vyskytuje se téměř ve všech nižších i vyšších pohořích od nadmořské výšky cca 300 m n. m. do 1 550 m n. m. Těžištěm rozšíření jsou okrajová příhraniční pohoří. Bez smrku jsou teplé úvaly velkých řek. V posledních 200 letech byl druhotně rozšířen všude ve střední Evropě. Smrk vytlačil většinu původních dřevin. Na nevhodných stanovištích nebo v monokulturách došlo k velkému rozvoji chorob a škůdců s následnými kalamitami značného rozsahu (kůrovec, mniška).

Pomocí geobiocenologické formule lze výskyt smrku ztepilého popsat následně 4–7(8) B~ 3–6: vegetační stupeň bukový až smrkový (omezený výskyt v klečovém stupni); široké rozpětí trofických řad (A až D – oligotrofní až bazická), druh euryekní; hydrická řada normální až rašelinistní (ÚRADNÍČEK ET AL. 2009).

3.4.4 Upotřebení a hospodářský význam

Na světě převládají listnaté dřeviny. Jejich zastoupení se odhaduje na více než 60 %. Jehličnaté lesy, i když je jich rozlohou méně, se více využívají člověkem a produkují pro trh podstatně více užitkového dřeva než lesy listnaté (BERGL A BOROTA 1980). Dominantní zastoupení jehličnanů (více než 75 %) v přirozených lesích je charakteristické pro biot tajgy, která se kromě chladné temperátní (boreální) zóny na severu Euroasie vyskytuje právě azonálně v horských oblastech jižněji položených zón temperátních opadavých lesů a v Mediteránu (JENÍK A PAVLIŠ 2011).

Smrk ztepilý je nejdůležitější hospodářská dřevina střední a severní Evropy a opora jejího dřevařského průmyslu (MUSIL A HAMERNÍK 2007). Dle práce KOLEKTIVU (2009) dosahuje současné zastoupení smrku ztepilého v lesních porostech v ČR 52,15 %, přičemž rekonstruované původní rozšíření je odhadováno na 11,2 %; doporučené rozšíření pro budoucnost je stanoveno na hodnotu 36,5 %.

Popisem smrku ztepilého a jeho upotřebením pro léčebné účely se ve svém díle zabýval již MATHIOLLI (1562). Dle ÚRADNÍČKA ET AL. (2001) poskytuje smrk ztepilý bezjaderné stejnorodé dřevo stavební, truhlářské, nástrojařské, ale i rezonanční dřevo pro hudební nástroje, dále se dřevo zpracovává na papír i palivo. Dříve se těžila i pryskyřice jako surovina pro výrobu bednářské smůly, kalafuny, terpentýnu a kůra jako zdroj tříslovin. Oblíbené jsou i vánoční stromky. Mladé letorosty a pupeny jsou bohaté na vitamín C, odvar se používal v léčitelství jako prostředek proti kurdějím. Detailnější popis využití smrkového dřeva popisuje například BALABÁN (1955).

3.4.5 Poškození ve vztahu k horským ekosystémům

Symptomy poškození (zejména asimilačního aparátu) a reakcí smrku ztepilého (a taktéž borovice lesní) na vnější činitele se zabývají HANNISCH a KILZ (1990). Mechanismus působení imisí na lesní porosty (zejména smrku ztepilého) rozpracovávají např. SCHULZE ET AL (1989).

LOMSKÝ ET AL. (1996) popisují poškození porostů smrku v Krušných horách zimní desikací v průběhu zimy 1995/1996.

O mechanickém chování dřeva rozhoduje podíl jarního a letního dřeva. U jehličnanů platí, že s rostoucí šířkou letokruhu stoupá podíl jarního dřeva, což je předpoklad pro lepší zásobování asimilačního aparátu vodou a živinami, avšak klesá hustota dřeva a s ní se zhoršují mechanické vlastnosti nosných struktur. Z pohledu stability stromu je tudíž trochu paradoxní, že v příznivých podmínkách, kdy strom vytváří nejširší letokruhy, je dřevo kvalitativně horší nežli v méně příznivém prostředí. Zároveň ale dochází ke zvětšování průměru kmene, tím roste moment setrvačnosti plochy, a tím i odolnost průřezu proti deformování. Lze se přesto domnívat, že u stromu s extrémně širokými letokruhy může dojít k určité destabilizaci a ke zvýšení pravděpodobnosti zlomu vlivem zhoršení mechanických vlastností dřeva (MARTINKOVÁ ET AL. 2005).

Problémy smrku ztepilého v oblasti Orlických hor, rostoucího na plochách zasažených imisně-ekologickou kalamitou shrnují VACEK A BALCAR (2000). Dle těchto autorů byly na rozsáhlých nekrytých plochách tyto porosty od mládí vystaveny nepříznivým imisně ekologickým podmínkám a občas docházelo k poškození až defoliaci především starších ročníků jehlic. Vlivem často nepřilíš vhodného původu porostů (převážně z nižších poloh) tyto kultury velmi rychle odrůstají, téměř netvoří

pozdní dřevo a v důsledku značné sněhové zátěže a námrazy trpí různými mechanickými poškozeními (v rozsahu cca 10 % u terminálních vrcholů). Geneticky nejméně vhodné smrkové porosty, resp. mechanicky a fyziologicky nejvíce poškozené porosty, bude nutné rekonstruovat podsadbami původních autochtonních druhů dřevin diferencovaně podle SLT a specifických podmínek prostředí.

3.5 Fyziognomie, histologie a vývin prýtu smrku ztepilého

3.5.1 Terminologické vymezení pojmu prýt

Kaprad'orosty a rostliny semenné, které se z největší části během kmenového vývoje vymanily z vlivu vodního prostředí a opanovaly pevnou zemi, zasahují svými částmi jednak do půdy a jednak do ovzduší. Vlivem různých životních podmínek v půdě a ve vzduchu se jejich části funkčně a stavebně rozrůznily. Do půdy vnikají rostliny svými kořeny, kdežto do prostoru nad půdou vytvářejí prýty, rozlišené ve stonky a listy. Rostlinné tělo vyšších rostlin (kormus) – je tedy rozlišeno na kořen, stonek a list, které souhrnně řadíme mezi orgány vegetativní (vyživovací a růstové).

Pojmem prýt označujeme stonek s listy, spolu se slovem prut vychází etymologicky ze staročeského slovesa *priti* nebo *prtěti*, což znamenalo růst, rašit, vyhánět prýty (MACHEK 1968, REJZEK 2004). Původní význam slova *prýt* je výhonek či klíček u rostlin, příbuzné je latinské slovo *frutex* = keř, křoví, větve, větvoví, a *fruticó* = vyháněti větve, ratolesti, obrůstati větvemi (MACHEK 1968). Podobný původ má v germánských jazycích např. anglický *sprout*, německý termín *spross*, nebo staroislandský termín *sproti*, ve všech případech znamenající ratolest, výhon (REJZEK 2004).

Prýty (stonky) jsou nejčastěji válcovité, akrotonicky se zužují a mají neomezený vrcholový růst, který je silně ovlivňován podmínkami vnějšího prostředí. Listy jsou postranní útvary, rozšířené obyčejně do plochy, omezeného růstu. Zakládají se zpravidla v akropetálním uspořádání exogenně na vegetačním vrcholu jako postranní hrbolky listového primordia (KAVINA 1950). U řady druhů rostlin mohou vegetativní orgány sloužit k nepohlavnímu – asexuálnímu – rozmnožování, kdy nová rostlina vzniká z jednoho rozmnožovacího základu, tj. z vegetativní části mateřského těla – vegetativní rozmnožování (ČERNOHORSKÝ 1962, upraveno).

V primární stavbě se prýt skládá z primárních pletiv krycích, základních a vodivých. Krycí pletivo je tvořeno pokožkou s kutikulou a často i průduchy. Pletivo vodivé tvoří cévní svazky u krytosemenných v obvykle kolaterálním uspořádání s xylémem do nitra osy a floémem k periferii, probíhají stonkem rovnoběžně nebo jen slabě šikmo s podélnou osou. Základní pletivo – primární kůra, je umístěno mezi

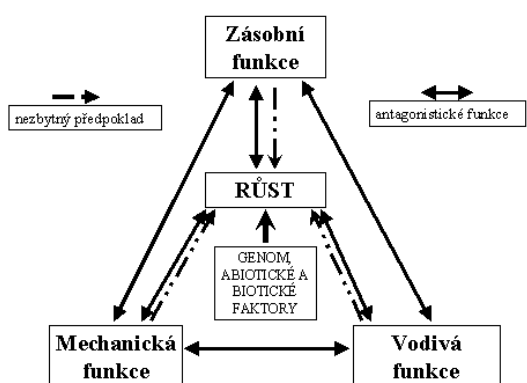
pletivem krycím a vodivým, mezi jednotlivými svazky cévními je dřeň. Primární kůra je ohraničena dovnitř škrobovou pochvou – endodermis, která ovšem nebývá u stonku tak zřetelně označena jako v kořeni. Mezi cévními svazky a endodermis je více nebo méně široká vrstva základního pletiva zvaná pericykl (KAVINA 1950). Anatomická stavba prýtu je detailně popsána např. v práci EVERT A ESAU (2007).

Morfologická charakteristika prýtu a související terminologie je nejdětalněji rozpracována v publikaci VELENOVSKÝ (1907). Problematikou morfologie prýtu se zabývá také TROLL (1954), který popisuje ortotropní (hlavní osy) a plagiotropní (bočné) části prýtu smrku ztepilého.

Popis anatomické stavby prýtu a vývin prýtu smrku ztepilého je shrnut v práci TJOELKER ET AL. (2007). V této publikaci je možno nalézt obrazovou dokumentaci podélného řezu terminálním pupenem smrku v embryonální fázi vývinu s naznačením pozice nodální diafragmy.

3.5.2 Sekundární růst a klimatické faktory

Popisem sekundárního růstu smrku ztepilého v závislosti na průběhu klimatických faktorů se zabývají WIMMER A GRABNER (2000). Schéma růstu dřevin a jeho vlivu na funkce orgánu kořene a stonku popsal MOSBRUGGER (1990). Z něho je patrný význam mechanické funkce pletiv pro stabilitu celého organismu (viz obr. 19).



Obr. 19: Růst a jeho vliv na funkce kořenů a stonků dřevin (MOSBRUGGER 1990).

Prokázání těsné závislosti mezi radiálním přírůstem a teplotou v první polovině růstové doby limitujícím faktorem přírůstu bylo publikováno CHALUPOU (1972). Tento autor prováděl šetření zaměřená na sledování přírůstu ve vyšších nadmořských výškách

a jednou ze sledovaných dřevin byl také smrk ztepilý. Se stoupající teplotou se zvyšoval i tloušťkový přírůst, který přestal být teplotou výrazně ovlivňován v druhé polovině růstového období (konec července a v srpnu). V této době byl tloušťkový přírůst ovlivňován zejména úrovní srážek. V srpnu radiální přírůst přes příznivé podmínky (v porovnání s podmínkami v období jarním) zvolna ustával. Nepříznivé povětrnostní faktory, nízká teplota nebo nízká půdní vlhkost, urychlovaly ukončení tloušťkového přírůstu a způsobovaly zkrácení růstového období. Naopak v příznivých podmínkách tloušťkový růst trval déle a doba růstu se prodloužila.

MATOVIČ (1990) uvádí, že v našich podmínkách bývá v případě smrku ztepilého kambiální činnost ukončována v druhé polovině srpna až na počátku října (v závislosti na nadmořské výšce).

4. Materiál a metody

4.1 Analýza struktury porostů a faktorů podmiňujících zlomy stromů

4.1.1 Charakteristika šetřených lokalit

Na zájmovém území Orlických hor byl po zimě roku 2005 a 2006 na vrcholové lokalitě Komáří vrch vybrán vzorový porost zasažený sněhovými polomy. Tento porost reprezentuje náhradní výsadby stejnověkých a stejnorodých porostů smrku ztepilého po imisně ekologické kalamitě. Další výhodou výběru dané lokality byla těsná blízkost experimentálního povodí U Dvou louček, odkud bylo možné získat podrobná klimatická data. Zde tedy bylo analyzováno nejvíce biometrických i klimatických parametrů. Doplňkově byly do studie zařazeny také porosty nacházející se na níže položených lokalitách, které reprezentují odlišná věková stádia vývinu stejnorodých a přibližně stejnověkých smrkových porostů, které se po imisně ekologické kalamitě ve vrcholových částech Orlických hor již téměř nenachází. Pokud se ve vrcholových částech pohoří porosty, či spíše jejich zbytky vyskytují, nebylo by z důvodu působení nepříznivých vnějších činitelů (opakované poškození zlomy, imisní zátěž) možné sledovat růst u intaktních jedinců. Na těchto lokalitách byla provedena základní biometrická šetření zlomových částí korun a nebyly zde sledovány parametry klimatické.

Tab. 5: Vybrané charakteristiky zájmových lokalit, na kterých byla provedena analýza vrcholových zlomů

Lokalita	Komáří vrch	Sedloňov	Trčkov
Souřadnice (s. š., v. d.)	50°13'59,52", 16°29'5,83"	50°20'49,18", 16°19'55,4"	50°18'30,15", 16°25'10,19"
Nadmořská výška (m n. m.)	940–960	800	830–840
Expozice svahu	severovýchodní	jihozápadní	severovýchodní
Věk porostu v roce 2006 (let)	15–18	cca 35	cca 110
Ontogenická fáze	virginální	mladší dospělost	pozdní dospělost
Odkaz na obrázky	Obr. 20	Obr. 21	Obr. 22 a obr. 23

Pozn.: Lokalizace pomocí zeměpisných souřadnic byla odečtena z mapového serveru www.mapy.cz.

Veškerá terénní fotografická dokumentace v disertaci je dílem autora práce a byla zhotovena pomocí digitálních fotoaparátů. Detailní popis jednotlivých snímků je z důvodu lepší přehlednosti v této práci řazen přímo u jednotlivých fotografií a vytváří další originální úroveň badatelského sdělení.



Obr. 20: Četný výskyt poškození mladých jedinců smrku ztepilého vrcholovými zlomy. Komáří vrch, 15. 4. 2006.



Obr. 21: Poškození těžkým sněhem mělo největší rozsah v porostech ve stádiu mladší dospělosti. Sedloňov, 1. 8. 2006.



Obr. 22: Trčkov – okraj porostu smrku ztepilého s vrcholovými zlomy (vyznačeno šipkami), 9. 8. 2006.



Obr. 23: Trčkov – interiér porostu smrku ztepilého, zlomy (vyznačeno šipkami) již téměř bezlisté, 9. 8. 2006.

4.1.2 Analýza klimatických dat

Klimatická data z let 1996 až 2006 byla převzata z měření pracovníků VÚLHM VS Opočno, prováděných na lokalitě U Dvou louček. Na tomto místě bylo vylišeno experimentální povodí, které se nachází ve vzdálenosti cca 2,5 km od zájmové lokality Komáří vrch a leží v téměř totožné nadmořské výšce (viz tab. 5). Podrobný popis experimentálního povodí U Dvou louček uvádí ve své práci ČERNOHOUS (2000). Dle tohoto autora je poloha povodí určena zeměpisnými souřadnicemi 16° 30' 56" v. d. a 50° 13' 16" s. š. Hlavní charakteristiky této lokality lze nalézt v tab. 6.

K získávání vstupních dat byly na povodí měřeny srážky osmi staničními srážkoměry a dvěma ombrografy napojenými na automatickou meteostanici firmy NOEL. Zjišťovány jsou i další charakteristiky půdně ovzdušné sféry, sleduje se také

dynamika imisního toku sumační metodou. Orientační plán výše popsané lokality je dostupný v publikaci HRUŠKY ET AL. (2000).

Pro účely této práce byly použity průměrné měsíční teploty vzduchu z hodinových údajů ve výšce 2 m a srážky z volné plochy. Úplná řada celoročních měření byla dostupná počínaje rokem 1996.

Tab. 6: Hlavní charakteristiky povodí U Dvou louček (HRUŠKA ET AL. 2000)

Plocha povodí	32,6 ha
Nadmořská výška	880–950 m n. m.
Expozice	jihozápadní
Průměrný sklon	6,4°
Průměrná roční teplota	4 °C
Průměrné roční množství srážek	1 200 mm
Průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou	140–160
Průměrná výška sněhu	80 cm
Lesní typy	7K3, 7T1, 7P1, 7S1
Geologické podloží	rula, svor
Převažující půdní typy	humusový podzol, rašelinný pseudoglej
Převažující porosty	vzrostlý buk-smrkový les na 18 % povodí, zbytek imisní holina zalesněná smrkem

Průměrná teplota za sledované období (kalendářní rok apod.) byla vypočítána jako aritmetický průměr z hodnot průměrných měsíčních teplot (°C). Pro výpočet srážkového úhrnu za sledovaná období byla použita suma jednotlivých hodnot celkových měsíčních úhrnů srážek (mm). Na základě tohoto postupu byla dostupná data vyhodnocena pro období celého kalendářního roku a dále za měsíce duben až září (vegetační období) a měsíce duben až červenec.

Kromě tradičního užití srážkových úhrnů a průměrných teplot byla klimatická data interpretována také pomocí indexu P/t (vzorec viz níže). Tento index se vypočítá dle níže uvedeného vzorce a jedná se o bezrozměrnou veličinu.

Vzorec pro výpočet indexu P/t:

$$P/t = P \cdot t^{-1}, \text{ kde}$$

P = úhrn srážek za sledované časové období (mm)

t = průměrná teplota za sledované časové období (°C)

4.1.3 Výběr vzorníkových stromů, měření jejich parametrů a odběr vzorků

Ve výše popsaných porostech (viz tab. 5) byly vybrány vzorníkové stromy, respektive jejich části, poškozené zlomy tak, aby co nejlépe charakterizovaly šetřený soubor jedinců. Při jejich okulárním posouzení bylo dbáno na předchozí pravidelnost růstu stromů (délkový růst terminálního stonku) a absenci poškození, které by zkomplikovalo pozdější vyhodnocení a vedlo by k vyřazení vzorníku pro určité růstové analýzy.

Pomocí svinovacího pásma (děleného do délky 1 metru po 1 mm, dále po 10 mm) a posuvného měřítka (teoretická přesnost měření 0,02 mm, praktická přesnost měření 0,1 mm) byly měřeny následující parametry (viz obr. 24):

1. Délkové přírůsty hlavní osy kmene po jednotlivých ročnicích.

2. Délky přírůstů bočních větví v pseudopřeslenech náležejících k příslušnému ročníku, kdy došlo k jejich tvorbě. U nich byla měřena nejprve délka prvního přírůstu (nejstaršího) a dále celková délka dané větve (tato data nejsou v práci prezentována).

3. Průměry kmene na bázi sekcí jednotlivých vertikálních přírůstů a v blízkosti místa zlomu ve dvou na sebe kolmých směrech.

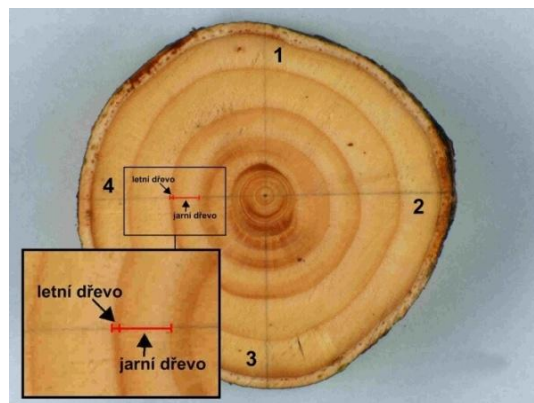
Z každého zlomu byla odříznuta jeho koncová část (na bázi zlomu) pro dendrochronologickou a histologickou analýzu.

Počty změřených vzorníků zlomů na jednotlivých lokalitách byly následující: Komáří vrch – 33 ks, Sedloňov 35 ks a Trčkov 31 ks.

V případě lokality Komáří vrch bylo provedeno podrobnější šetření biometrických veličin studovaného porostu. U vzorníkových stromů byla měřena výška poškozeného stromu (od země k místu zlomu) a $d_{1,3}$ m (ve dvou na sebe kolmých směrech). U takto změřeného poškozeného stromu bylo možno zpětně rekonstruovat jeho výšku a zjistit jeho $d_{1,3}$ m. V případě porostů na lokalitách Sedloňov a Trčkov nebylo vždy možné spolehlivě určit, ke kterým poškozeným stromům náleží příslušný zlom (viz obr. 21) a tudíž měření, která byla popsána v tomto odstavci pro lokalitu Komáří vrch, nebyla z tohoto důvodu v těchto porostech provedena.



Obr. 24: Ukázka terénního měření tloušťkových a délkových parametrů zlomených částí korun smrku ztepilého. Trčkov, 9. 8. 2006.



Obr. 25: Příklad metodického postupu měření parametrů radiálních přírůstů xylému na transverzálním řezu kmenem smrku ztepilého. Na řezu jsou v tomto případě vyznačeny čtyři směry měření (označeno číslicemi 1 až 4). Na výřezu z téhož snímku dále jsou vylišeny jednotlivé soubory buněk jarního a letního dřeva. Foto: RNDr. Pavel Mazal, Ph.D.

Pro porovnání parametrů celkové výšky stromu a $d_{1,3}$ m byli měřeni také intaktní jedinci. Pochůzkou bylo zjištěno rozpětí tloušťkových a výškových parametrů porostu a vzorníky byly vybírány s ohledem na úplné zastoupení všech dimenzí pro sestavení co nejúplnějšího přehledu biometrických veličin.

Z jedinců intaktních (nepoškozených) i z jedinců poškozených zlomy kmene byly na podzim roku 2006 (po ukončení vegetačního období) dále odebírány ve výšce 1,3 m nad zemí vývrty pomocí přírůstového nebozezu Suunto® o průměru 5,0 mm. Vývrty byly orientovány ve směru dvou světových stran – ze severu a z jihu. Orientace vývrťů byla co nejpřesněji nastavena pomocí vojenského kompasu. Snahou bylo zachytit ve vývrťu celý radiální profil kmene až po dřeň. Vývrty byly po vyjmutí z nebozezu označeny číslem vzorníku a orientací k příslušné světové straně. Pro transport do laboratoře byly vývrty uloženy do alobalové fólie a jemného igelitového obalu. Proti poškození byly vývrty chráněny tuhým obalem a pro snížení vlivu objemových změn vysycháním byly skladovány v chladničce.

4.1.4 Měření a vyhodnocení tloušťkových přírůstů z disků

Z výřezů koncových částí zlomů byly (co nejbliže zlomové části) zhotoveny disky o tloušťce cca 10–15 mm. K úřezu byla použita pilka firmy Fiskars®, určená pro

suché materiály. Tato pilka má specifický tvar a broušení zubů a vyniká svou ostrostí. Řeznou plochu disku proto nebylo nutno dále upravovat broušením. Metodicky se jeví použití pilky tohoto typu, zejména v porovnání s broušením povrchu disku (řezaného jinými typy pil) například pomocí jemného smirkového papíru účelnější jak z hlediska úspory času pro zpracování vzorků, tak i pro lepší čitelnost letokruhů.

Na discích (které vysychaly ve stejném prostředí a po stejnou dobu) byly tužkou vyznačeny tři směry, které nejlépe charakterizovaly růst dřeva ve směru od sekundární kůry ke dřeni (směry měření). Naznačené směry měření byly očíslovány z důvodu pozdější identifikace při fotografování a měření (obr. 25).

Disky byly nasnímány digitální kamerou (součást NIS Elements společnosti Nikon®) a to ve třech naznačených směrech (viz výše a ilustrační obr. 25). Všechny pořízené snímky byly kalibrovány tak, aby je bylo možné použít pro následné vyhodnocení (měření). Na takto získaných snímcích byly v prostředí analýzy obrazu NIS Elements odměřeny šířky souborů buněk jarního a letního dřeva jednotlivých ročních přírůstů (letokruhů). V případě, kdy sledované parametry byly hůře čitelné, bylo přistoupeno k transformaci snímků pomocí nástrojů analýzy obrazu. Nejčastěji použitým nástrojem analýzy obrazu byla transformace *mexican hat*, která s okulární kontrolou sledovaného disku zvětšených binokulární lupou garantovala přesné odečtení zájmových veličin.

Soubor měřených hodnot byl exportován do programu Microsoft Excel® a v tomto prostředí byl dále zpracován graficky a statisticky. Není-li uvedeno jinak, pro výpočet středních hodnot byl namísto aritmetického průměru použit medián, který na rozdíl od dalších robustních odhadů má přesnou interpretaci jak pro symetrická, tak i nesymetrická rozdělení (MELOUN A MILITKÝ 2004).

Pro výpočet plochy mezikruží (plochy jednotlivých letokruhů) byl použit vztah podle BARTSCHE (1965):

$$P = \pi(R^2 - r^2), \text{ kde}$$

P = plocha mezikruží, R = poloměr kružnice vnější, r = poloměr kružnice vnitřní

Šířka dřene byla v případě této analýzy odfiltrována; při posuzování přírůstů nejstarších letokruhů se vždy jedná jen o plochy xylému.

4.1.5 Měření a vyhodnocení tloušťkových přírůstů z vývrtů

V laboratoři byly vývrty (odběr viz kapitola 4.1.3) opatrně vyjmuty z alobalové fólie. Vývrt byl zorientován tak, aby tracheidy byly postaveny ve svislém směru a žiletkou byl proveden na svrchní straně vývrtu příčný řez. Takto upravené vývrty vykazovaly dokonalou čitelnost při měření šířek letokruhů analýzou obrazu Lucia®. Při měření a vyhodnocení tloušťkových přírůstů z vývrtů bylo použito metodiky popsané v kapitole 4.1.4. Měření a vyhodnocení bylo modifikováno pro tento typ vzorků, přičemž hlavní odlišnost spočívala v tom, že průřez kmene byl charakterizován pouze dvěma směry měření (osa odběru vývrtů sever–jih).

Soubor měřených hodnot byl exportován do programu Microsoft Excel® a v tomto prostředí byl dále zpracován statisticky a graficky.

4.2 Analýza anatomické stavby a morfologie prýtlů

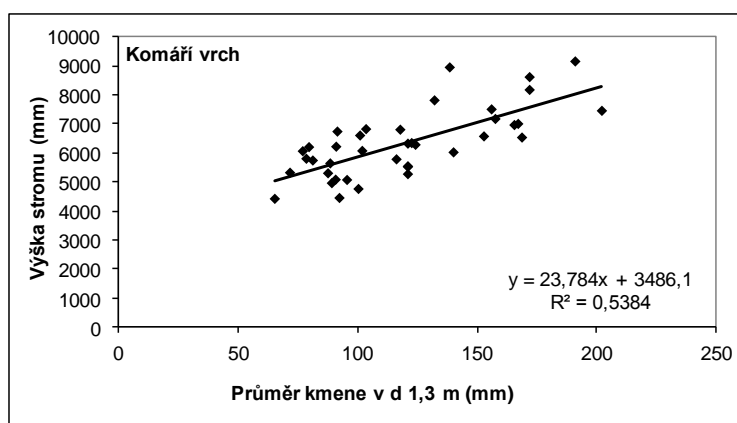
Pro analýzu anatomické stavby a morfologie prýtlů byl prováděn sběr dat a materiálu na několika úrovních. Na základě terénního průzkumu byly odebrány adekvátně reprezentativní různověké prýtlky (makroblasty); v laboratoři byl materiál v čerstvém stavu (eventuálně po barvení) zdokumentován digitálním fotoaparátem. Poté byly vybrané vzorky konzervovány v FAA. Jedná se o roztok etylalkoholu, kyseliny octové a formaldehydu (NĚMEC 1962) Z takto konzervovaných vzorků byly pořízeny ruční řezy. Část řezů byla barvena floroglucinolem v kyselém prostředí kyselinou chlorovodíkovou (HCl) na přítomnost ligninu a druhá část řezů byla mikroskopována v nativní barvě. Vybrané preparáty byly analyzovány v prostředí analýzy obrazu *Olympus Photo Studio* a *NIS Elements*. Výstupem byly kalibrované digitální fotografie.

5. Výsledky

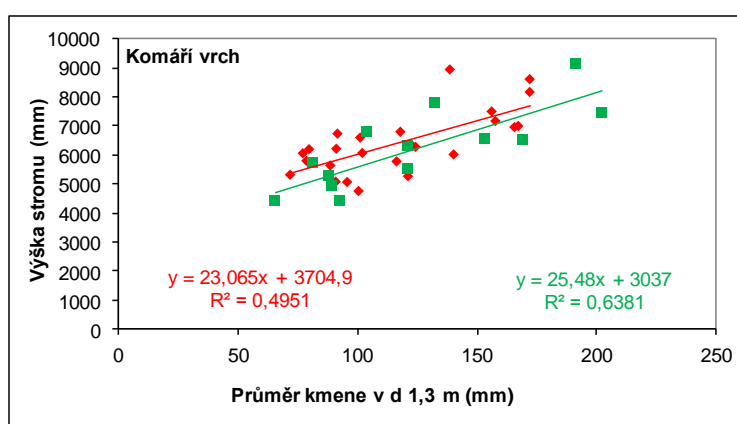
5.1 Analýza struktury porostů a faktorů podmiňujících zlomy stromů

5.1.1 Biometrie porostu na lokalitě Komáří vrch a porovnání růstu poškozených a nepoškozených jedinců

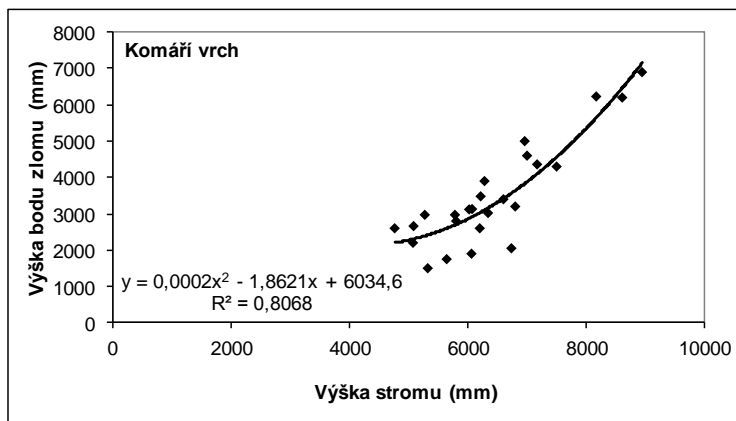
Nejpodrobnější analýzu vrcholových zlomů bylo možno provést na lokalitě Komáří vrch (věk 15 let). Na tomto místě byly získány přesné údaje o rozměrových parametrech stromů poškozených (i zlomy poškozených stromů samotné), což bylo doplněno o měření stromů zlomy nepoškozených (intaktních).



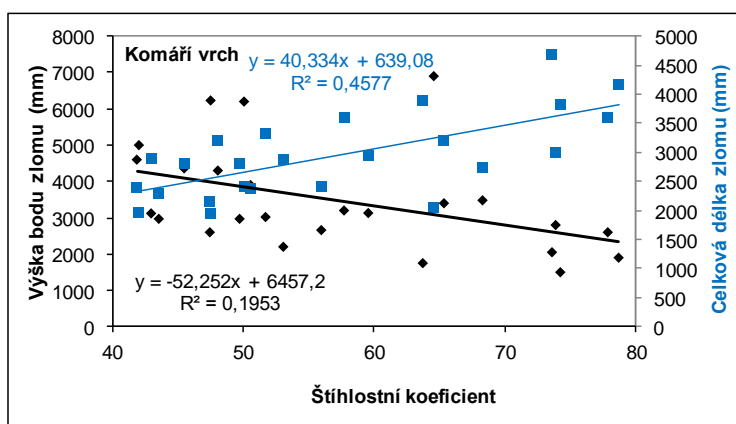
Obr. 26: Vzájemná závislost mezi výškou stromu a průměrem kmene ve výčetní výšce. Zlomené a intaktní stromy jsou hodnoceny v jednom souboru.



Obr. 27: Vzájemná závislost mezi výškou stromu a průměrem kmene ve výčetní výšce. Červenou barvou jsou odlišeny stromy zlomené, zelená barva představuje stromy intaktní.



Obr. 28: Vzájemná závislost mezi výškou bodu zlomu na kmeni (měřeno od báze stromu) a celkovou výškou stromu.



Obr. 29: Vzájemná závislost mezi výškou bodu zlomu na kmeni (měřeno od báze stromu – hlavní osa y) a délkou zlomu (vedlejší osa y) na hodnotě štíhlostního koeficientu.

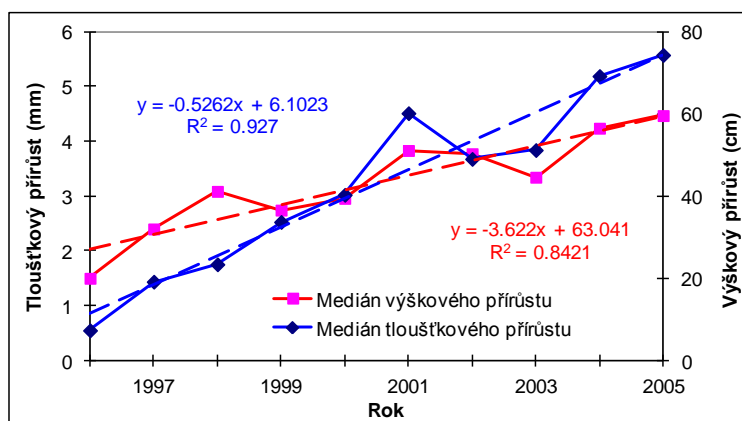
Vzájemná závislost mezi výškou stromu a průměrem kmene ve výčetní výšce (pro stromy zlomené i intaktní) je zobrazena na obr. 26 a popisuje porost jako celek. Ze souboru těchto dat byl dále sestaven graf (obr. 27), který odděleně zobrazuje hodnoty stromů poškozených zlomy a hodnoty stromů intaktních. Tento graf byl sestaven k ověření hypotézy, že stromy poškozené zlomy mají odlišné rozměrové parametry (poměr výšky kmene k jeho tloušťce – štíhlostní koeficient) než stromy, které působení mechanické zátěže odolaly (viz např. SLODIČÁK 1983c).

Při vyhodnocení obou souborů se však tento předpoklad nepotvrdil. Vysvětlení lze nalézt při analýze snímků ze zimního období, které byly pořízeny v době, kdy docházelo na dané lokalitě k poškození zlomy (obr. 81 a obr. 85). Na snímcích je patrné, že extrémní sněhové srážky nebyly v korunách stromů ukládány pouze

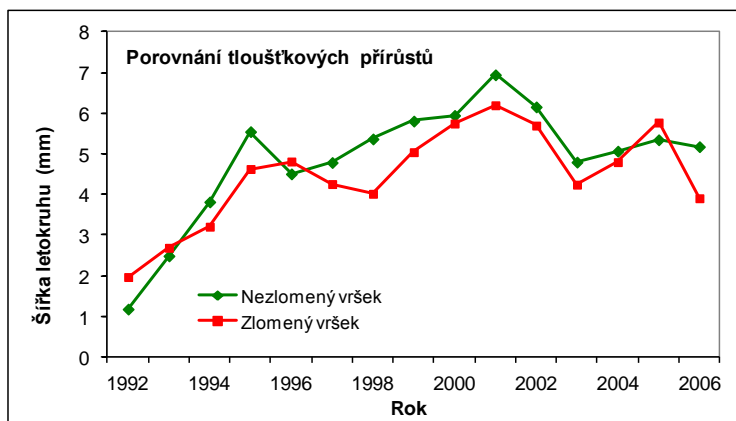
horizontálně, nýbrž i vertikálně (uplatnil se zde vliv vrcholové polohy, větru, sníženého zakmenění), a že zde také působila námraza. Kombinace působení sněhu a námrazy má na stromy obzvláště negativní vliv. Zátěž v korunách stromů s teoreticky příznivým i méně příznivým štíhlostním koeficientem zřejmě přesahovala v obou případech únosnou mez mechanické pevnosti dřeva (VICENA ET AL. 1979) a poškozovány byly stromy obou skupin bez výrazného rozdílu. Zimní a letní stav porostu na lokalitě Komáří vrch lze posoudit na srovnávacích fotografiích (obr. 87 až obr. 92)

Vztah mezi místem bodu zlomu na kmeni (měřeným od báze stromu) a celkovou výškou stromu je prezentován na obr. 28. Mezi těmito parametry byl nalezen velmi těsný vztah ($R^2 = 0,8068$). Výsledků získaných v tomto grafu je možno využít při kalkulaci potenciálních ztrát nadzemního systému (viz také kapitola 5.1.2).

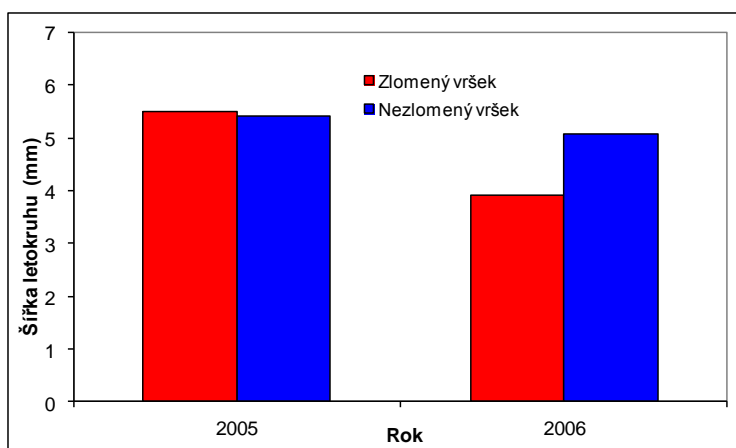
Výška bodu zlomu na kmeni měřená od báze stromu a celková délka zlomu byly porovnávány také s hodnotami štíhlostního koeficientu (obr. 29).



Obr. 30: Střední hodnoty (mediánů) výškových přírůstů zlomů a tloušťkových přírůstů na bázi zlomu v letech 1996 až 2005 na lokalitě Komáří vrch.



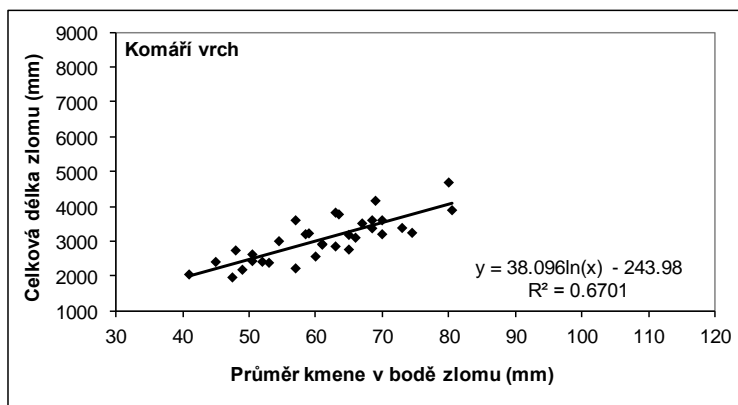
Obr. 31: Střední hodnoty (mediány) šířek letokruhů v d 1,3 m vytvořených v letech 1996 až 2006, měřené na vzornících zlomy postižených a nepostižených stromů na lokalitě Komáří vrch.



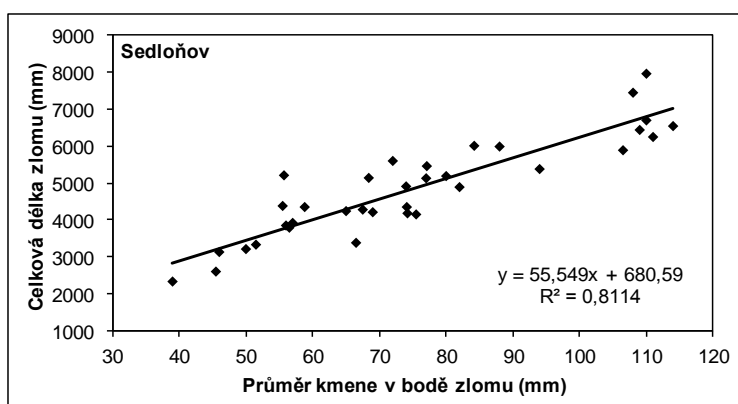
Obr. 32: Porovnání středních hodnot (mediány) šířek letokruhů v d 1,3 m vytvořených v letech 2005 a 2006, měřené na vzornících zlomy postižených a nepostižených stromů na lokalitě Komáří vrch.

5.1.2 Analýza vrcholových zlomů

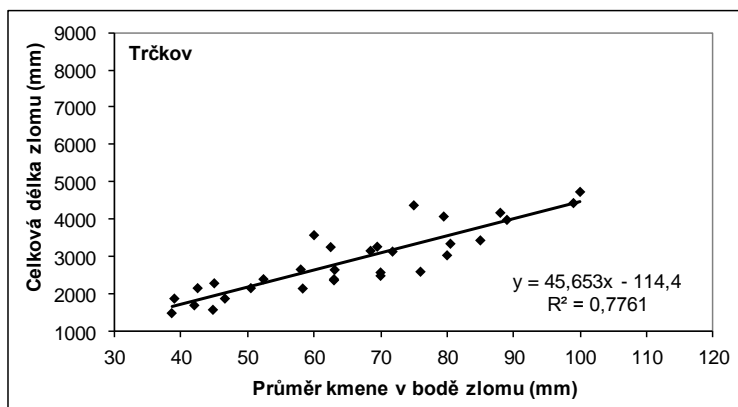
Na obr. 33 až obr. 41 jsou shrnuty výsledky porovnání vybraných parametrů částí korun zlomených sněhem na lokalitách Komáří vrch, Sedloňov a Trčkov, tj. v porostech vzájemně se lišících nadmořskou výškou a nalézajících se v různých fázích ontogenického vývinu (viz tab. 5). Ve všech případech byla nalezena vysoká míra závislosti mezi následujícími parametry: 1) průměrem kmene v bodě zlomu a celkovou délkou zlomu, 2) umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu a 3) umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu.



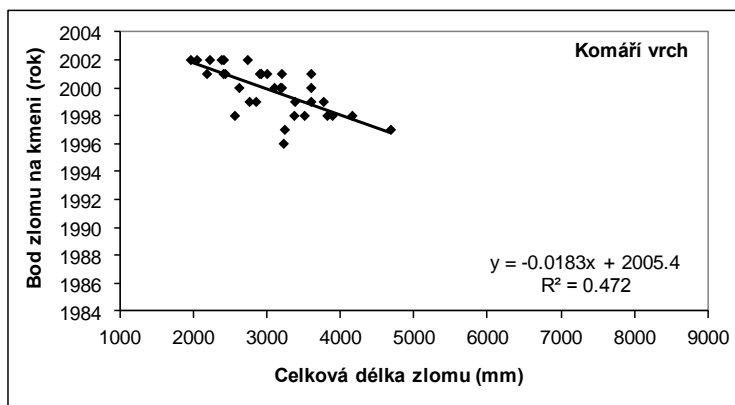
Obr. 33: Závislost mezi průměrem kmene v bodě zlomu a celkovou délkou zlomu. Lokalita Komáří vrch.



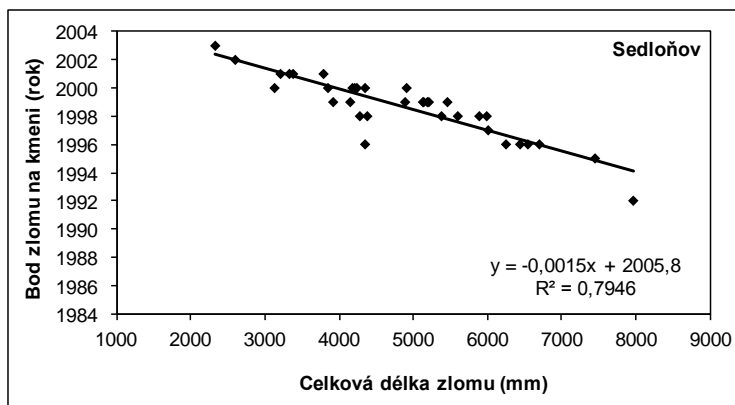
Obr. 34: Závislost mezi průměrem kmene v bodě zlomu a celkovou délkou zlomu. Lokalita Sedloňov.



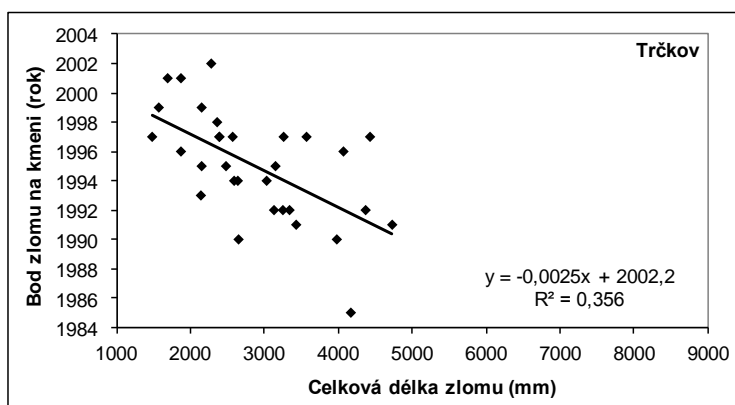
Obr. 35: Vzájemná závislost mezi celkovou délkou zlomu a průměrem kmene v místě zlomu. Lokalita Trčkov.



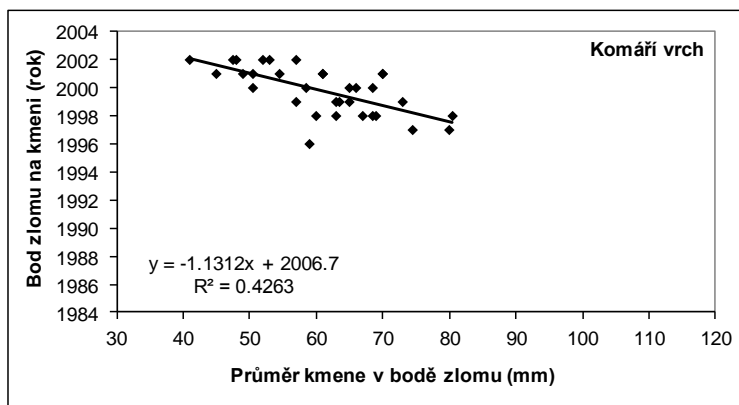
Obr. 36: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a celkovou délkou zlomu. Lokalita Komáří vrch.



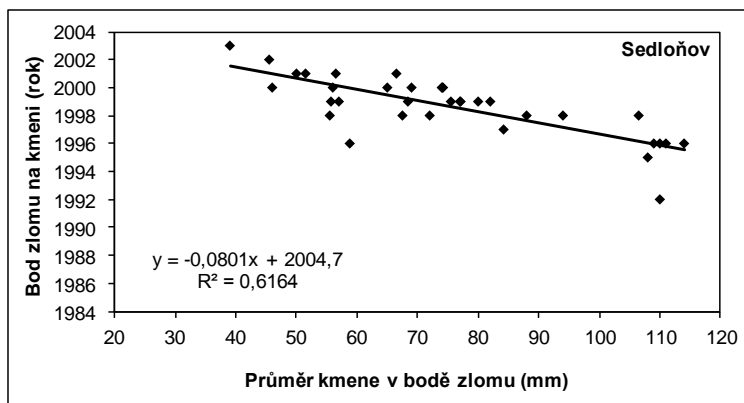
Obr. 37: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a celkovou délkou zlomu. Lokalita Sedloňov.



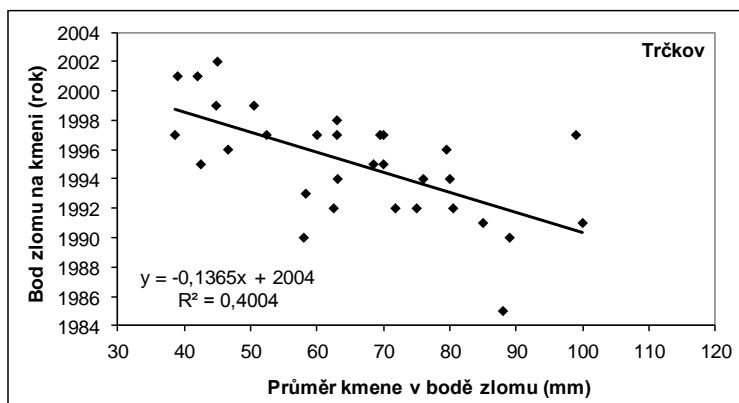
Obr. 38: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a celkovou délkou zlomu. Lokalita Trčkov.



Obr. 39: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmene (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu. Lokalita Komáří vrch.



Obr. 40: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmene (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu. Lokalita Sedloňov.



Obr. 41: Vzájemná závislost mezi umístěním bodu zlomu na kmene (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu. Lokalita Trčkov.

Na lokalitě Komáří vrch se celková délka zlomu pohybovala v rozmezí 1 960 až 4 865 mm, průměr zlomů kolísal mezi 41 až 80,5 mm a bod zlomu byl umístěn do vertikálního přírůstu generovaného mezi roky 1996 až 2002 (viz obr. 33, obr. 36 a obr. 39).

Na lokalitě Sedloňov se celková délka zlomu pohybovala v rozmezí 2 330 až 7 965 mm, průměr zlomů kolísal mezi 39 až 114 mm a bod zlomu byl umístěn do vertikálního přírůstu generovaného mezi roky 1992 až 2003 (viz obr. 34, obr. 37 a obr. 40).

Na lokalitě Trčkov se celková délka zlomu pohybovala v rozmezí 1 480 mm až 4 730 mm, průměr zlomů kolísal mezi 39 až 100 mm a bod zlomu byl umístěn do vertikálního přírůstu generovaného mezi roky 1985 až 2002 (viz obr. 35, obr. 38 a obr. 41)

Porovnáním průměrů zlomů na jednotlivých modelových lokalitách lze zjistit, že minimální průměr zlomů byl na všech třech lokalitách přibližně stejný a osciloval v rozmezí hodnot 39 až 41 mm (rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou činil pouze 2 mm). Tyto hodnoty reprezentují minimální průměr kmene, ve kterém dochází při mechanickém namáhání zátěží sněhem k jeho zlomu.

Hodnota maximálního průměru kmene v místě zlomu se napříč lokalitami taktéž výrazně nelišila a pohybovala se v rozmezí 80,5 mm (Komáří vrch) až 114 mm (Sedloňov). Rozdíl těchto hodnot činil v tomto případě 33,5 mm.

Celková minimální délka zlomu se pohybovala v rozmezí 1 480 mm (Trčkov) až 2 330 mm (Sedloňov). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou činil 850 mm.

Velmi odlišná však byla při porovnání různých lokalit maximální celková délka zlomu. Minima dosáhla na lokalitě Trčkov a činila 4 730 mm, naopak maxima dosáhla lokalitě Sedloňov hodnotou 7 965 mm. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou v tomto případě činil 3 235 mm. Takovýto rozdíl je zdůvodnitelný, pokud vzájemně porovnáme vertikální přírůsty kmene na jednotlivých lokalitách. Největších vertikálních přírůstů dosahovaly vzorníky na lokalitě Sedloňov, porost se nalézal ve stádiu mladší dospělosti (ve věku cca 35 let). Právě v této fázi vývinu obvykle kulminuje u smrku ztepilého rychlost jeho vertikálního přírůstu, který následně pozvolna klesá (SCHMIDT-VOGT 1986, MUSIL A HAMERNÍK 2007). Naopak nejmenších vertikálních přírůstů

dosahovaly vzorníkové stromy (zlomy) na lokalitě Trčkov, v porostu ve fázi pozdní dospělosti (věk cca 110 let).

Nejtěsnější vztah mezi průměrem kmene v bodě zlomu a celkovou délkou zlomu byl prokázán na lokalitě Sedloňov (obr. 34), tedy v porostu ve fázi mladší dospělosti ($R^2 = 0,8114$) a vysoká míra regrese byla doložena také na obou dalších lokalitách (Trčkov – $R^2 = 0,7761$ a Komáří vrch – $R^2 = 0,6701$). Z hlediska posouzení těchto parametrů vyplývá, že nejstabilněji a nejvyrovnaněji generovaly své přírůsty stromy na lokalitě Sedloňov.

V případě porovnání závislosti mezi umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a celkovou délkou zlomu prokázaly výsledky nejtěsnější vztah opět na lokalitě Sedloňov – $R^2 = 0,7946$ (obr. 34).

Tab. 7: Střední hodnoty vybraných rozměrových parametrů zlomů v jednotlivých porostech (věk 15 let = lokalita Komáří vrch, 35 let = Sedloňov a 110 let = Trčkov)

Věk porostu (let)	15	35	110
Střední průměr na bázi zlomu – medián (mm)	61	74	63
Střední celková délka zlomu – medián (mm)	3100	4890	2640

Celkový přehled o středních hodnotách (medián) rozměrových parametrů zlomů v porostech odlišného věku shrnuje tab. 7. Závěry, uvedené výše pro celé skupiny vzorníků zlomů, hodnocených na jednotlivých lokalitách, platí také v případě posuzování jejich středních hodnot.

Nejmenší celkovou střední délku zlomu bylo možné zaznamenat ve věkově nejstarším porostu, na lokalitě Trčkov (2 640 mm), následované nejmladším porostem na lokalitě Komáří vrch (3 100 mm) a nejdelší celkovou střední délku zlomu bylo možno vysledovat na lokalitě reprezentující porost ve věku 35 let – Sedloňov (4 890 mm). Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší střední celkovou délkou zlomů činil 2 250 mm.

Rozdíl mezi hodnotami středních průměrů na bázích zlomů byl v porovnání s hodnotami středních celkových délek zlomů málo výrazný a činil pouze 13 mm. Nejnižší hodnoty dosáhl tento parametr na lokalitě Komáří vrch (61 mm), dále na lokalitě Trčkov (63 mm), nejvyšší hodnoty pak na lokalitě Sedloňov (74 mm).

Co se průměrné hodnoty věku umístění bodu zlomu na kmeni týká, bylo zjištěno, že na lokalitě Komáří vrch docházelo nejčastěji ke zlomu v místě vertikálního

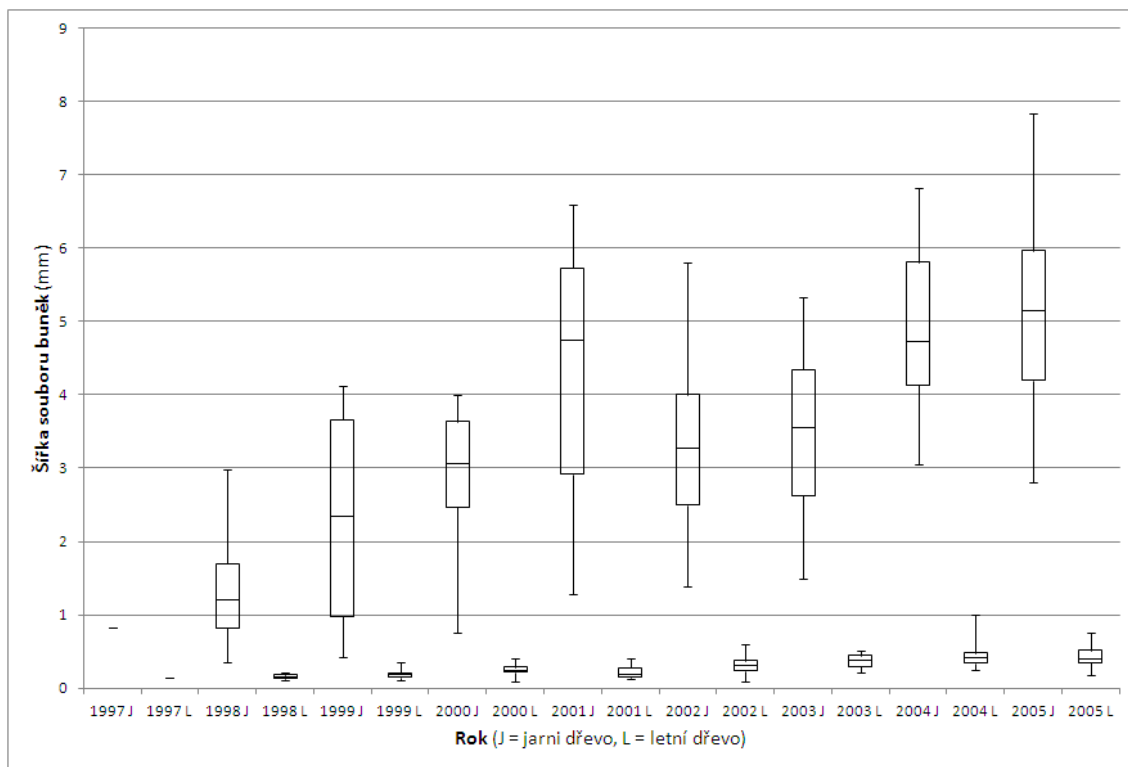
přírůstu kmene (internodia) generovaného v roce 2000, na lokalitě Sedloňov pak v roce 1999 a na lokalitě Trčkov v roce 1995 (k poškození došlo v zimě 2005/2006). Převedením těchto letopočtů na věk a počet článků kmene (internodií), které je pro zjištění místa zlomu nutné odpočítat od terminálu (včetně), se jedná o následující hodnoty: 6 let/článků (rok 2000) pro modelový porost na lokalitě Komáří vrch, 7 let/článků (rok 1999) na lokalitě Sedloňov a 11 let/článků (rok 1995) v případě porostu na lokalitě Trčkov.

Výše uvedené parametry středních hodnot lze využít při kalkulaci rozsahu poškození smrkových porostů zlomy pro daná věková stádia jejich vývinu. Tyto hodnoty lze taktéž využít při odhadu místa potenciálního bodu zlomu na kmeni u dosud nepoškozených simulovat tak hypotetický rozsah poškození.

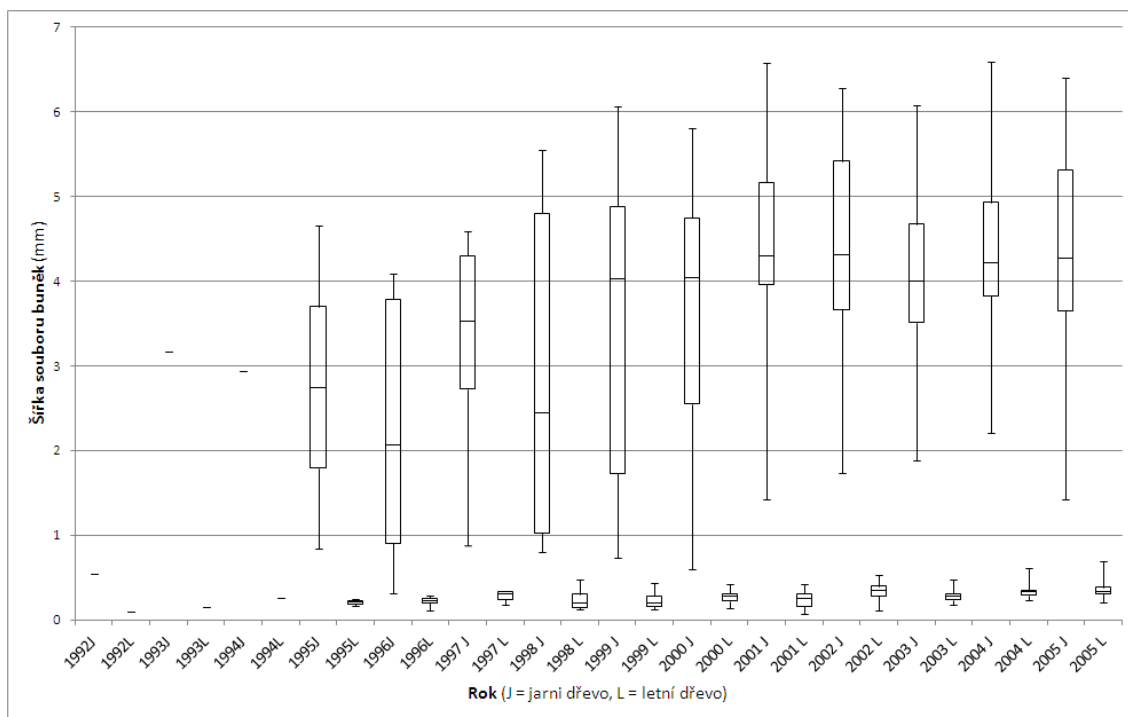
5.1.3 Analýza tvorby letokruhů na bázích vrcholových zlomů

Tvorba souborů buněk jarního a letního dřeva na bázích vrcholových zlomů je patrná z grafů obr. 42 až obr. 44). Je zřejmé, že prokazatelná rozkolísanost tvorby průměrného ročního přírůstu se projevila u souborů buněk jarního dřeva. V případě posuzování průměrných šířek souborů letního dřeva není rozdíl prokazatelný. Z hlediska průměrných přírůstů jarního dřeva v jednotlivých letech, kdy je možno jednotlivé porosty mezi sebou porovnávat, lze dojít k závěru, že se projevilo nápadné zvýšení přírůstů sledované veličiny v letech 2001, 2002 (s výjimkou lokality Komáří vrch) a v roce 2005. Porovnáním velikosti těchto průměrných přírůstů s dostupnými klimatickými daty (viz obr. 51) lze vysledovat, že rok 2001 byl výrazně srážkově nadprůměrný a z hlediska průměrných teplot nejchladnější. Naopak ke snížení velikosti průměrného přírůstu jarního dřeva došlo v roce 1998 a 2003. V roce 2003 byl celkový úhrn srážek nejnižší a naopak průměrná teplota nejvyšší.

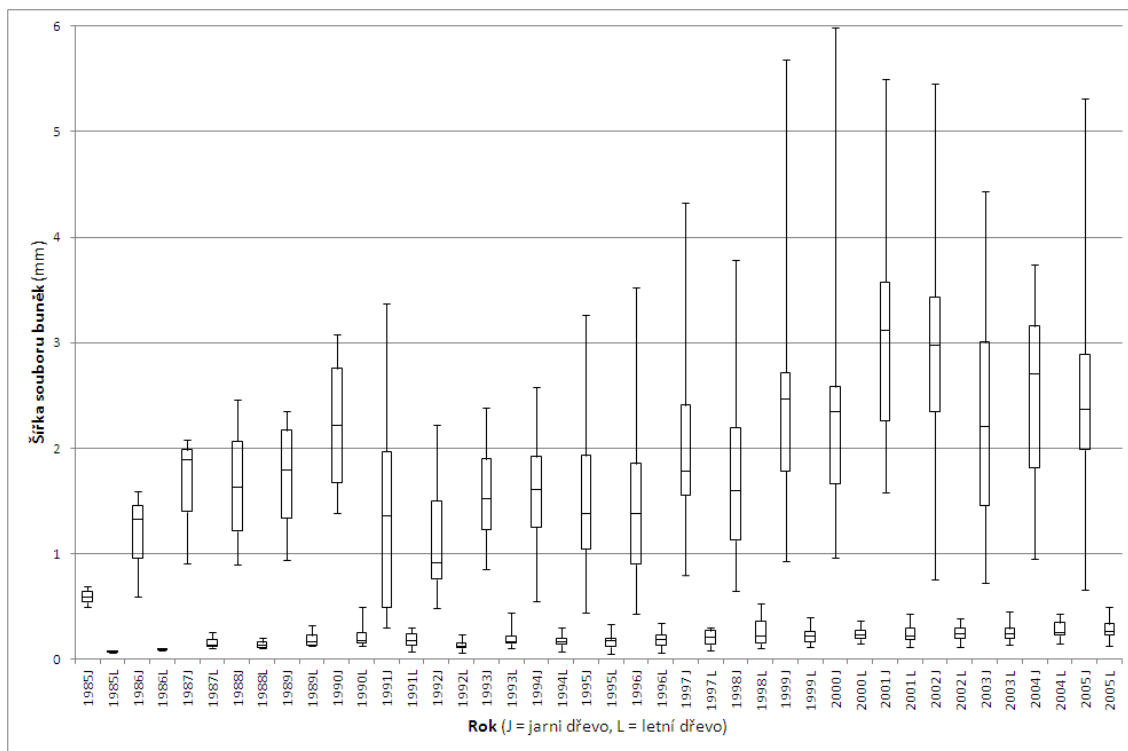
Vzájemný poměr tvorby souborů buněk jarního a letního xylému je ještě lépe zřejmý na vhodně upravených grafech (obr. 45 až obr. 47). Zde jsou sledované veličiny zobrazeny jako procentický podíl jednotlivých částí letokruhů k průměrné šířce daného letokruhu (100 %), opět na bázích vrcholových zlomů. Hlavním interpretačním poznatkem této analýzy je fakt, že podíl souborů letního dřeva ve většině sledovaných roků nedosahuje hodnoty 10 procent. Tato skutečnost má zřejmě významný podíl na snížení mechanických vlastností dřeva.



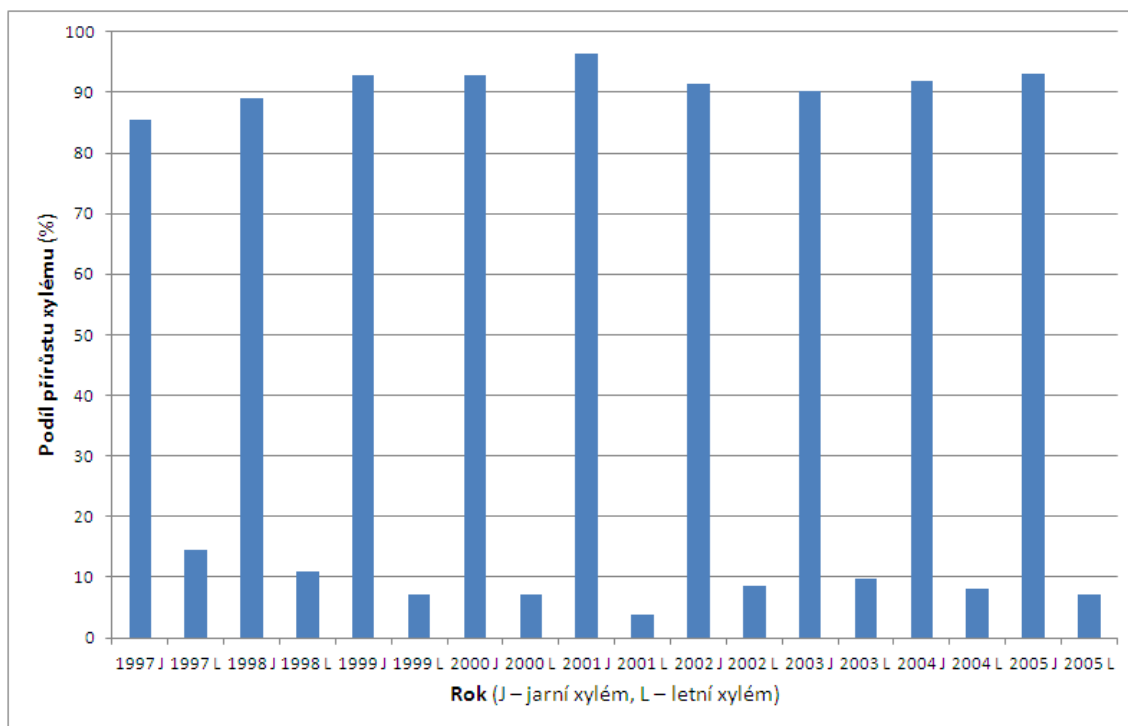
Obr. 42 Šířky souborů buněk jarního a letního dřeva (minimum, 1. kvartil, medián, třetí kvartil, maximum) měřeného na bázích zlomů na lokalitě Komáří vrch.



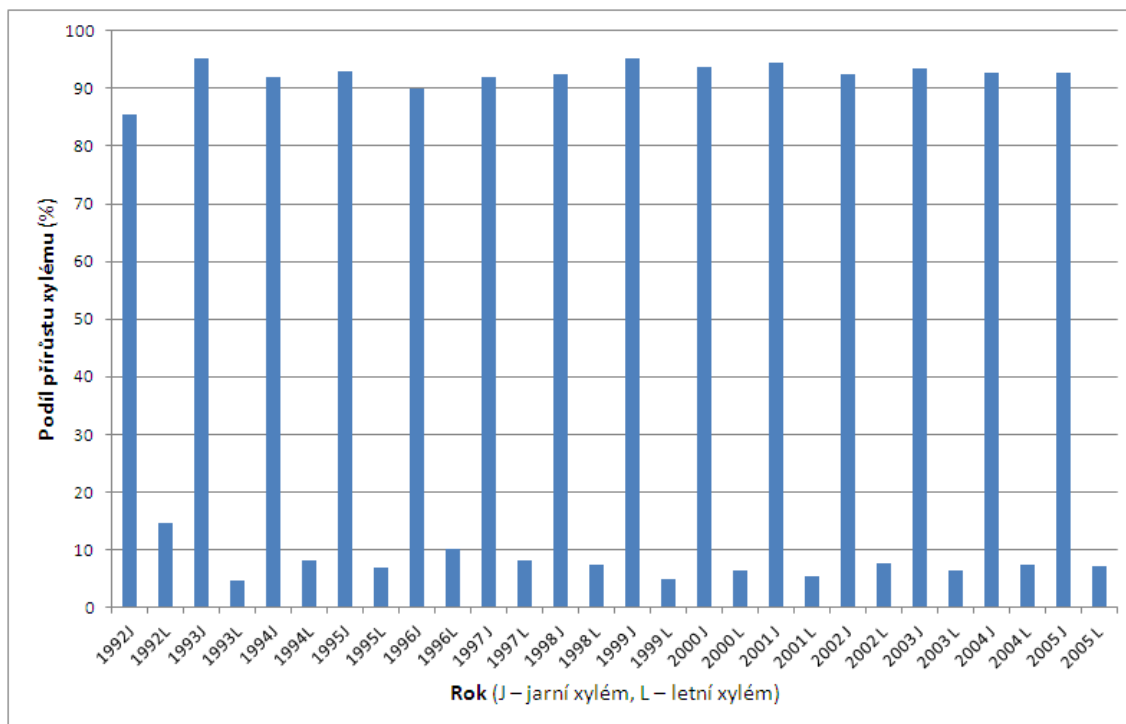
Obr. 43 Šířky souborů buněk jarního a letního dřeva (minimum, 1. kvartil, medián, třetí kvartil, maximum) měřeného na bázích zlomů na lokalitě Sedloňov.



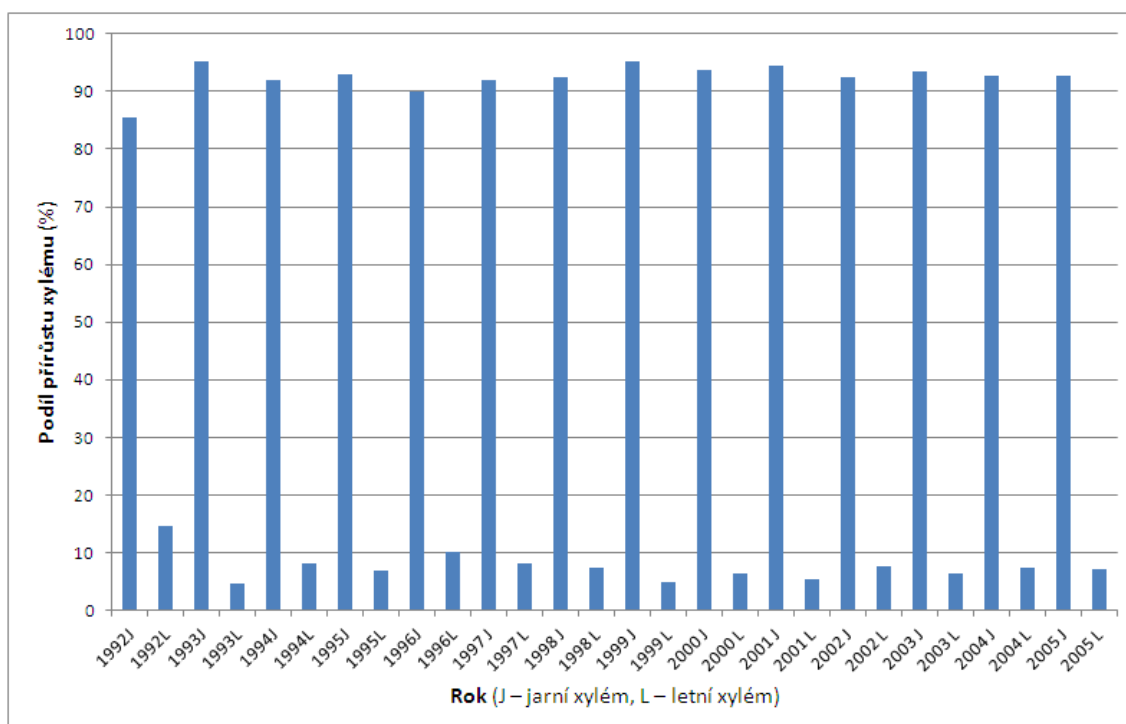
Obr. 44 Šířky souborů buněk jarního a letního dřeva (minimum, 1. kvartil, medián, třetí kvartil, maximum) měřeno na bázích zlomů na lokalitě Trčkov.



Obr. 45: Vyhodnocení procentického podílu průměrných přírůstů (mediánů souborů buněk) jarního a letního xylému k celkové průměrné šířce daného letokruhu (100 %) na bázích zlomů na lokalitě Komáří vrch.



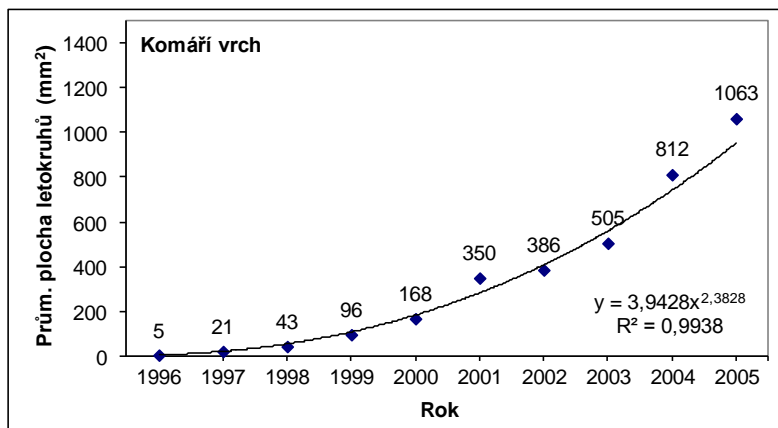
Obr. 46: Vyhodnocení procentického podílu průměrných přírůstů (mediánů souborů buněk) jarního a letního xylému k celkové průměrné šířce daného letokruhu (100 %) na bázích zlomů na lokalitě Sedloňov.



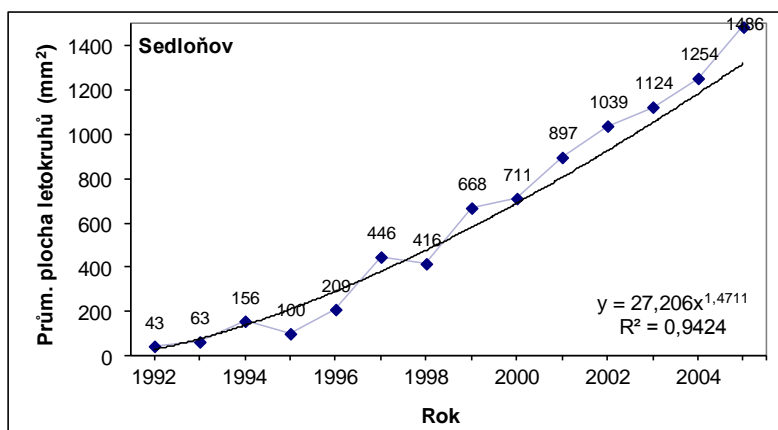
Obr. 47: Vyhodnocení procentického podílu průměrných přírůstů (mediánů souborů buněk) jarního a letního xylému k celkové průměrné šířce daného letokruhu (100 %) na bázích zlomů na lokalitě Trčkov.

5.1.4 Analýza změn plochy letokruhů na bázích vrcholových zlomů

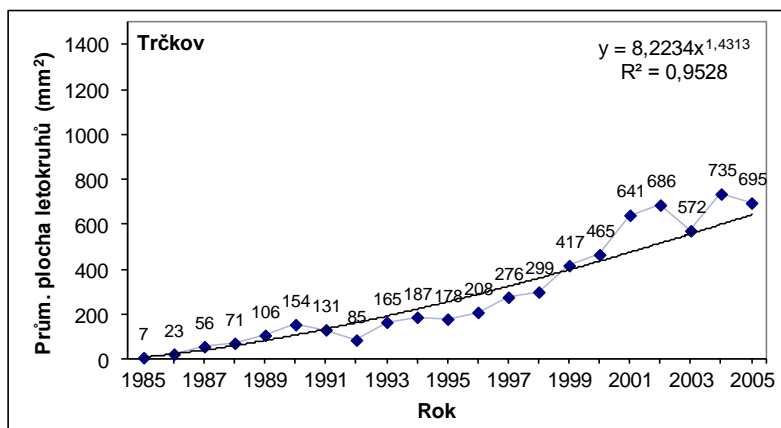
Na obrázcích obr. 48 až obr. 50 jsou znázorněny nárůsty průměrné plochy letokruhů (vypočítaných pomocí mediánů šířek jednotlivých letokruhů) na bázích zlomů na lokalitách Komáří vrch, Sedloňov a Trčkov (výpočet plochy letokruhu viz kapitola 4.1.4).



Obr. 48: Grafické znázornění středních hodnot plochy letokruhů na bázích zlomů na lokalitě Komáří vrch.



Obr. 49: Grafické znázornění středních hodnot plochy letokruhů na bázích zlomů na lokalitě Sedloňov.



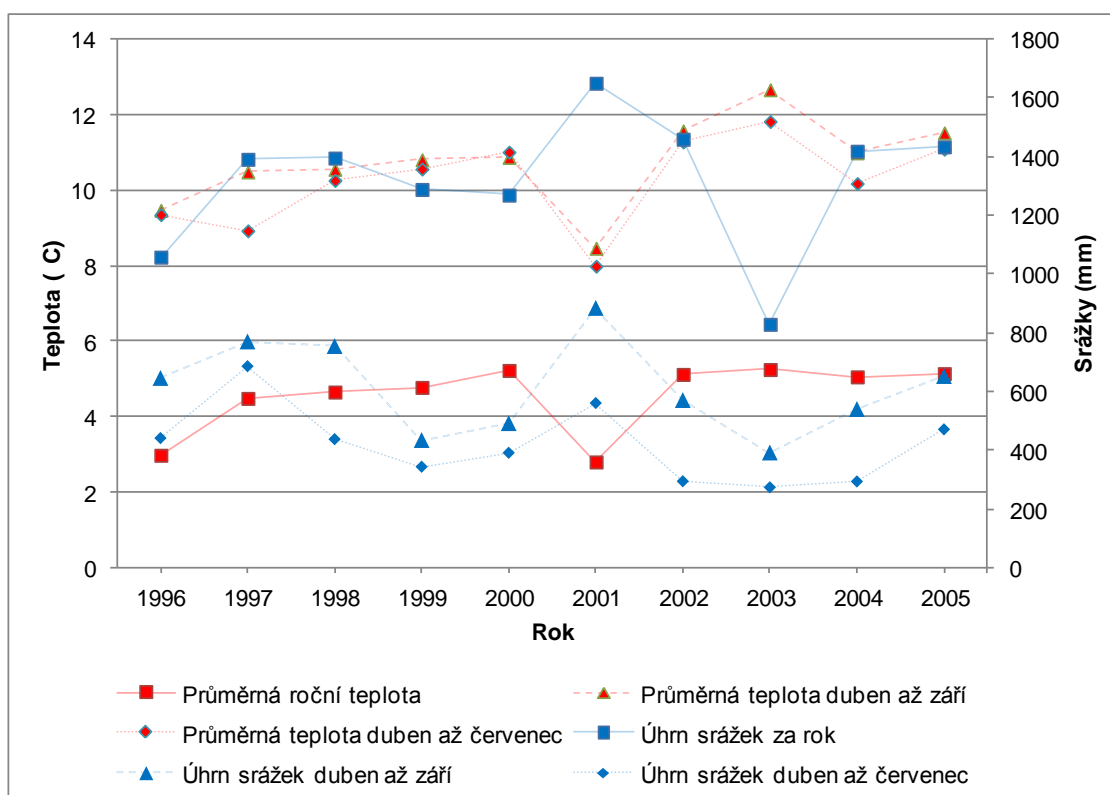
Obr. 50: Grafické znázornění středních hodnot plochy letokruhů na bázích zlomů na lokalitě Trčkov.

Při posuzování jednotlivých grafů lze konstatovat obdobné závěry, k jakým se bylo možné dopracovat při posuzování změn šířek letokruhů na bázi zlomů (viz kapitola 5.1.3). Nejvyšších středních hodnot přírůstů plochy letokruhů na bázi zlomů opět dosahovaly stromy na lokalitě Sedloňov, tedy stromy ve věku cca 35 let. Ze sledovaných věkových stádií je v tomto případě přírůst teoreticky nejvyšší (MUSIL A HAMERNÍK 2007). Odlišná dynamika změn plochy letokruhů na lokalitě Komáří vrch (15 let) a Trčkov (110 let) je dána odlišným věkovým stádiem jednotlivých porostů a tudíž také (nižší) růstovou dynamikou. Na lokalitě Komáří vrch stromy dorůstají do fáze, kdy se hodnoty vertikálního i radiálního přírůstu budou dále zvyšovat a v případě porostu na lokalitě Trčkov se porost nachází již ve fázi pozvolného snižování přírůstu.

Spojnice trendu změn střední plochy letokruhů ve výše uvedených grafech (obr. 48 až obr. 50) umožňují sledovat odezvu (zvýšení či snížení) průměrného přírůstu v závislosti na působení faktorů prostředí (zejména chodu meteorologických prvků). V případě porovnání porostů na jednotlivých modelových lokalitách nelze nalézt totožnou odezvu, což je podmíněno nejen odlišnou lokalizací jednotlivých porostů, ale také rozdílným věkem. Srážkově nepříznivý rok 2003 (viz obr. 51) se například neprojevil na lokalitě Sedloňov, citlivěji na něj však reagoval porost na lokalitě Komáří vrch (vrcholové polohy) a zejména na lokalitě Trčkov (ontogenicky nejstarší jedinci).

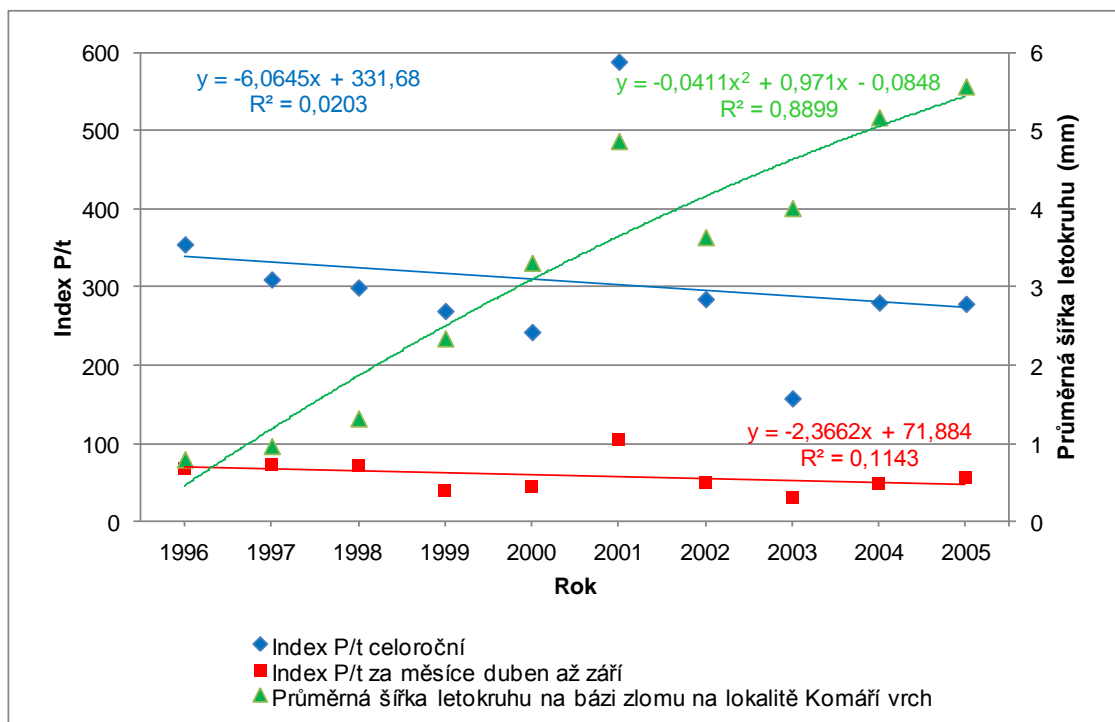
5.1.5 Analýza klimatických dat

Hodnoty průměrných teplot vzduchu a celkových úhrnů srážek (celoroční, za měsíce duben až září a duben až červenec) od roku 1996 do roku 2005 shrnuje obr. 51. Za sledované období se hodnoty průměrné roční teploty vzduchu, průměrné teploty vzduchu za měsíce duben až září (vegetační období) a měsíce duben až červenec výrazně nelišily, i když byly – pochopitelně – posunuty. Výraznější odchylkou vykazovaly pouze roky 2001 a 2003.



Obr. 51: Grafické znázornění průměrných teplot vzduchu a úhrnů srážek (celoroční; duben až září; duben až červenec) měřených na lokalitě U Dvou louček z let 1996 až 2005. Pro zlepšení vizuální čitelnosti byly jednotlivé body v příslušných řadách vzájemně propojeny tenkou čarou (nejedná se však o kontinuální jevy).

Průběh průměrných teplot za duben až září v jednotlivých letech a průběh průměrných ročních teplot v jednotlivých letech vykazuje velmi podobné kolísání. Obě sledované veličiny dosáhly nejvyšší hodnoty v roce 2001 a nejnižší hodnoty v roce 2003. Nižší variabilitu hodnot lze ve sledovaných letech nalézt u průměrných ročních teplot. Vyšší rozdíly vykazuje křivka za průměry pro duben až září.



Obr. 52: Porovnání indexů P/t (celoroční a duben až září) v letech 1996 až 2005 (údaje vychází z klimatických dat z lokality U Dvou louček); průměrná šířka letokruhů (ročního přírůstu xylému) pochází z lokality Komáří vrch, taktéž z let 1996 až 2005.

Porovnání indexů P/t, za období celého roku a v měsících duben až září v letech 1996 až 2005, dále doplněné o mediány šířek letokruhů za totéž období, obsahuje obr. 52. Index P/t (výpočet indexu viz kapitola 4.3) je bezrozměrnou veličinou a lze konstatovat, že nabývá tím vyšších hodnot, čím jsou úhrny srážek bohatší a čím je průměrná teplota nižší a obráceně.

Index P/t za období celého kalendářního roku se ve sledovaném období let 1996 až 2005 pohyboval v rozmezí hodnot 158 (rok 2003) až 588 (rok 2001), průměrná hodnota tohoto indexu činila 307.

Hodnoty indexu P/t za měsíce duben až září (za stejné roky) kolísaly v rozmezí hodnot 31 (rok 2003) až 104 (rok 2001), průměrná hodnota tohoto indexu pak v tomto případě činila 59.

Porovnáme-li hodnoty indexu P/t s hodnotami průměrných šířek letokruhů lze vysledovat, že nalézají-li se tato hodnota v daném roce nad spojnicí trendu (reprezentující soubor všech hodnot, vyskytujících se ve sledovaném období), tak se i hodnoty středních šířek letokruhů nalézají v naprosté většině případů nad spojnicí hodnot trendu, vytvořené ze souboru těchto dat.

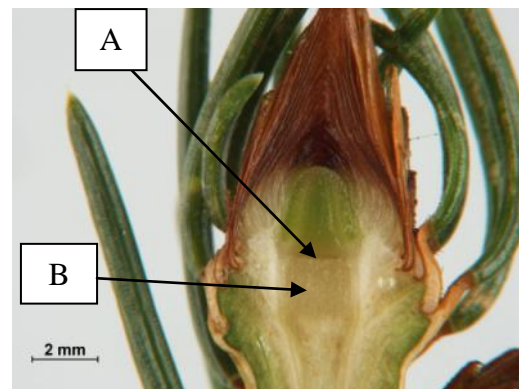
5.2 Anatomická a morfologická stavba a vývin prýtu smrku ztepilého

5.2.1 Anatomická stavba prýtu

Z obr. 57 až obr. 60, tj. z podélných a příčných řezů stonků a odbočujících jehlic vyplývá napojení xylému jehlic na xylém stonků a zejména homologické vztahy mezi pletivý stonku a pletivý listu. Připojením listu a polohou odlučovací vrstvy listu je zřetelně patrné sestupování tzv. „*listového polštářku*“. Co se týká ostatních pletiv stonku, odpovídá primární kůře (mezodermu). Až po odlučovací vrstvě jde o části příslušející pletivům stonku, takže v žádném případě nemůže být terminologicky označován pojmem „*řapík*“.



Obr. 53: Radiální řez terminálním prýtem. Pod krycími šupinami, které chrání terminální pupen, se nachází rozšířená parenchymatická dřev (rezervoár vody). Pokud rezerva vody nestačí (nepříznivý průběh zimního období ve smyslu vyšších evaporačních požadavků atmosféry), tak voda z tohoto zásobního parenchymu je spotřebována terminálními meristémy a parenchym odumírá. Tím vzniká tzv. desikační dutina.



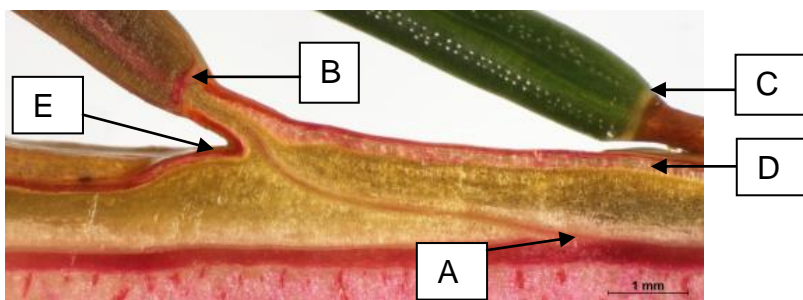
Obr. 54: Radiální řez terminálním prýtem, detail rozšířeného dřevového parenchymu pod meristematickým základem prýtu. Zakřivené jehlice, přimykající se k terminálnímu pupenu, snižují rychlost teplotních i vlhkostních výkyvů. Nodální diafragma označena šipkou A, rozšíření dřevě šipkou B.



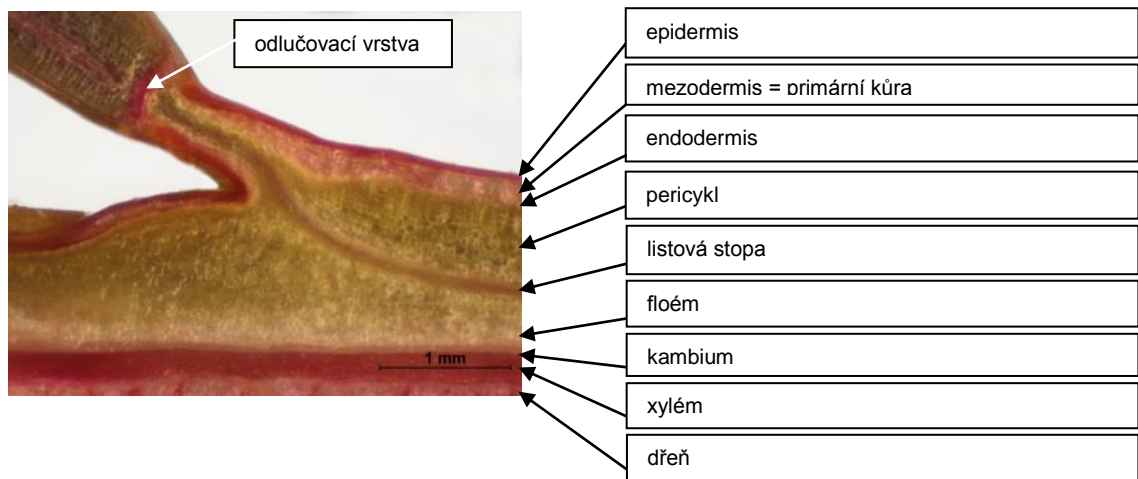
Obr. 55: Podélný řez jednoletým prýtem. Nativní, nebarveno, srovnej s obr. 56.



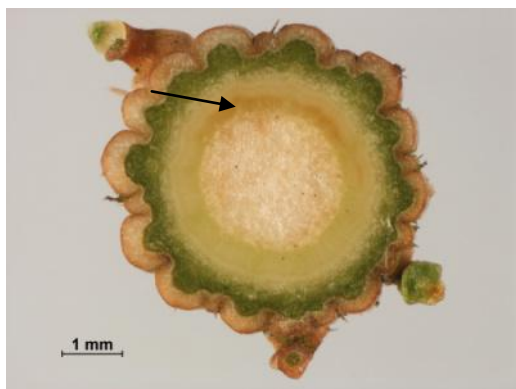
Obr. 56: Podélný řez jednoletým prýtem. Barvení floroglucinolem a kyselinou chloro-vodíkovou odlišilo pletiva, tvořená buňkami s lignifikovanou buněčnou stěnou (červené zbarvení). Na řezu je patrné napojení vodivých drah xylému ze stonku do jehlice. Dřeň je tvořena buňkami s lignifikovanými buněčnými stěnami. Silněji sklerifikované buňky jsou postaveny horizontálně, čímž je dřeň zpevňována proti mechanické nestabilitě.



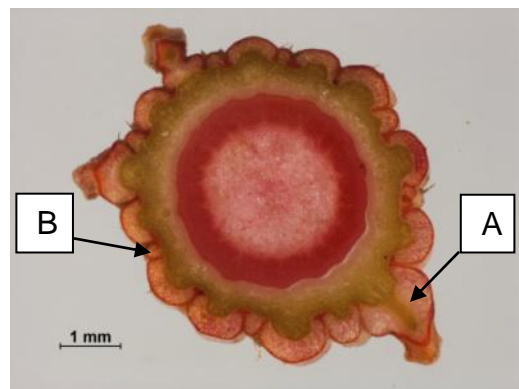
Obr. 57: Podélný řez prýtem (barvení viz obr. 56). Jehlice vlevo – podélný řez – ukazuje napojení xylémové části cévního svazku na xylém stonku (A) a průřez odlučovací vrstvou (B). Na jehlici vpravo je patrná odlučovací vrstva (C) v pohledu shora. Z abaxiální strany jehlice sestupuje po stonku „listový polštářek“ tvořený epidermis a pletivem mezodermu (D). Buněčné stěny jsou lignifikovány. V části E končí polštářek výše inzerované jehlice.



Obr. 58: Longitudinální řez jednoletým prýtem. Barvení viz obr. 56. Na řezu je patrné napojení vodivých drah xylému ze stonku do jehlice. Lze se setkat s nevhodným označením bazální části jehlice jako „řapík“. Vodítkem rozdílů mezi zakončením pletiv stonku a navázáním pletiv listu je poloha odlučovací vrstvy listu. U jehlic smrku ztepilého je odlučovací vrstva vysunuta cca 1 mm od povrchu kůry stonku, tj. celá tato část je součástí stonku. Jehlice jako taková začíná (svou bází) na konci odlučovací vrstvy.



Obr. 59: Transverzální řez jednoletým terminálním stonkem, pohled od apexu k bázi. Nativní, nebarveno. Ze vzájemných podílů jednotlivých typů pletiv vyplývá význam dřevě jako rezervoáru vody a plynů. Srovnej s obr. 60. Přerušeni protoxylému (leaf trace lacuna) je vyznačeno šipkou.



Obr. 60: Transverzální řez jednoletým terminálním stonkem, pohled od báze k apexu. Barvení viz obr. 57. Na řezu jsou patrné odlišné rozměry průřezů jednotlivých listových polštářků (šipky s písmeny A a B). Čím větší plochu má listový polštářek, tím blíže je k místu inserce jehlice (šipka A).

Vnitřní okraj mezi protoxylémem a dřeví je v prvním roce přírůstu tvarově ovlivňován četným výskytem přerušeni protoxylému parenchymem listových stop. Přerušeni dřevního válce (protoxylému) listovými stopami (viz obr. 59) je v anglické terminologii, konkrétně v práci BECKA (2005), nazýváno *leaf trace lacuna* (lacuna = trhlina).

5.2.2 Prostorové uspořádání jehlic v pupenu a na prýtu

Jako podklad pro popis postavení listů (jehlic) na stonku smrku ztepilého slouží následující fotografická dokumentace (obr. 61 až obr. 72). Na základě její interpretace lze popsat a vylíšit tři krajní hodnoty resupinace (termín viz kapitola 6.2.1) listů a jedná se o nový přínos autora této práce.

1) Růst jehlic na stonku bez změny prostorového uspořádání, jehlice rostou ve směru, v jakém byly postaveny v pupenu. **Nulová resupinace jehlic** se vyskytuje u terminálu. Terminál roste vertikálně (ortotropně), jehlice jsou ozářeny v průběhu celého dne (obr. 63 a obr. 64).

Podle hustoty zářivého toku dochází u bočních prýtů k *resupinaci částečné* či *úplné*. Jehlice zaujímají polohu v prostoru různým způsobem a staví se tak, aby sníženou ozářenost dovedly co nejefektivněji využít.

2) Na bočních větvích (plagiotropních) můžeme vylíšit **resupinaci jehlic částečnou**. Na prýtech bočních větví vrcholových, tj. s dobrou dostupností ozáření resupinují jehlice vyrůstající pouze na abaxiální straně stonku. Jehlice na adaxiální straně stonku neresupinují a vzájemně se stíní (obr. 65 a obr. 66).

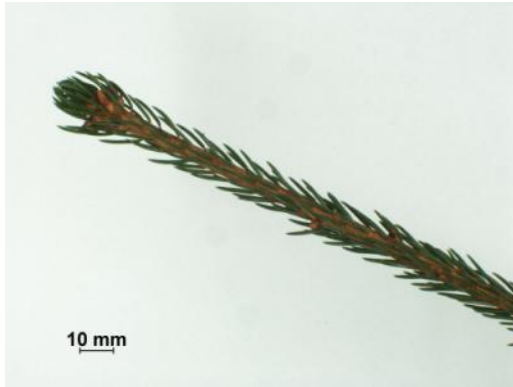
Krajní hodnota polohy změny jehlic (resupinace) je možná o 90 stupňů. 3) Bazální, horizontálně postavené větve mají jehlice abaxiální strany resupinované do vodorovné polohy a jehlice adaxiální strany jsou přimknuté ke stonku. **Resupinace je úplná**, celkově je prýt plochý. Jehlice se vzájemně nestíní a maximálně využívají dostupné záření (obr. 69 a obr. 70).



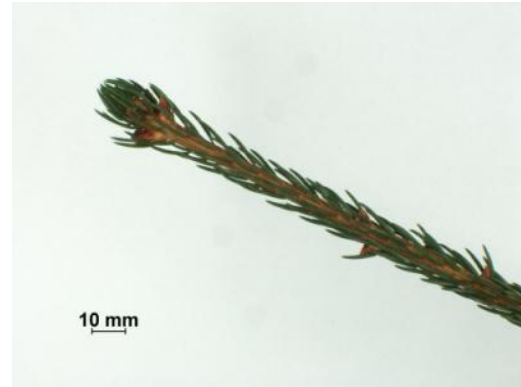
Obr. 61: Adaxiální strana jednoletého laterálního prýtu se dvěma růstovými vlnami, lišícími se průměrem stonku a prostorovým uspořádáním jehlic. Srovnej s obr. 62.



Obr. 62: Abaxiální strana jednoletého laterálního prýtu (blíže viz obr. 61).



Obr. 63: Terminální (ortotropní) prýt v bočném pohledu. Srovnaj s obr. 64, na kterém je zobrazen tentýž prýt otočený o 180°.



Obr. 64: Terminální (ortotropní) prýt. Srovnaj s obr. 63.



Obr. 65: Adaxiální strana laterálního prýtu slunného typu z bazální části koruny. Délka jehlic je v rámci prýtu proměnlivá. Srovnaj s obr. 66.



Obr. 66: Abaxiální strana laterálního prýtu slunného typu z bazální části koruny. Z porovnání obou obrázků je patrná resupinace jehlic k adaxiální straně, která umožňuje lépe využít záření. Srovnaj s obr. 65.



Obr. 67: Adaxiální strana laterálního prýtu stinného typu z bazální části koruny staršího jedince. Snížená dostupnost záření vede k omezenému větvení stonků. Srovnaj s obr. 68.



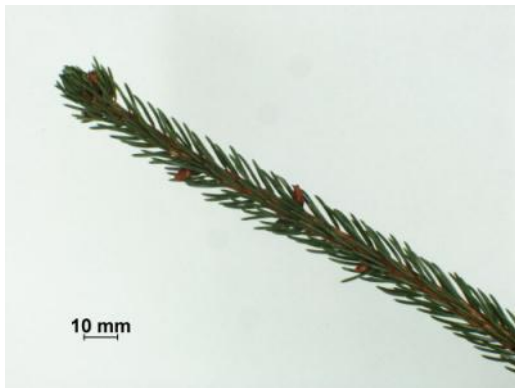
Obr. 68: Abaxiální strana laterálního prýtu stinného typu z bazální části koruny. Z porovnání s obr. 67 je patrná resupinace jehlic k adaxiální straně, která umožňuje lépe využít záření, jehož hustota světelného toku se blíží ke kompenzačnímu bodu.



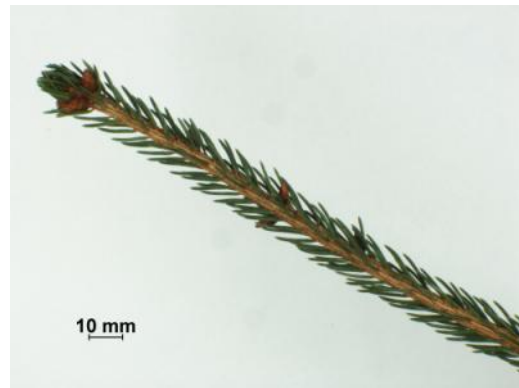
Obr. 69: Adaxiální strana rozvětveného laterálního prýtu stinného typu z bazální části koruny. Srovnej s obr. 70.



Obr. 70: Abaxiální strana rozvětveného laterálního prýtu stinného typu z bazální části koruny. Srovnej s obr. 69.



Obr. 71: Adaxiální strana nerozvětveného laterálního prýtu slunného typu z bazální části koruny. Srovnej s obr. 72.



Obr. 72: Abaxiální strana nerozvětveného laterálního prýtu slunného typu z bazální části koruny. Srovnej s obr. 71.

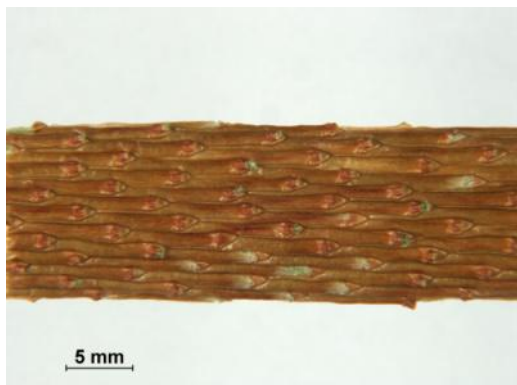
Na obr. 65 a obr. 66, porovnaných s obr. 67 a obr. 68 jsou patrné rozdíly. Silnější zástín se projevuje nižšími investicemi do růstu; viz tloušťka a délka stonku a délka a tloušťka jehlic.

Se zástíněním (mírou ozáření) souvisí také zkrácení délkového přírůstu stonků. U náhodně vybraných prýtů z téhož jedince vyplývá zkrácení délky stonku (na 1/2 až 1/3) a změna postavení jehlic v prostoru (obr. 67 a obr. 68).

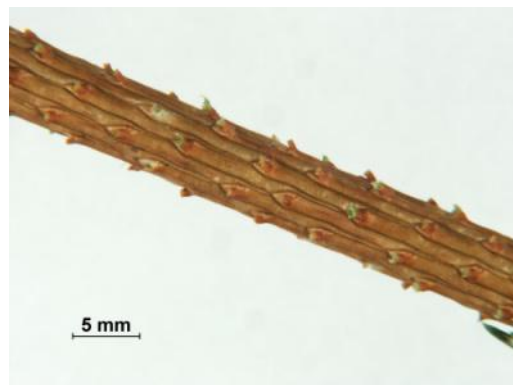
Co se týká obr. 67 a obr. 69, jsou si prýty po morfologické stránce velmi podobné. Růstově jsou stonky na obr. 69 úspěšnější, tj. generovaly větší počet článků. Na obr. 67 jsou z pupenů generovány 1 až 3 nejmladší články. Na prýtu zobrazeném na obr. 69 proliferovalo 7 pupenů, které generovaly nové články.

Inzerce větve v prostoru a její úspěšnost v růstu odpovídá úspěšnosti v kompetici stonků o růstové látky.

Postavení jehlic nemusí být po celé délce internodia shodné a to zejména tehdy, pokud se prýt vyvíjí ve střední či bazální část koruny. Prýt citlivě reaguje postavením jehlic do jiného prostoru, protože růstem větví z vyšší části koruny se korunový plášť radiálně rozšířil a ovlivnil světelné poměry stonků vyvíjejících se pod nimi. Změna postavení jehlic v prostoru tedy nemusí být v rámci přírůstu za jedno (vegetační) období konstantní. Tak, jak se prýt vyvíjí, mohou jehlice (asimilační orgány) vrůst do odlišně ozářeného prostoru a dle toho se pak odlišně natáčejí (obr. 61 a obr. 62).



Obr. 73: Rozvinutý plášť povrchu stonku v terminální části. Patrné jsou jak ortostichy, tak i parastichy, ve kterých jsou inzerovány jednotlivé listy (jehlice).



Obr. 74: Povrch jednoletého stonku s odstraněnými jehlicemi. Zřetelná je délka „listových polštářků“. Ty vznikají v bodě připojení jehlice nižší inzerce a končí v místě, kde vyrůstá jehlice vyšší inzerce.

5.2.3 Poškozování prýtů smrku ztepilého v období vegetačního klidu

Opakovaným posuzováním zdravotního stavu prýtů smrku ztepilého po skončení období vegetačního klidu na zájmových lokalitách Orlických hor bylo autorem práce potvrzeno poškozování abiotickými činiteli (viz M. Čermák 2003). Detailním rozbořením bylo zjištěno, kombinované působení mrazu s vysokou ozářeností za jasných zimních dnů a vliv anaerobního stresu (hypoxie) na pletiva pod sněhovou pokrývkou (obr. 76).



Obr. 75: Poškození nejmladšího ročníku jehlic smrku ztepilého mrazovou desikací. OH, 1. 6. 2006.



Obr. 76: Detail poškozených prýtů smrku ztepilého po odtání sněhu (hypoxie, mráz). Anenský vrch, 14. 8. 2005.

Mechanismus působení je pravděpodobně následující. Sníh jako takový je tvořen malými krystalky ledu ve tvaru vloček; převážnou část objemu sněhu zaujímá vzduch. Když sníh začne při zahřívání tát, vzniklá voda se nasává nejprve do kapilár mezi vločkami. Odkapávat začne až v okamžiku, kdy je vzduch mezi vločkami zcela vytlačen vodou. Svrchní sněhová pokrývka vlivem oteplení (za jasných zimních dnů) taje a přes noc opět zamrzá. Se střídáním teplot během dne, s delšími či kratšími obdobími oteplení a ochlazení, s novými sněhovými či smíšenými srážkami tak postupně během zimy dochází ke stlačování vrstev sněhu (vytlačování vzduchu ze sněhu) a k vytvoření zmrzlých krust, které brání přístupu kyslíku (vzduchu) pod ulehlou vrstvou sněhu.

Souvislá sněhová pokrývka se na horách vytváří nejčastěji v listopadu a vytrvá až do března, v nejvyšších polohách až do dubna. Maximum v mocnosti sněhu dosahuje v nižších polohách v únoru, ve vyšších až v březnu, před nástupem hlavního jarního tání. Tehdy také vrcholí u stromů (nebo jejich částí, větví), nacházejících se pod ulehlým sněhem, anaerobní stres, kdy v důsledku nedostatku kyslíku a trvalého chladu (i dalších stresorů) dochází k odumírání pletiv. Ještě dramatičtější tento proces probíhá pod ledovkou.



Obr. 77: Proleptické prýty se u smrku vyskytují výjimečně. Dochází k nim po disturbanci standardního chodu počasí, eventuálně v důsledku minerální disbalance (zejména při zvýšené dostupnosti dusíku). První generace smrku ztepilého na bývalé zemědělské půdě, Neratov v OH, 3. 8. 2006.



Obr. 78: Předčasné rašení pupenů a růst proleptických prýtů na téhož roku generovaném terminálu. Terminál je zdeformovaný z důvodu příliš rychlého růstu a zátěže při ještě nevyzrálém dřevě. První generace smrku ztepilého na bývalé zemědělské půdě, Neratov v OH, 3. 8. 2006.



Obr. 79: Mutace chloroplastové DNA – retardace (časové oddálení) syntézy pigmentů (chlorofylu). Fotosyntéza realizována staršími ročníky jehlic. Nejmladší ročník jehlic barevně kontrastuje se sytou zelení starších ročníků jehlic. OH, 8. 7. 2004.



Obr. 80: Na detailu je patrný časový posun syntézy chlorofylů. Bazální jehlice jsou lehce nazelenalé, zatímco vrcholové jehlice (nejmladší) jsou dosud bez fotosynteticky aktivních pigmentů. OH, 8. 7. 2004.

6. Diskuse

6.1 Zhodnocení problematiky korunových zlomů v kontextu výsledků práce

Většina autorů, kteří se zabývali zlomy, se soustředila na popis ekonomických ztrát, případně na techniky pěstování a ochrany lesa, kterými by bylo možno vzniku zlomů předcházet (viz kapitola 3.1.3). Tato práce je naopak zaměřena na detailní popis měřitelných veličin (délka zlomu, tloušťka zlomu na bázi), které mohou sloužit k výpočtu potenciálních ztrát vrcholových částí kmene v porostech smrku ztepilého různých věkových stadií.

Na bázích zlomů byla taktéž sledována tvorba sekundárního xylému, a to jak šířek jednotlivých letokruhů, tak i detailněji souborů buněk jarního a letního dřeva. Bylo možno předpokládat snížení pevnosti dřeva vlivem nepříznivého podílu jarního a letního dřeva v rámci jednotlivých letokruhů. Tato podrobná růstová a histologická analýza byla vztažena k průběhu vybraných meteorologických faktorů.

6.1.1. Zlomy, jejich vznik a regenerace kmene

Po terénním šetření po sněhové kalamitě, která způsobila vznik korunových zlomů a při sledování rozsahu škod na lokalitě pod vrcholem Malé Deštné k datu 14. 5. 2005 (viz obr. 18) se ukázalo badatelsky zajímavé prostudovat, proč naprostá většina korunových zlomů vykazuje velmi podobné délkové a tloušťkové parametry. Bylo třeba ověřit předpokládanou hypotézu, zda příčinou pravidelnosti rozměrů korunových zlomů je například mezní pevnost dřeva podrobená kritické zátěži. V práci VICENY ET AL. (1979) se uvádí, že zlom vzniká v místě, kde je narušena mezní míra pevnosti dřeva. Výsledky této disertační práce tento závěr potvrzují. Lze konstatovat, že mezi hodnotami středních průměrů na bázích zlomů byl v porovnání s hodnotami středních celkových délek zlomů velmi malý a činil pouze 13 mm. Jak již bylo uvedeno ve výsledcích, tento parametr dosáhl maxima na lokalitě Sedloňov a činil 74 mm, minimální hodnoty dosahoval na lokalitě Komáří vrch, konkrétně 61 mm. Tohoto poznatku je možno využít při kalkulaci průměrné potenciální ztráty délky koruny ve smrkových porostech v provozních podmínkách. Při aplikaci výsledků této práce lze na jednotlivých stromech nalézt místo, kde pravděpodobně dojde ke zlomu a odvodit jak parametry předpokládané délky zlomu, tak i zbytkovou výšku kmene.

Na následující sérii obrázků je popsán vznik zlomů a regenerační strategie nadzemních systémů akrotonicky rostoucích dřevin.



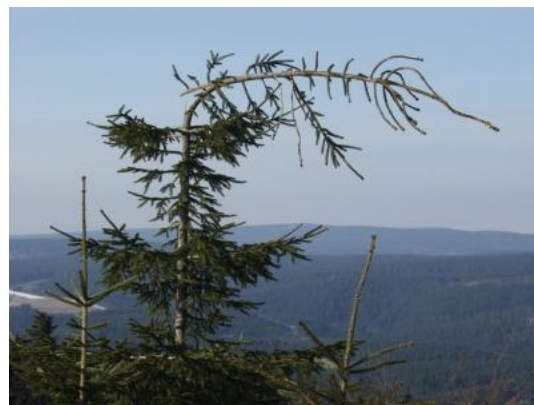
Obr. 81: Nechráněné mladé stromy na volné ploše jsou vystaveny intenzivnějšímu působení stresových faktorů – těžkému sněhu, hypoxii a na svazích soliflukci. Smrk ztepilý, severní svah pod Anenským vrchem, 25. 2. 2006.



Obr. 82: Mladé stromy se rovnoměrněji vyvíjejí pod ochranou zapojeného staršího porostu. Takovýto způsob obnovy je přírodě bližší, podmíněný mj. proměnlivými požadavky na hustotu a kvalitu zářivého toku. Většina dřevin (klimaxových) je v časných stádiích ontogenie sciafytních, v dospělosti (mj. pro vyšší energetické nároky kvetení a tvorby plodů) heliofytních. Smrk ztepilý, Černý důl, 25. 2. 2006.



Obr. 83: Důsledkem mechanické zátěže (sníh) a soliflukce v mladém porostu došlo ke změně stability mladých stromů. Roli zde hraje i nepříznivý vývin jejich kořenových systémů. Smrk ztepilý, severní svah pod Anenským vrchem, 15. 4. 2011.



Obr. 84: Ohyb a poškození vrcholu stromu byl podmíněn abnormálně rychlým růstem se spolupůsobením mechanických vlivů (námraza, sněhová zátěž). Smrk ztepilý, Komáří vrch, 15. 4. 2006.



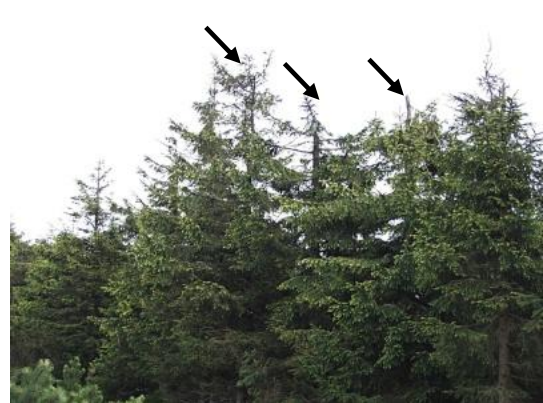
Obr. 85: Převážně vertikálně působící hmotnostní zátěž (mladý porost smrku ztepilého). Komáří vrch, 25. 3 2006.



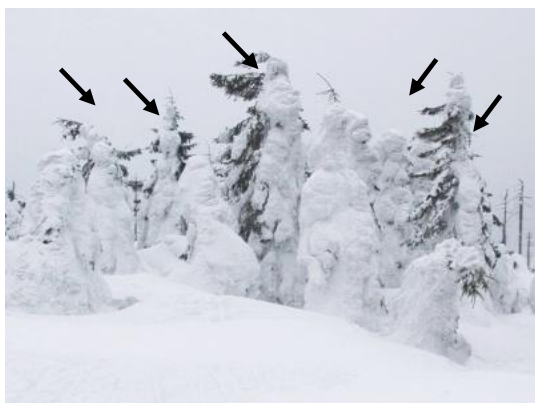
Obr. 86: Účinek horizontálně ukládané sněhové zátěže může být zesílen bočně narůstající hmotnostní zátěží větrem návátých a namrzajících vrstev sněhu (mladý porost smrku ztepilého). Komáří vrch, 25. 3 2006.



Obr. 87: Vertikální stěna horského lesa v zimním období (smrk ztepilý). Stromy jsou vystaveny vyšší zátěži, neboť tvoří vertikální hraniční vrstvu porostu. Návětrné vertikální plochy v zimě trpí zátěží námrazou, sněhem, větrem, mrazem, častá jsou mechanická poškození – zlomy (vyznačeno šipkami) – zimní vzhled (srovnání s letním vzhledem viz obr. 88). Komáří vrch, 25. 3. 2006.



Obr. 88: Porost totožný jako na obr. 87, tytéž stromy ve vegetačním období čelí působení větru, slunečního záření (včetně složky UV), teplotním a vlhkostním výkyvům. Poškození korun zimními zlomy (vyznačeno šipkami) je v prvních letech patrné. Komáří vrch, 1. 6. 2006.



Obr. 89: Porovnání zimního a letního vzhledu (viz Obr. 90) skupiny horských smrků ztepilých. Zátěž mrazem a sněhem, navíc spojená s hypoxií jehlic. Komáří vrch, 25. 3. 2006.



Obr. 90: Porost totožný jako na obr. 89, v letním stavu je znatelnější dopad silného a opakované zimní poškození vrcholových částí korun (vyznačeno šipkami), zatímco střední a bazální větve prosperují a regenerují. Komáří vrch, 1. 6. 2006.



Obr. 91: Zimní snímek poimisní výsadby porostu smrku ztepilého zatížené sněhem (srovnej s obr. 92). Komáří vrch, 25. 3. 2006.



Obr. 92: Pohled na tutéž část poškozeného porostu jako na obr. 91 ve vegetačním období. Někteří jedinci mají ze zimy nenávratně poškozenou větší část své koruny. Komáří vrch, 1. 6. 2006.



Obr. 93: Regenerace kmenů po poškození zlomy ze zimy 1966/67. Dosud je patrný výskyt vícečetných náhradních kmenů (vyznačeno šipkami). Smrk ztepilý, OH, 2. 6. 2006.



Obr. 94: Na exponovaných lokalitách smrk ztepilý může trpět častými zlomy, na něž reaguje tvorbou náhradních vrcholů, které vznikají z bočních větví změnou směru jejich růstu (tzv. svícnový či bajonetový růst). OH, 2. 6. 2006.



Obr. 95: Zlomem a infekcemi těžce poškozený kmen nahradila bočná větev. Smrk ztepilý, OH, 1. 6. 2006.



Obr. 96: Náhradní kmen – detail zlomu na bázi. Důsledkem poranění je přítomnost houbové infekce. Výrony pryskyřice strom značně oslabují. OH, 2. 6. 2006.



Obr. 97: Vytržení bočních větví, způsobené změnou výšky (táním) sněhu, ke kterému tyto větve přimrzly. OH, 2. 6. 2006.



Obr. 98: Detail korunového zlomu mladého smrku ztepilého. Kritickou částí kmene byl v tomto případě pseudopřeslen. Toto místo je pevnostně oslabeno z důvodu změny směru částí vodivých drah xylému, směřujících do bočních větví. Délka měřítka je 300 mm. Komáří vrch, 17. 8. 2006.

Z hlediska přesnějšího poznání mechanismů vzniku zlomů je zajímavé pokusit se o výpočet váhy zátěže (sněhu, námrazy), která zlomy způsobuje. JALKANEN A KONÓPKA (1998) ve své studii situované do oblasti severního Finska zjistili, že sněhová zátěž jednoho stromu se zvyšovala z několika stovek kilogramů v nadmořské výšce 150 až 250 m n. m. na maximum 3 290 kg ve výšce 300 až 350 m n. m. V nadmořské výšce 300 m n. m se váha sněhu zvyšovala z 30 až 50 kg na stromech menších než 5 m do hmotnosti 180 až 200 kg na stromech o výšce 20 m. V těchto porostech bylo uloženo v korunách stromů 300 000 až 480 000 kg · ha⁻¹ sněhu. V nadmořských výškách pod 250 m n. m nedocházelo k žádným zlomům, zatímco ve výškách 290 až 350 m n. m bylo 0 až 46 % smrků ztepilých, 39 až 100 % borovic lesních a 0 až 33 % bříz pýřitých poškozeno korunovými zlomy. Bříza byla k poškození nejodolnější, zatímco borovice lesní se ukázala citlivá nejvíce. Tyto závěry lze vztáhnout také k podmínkám Orlických hor (viz obr. 6 až obr. 7), kde je smrk ztepilý (neopadavá nahosemenná dřevina) poškozován zlomy sněhem častěji, nežli například buk lesní a jeřáb ptačí (opadavé krytosemenné dvojděložné dřeviny).

Na základě modelové analýzy PELTOLY ET AL. (1997) bylo zjištěno, že porosty smrku ztepilého a borovice lesní dorůstající výšky 12–20 m s výhodným štíhlostním koeficientem jsou kriticky ohroženy zlomy sněhem při krátkodobé zátěži 60 kg · m⁻²

a rychlostí větru $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, naopak porosty s nevýhodným štíhlostním koeficientem mohou být poškozeny sněhem již při statické zátěži $20\text{--}40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Kalkulací odolnosti dřeva smrku ztepilého se zabývali například LUNDSTRÖM ET AL. (2007) a zjistili, že všechny mechanické vlastnosti namáhaného dřeva se měnily se vzdáleností od dřeně v rozsahu hodnot $5.7\text{--}18 \text{ GPa}$ pro MOE (modulu pružnosti ve statickém ohybu), $23\text{--}90 \text{ MPa}$ pro MOR (pevnost dřeva ve statickém ohybu) a $370\text{--}630$ a $430\text{--}1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, vždy pro suché a čerstvé dřevo.

Závislostí délky zelené koruny, délky zlomené koruny, délky zbytkové zelené koruny a zbytkové délky kmene na velikosti štíhlostního koeficientu v 25–30letém porostu smrku ztepilého (lokalita Hochschwarzwald, sněhový polom z roku 1980) se zabýval WÜTHERICH (1991). Autor našel těsnou závislost mezi výše jmenovanými parametry a poukazuje na fakt, že délka koruny má dále důležitý vliv na regenerační schopnost zlomené koruny. Jelikož při prezentaci svých výsledků používá hodnoty zprůměrované pro jednotlivé tloušťkové třídy, dostává autor vyrovnanější výsledky, než ty, které jsou prezentovány na obr. 29.

WALLENTIN A NILSSON (2014) detailně analyzovali růst smrku ztepilého a vliv pěstebních technik na jeho poškození větrem a sněhem v podmínkách jižního Švédska. Z jejich výsledků vyplývá, že průměr kmene stromu ve výčetní výšce je pozitivně korelován s jeho výškou, tvarem kmene, délkou koruny, ale že je negativně korelován s štíhlostním koeficientem. Tudíž je možné konstatovat, že vztahy mezi měřenými parametry stromů v nadzemní části by měly být zkoumány buď na úrovni tloušťkových stupňů, nebo podrobněji na úrovni konkrétní měřené tloušťky kmene. V této práci byl dále zaznamenán efekt spojitosti vlivu sbíhavosti kmene na rizika pramenící z poškození sněhem a větrem potvrzený již dříve v práci PRPIČE (1969). Ten zaznamenal, že vyšší stupeň sbíhavosti kmene v úrovni $d_{1,3}$ oproti úrovni při bázi kmene i v polovině výšky kmene vede prokazatelně k vyšší odolnosti kmene proti zlomům způsobeným zátěží sněhem a prudkým větrem. Stejně tak byl pozorován významný vliv délky koruny a štíhlostního koeficientu na stabilitu zkoumaných stromů. Redukce plošné hustoty stromů v porostech, např. větším sponem při zakládání lesů nebo intenzitou výchovných zásahů, ovlivňuje sekundární tloušťnutí kmene více, než celkový

délkový (primární) přírůst stromu (LANNER 1985) a vede tak ke snížení nepříznivého štíhlostního poměru u vychovávaných porostů.

6.1.2 Analýza sekundárního tloustnutí kmene na bázích zlomů

Z interpretace výsledků disertační práce, viz kapitola 5.1.3, ve které bylo analyzováno sekundární tloustnutí dřevní části stonku (na bázích zlomů) vyplývá, že na všech sledovaných lokalitách docházelo k velmi nízkému podílu tvorby letního dřeva. O tom, že v Orlických horách dochází k nedostatečné tvorbě letního dřeva v letokruhu a že pak následně dochází v důsledku značné sněhové zátěže a námrazy k poškození smrku ztepilého informují již VACEK A BALCAR (2000).

Dle zjištění VICENY ET AL. (1979) má časté střídání tloušťky letokruhů na kmeni v jednotlivých letech a měnící se podíl jarního a letního dřeva velký vliv na kvalitu dřevní suroviny a na vlastnosti, které podle okolností příznivě nebo méně příznivě ovlivňují schopnost odporu dřeva vůči nepříznivým atmosférickým činitelům.

Tentýž kolektiv autorů dále informuje, že u jehličnanů příznivě ovlivňuje kvalitu dřeva, jeho technické vlastnosti a samotnou stabilitu stromu vyšší podíl letního (pozdního) dřeva v letokruhu. Se stoupající šířkou letokruhu však podíl letního dřeva zřetelně klesá: například při šířce letokruhu 0,5 mm dosáhl podíl letního dřeva 40 %, při šířce letokruhu 3 mm už jen 15 %. Vzhledem k poměrně měrné hmotnosti jarního dřeva k letnímu 1:1,25 považuje se jarní dřevo pro celkové zpevnění kmene a pro jeho odolnost vůči tlaku sněhu, námrazy nebo větru za méně významné, neboť je tvořeno tenkostěnnými buňkami, vhodnými především pro vedení vody a živin.

V této studii byl zjištěn na všech šetřených lokalitách velmi nepříznivý poměr podílu jarního dřeva vůči dřevu letnímu, nedosahující v případě dřeva letního většinou ani 10 % šířky letokruhu (obr. 45 až obr. 47). Jedinci smrku ztepilého rostoucí na zájmovém území mají sníženou schopnost odolávat působení mechanické zátěže (např. sněhu uloženého v korunách) a jsou predisponováni k poškození kmene zlomy.

Kromě sledování šířek jednotlivých letokruhů, či podrobněji souborů buněk jarního a letního dřeva, lze dále vyhodnocovat také plochy letokruhů i plochy jarního a letního dřeva. Podle SCHWEINGRUBERA (1996) lze plochu letokruhu, v porovnání se šířkou letokruhu, považovat za parametr, který dobře vypovídá nejen o změnách přírůstu xylému, ale také o změnách dalších funkčních parametrů nadzemního systému

stromů, například plochy asimilačního aparátu, který daný letokruh zásobuje vodou. Také v této disertační práci byla této problematice věnována pozornost, viz obr. 48 až obr. 50, kapitoly 5.1.4.

Je obecně známým faktem, že sekundární tloušťnutí kmene je ovlivněno zejména chodem meteorologických prvků v daném roce (například SCHWEINGRUBER 1996). Pokud porovnáme velikosti průměrných přírůstů souborů buněk jarního dřeva (viz obr. 42 až obr. 44) s dostupnými klimatickými daty (viz obr. 51) dojdeme k závěru, že 2001 byl výrazně srážkově nadprůměrný a z hlediska průměrných teplot nejchladnější. Na všech sledovaných lokalitách došlo k markantnímu zvýšení šířky průměrného přírůstu souborů buněk jarního dřeva právě v tomto roce. V roce 2003 byl celkový úhrn srážek nejnižší a průměrná teplota nejvyšší a tehdy naopak došlo ke snížení velikosti průměrného přírůstu jarního dřeva.

Podrobnou analýzou vlivu klimatu na radiální přírůst dřeva smrku ztepilého v Orlických horách se zabýval MÁŠLO (2007). Ve své práci vyhodnocoval výsledky pomocí programu *DendroClim* 2002 a našel pozitivní vliv srážek na radiální přírůst stromu pro měsíce červenec v roce předcházejícím rok přírůstu a dále byl potvrzen pozitivní vliv srážek v únoru a březnu v roce, kdy probíhá přírůst. U teploty byla touto metodou nalezena jediná statisticky významná pozitivní závislost přírůstu na tuto veličinu, a to v měsíci červenci v roce přírůstu. Výsledky získané v této práci naznačují, že tvorbu letokruhů ovlivňoval výrazněji průběh počasí v daném roce. Taktéž je zřejmé, že vliv klimatických faktorů, teploty a srážek je vhodnější posuzovat ve vzájemném vztahu, například jako poměr P/t . Tento index lépe odráží příznivá a nepříznivá období pro růst dřevin. Při posouzení příslušného grafu, kde je zobrazen index P/t spolu s průměrnými šířkami letokruhů (obr. 52) je možné tyto závěry potvrdit.

V této disertační práci nebylo sledováno zajímavé téma frekvence výskytu pryskyřičných kanálků v jednotlivých letokruzích bělového dřeva smrku ztepilého, které odkazuje na vliv stresu při růstu sledované dřeviny. V Orlických horách této problematice věnovala pozornost ŠKORPILOVÁ (2009). Autorka se zabývala tvorbou pryskyřičných kanálků u smrku ve vztahu k průběhu klimatických faktorů. Prokázala souvislost mezi četností pryskyřičných kanálků a klimatickými stresory působícími na danou dřevinu. Dle jejích výsledků se jako roky s nejvyšší četností pryskyřičných

kanálek ukázaly být roky 2003, 2007 a 2006 (pro účel této studie jsou využitelná její data do roku 2005). Z klimatických vlivů, které tyto zvýšené četnosti výskytu pryskyřičných kanálek způsobují, mají dle autorky nejzásadnější vliv letní teploty. Podle jejích údajů z meteorologické stanice Deštné v Orlických horách dosáhly letní teploty v letech 2002 a 2003 mimořádně extrémních hodnot, které přesáhly dlouhodobý průměr pro tuto lokalitu a byly nejvyšší za autorkou sledované období. Rok 2002 neukázal tak enormní zvýšení četnosti kanálek v letokruhu, ale odpověď smrku na stres bývá mnohdy pozdržena o několik měsíců. Je tedy možné, že ke kulminaci stresu z obou let došlo právě roku 2003. Letní teploty roku 2007 byly rovněž nadprůměrné, ačkoliv nedosáhly takových hodnot jako v letech 2002 a 2003. Jak ukazují autorčiny výsledky, naopak v letech 2004 a 2005 byla četnost kanálek poměrně nízká. Letní teploty v obou letech byly podprůměrné, zima roku 2004 byla sice o něco chladnější než je dlouhodobý průměr, ale tento drobný výkyv patrně pro smrk nepředstavuje příliš velkou zátěž.

Porovnáme-li výše uvedené výsledky ŠKORPILOVÉ (2009) s výsledky prezentovanými v této disertační práci, konkrétně s obr. 52, kde je znázorněn průběh indexu P/t (srážky/teplota) na lokalitě U Dvou louček (vrcholová část Orlických hor) a průměrné šířky letokruhů ze sousední lokality Komáří vrch, lze konstatovat následující. V letech 2002 a 2003 byla ŠKORPILOVOU (2009) detekována zvýšená frekvence výskytu pryskyřičných kanálek, naopak v letech 2004 a 2005, byla tato frekvence poměrně nízká. Z obr. 52 této studie je patrné zmenšení průměrné hodnoty šířky letokruhu v letech 2002 a 2003. Ke zvětšení šířky letokruhu poté došlo v roce 2004 a 2005. Tím, že se výsledky z obou prací shodují, lze podpořit teorii, že jak na zvýšení frekvence výskytu pryskyřičných kanálek, tak i na tvorbu xylému má vliv průběh počasí a působení dalších stresových faktorů.

6.2 Funkční anatomie prýtu, morfologie a ovlivňování abiotickými činiteli

Přesto, že smrk ztepilý je zcela nepochybně, ať již kvůli jeho zastoupení v lesních porostech, či kvůli jeho ekonomické důležitosti, vědecky nejprobádanější i hospodářsky nejsledovanější dřevinou, tak se nemnoho prací teoreticky zabývá anatomickou stavbou prýtu a rozvádí související terminologii. Návrh zpřesnění problematiky terminologie v oblasti morfologického popisu prýtu a větvení nahosemenných rostlin je součástí této kapitoly.

6.2.1 Anatomie a morfologie prýtu

Jedním z příkladů doplňujících málo probádanou problematiku anatomické stavby prýtu je popis homologických vztahů stonku a jehlic. Tato problematika byla objasněna a detailně rozpracována v kapitole 5.2.1.

V souvislosti s ustálením potřebné anatomické a morfologické terminologie a s poukázáním na nevhodně používané termíny lze navrhnout následující.

Prvním ze zpřesňujících termínů, který je vhodné ukotvit v české botanické terminologii je pojem *kompartmentace* (– sensu stricto MARTINKOVÁ ET AL. (2005). SHIGO (1991) popisuje *kompartmentaci dřevinných pletiv* pomocí bariér (ochranných zón), které umožňují lokalizaci pletiv poškozených abiotickými a biotickými činiteli od pletiv zdravých a funkčních. Bariéry znemožňují, nebo alespoň zpomalují zvětšování rozsahu (šíření) poškození. Autor se podrobně zabývá zejména ochrannými zónami ve dřevě a uvádí, že další typy bariér se vyskytují v kůře, řapících, dřeni, nezdřevnatěných kořenech, listech a jehlicích. Jednu z takovýchto bariér nalézáme ve vzrostném vrcholu stonku smrku ztepilého (obr. 53 a obr. 54). MARTINCOVÁ (1999) uvádí, že orientační posouzení stupně vyschnutí je možno u některých dřevin (smrk, douglaska) získat přímo ve školce nebo při zalesňování podle výskytu desikačních dutinek patrných na podélných řezech pupeny.

Jiný morfologicky nepřesně užívaný termín se vyskytuje při popisu uspořádání jehlic na stonku. Ty nejsou na prýtu uspořádány ve *spirále* (jedná se o plošný útvar), nýbrž ve *šroubovici* (prostorový útvar). V případě termínů šroubovice a spirála lze polemizovat o správnosti použití. Spirála je v matematice definována jako rovinná

křivka vinoucí se kolem pevného bodu (KOLEKTIV 1999) nebo v další definici jako křivka v podobě závitů vinoucí se kolem jednoho bodu v rovině, nebo postupující podél osy v prostoru (HAVRÁNEK A BĚLIČ 1989). Například v Naučném slovníku lesnickém (RYCHNOVSKÁ 1960) autorka zmiňuje inserci jednotlivých listových řapíků sledujících pomyslnou spirálu. Naproti tomu autorovi disertační práce se přesto jeví výstižnější botanický termín šroubovice. Ten je definovaný jako myšlená šroubovice na stonku rostliny spojující postupně místa, kde vyrůstají listy (HAVRÁNEK A BĚLIČ 1989).

V kapitole 5.2.2 bylo analyzováno postavení jehlic na prýtu smrku ztepilého a byly definovány tři krajní hodnoty *resupinace*: 1) nulová, 2) částečná a 3) úplná. Postavením listů na stonku se zabýval již VELENOVSKÝ (1907). Asimilační orgány zauímají určité postavení na stonku tak, aby jejich vzájemná kompetice o světlo byla, pokud možno, co nejmenší, tj. aby se co nejméně zastiňovaly a přitom se dostatečně vzájemně chránily.

V recentních studiích užívá termínu *resupinace* ve vztahu k pozici asimilačních orgánů nahosemenných dřevin, konkrétně u borovice lesní, pouze NÁROVCOVÁ (2009). Termín *resupinace* bývá v botanice užíván při popisu morfologické stavby květu orchidejí jako stočení semeníků rostlin tak, že dolní část květu je nahoře; pokračující resupinací se může květ vrátit do původní polohy, například u četných vstavačovitých (ANONYM 2011).

Pojem *resupinace*, latinsky *re-supīnō*, znamená vzad se sklonit, dozadu položit; termín *supīnus* je vykládán jako 1) vzhůru obrácený, 2) obrácený, naznak ležící, 3) vzhůru vystupující, povlovně sklonitý, plochý, rovný (PRAŽÁK ET AL. 1948). Správnost užití termínu *resupinace* (jeho případné nahrazení termínem *supinace*) ve vztahu k postavení asimilačních orgánů na stonku je složitá problematika, kterou lze dále podrobněji rozpracovat.

TROLL (1954) popisuje vliv záření na orientaci listů (jehlic) u ortotropních prýtů (hlavní osy) a prýtů plagiotropních (bočných) na příkladu smrku ztepilého a všímá si také dalších druhů nahosemenných dřevin.

Kromě postavení jehlic na prýtu se mění také anatomická stavba jehlic (listů) téhož jedince a v závislosti na působení faktorů prostředí (spektrální kvalita a intenzita zářivého toku) lze vylišit jehlice slunné a stinné. Listy stinné, jejichž vývin je uskutečňován v podmínkách nízkých hodnot zářivého toku, jsou rozměrově větší a mají menší tloušťku. Listy slunné, vyvíjející se v podmínkách vyšších hodnot ozáření, jsou

rozměrově menší než listy stinné a z hlediska posouzení tloušťkových jsou silnější (BECK 2005).

Rozvinutý plášť stonku smrku s odstraněnými jehlicemi a prýt bez jehlic je prezentován ve výsledkové části kapitoly 5.2.2, na obr. 73 a obr. 74. Pravidelné a matematickými zákony přesně stanovené postavení listů (jehlic) na stonku, neboli fylotaxe, je již bylo popsáno před lety (VELENOVSKÝ 1907). Jehlice jsou na větvích smrku ztepilého seřazeny ve šroubovici s divergencí 13/34 nebo 21/55 (KLIKA ET AL. 1953). Naopak VELENOVSKÝ (1907) uvádí postavení jehlic na prýtu smrku dle zlomku 21/35. Různí autoři se ve svých údajích liší. Problematice je možno věnovat další pozornost s cílem získat jednoznačné údaje.

S dalším terminologicky nepřesným označením se setkáváme při popisu stavby koruny smrku. Terminální pupeny smrku a jimi generované větve jsou vždy uspořádány ve stažené šroubovici. Z tohoto důvodu není vhodné užívat při popisu větvení nadzemního systému většiny nahosemenných dřevin pojmu *přeslen*, a je správné užívat termínu *pseudopřeslen* (anglicky pseudowhorl). VELENOVSKÝ (1907) uvádí, že naše původní nahosemenné dřeviny (rodu *Picea*, *Pinus*, *Abies*, *Larix*) se vyznačují tím, že větve vystupují z hlavního kmene vždy sblíženě a tvoří tak *zdánlivý přeslen* (vždy na konci letošního přírůstu). Z tohoto důvodu je celá koruna od báze k apexu patrovitě rozdělena a lze tak spočítat stáří kmene. Rod *Sciadopitys* má z důvodu přeslenitého postavení listů ve všech částech větvení přeslenité.



Obr. 99: Výmladek rostoucí v bazální části kmene vzrostlého smrku ztepilého, nalezený v těsném sousedství města Brna. Brno-Lesná (Panská lícha), 330 m. n. m., 25. 4. 2013



Obr. 100: Kmenová výmladnost (naznačena šipkami) bývá u smrku ztepilého zcela ojedinělým jevem. Ráňnov, Rumunsko, 680 m. n. m., 22. 7. 2008.

MUSIL A HAMERNÍK (2007) uvádí, že smrk ztepilý netvoří výmladky ani na vyvětveném kmeni. S tímto tvrzením se lze všeobecně ztotožnit, avšak autor práce se v případě právě tohoto druhu dřeviny opakovaně setkal s tvorbou kmenových (epikormních) výmladků (viz obr. 99 a obr. 100). Jedná se zcela jistě o rarity a tyto nálezy postrádají zobecňující charakter, nicméně poukazují na stálé možnosti získávání nových poznatků této velmi detailně prozkoumané dřevině. Z dřevin rodu *Picea* tvoří výmladky na kmeni například severoamerický smrk sitka – *Picea sitchensis* (BONG.) CARR., zejména po provedení výchovných zásahů a po vyvětvení kmene (HERMAN 1964, DEAL ET AL. 2003).

6.2.2 Vybrané fyziologické aspekty vývinu prýtu a jeho poškozování abiotickými činiteli

Ukončování růstového období prýtu

Dle LARCHERA (1988) jsou v našich zeměpisných šířkách období vegetační aktivity a klidu některých druhů dřevin regulována faktory prostředí, zejména denní (diurnální) foto- a termoperiodicitou (rozdílná délka a teplota světlé a tmavé části dne) včetně sezónních změn obou charakteristik. Zejména u smrku ze střední Evropy je zkracování délky dne na dobu kratší než 14 hodin dominantním iniciačním faktorem ukončení růstového období. Pokles teplot pak způsobuje vstup do vnuceného odpočinku, tzv. kviescence. Postupné snižování teploty prostředí v podzimním období je nezbytnou podmínkou otužování a získávání odolnosti pletiv vůči působení chladu a mrazu.

Rozlišuje se hluboký vegetační klid (endogenní dormance; např. u buku) a klidové období vynucené (exogenní dormance = kviescence; např. u smrku). V předodpočinkovém období klesá hladina růstových hormonů a začínají převládat růstové inhibitory; v meristémech je redukována až zcela zastavena mitotická aktivita. Snižuje se bazální metabolická aktivita, dřeviny hromadí zásobní látky (škrob), přesunují různé metabolity a minerální látky. V pletivech prýtu se na podzim zvyšuje obsah hydroláz, peroxidáz, katalázy atd (PROCHÁZKA ET AL. 1998). Na buněčné úrovni dochází ke zmenšování mitochondrií, přestavují se systémy endoplazmatických a jiných membrán, centrální vakuoly se rozdělují na více menších vakuol, v cytoplazmě se hromadí cukry, osmotika a jiné ochranné látky; navíc se rozpadají některé struktury fotosyntézy. V buňkách klesá množství volné vody a cytoplazma se tak postupně

připravuje na další fázi otužování vůči působení chladu a mrazu (cytoplazmatická tolerance). Ke všem těmto metabolickým procesům je zapotřebí příznivá teplota a vlhkost. Nesplňuje-li průběh počasí tyto předpoklady, nemohou buňky ani pletiva prodělat všechny fáze adaptací na nízké teploty (SCHULZE ET AL. 2005).

Poškozování pletiv prýtlů mrazem

Histologické analýzy zpracované v autorově vlastní diplomové práci (M. ČERMÁK 2003) prokázaly, že poškození smrku ve vrcholových částech Orlických hor po zimě 2001/2002 způsobil především mráz, který se vyskytl od podzimu do jara v několika vlnách, přerušovaných oteplením. K mrazovému poškození celých prýtlů nad sněhovou pokrývkou došlo roztrháním živých buněk (včetně kambiální zóny) při opakovaných objemových změnách vody, které provázely tvorbu krystalů ledu (zamrzání) a jejich rozmrzání (tání) v rostlinných pletivech.

Přímé poškození rostlinných pletiv mrazem zpravidla souvisí s vytvářením krystalů ledu v pletivech. Protoplasty s vysokým obsahem vody při podchlazení zamrzají a krystaly ledu, které se vytvoří uvnitř buňky, ji svým zvětšovaným objemem mechanicky destruuji (CHRISTERSSON 1971). Destrukce tohoto typu může postihovat jak jehlice, tak stonky, zejména v místech s větším podílem parenchymu, tj. v oblasti širokých lýkodřevních paprsků. Pak dochází k mrazovým trhlinám, po zhojení patrných jako mrazové kýly.

Častější je extracelulární zamrzání vody, kdy se krystaly ledu netvoří v protoplastech, ale v mezibuněčných prostorách nebo mezi buněčnou stěnou a protoplastem. Led, který se takto v pletivech vytvoří, působí obdobně jako suchý vzduch. Protože tlak páry nad ledem je nižší než tlak páry nad podchlazeným roztokem, odčerpává led vodu z protoplastů a ty se smršťují až na 2/3 svého původního objemu. Redistribuce volné a vázané vody a fáze ledu pokračuje tak dlouho, až v protoplastu nastane mezi ledem a vodou rovnovážný stav vodního potenciálu. Nízké teploty tedy mají při extracelulárním zamrzání na rostlinná pletiva v principu stejný účinek jako vysušení a mohou způsobit nekontrolované smrštění buněk. Naopak přežití takových situací napomáhá týmž pletivům překonávat vodní stres v letních suchých a horkých dnech. Starší ročníky jehlic a obecně vzrostlé, dospělé stromy, mnohokrát vystavované nutnosti čelit takovým podmínkám, reagují rychle a adekvátně a poškození mrazem či horkem a suchem je u nich méně časté (tzv. mrazové paradoxon).

Otužování prýtlů vůči poškození mrazem

V období vegetačního klidu mají vliv na prosperitu dřevin a jejich přežití zejména mrazové teploty. Proto, aby se dřeviny vyhnuly poškození mrazem, tak svá pletiva připravují na tyto specifické podmínky otužováním. Proces otužování rostlin vůči působení mrazu probíhá postupnými fázemi, v nichž na každé stadium otužování navazuje stadium další. Podzimní ochlazování proces otužování vyvolává a každá další expozice chladu a mrazu jej prohlubuje (REPO 1992 a dále SENSER a BECK 1977). Pokud jsou však pletiva předčasně exponována časnému mrazu (tj. ještě dříve, než získala odolnost), pak tomuto stresoru podléhají.

Pomine-li během kviescence nejchladnější období, vrací se buněčné protoplasty k prvnímu stadiu otužování. S dalším návratem chladného období se však opět rozvíjí mrazová odolnost pletiv. Rezistenci vůči mrazu mohou zejména mladé jehlice a prýtlý ztratit i uprostřed zimy po několika dnech s teplotami nad 8 °C.

Teploty nad bodem mrazu na konci zimy, tj. při prodlužování dne, způsobují, že mladé smrky svou cytoplazmatickou toleranci vůči mrazu rychle ztrácejí. Obnovuje se meristematická aktivita buněk a v horských oblastech přichází v úvahu další poškození, a to pozdním mrazem. Poté umrzají narašené pupeny a může dojít k poškození kambiální zóny s následkem vyřazení obnovy vodivých pletiv části nebo celého stonku a jejich vodivé funkce.

7. Závěr

Disertační práce se zabývá zhodnocením dynamiky růstu smrku ztepilého *Picea abies* (L.) KARSTEN a jeho poškozením zlomy na vybraných lokalitách Orlických hor. V průběhu zimy roku 2005/2006 došlo k častým zlomům korun lesních dřevin vlivem extrémně silných vrstev ztěžklé sněhové pokrývky a námrazy. Poškození se projevilo zejména v pahorkatinných a horských oblastech a bylo podnětem k stanovení cílů disertace.

Na základě analýzy biometrických dat poškozených jedinců byl nalezen vztah mezi výškou bodu zlomu na kmeni měřené od báze stromu a celkovou výškou stromu, čímž bylo definováno kritické místo na kmeni stromu, ve kterém dochází k takovému přetížení mechanických pletiv, že vznikne zlom. Mezi těmito parametry byl nalezen velmi těsný vztah ($R^2 = 0,8068$). Dále byla nalezena vysoká míra závislosti mezi následujícími parametry: 1) průměrem kmene v bodě zlomu a celkovou délkou zlomu a 2) umístěním bodu zlomu na kmeni (vertikálním přírůstem kmene generovaným v příslušném roce) a průměrem kmene v místě zlomu. Výsledků je možno využít při kalkulaci potenciálních ztrát nadzemního systému.

Z hlediska celkové ztráty nadzemního systému při poškození zlomy byly nejméně poškozeny porosty ve věku mladší dospělosti (a ve fázi virginální), což souviselo s nejméně příznivým poměrem jednotlivých částí nadzemního systému stromů a jejich růstem. Zlomy zde představovaly také silnou redukci asimilačního aparátu, což se projevilo významným snížením tloušťkového přírůstu v následujícím vegetačním období. Nejméně byly (dle předpokladu) poškozeny porosty ve fázi pozdní dospělosti, kdy se zlomy týkaly relativně malé části celkové délky koruny. V další části práce byla porovnána klimatická data s hodnotami středních šířek letokruhů a bylo zjištěno, že v letech s příznivým poměrem srážek a teplot (index P/t) se vytvářely širší letokruhy.

Je zřejmé, že v silně poškozených porostech, a na lokalitách s opakovaným výskytem zlomů, dojde k poruchám integrity stromů a zpomalení přírůstu, což bude doprovázeno snížením ekologické stability. V praxi lze předpokládat, že hospodářské výnosy z těchto porostů mohou být sníženy taktéž rozvojem dřevokazných hub, pro které jsou korunové zlomy vstupní branou k infekci.

Na histologické úrovni byla originálně interpretována anatomická stavba prýtu smrku ztepilého a byla objasněna z hlediska homologických vztahů mezi jehlicí

a stonkem. Uspořádání jehlic v pupenu a na prýtu a ve vztahu k podmínkám ozáření bylo popsáno mírou resupinace jehlic a byly definovány tři krajní hodnoty resupinace: 1) nulová, 2) částečná a 3) úplná. Podrobně byly popsány struktury vzrostného vrcholu, které umožňují přežití smrku ztepilého a jeho výskyt v rámci široké ekologické amplitudy.

8. Summary

The dissertation thesis monothematically deals with Norway spruce – *Picea abies* (L.) KARSTEN – and focuses on the description of the damage of this species by abiotic factors. The model area of the upper parts of the Orlicke hory Mountains was used to assess of the influence of snow, icing, and the course of climatic factors on growth, health and stability of above-ground system (stems and leaves) of Norway spruce, mainly during the virginal phase of the ontogenic development. Spruce stands of this age (very often grown in a monoculture) are common in the specified area (almost thousands of hectares). Such an extensive occurrence of the above specified woody tree species (in the virginal stage of the growth) is historically conditioned by the need of a fast solution against extinction of forests caused by air pollution. In the 1970's and 1980's, the ecological stability of the forest vegetation was significantly decreased (not only in the Orlicke hory Mountains). Nowadays, we are still dealing with the impact of this damage.

Thesis contains the literary information about Norway spruce as a selected taxon and the main woody tree species of the Orlicke hory Mountains. The dissertation also summarizes the main information about natural conditions, biogeography, natural and contemporary wood structure, fauna and historical antropic influence on woody tree species in the Orlicke hory Mountains.

The literary survey also focuses on the damage of woody plants caused by abiotic factors during winter. The main theme is the damage of woody tree species by abiotic factors (low temperatures, snow, icing).

During winters of 2005/2006, a frequent stem break of many tree species occurred. They were caused by extremely heavy layers of the snow cover and icing. The damage occurred mainly in upland and mountain areas of the Czech Republic and its extent refers to the winter calamity in 1966/1967. As supposed, the most frequent was stem break of the coniferous tree species. In the area of the Orlické hory Mts. (northeast Bohemia), where monitored the damage of this type in one-species and even aged stands of the Norway spruce in three locations. The stands differed in their ontogenetic stage – virginal as well as minor and older maturity trees. The basic biometrical characteristics of damaged and undamaged trees in stands were investigated. There were also marked sample damaged trees, so that stem breaks of their treetops characterized an investigated set of specimen the best. The stem breaks in the area were

measured and basal (proximal) parts were cut from each tree for a dendrochronological and histological analysis. At the end of the following vegetation period, some bores were taken in order to identify the influence of the loss of the treetop parts on a radial increment. These measurements were carried out to find how a length and width of a stem break relates to a total high of a tree and its breast-height diameter (i.e. if it is possible to predict a breakpoint), and if it is possible to find causes why some of the trees were damaged and some of them resisted. It turned out that the minor maturity trees (and virginal trees) were damaged the most. It related to the social structure, the most unfavourable rate of individual parts of the over ground system, and their growth. Stem breaks also presented a strong reduction of an assimilatory apparatus, which developed in a significant reduction of the radial increment in the following vegetation period. The least damaged stands (as supposed) were those in the stage of an older maturity, when stem breaks related to a relatively small part of the total length of a treetop. We can assume that in the areas of highly damaged stands and in the areas of the frequent occurrence of stem breaks, the disturbance of a tree integrity can be found as well as lowered accrue connected with the reduction of the ecological stability. Economical revenues from these stands can be lowered also by an increased probability of an expansion of wood-decaying fungi, for which the treetop breakage is an entrance gateway to an infection.

The anatomical shoot structure is clarified from the point of homological relationship between needle and stem (interpretation on histological level). The damage caused by frost dessication is connected with ending of the growth period and shoot frost hardening against the damage caused by freeze. The findings of histological analysis' are summarised as well. Structures of a shoot apex are described in detail. These enable survival of the Norway spruce and its presence in the means of the wide ecological amplitude. The arrangement of needles in a bud and shoot in the relation to conditions of irradiation was described by the level of needle resupination. The growth period and its ending is discussed with regards to the level of shoot damage by low temperatures.

9. Seznam použité a citované literatury

- ANONYM, 2002. CHKO Orlické hory [online] citováno 15. 11. 2009. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.orlickehory.ochranaprirody.cz/wps/portal/cs/orlicke-hory/o-sprave-chko>
- ANONYM, 2011. Resupinace [online] citováno 1. 10. 2011. Dostupné na World Wide Web: <http://leccos.com/index.php/clanky/resupinace>
- BALABÁN, K., 1955. Nauka o dřevě. První část – Anatomie dřeva. Státní zemědělské nakladatelství Praha, Praha, 145–146.
- BARTOŠ, J., ŠPULÁK, O., ČERNOHOUS, V., 2009. Vliv dřevin na ukládání sněhu v horských polohách. Lesnická práce 88(4). 307–314.
- BARTSCH H.-J., 1965. Matematické vzorce. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 580 s.
- BAYER, A., 1916. Velký ilustrovaný přírodopis všech tří říší III. Botanika speciální. Ústřední nakladatelství a knihkupectví učitelstva československého, Praha, 788 s.
- BECK, Ch. B., 2005. An introduction to plant structure and development: plant anatomy for 21st century. Cambridge University Press, Cambridge, 431 s. ISBN 0 521 83740 5
- BERGL, J., BOROTA, J., 1980, Světové lesnictví. Vysoká škola zemědělská v Brně, 129 s.
- BOHDANECKÝ, J., 1890. Statistisch-topographische und forstliche Beschreibung der Karl Fürst zu Schwarzenberg'schen Herrschaft Worlik (Böhmen). Vereinsschrift für Forst-, Jagd- und Naturkunde, č. 1, 3–89.
- COUFAL, L., SEDLÁČEK, M., 1977. Klimatické poměry. In Roček, Z. (ed.), 1977. Příroda Orlických hor a Podorlicka. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 307–324.
- COULTER, J. M., CHAMBERLAIN, CH. J., 1917. Morphology of Gymnosperms. The University Press Chicago, Chicago, 466 s.
- CULEK, M. ed., 1996. Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, 1995, 267–270. ISBN 80-85368-80-3
- ČERMÁK, M., 2003. Příčiny a projevy oslabování mladých porostů vrcholových partií Orlických hor (diplomová práce). MZLU v Brně, 51 s.
- ČERMÁK, M., MARTINKOVÁ, M., NÁROVEC, V., 2005a. Patologický účinek mrazu a sněhu na smrčiny. Lesnická práce 84(3), 126–128. ISSN 0322-9254

- ČERMÁK, M., MARTINKOVÁ, M., PALOVČÍKOVÁ, D., JANKOVSKÝ, L., 2005b. About phytopathological and histological aspects of Norway spruce dieback. *Journal of Forest Science* 51(8), 348–358. ISSN 1212-4834
- ČERMÁK, P., 2010. Abiotické faktory. In SIMON, J. et al., 2010. Strategie managementu lesních území se zvláštním statutem ochrany. *Lesnická práce*, Kostelec nad Černými lesy, 218–220.
- ČERNOHORSKÝ, Z., 1962. Základy rostlinné morfologie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 211 s.
- ČERNOHOUS, V., 2000. Suché periody v Orlických horách během vegetačního období a jejich potenciální vliv na ujímavost, odrůstání a zdravotní stav smrkových kultur. In Slodičák, M. (ed.), 2000. Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno, 25–29. ISBN 80-902615-9-0
- DEAL R. L., BARBOUR R. J., MCCLELLAN M. H., PARRY D. L., 2003. Development of epicormic sprouts in Sitka spruce following thinning and pruning in south-east Alaska. *Forestry* 76, 401–412.
- DOMIN, K., 1925. Rostlinné tvarosloví. Československá botanická společnost v Praze, Praha, 152 s.
- EVANS, G. C., 1972. *The Quantitative Analysis of Plant Growth*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 734 s. ISBN 0 632 06130 8
- EVERT, R. F., ESAU, K., 2007. *Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. 3rd ed., J. Wiley, Hoboken, 601 s.
- FIŠERA, J., 1991. Vliv ekologických žeber na ukládání sněhu a snížení vlivu mrazu na lesní kultury. *Lesnická práce*, 70(9), 274–277.
- FLEMING, G., KREČMER, V., 1986. Bioklimatologie k aktuálním problémům lesnické biotechniky v imisních oblastech. *Lesnická práce*, 65(12), 535–540.
- HANNISCH, B., KILZ, E., 1990. *Waldschäden erkennen: Fichte und Kiefer*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, Stuttgart, 334 s. ISBN 3-8001-3308-3
- HAVRÁNEK, B., BĚLIČ, J., 1989. *Slovník spisovného jazyka českého V.: R–S*. 2.vyd. /. Praha: Academia, 467 s.
- HEJNÝ, S., SLAVÍK, B., 1988. *Květena České socialistické republiky 1*. Academia, Praha., 557 s.

- HENDRYCH, V., 1930. Zpráva o mrazových škodách ze zimy roku 1928–29. Lesnická práce, 9, 148–164.
- HERMAN F. R., 1964. Epicormic branching of sitka spruce. USDA Forest Service Research Paper PNW-18.
- HORÁK, B., 1999. Lesnický a dřevařský slovník anglicko-český a česko-anglický: Forestry and forest products dictionary English-Czech and Czech-English. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 343 s. ISBN 80-902-5036-X.
- HRUŠKA, J., FOTTOVÁ, D., ŠACH, F., ČERNOHOUS, V., 2000. Změny chemismu půd a povrchových vod v důsledku dlouhodobé acidifikace Orlických hor. In Slodičák, M. (ed.), 2000. Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno, 13–24. ISBN 80-902615-9-0
- HUSÁK, J., 2000. Praktické problémy hospodaření v oblasti Orlických hor v porostech poškozených imisemi na LHC Kolowratské lesy Rychnov nad Kněžnou. In Slodičák, M. (ed.), 2000. Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno, 97–100. ISBN 80-902615-9-0
- CHALUPA, V., 1972. Vytváření letokruhu u dřevin v horských oblastech. Lesnická práce, 51 (4), 165–168.
- CHRISTERSSON, L., 1971. Frost damage resulting from ice crystal formation in seedlings of spruce and pine. Physiologia Plantarum 25(2), 273–278.
- JALKANEN, R., KONÔPKA, B., 1998. Snow-packing as a potential harmful factor on *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* at high altitude in northern Finland. European Journal of Forest Pathology, 28(6), 373–382. ISSN 14374781
- JANKOVSKÝ, L., MARTINKOVÁ, M., ČERMÁK, M., PALOVČÍKOVÁ, D., 2003. Chřadnutí smrků v Orlických horách. Lesnická práce (82) 4, 189–192. ISSN 0322-9254.
- JENÍK, J., PAVLIŠ, J. 2011. Terestrické biomy. Lesy a bezlesí Země. Mendelova univerzita v Brně, 238 s.. ISBN 978-80-7375-481-5
- JIRGLE, J., 1982 K obnově lesa v Krušných horách. In: Obnova lesa v imisních oblastech. Sborník ČSAZ č. 52. Praha, ČSAZ, 117–122.
- JIRGLE, J., 1988. Ekologické podmínky obnovy lesa v Krušných horách. Lesnická práce, 67(7), 318–322.

- JOHANSEN, D. A., 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill Book Company, New York London, 523 s.
- JURÁSEK, A., 2000. Vliv kvality obalené sadby na zdravotní stav výsadeb v horských podmínkách. In Slodičák, M. (ed.), 2000. *Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře*. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno, 161–163. ISBN 80-902615-9-0
- KADLUS, Z., 1960. K otázce námrazy v Orlických horách. *Lesnická práce* 39(2), 62–66.
- KADLUS, Z., 1964. Pěstební opatření proti námraze. *Zprávy lesnického výzkumu*, 10(4), 25–26.
- KADLUS, Z., 1967a. Námraza lesům škodí. *Lesnická práce* 46(2), 77–79.
- KADLUS, Z., 1967b: Vrcholový jev v Orlických horách. *Opera corcontica*, 4, 55–77.
- KADLUS, Z., 1968. Kalamita v Orlických horách. *Lesnická práce* 47(7). 307–314.
- KAŇÁK, J., 2004. Výsledky introdukce některých druhů rodu *Pinus*. In: PEŇÁZ, J., MARTINEK, J. (eds.), 2004. *Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století. Sborník z konference. Křtiny, 14.–16. 9. 2004. Ústav zakládání a pěstění lesů LDF MZLU v Brně, Brno*, 331–338.
- KANTOR, P., 1979: Vliv druhové skladby lesných porostů na ukládání a tání sněhu v horských podmínkách, *Lesnictví*, č. 3, 25.
- KANTOR, P., KARL, Z., ŠACH, F., 2007. Ukládání a intenzita tání sněhu v mladém smrkovém a bukovém porostu v zimním období 2005/2006. *Česká klimatologická společnost*, 16–25.
- KLIKA, J., ŠIMAN, K., NOVÁK, F. A., KAVKA, B., 1953. *Jehličnaté*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 312 s.
- KOBLÍŽEK, J., 2000. *Jehličnaté a listnaté dřeviny našich zahrad a parků, svazek 1. SURSUM*, Tišnov, 624 s. ISBN 80-85799-86-3
- KOLEKTIV, 1960. *Podnebí Československé socialistické republiky – tabulky. Hydrometeorologický ústav, Praha*, 379 s.
- KOLEKTIV, 1999. *Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích – Díl.7: ř–š. 1.vyd. Diderot, Praha*, 231. ISBN 80-90555-9-0.
- KOLEKTIV, 2009. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2009. Ministerstvo zemědělství ČR, Sekce lesního hospodářství, Praha*, 177 s.
- KONŠEL, J., 1931. *Stručný nástin tvorby a pěstění lesů v biologickém ponětí. Československá matice lesnická, Písek*, 552 s.

- KOUBA, J., 2006. Přírodní kalamity v lesích podle českých kronik 1091–1627. *Lesnická práce*, 85(12), 652–654.
- KRAUS, J. et al. 2005. *Nový akademický slovník cizích slov*. Academia, Praha, 879 s. ISBN 80-200-1351-2
- KREČMER, V., 1984. Používané obnovní seče a jejich ekologické účinky. In: PEŘINA, V. et al., 1984. *Obnova a pěstování lesních porostů v oblastech postižených průmyslovými imisemi*. Praha, MLVH ČSR ve SZN, 103–112.
- KUBÍČEK, V., 2003. *Systém říše rostlin* [online] citováno 18. 3. 2010. Dostupné na World Wide Web:
http://www.kvetena.cz/systematika/system_rostlin_rise.asp?celed=5&druh=231
- LARCHER, W., 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia, Praha, 361 s.
- LIŠKA, J., 1998. *Výsledky terénního šetření. (Poradenská zpráva pro SKL Rychnov nad Kněžnou)*. VÚLHM Jíloviště-Strnady, 1 s.
- LOMSKÝ, B., HYNEK, V., PASUTHOVÁ, J., UHLÍŘOVÁ, H., ŠRÁMEK, V., BADALÍK, V., 1996. Poškození lesních porostů v Krušných horách po zimě 1995/1996. *Lesnická práce*, 75(9), 325–327. ISSN 0322-9254
- LUNDSTRÖM, T., et al., 2007, Fresh-wood bending: linking the mechanical and growth properties of a Norway spruce stem. *Tree physiology* 27(9), 1229–1241.
- MACHEK, V., 1968. *Etymologický slovník jazyka českého*, 2. opravené a doplněné vydání slovníku z r. 1957. Academia, Praha, 866 s.
- MARTINCOVÁ, J., 1999. Hodnocení kvality sadebního materiálu před výsadbou. *Lesnická práce*, 78(3), 124–125.
- MARTINKOVÁ, M., ČERMÁK, M., GEBAUER, R. ŠPINLEROVÁ, 2005. *Základy anatomie a fyziologie stromů*. In KOLAŘÍK, J. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les II*. Český svaz ochránců přírody, Vlašim, 22–135. ISBN 80-86327-44-2
- MÁSLO, J., 2008. *Vliv klimatu na radiální přírůst a analýza variability konvenční hustoty dřeva smrku ztepilého na vybraných lokalitách Orlických hor*. Diplomová práce. MZLU v Brně, 78 s.
- MATERNA, J., 1982. *Současný stav a prognóza vlivu imisí na lesní porosty v ČSSR*. In: KOLEKTIV, 1982. *Obnova lesa v imisních oblastech*. Sborník ČSAZ č. 52. Praha, ČSAZ, 15–21.
- MATHIOLLI, P. O., 1562. *Herbarium*. Melantrich, Praha, 26 a 27.
- MIKESKA, M. et al., 1999. *Oblastní plán rozvoje lesů – PLO 25 – Orlické hory*. Brandýs nad Labem, ÚHÚL – pobočka Hradec Králové, 224 s. + přílohy. In VACEK S. et

- al., 2002 Horské lesy České republiky. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, 207. ISBN 80-7084-239-3
- MELOUN, M., MILITKÝ, J., 2004. Statistická analýza experimentálních dat. Academia, Praha, 953 s. ISBN 80-200-1254-0
- MOSBRUGGER, V., 1990. The tree habit in the land plants. Springer Verlag. Berlin, 161 s. ISBN 354052374X
- MRKVA, R., 2000. Chřadnutí dřevin jako významný a očekávaný problém ochrany lesa. Lesnická práce, 79(6), 246–249.
- MUSIL, I., HAMERNÍK, J., 2007. Jehličnaté dřeviny. Lesnická dendrologie 1. Academia, Praha, 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.
- NÁROVCOVÁ, J., NÁROVEC, V., ČERMÁK, M., 2006. Jak velké budou po zimě škody mrazem?. Lesnická práce 85(5), 254–255. ISSN 0322-9254
- NÁROVCOVÁ, J., 2009. Funkční morfologie a anatomie vybraného druhu dřeviny (disertační práce). MZLU v Brně, Brno, 167 s.
- NÁROVEC, V., 1998. Průběh a závěry pochůzky po hřebenu Orlických hor dne 24. října 1997 (Poradenská zpráva pro SKL Rychnov nad Kněžnou). VÚLHM – VS Opočno, 5 s.
- NÁROVEC, V. (2001): K nálezu houby *Ascocalyx abietina* v Orlických horách. Lesnická práce, 80(6), 268–270.
- NECHLEBA, A., 1996. Sníh v lese a škody jím způsobené. Lesnická práce 75(4), 145–146.
- NĚMEC, B. et al., 1962. Botanická mikrotechnika. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 482 s.
- NĚMEC, J. et al., 1964. Technická příručka lesnická. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 850 s.
- NOŽIČKA, J., 1972. Původní výskyt smrku v českých zemích. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 177 s.
- NYKÄNEN, M.-L., PELTOLA, H., QUINE, CH., KELLOMÄKI, S., BROADGATE, M., Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. (1997). Silva Fennica. 1997. 31(2) 193–213. ISSN 0037-5330
- PAŘEZ, J., 1972. Vliv podúrovňové a úrovňové probírky na výši škod sněhem v porostech pokusných probírkových ploch v období 1959–1968. Lesnictví, 18, 134–154.

- PELTOLA, H., NYKÄNEN, M.-L., a KELLOMÄKI, S., 1997 Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and birch sp. at stand edge." *Forest Ecology and Management* 95(3), 229–241.
- PEŘINA, V., 1985. Pěstování a obnova lesa v imisních oblastech. In ČVANČARA, R. et al., 1985. *Lesnická ekotechnika. Studijní texty. VŠZ Praha, Praha*, 53–62.
- PFEFFER, A., 1961, *Ochrana lesů. Státní zemědělské nakladatelství, Praha*, 838 s.
- In SIMON. J. et al., 2010. *Strategie managementu lesních území se zvláštním statutem ochrany. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy*, 220.
- POLANSKÝ, B., 1930. Účinky neobyčejně tuhé zimy v roce 1928–29 na lesní dřeviny. *Sborník výzkumných ústavů zemědělských a lesnických v ČSR. Svazek 60. Ministerstvo zemědělství Československé republiky, Praha*, 216 s.
- POLANSKÝ, B., 1931. Druhotné účinky tuhé zimy v roce 1928–29 na lesní dřeviny. *Sborník výzkumných ústavů zemědělských a lesnických v ČSR. Svazek 74. Praha, Ministerstvo zemědělství Československé republiky*, 98 s.
- POLÍVKA, F., 1902. *Názorná květena zemí koruny české, svazek IV. Knihkupectví R. Prombergera, Olomouc*. 631–636.
- PRAŽÁK, J. M., NOVOTNÝ F., SEDLÁČEK, J., 1948. *Latinsko-český slovník. Česká grafická unie v Praze, Praha*, 1425.
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J., 1998. *Fyziologie rostlin. Vyd. 1. Praha: Academia*, 484 s. ISBN 80-200-0586-2.
- PRPIĆ, B., 1969. Über den Einfluss von Stammform und Standort auf die Sturmfestigkeit der Fichte. *Schweiz. Z. Forstwes* 120. 145–154.
- PSIKA, T., 2005. Masivní ochlazení na Silvestra 1978. [online] citováno 15. 10. 2006. Dostupné na World Wide Web: http://www.cbox.cz/tomas_psika/silvestr78.html.
- REJZEK, J., 2004. *Český etymologický slovník. 1.vyd. Voznice: LEDA, 2001*, 752 s. ISBN 80-85927-85-3
- REŽNÝ, K., 1977. Zeměpisné poměry. In ROČEK, Z. (ed.), 1977. *Příroda Orlických hor a Podorlicka. Státní zemědělské nakladatelství, Praha*, 229–286.
- REPO, T., 1992. Seasonal changes of frost hardiness in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(12), 1949–1957.
- RYCHNOVSKÁ, M., 1960. Heslo stonek. In ČABART, J.. *Naučný slovník lesnický. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, s. 1981–1983*.

- SENER, M., BECK, E., 1977. On the mechanisms of frost injury and frost hardening of spruce chloroplasts. *Planta* 137(3), 195–201.
- SEREDA, O., 1994. Mechanika zlomů kmene smrku zatížených námrazou nebo mokrým sněhem. *Lesnictví*, 40(7–8), 276–283. ISSN 0024-1105
- SHIGO, A. L., 1991. *Modern Arboriculture: A Systems Approach to the Care of Trees and Their Associates*. Shigo and Trees, Associates, Durham, 423 s. ISBN 0-943563-09-7
- SCHELHAAS, M.-J., NABUURS G.-J., SCHUCK A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), 1620–1633.
- SCHMIDT, P. A., 1991. Beitrag zur Kenntnis der in Deutschland anbaufähigen Fichten (Gattung *Picea* A. Dietr.). *Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges.*, 80, 7–72. In MUSIL, I., HAMERNÍK, J., 2007. *Jehličnaté dřeviny. Lesnická dendrologie 1*. Academia, Praha, 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1977. *Die Fichte – Band 1: Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften*. Paul Parey Verlag, Hamburg, 647 s.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1986. *Die Fichte – Band II/1: Wachstum, Züchtung, Boden, Umwelt und Holz*. Paul Parey Verlag, Hamburg, 563 s. ISBN 3-490-08416-0
- SCHMIDT-VOGT, H., 1991. *Die Fichte – Band II/3: Waldbau, Ökosysteme, Urwald, Wirtschaftswald, Ernährung, Düngung und Ausblick*. Paul Parey Verlag, Hamburg, 563 s. ISBN 3-490-09716-5
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1990. *Anatomie europäischer Hölzer/Anatomy of European woods*. Verlag Paul Haupt, Bern, 116–117. ISBN 32-580-4258-6
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1996. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Paul Haupt Publisher, Bern, 610 s.
- SCHULZE, E.-D., BECK, E., MÜLLER-HOHENSTEIN, K., 2005. *Plant Ecology*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 702 s. ISBN 3-540-20833-X
- SCHULZE, E.-D., LANGE, O. L., OREN, R. (eds.), 1989. *Forest Decline and Air Pollution*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 475 s. ISBN 3-540-50793-0
- SKALICKÁ, A., SKALICKÝ, V., 1988. *Picea* A. Dieter – smrk. In HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. *Květena České socialistické republiky 1*. Academia, Praha, 317–322.
- SKALICKÝ, V., 1988. Regionálně fytogeografické členění. In HEJNÝ, S. et SLAVÍK, B. (eds.), *Květena České socialistické republiky 1*. Academia, Praha., 103–121.

- SLODIČÁK, M., 1982. Rozbor a lokalizace sněhových polomů na vzorovém území LHC Deštné. Zprávy lesnického výzkumu, 27(4), 28–32.
- SLODIČÁK, M., 1983a. Vliv řadového sponu na tvar korun smrku. Zprávy lesnického výzkumu, 28(3), 14–18.
- SLODIČÁK, M., 1983b: Vliv výchovy smrkových porostů na škody sněhem a větrem. Lesnická práce, 62(5), 205–209.
- SLODIČÁK, M., 1983c: Výskyt poškození sněhem a větrem v rozdílně vychovávaných smrkových porostech. Práce VÚLHM 62, VÚLHM, Jíloviště-Strnady, 151–178.
- SLODIČÁK, M., 1985a. Vliv nadmořské výšky na tloušťkový a výškový růst mladých smrkových porostů ve vztahu k odolnosti vůči škodám sněhem. Práce VÚLHM 67, VÚLHM, Jíloviště-Strnady, 297–322.
- SLODIČÁK, M., 1985b. Resistance of young spruce stands to snow and wind damage in dependence of thinning. Communicationes Instituti Forestalis Čechosloveniae, vol. 15. VÚLHM, Jíloviště-Strnady, 75–86.
- SLODIČÁK, M., 1987. Výchova mladých smrkových porostů ohrožených sněhem a její vliv na růst a statickou stabilitu stromů různých stromových tříd. Lesnictví, 33(12), 1091–1106.
- SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., 2004. Norway spruce thinning experiment Polom (Eastern Bohemia) after 22 years of observation. Journal of Forest Science, 50(1), 1–10
- SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., DUŠEK, D., 2009. Návrh zásad výchovy porostů s převahou smrku ztepilého v lesních porostech Orlických hor. In NOVÁK, J., SLODIČÁK, M. (eds.), 2009. Pěstování lesů v Orlických horách. Sborník přednášek odborného semináře, Polom 24. 6. 2009, VULHM, Opočno, 20–37.
- SOUČEK, J., 2009. Vývoj smrkových porostů poškozených sněhem na lokalitě Polom. In NOVÁK, J., SLODIČÁK, M. (eds.), 2009. Pěstování lesů v Orlických horách. Sborník přednášek odborného semináře, Polom 24. 6. 2009, VULHM, Opočno, 54–55.
- SOUKUP, F., 1999. Poškození smrku v Orlických horách. (Poradenské sdělení pro ORLH MZe ČR Praha). VÚLHM Jíloviště-Strnady, 1 s.
- STRACHOTA, J., 1930. Lesnictví a lovectví českého severovýchodu v roce 1929. Československý les, 10(8), 63–64.
- ŠACH, F., 1994. Vyjádření ke stavu smrkových kultur v oblasti Pěticestí na základě pochůzky vykonané 5. srpna 1994. (Poradenská zpráva pro SKL Rychnov nad Kněžnou). VÚLHM – VS Opočno, 1 s.

- ŠIMERDA, L., NÁROVEC, V., 2007. K loňské sněhové kalamitě v Orlických horách. Lesnická práce, 86(3), 30–31.
- ŠKORPILOVÁ, L., 2009. Četnost a čas výskytu pryskyřičných kanálků ve dřevě smrku ztepilého jako projev stresu. 2009. Diplomová práce, MZLU v Brně, Brno, 62 s.
- ŠMÍD, M., 1987. Průvodce odbornými názvy rostlin. ZO ČSZ Alpinky, Plzeň, 17, 254.
- ŠPINLEROVÁ, Z., 2005. Migrační a adaptační rostlinné indikátory ve vztahu k lidské činnosti v krajině (disertační práce). MZLU v Brně, Brno, 219 s.
- ÚRADNÍČEK, L., MADĚRA, P., TICHÁ, S., KOBLÍŽEK, J., 2009. Dřeviny České republiky. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 274. ISBN 978-80-87154-62-5
- TESAŘ, V., 1985. Meteorologické a klimatické vlivy na odolnost lesa v imisních oblastech. In: ČVANČARA, R. et al., 1985. Lesnická ekotechnika. Studijní texty. VŠZ Praha, Praha, 45–47.
- TJOELKER, M. G.; BORATYŃSKI, A.; BUGAŁA, W. (eds.), 2007. Biology and Ecology of Norway Spruce. Springer Verlag, Dordrecht, 469 s. ISBN 978-1-4020-4840-1
- TOLASZ, R. et al., 2007. Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1
- TROLL, W., 1954. Praktische Einführung in die Pflanzenmorphologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 258 s.
- UHLÍŘOVÁ, H., KAPITOLA, P., 2004. Poškození lesních dřevin. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 280 s. ISBN 80-86386-56-2
- VACEK, S., HANIŠ, J., MINX, A., FIŠERA, J., PODHRÁZSKÝ, V., BALCAR, V., 2000. Vývoj poškození lesních ekosystémů Orlických hor. In Slodičák, M. (ed.): Sborník ze semináře Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. VÚLHM VS Opočno, 39–64
- VACEK, S., BALCAR, V., Možnosti obnovy a stabilizace lesních ekosystémů Orlických hor, 2000. In Slodičák, M. (ed.), 2000. Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. VÚLHM – Výzkumná stanice Opočno, 117–132. ISBN 80-902615-9-0
- VACEK, S. et al., 2003. Horské lesy České republiky. Ministerstvo zemědělství České republiky, 319. ISBN 80-7084-239-3
- VASTARANTA, M., et al., 2012. Mapping of snow-damaged trees based on bitemporal airborne LiDAR data. European Journal of Forest Research, 131(4), 1217–1228.

- VELENOVSKÝ, J., 1907. Všeobecná botanika: srovnávací morfologie. Díl II. Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha, 235–612.
- VICENA I., PAŘEZ J., KONÔPKA J. (1979): Ochrana proti polomům. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha, 244 s.
- VICENA, I., 1995a. Heslo *stabilita statická*. In KOLEKTIV. Lesnický naučný slovník II. díl. Ministerstvo zemědělství, Praha, 347–349. ISBN 80-7084-131-7
- VICENA, I., 1995b. Heslo *zlom*. In KOLEKTIV. Lesnický naučný slovník II. díl. Ministerstvo zemědělství, Praha, 644. ISBN 80-7084-131-7
- VICENA, I., 2001. Hniloby stromů a polomy. Zprávy lesnického výzkumu – Reports of Forestry Research, 46/2, 125–127. In SIMON. J. et al., 2010. Strategie managementu lesních území se zvláštním statutem ochrany. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 220.
- VIDAKOVIĆ, M., 1991. Conifers: morphology and variation. Grafički zavod Hrvatske, Zagreb, 754 s. ISBN 86-399-0279-8
- WAGNER, G., 1930. Lehrbuch des Forstschutzes. Parey, Berlin, 357 s. In VICENA I., PAŘEZ J., KONÔPKA J. (1979): Ochrana proti polomům. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha, 244 s.
- WALLENTIN, C., NILSSON, U., 2014. Storm and snow damage in a Norway spruce thinning experiment in southern Sweden. Forestry, Forestry 87, 229-238.
- WIMMER, R., GRABNER, M., 2000. A comparison of tree-ring features in *Picea abies* as correlated with climate. IAWA Journal 21(4), 403-416.
- WÜTHERICH, G., 1991. Untersuchungen über Widerstandsfähigkeit der Fichte gegenüber Schnee in Abhängigkeit von Stamm- und Kronenform in Beständenverschiedener Struktur und Alterstufen. Manuskript Waldbau-Inst. Univ. Freiburg. In SCHMIDT-VOGT, H., 1991. Die Fichte. Band II/3 : Ein Handbuch in zwei Bänden. Band II in drei Teilbänden. Verlag Paul Parey, Hamburg, 492–493. ISBN 34-900-9516-2.
- ZEIGER, E., PELZ, E., HORNIG, W., 1958: Ergebnisse einer Umfrage über Umfang und Art der Frostschäden des Winter 1955/56 in der Staatlichen Forstwirtschaftsbetrieben der DDR. Archiv für Forstwesen, 7(4/5), 316–337.

10. Seznam použitých symbolů, zkratek a převodní faktory

apod.	a podobně
Bong	Bongard (příjmení vědce)
Carr.	Carrière (příjmení vědce)
cca	cirka, přibližně (latinsky circa)
cm	centimetr, jednotka délky (1 cm = 10 mm)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSR	Česká socialistická republika
ČSSR	Československá socialistická republika
d _{1,3} m	průměr kmene ve výšce 1,3 m od povrchu země (výčetní výška)
DM	Deutsche Mark (platidlo v Západním Německu)
ed.	editor
eds.	editoři
emend.	emendavit (opravit)
et al.	a ostatní
FAA	formalin – acetic acid – alcohol (fixační roztok)
g	gram; jednotka hmotnosti (1 000 g = 1 kg)
GPa	gigapascal
ha	hektar; plošná míra (1 ha = 10 ⁴ m ²)
HCl	kyselina chlorovodíková
Höhn.	Höhnel (příjmení vědce)
CH4	chladná klimatická oblast dle Quitta
CHKO	Chráněná krajinná oblast
in	v
Karst.	Karsten (příjmení vědce)
kg	kilogram; jednotka hmotnosti (1 kg = 1 000 g)
km	kilometr; jednotka délky (1 km = 1 000 m)
km ²	kilometr čtvereční; plošná míra (1 km ² = 10 ⁶ m ²)
ks	kus, kusů (počet)
L.	Linnaeus (příjmení vědce)
Lagerb.	Lagerberg (příjmení vědce)
LDF	Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně

LHC	lesní hospodářský celek
LiDAR	Light Detection And Ranging – metoda dálkového průzkumu měření vzdálenosti na základě výpočtu rychlosti odraženého pulsu laserového paprsku od snímaného objektu
m	metr; jednotka délky (1 m = 1 000 mm)
m n. m.	nadmořská výška (metrů nad mořem)
MENDELU	Mendelova univerzita v Brně
mil.	milión (1 000 000)
mj.	mimo jiné
ml	mililitr; dutá míra (1 ml = 10^{-3} l = 1 cm ³)
mm	milimetr; délková míra (1 mm = 10^{-3} m) a míra srážek (1 mm = 1 litr vody na 1 m ² plochy)
mm ²	milimetr čtvereční; plošná míra (1 mm ² = 10^{-6} m ²)
MOE	modul pružnosti ve statickém ohybu
MOR	pevnost dřeva ve statickém ohybu
MPa	megapascal
MT5	mírně teplá klimatická oblast dle Quitta
MZe	Ministerstvo zemědělství
MZLU	Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
např.	například
obr.	obrázek
OH	Orlické hory
prof.	profesor
prům.	průměrný
P/t	Langův index (podíl srážek a průměrné teploty)
r.	rok
resp.	respektive
s.	strana
SRN	Spolková republika Německo
s. š.	severní šířky (zeměpisné souřadnice)
SKL	Správa Kolowratských lesů
SLT	soubor lesních typů
subsp.	subspecies, poddruh

tab.	tabulka
tj.	to jest
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesa
v. d.	východní délky (zeměpisné souřadnice)
VS	Výzkumná stanice
VŠZ	Vysoká škola zemědělská
VÚLHM	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti
μm	mikrometr; délková míra ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)
π	Ludolfovo číslo = 3,14159 26535 89783...
°, ', "	stupeň, minuta, vteřina (zeměpisné souřadnice)
%	procento (1/100 celku)