

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Letokruhová analýza dřeva jasanu ztepilého  
(*Fraxinus excelsior*)**

Diplomová práce

Autor: Bc. Václav Pergl

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.

2016

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Letokruhová analýza dřeva jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*) vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Čady, Ph.D. a použil/a jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom/a že zveřejněním bakalářské / diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 20.4.2016

Děkuji Ing. Vojtěchu Čadovi, Ph.D. coby vedoucímu práce a Mgr. Ing. Jiřímu Lehečkovi coby odbornému konzultantovi za vydatnou pomoc při vypracování této práce.

## Abstrakt

Dřevo jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*) je tradičně ceněno pro své mechanické vlastnosti. Tato práce se snaží vyjasnit souvislosti mezi jeho vlastnostmi, makroskopickými znaky, stanovištními podmínkami a věkem stromu. Shrnuje poznatky z dostupné literatury a porovnává je s vlastním souborem dat získaných letokruhovou analýzou vzorků z tří odlišných typů stanovišť včetně jednoho mimo les. Vývrty z celkem šesti lokalit byly zpracovány cestou digitální analýzy obrazu. Regresní analýzy a Kruskal-Wallisova analýza rozptylu mj. potvrdily závislost zastoupení letního dřeva na šířce letokruhu a věku stromu s ohledem na jednotlivá stanoviště. Nelesní stanoviště se několika ohledech výrazně odlišuje. Dodatečně byla potvrzena korelace denzitometrických dat pořízených optickou metodou Blue intensity se zastoupením letního dřeva.

## Klíčová slova

*Fraxinus excelsior*, mechanické vlastnosti, jarní dřevo, letní dřevo, zastoupení letního dřeva, hustota

## **Abstract**

European Ash (*Fraxinus excelsior*) is regarded as a high-quality timber species. This work is aimed to clarify relationships of the mechanical properties, macroscopic structure of its wood and habitat. Information has been gathered from available sources and compared to my own data collected at three different types of habitat, one of which is nonforest. Cores from a total of six plots were analysed at a growth-ring level using a digital image analysis software. A set of regression analyses and a Kruskal-Wallis analysis of variance confirmed e.g. the dependency of latewood proportion upon ring-width, in regard to the different habitats. The nonforest habitat exerts significantly different results in comparison to the forest stands. Additionally, density data assessed via the optical method known as Blue intensity were confirmed to be correlated to latewood proportion.

## **Keywords**

*Fraxinus excelsior*, mechanical properties, earlywood, latewood, latewood proportion, density

# Obsah

<b>Abstrakt</b> .....	<b>4</b>
<b>Klíčová slova</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Keywords</b> .....	<b>5</b>
<b>Obsah</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek, obrázků a grafů</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Cíle</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Rozbor problematiky</b> .....	<b>7</b>
3.1 <i>Dřevo s kruhovitě pórovitou stavbou</i> .....	7
3.1.1 <i>Letokruhová struktura a analýza</i> .....	9
3.1.2 <i>Mechanické a vlastnosti</i> .....	12
3.1.2.1 <i>Fyzikální faktory s vlivem na mechanické vlastnosti</i> .....	14
3.1.2.2 <i>Strukturní faktory s vlivem na mechanické a fyzikální vlastnosti</i> ....	18
3.2 <i>Jasan ztepilý</i> .....	22
3.2.1 <i>Základní údaje</i> .....	22
3.2.2 <i>Ekologie</i> .....	24
3.2.3 <i>Proměnlivost</i> .....	27
3.2.4 <i>Pěstební péče</i> .....	28
3.2.5 <i>Jasanové dřevo</i> .....	30
3.2.5.1 <i>Proměnlivost vlastností jasanového dřeva</i> .....	33
3.3 <i>Souhrn poznatků</i> .....	36
<b>4 Metodika</b> .....	<b>37</b>
4.1 <i>Sběr a příprava dat</i> .....	37
4.1.1 <i>Výběr ploch a odběr vzorků</i> .....	37
4.1.2 <i>Zpracování vzorků</i> .....	40
4.1.3 <i>Příprava dat</i> .....	43
4.1.4 <i>Popis proměnných</i> .....	44
4.2 <i>Statistické zpracování dat</i> .....	45
4.2.1 <i>Analýza rozptylu sumárních dat stromu podle stanoviště</i> .....	46
4.2.2 <i>Regresní analýza letokruhových řad</i> .....	48
4.2.2.1 <i>Charakteristika použitých dat a design analýzy</i> .....	48
4.2.2.2 <i>Hodnocení výsledků</i> .....	52
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>53</b>
5.1 <i>Analýza rozptylu sumárních dat stromu podle stanoviště</i> .....	53
5.2 <i>Regresní analýza letokruhových řad</i> .....	54
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>58</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>63</b>
<b>Seznam literatury a použitých zdrojů</b> .....	<b>65</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>71</b>

## Seznam tabulek, obrázků a grafů

Obr. 1	Současné rozšíření jasanu ztepilého. Zdroj: Fraxigen 2005 .....	24
Obr. 2	A) srovnání tří zhotovených snímků téhož vzorku B) rozpoznání letokruhů s pomocí jiného snímku (stejně zvětšení) C) příklad letokruhu odhaleného teprve metodou křížového datování D) Ukázka určení hranice jarního a letního dřeva .....	41
Obr. 3	Krabicové grafy průměrné šířky letokruhu a zastoupení letního dřeva na jednotlivých plochách .....	47
Obr. 4	Srovnání průměrných řad stejných letokruhových dat ze všech ploch. Nahoře řada časová, dole věková. Patrná je relativně stabilní šířka jarního dřeva a naopak vysoká korelace šířky dřeva letního s šířkou celého letokruhu. ....	50
Obr. 5	Závislost průměrného zastoupení letního dřeva na výšce stromu. Regresní přímka je určena pouze rozdílem mezi alejemi a ostatními stanovišti. ....	54
Obr. 6	Srovnání výsledků s literaturou: Gandelová et al (1996, <i>Fraxinus angustifolia</i> ) .....	59
Tab. 1	Popisná statistika souborů průměrné šířky letokruhů a zastoupení letního dřeva ve vzorku.....	45
Tab. 2	Výsledky Leveneova testu pro rozptyl veličin podle kategorií plochy (LOK) .....	48
Tab. 3	Princip transformace časových řad na věkové.....	49
Tab. 4	Výsledky Kruskal-Wallisovy analýzy rozptylu .....	53
Tab. 5	Srovnání Pearsonových korelačních koeficientů pro časové a věkové řady. Nejsilnější vztah je v obou případech mezi LW% a logRW, pro časové řady silnější. ....	55
Tab. 6	Výsledky regresních analýz, vybrané ukazatele .....	57

## 1 Úvod

Dřevo je pro člověka vysoce významný materiál používaný po celou dobu jeho historie. Za své využití ve stavebnictví, ale i nábytkářství a řadě dalších zpracovatelských oborů, vděčí velkou měrou svým užitným vlastnostem, příkladem může být stavební materiálová únosnost v příznivém poměru k hmotnosti. Tato a podobné charakteristiky jsou odvozeny m. j. od základních mechanických vlastností dřeva, mezi které řadíme pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost (Gandelová Et Al. 1996), od vlastností fyzikálních a způsobu jeho zpracování. Jsou-li tyto kvality poptávány odběrateli dřevní suroviny a promítají-li se do ceny obchodovaného dříví, musí být zájmem dodavatele, tedy lesnického sektoru, znát předpoklady jejich dosažení a metody jejich stanovení. Protože ale není z praktického hlediska možné za všech okolností vyhodnotit mechanické vlastnosti dříví přímo, můžeme s užitkem, byť jen omezeně, odvozovat jejich míru z ověřených prediktorů (Romagnoli Et Al. 2014) - z relevantních zástupných veličin, z makroskopických znaků dřeva a konečně též provádět kvalifikovaný odhad na základě stanovištních a pěstebních podmínek rostoucích stromů.

## 2 Cíle

Cílem práce je zhodnotit základní parametry ovlivňující kvalitu dřeva jasanu ztepilého, jejich vzájemný vztah a vliv dalších vlastností zkoumaných stromů. Klíčové otázky, na něž autor hledá odpovědi, jsou:

- Jak souvisí dynamika růstu s kvalitou dřeva z hlediska mechanického?
- Podléhá tento vztah stanovištním podmínkám, případně věku dřeviny?

K jejich zodpovězení využívá relevantních literárních zdrojů a následně formuluje hypotézy pro vlastní výzkum dílčí problematiky.



### 3 Rozbor problematiky

Abychom mohli hodnotit vztahy vlastnostmi dřeva a jeho růstovými podmínkami, je třeba se nejprve obeznámit s obojí touto problematikou zvlášť, ucelit soubor znalostí, s nimiž nakládá praktická část práce. Zařazuji proto na tato témata nejprve rešerši literatury. Pro opodstatnění hledání souvislostí mezi makroskopickými znaky a mechanickými vlastnostmi dřeva stručně nastiňuji některé obecné poznatky a dále v tomto ohledu specifika dřeva jasanového. V charakteristice jasanu ztepilého jako dřevinného druhu se zaměřuji zejména na jeho ekologické nároky, pěstební zkušenosti, vlastnosti dřeva a jeho využití. Považuji však za účelné nevynechat ani stručnou charakteristiku z hlediska biologie a morfologie.

#### 3.1 *Dřevo s kruhovitě pórovitou stavbou*

Vzhledem k zaměření této práce budou následující kapitoly do jisté míry omezeny a vztaheny k dřevu tzv. kruhovitě pórovitých dřevin, mezi něž řadíme i jasan.

Z hlediska biologie dřevem rozumíme vláknité, trvalé, lignifikované pletivo nacházející se ve stonku a kořeni některých semenných rostlin, jež s jeho neukončenou tvorbou sekundárně tloustnou, tj. dřevin. Nové buňky dřevního komplexu se utváří během vegetačního období dělením vřetenovitých kambiálních iniciál, které následně rostou, diferencují se, rozpouštějí příčné přihrádky a lignifikují (dřevnatí). S výjimkou parenchymatických buněk během téhož roku vyčerpávají protoplast a odumírají (Gandelová Et Al. 1996), čímž de facto dosahují způsobilosti pro svou funkci vodivého pletiva, kterou tedy převážně zastává pouze soustava buněčných stěn a prázdných vnitrobuněčných prostor – lumenů. Přesto pro tyto elementy budu nadále budu používat technicky ne zcela správného souhrnného výrazu „buňky“ (Ross Et Al. 2010). V případě listnáčů jsou

produktem popsané diference buďto články cév (tracheje), cévice (tracheidy) různého typu, dřevní vlákna (libriform) a podélný parenchym. Parenchym dřevných paprsků vzniká z jiného druhu iniciál (Gandelová Et Al. 1996) a zajišťuje radiální systém vodivých drah pro biochemickou komunikaci, propojený se systémem axiálním, tvořeným ostatními, již vyjmenovanými elementy (Ross Et Al. 2010). Podélný parenchym listnáčů slouží stejně jako dřevné paprsky k rozvodu a ukládání zásobních látek a je-li hojně zastoupen, je makroskopicky pozorovatelný jako světlé pletivo. Podle umístění ve vztahu k cévám rozlišujeme parenchym apotracheální a paratracheální, který může tvořit tvarově specifická uskupení (Wagenführ 1989).

Funkci vodivého pletiva zastávají převážnou měrou cévy a některé cévice (v našem případě vazicentrické) a parenchym. Cévy se na příčném řezu mohou jevit odděleně, ale podél svého axiálního průběhu se setkávají s jinými cévami a vytváří tak jakousi cévní síť (Kitin Et Al. 2004). Případné propojení skrze hranici letokruhu je zajištěno pomocí dvůrkatých ztenčení (dvojteček). Libriform a vláknité cévice plní v první řadě mechanickou funkci, případně zásobní. Silně sklerotizovaná dřevní vlákna tak zaujímají většinu hmoty (dřevní substance) letokruhu díky svým širokým stěnám a vysoké hustotě pletiva.

Sekundární buněčná stěna je tvořena druhově specifickou směsí celulózních a hemicelulózních makromolekul a ligninu. Jmenovitě její střední vrstva je dominantním původcem hlavních vlastností buněčné stěny. Jednotlivé dřeviny se liší skladbou zmíněných polymerů co do druhu i množství (Gandelová Et Al. 1996). Rozměry vláknitých buněk, ale i úhly uložení mikrofibril v buněčné stěně jsou mj. významné i při chemickém zpracování dřeva např. na buničinu (Čunderlík 2011).

Během několika prvních let vytvářejí dřeviny takzvané juvenilní dřevo, které svými vlastnostmi plně neodpovídá dřevu tvořenému po zbytek života dřeviny, respektive dochází zde k jejich překotným posunům ve vlastnostech. Juvenilní dřevo je trvalé, zůstává uvnitř kmene a jeho letokruhy jsou za normálních okolností většinou nadprůměrně široké. Proto se také z analýz zpravidla eliminuje vynecháním prvních 5-15 letokruhů od dřeně.

Na okraji kmene naopak nacházíme aktivně vodivou část dřeva s metabolicky aktivním parenchymem - běl. Volnější definice běli zahrnuje veškeré nezbarvené letokruhy pod kůrou. Naopak v jádru, resp. vyzrálém dřevě se živý parenchym nevyskytuje, cévní elementy jsou neprůchozí (druhotně vyplněné thylami apod.), jsou zde ukládány látky (extraktiva) různého účelu, například ochrany proti patogenům. Ty jsou vytvářeny na hranici běli a jádra buňkami se stále živým parenchymem a následně exudovány do buněk jádra skrze ztenčeniny (Ross Et Al. 2010). Zatímco u jehličnanů je v transportu vody aktivní celá běl, u listnáčů je to jen několik prvních letokruhů, majoritním dílem pouze ten poslední. Podle Brauna (1963 in Wagenführ 1989) navíc pro jarní dřevo kruhovitě pórovitých dřevin, jako je jasan, platí, že vodivou funkci ztrácí již druhým rokem, zatímco u letního dřeva je zachována ještě přibližně dva další roky. Je tedy nutnou skutečností, že makropóry (viz dále) kruhovitě pórovitých dřevin dosahují několikanásobně vyšších rychlostí transportu roztoků, než analogická pletiva jiných dřevin.

### *3.1.1 Letokruhová struktura a analýza*

Dřeviny rostoucí typicky v mírných podnebních pásmech vytvářejí v závislosti na průběhu teplot během roku xylémové pletivo s odlišnou morfologií a se vstupem do zimního období dormance tuto tvorbu ukončují.

Časový rámeček tvorby letokruhu je svázán s rašením, respektive opadem listů, časově si však neodpovídají zcela přesně. Kruhovitě pórovité dřeviny tvoří první jarní cévy ještě dříve, než se listy rozvinou, dřeviny roztroušeně pórovité až poté. Promítají se zde různé vlivy (Wagenführ 1989).

Míra strukturní odlišnosti dřeva tvořeného na konci předchozího a na začátku následujícího vegetačního období udává zřetelnost hranice letokruhu neboli mezeročního tloušťkového přírůstu. V rámci jednoho letokruhu, rozlišujeme-li zmíněné zóny, mluvíme o jarním a letním (pozdním) dřevě. Dřevinami s kruhovitě pórovitou stavbou konečně označujeme ty opadavé listnáče, které v jarním dřevě obsahují množství tlustých cév (makropórů) a utváří tak na příčném řezu více či méně zřetelné kružnice s vyšší pórovitostí, zatímco ve zbylé části letokruhu se tyto téměř nevyskytují. V protikladu stojí dřeviny roztroušeně pórovité (*Acer sp.*, *Betula sp.*), za přechodný typ můžeme označit dřeviny přechodně kruhovitě pórovité (*Juglans sp.*, *Cerasus sp.*). Samostatnou skupinu tvoří jehličnany, které svými výraznými letokruhy mohou připomínat dřevo kruhovitě pórovité, strukturou i vlastnostmi se však liší.

Jsou to právě letokruhy, tak jak je spatřujeme na příčném řezu kmenem (či větví, kořenem) stromu, které jsou terčem pozornosti nejen vědců, ale například i technologů, právě pro jejich souvislost s mechanickými a fyzikálními vlastnostmi dřeva jako materiálu. Zároveň poskytují cenné informace o faktorech, které v minulosti podporovaly, nebo naopak tlumily růst stromu (Wagenführ 1989) a o stavu životního prostředí stromu během jeho historie vůbec. Rozpoznání hranice letokruhu je klíčovým předpokladem pro počítání i měření letokruhů. Diagnostickými znaky jsou krom velikosti buněk zóny chudé resp. bohaté na póry, zploštění hraniční vrstvy buněk a případná pásma parenchymu.

Kompozice a struktura letokruhu závisí v první řadě na druhu dřeviny a její genetické konstituci (resp. původu reprodukčního materiálu), významných faktorů je ale celá řada. Stanovištní podmínky (půda, nadmořská výška, zeměpisná šířka), sezónní klimatické změny, věk dřeviny, fyziologický stav, sociální postavení a pěstební opatření se projevují na šířce letokruhu (Gandelová Et Al. 1996). Ta je nestálá a běžně se liší nejen letokruh od letokruhu, ale i v rámci téhož roku podle polohy ve kmeni (jak s výškou, tak i na příčném řezu). Obdobná tvrzení platí i pro šířku, resp. podíl letního/jarního dřeva (Wagenführ 1989). Obě veličiny se jeví mít přímou vazbu na rozsáhlost asimilačního aparátu stromu, která je nakonec též odrazem intenzity růstu v závislosti na příznivosti podmínek. Požgaj (1993) uvádí: „Stromy s malými korunami a v nepříznivých podmínkách mají šířku letokruhu i nižší, než 1 mm, zatímco stromy s rozsáhlou korunou mohou naopak tvořit letokruhy se šířkou přes 10 mm.“ Protože objem vrstvy posledního letokruhu je výrazně větší, než objem letokruhů tvořených v mládí (při teoreticky stejné šířce), strom potřebuje na jejich vybudování výrazně rozsáhlejší asimilační aparát. V tom lze spatřovat příčinu klesajícího trendu šířky letokruhů s rostoucím průměrem stromu. Se zvětšující se šířkou letokruhu roste i podíl letního dřeva u kruhovitě pórovitých dřev, na rozdíl od jehličnanů, kde klesá (Požgaj Et Al. 1993).

Letokruhová analýza, nejčastěji analýza radiálního přírůstu podle času, kterou se zabývá dendrochronologie, poskytuje podstatné ukazatele pro zpětné zhodnocení kriticky působících vlivů, jako například výkyvy teplot či srážkových úhrnů, nedostatek živin, poškození hmyzem, požárem, nebo též náhlé uvolnění korunového zápoje (např. Pergl 2013). Podle Gandelové et al. (1996) se obecně šířka letokruhu snižuje s nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou, s věkem a zároveň radiální vzdáleností od dřene. Naopak s vertikální vzdáleností od paty stromu nejdříve šířka klesá a od

jistého bodu směrem k vrcholu opět roste (Wagenführ 1989, Šmelko 2000). Chronologické řady šířky letokruhů ale není možné plně srovnávat mezi různými druhy dřevin (Wagenführ 1989).

V jarním dřevě nacházíme buňky s nejtenčími stěnami a nejrozsáhlejším lumenem. Rozlišení jarního a letního dřeva se proto u jehličnanů zakládá na příčném průměru buněk a tloušťce buněčných stěn. V případě dřevin kruhovitě pórovitých je obecně za jarní dřevo považována vrstva s výskytem makropórů (cca > 0,1 mm, nejčastěji 0,2 - 0,4 mm), tloušťka stěn se zpravidla neuvažuje (Požgaj Et Al. 1993). Letní dřevo je tedy pletivem s větší hustotou, širšími stěnami a menšími dutinami vláken, sloužící k opoře. U kruhovitě pórovitých dřevin je odlišeno tenčími cévami (mikropóry) určitým způsobem rozmístěnými mezi dřevními vlákny a případným parenchymem.

### *3.1.2 Mechanické a vlastnosti*

Protože dřevo jasanu nachází odbyt zejména coby řezivo a dostává se mu následně mechanického obrábění na různé dřevěné výrobky (například truhlářského nebo stavebního charakteru, viz následující kapitoly), na hodnocení jeho kvality jako materiálu v této práci nahlížím předně z úhlu jeho mechanických vlastností. Ty popisují specifika chování materiálu vystaveného vnějším silám, mechanickému namáhání, které mění tvar tělesa. Jejich výčet je rozsáhlý, zmíníme stručně jen některé z nejvýznamnějších s ohledem na právě zmíněné skutečnosti.

Pro ozřejmění souvislostí makroskopických charakteristik a mechanických vlastností dřeva musíme dekomponovat faktory jednotlivých vlastností na nejnižší relevantní úroveň. V tomto smyslu následuje hledání příčinných souvislostí „shora“ - od nejzjevnějších jevů po zákonitosti na

buněčné nebo dokonce molekulární úrovni. Ještě hlubší rozbor je mimo možný rámec této práce.

Vlastnosti dřeva odpovídají jeho anatomické a chemické stavbě. Je tedy třeba mít na zřeteli, že odrážejí obecné charakteristiky vyplývající z jeho (mikro)struktury – nehomogenitu, anizotropii, resp. přibližnou ortotropii, hygroskopicitu a pórovitost. Platí to jak pro vlastnosti fyzikální, tak mechanické. Ortotropie (nezávislost vlastností ve třech vzájemně kolmých směrech - axiálním, radiálním, tangenciálním) je dána orientací kovalentních a vodíkových vazeb mezi molekulami stavebních látek ve dřevě spolu s tvarem a uspořádáním mechanických elementů dřeva – tracheid a libriformních vláken. Jejich průběh má zásadní vliv na mechanické vlastnosti, konkrétně ve smyslu zpravidla násobně vyšší pevnosti a pružnosti při namáhání ve směru dřevních vláken, tj. ve směru axiálním (podélném) oproti radiálnímu a tangenciálnímu (Gandelová Et Al. 1996). Dřevní pórovitost je na druhou stranu určena výskytem vodivých elementů (zejm. cév). Vlivem heterogenity dřeva můžeme očekávat rozdílné vlastnosti různých segmentů či pletiv i v jednom vzorku dřeva, například s proměnlivou velikostí vláken nebo výskytem pórů. S typickými odlišnostmi se budeme setkávat při srovnání mezi jarním a letním dřevem nebo jednotlivými letokruhy, polohou ve kmeni a podobně.

Pružnost, jedna ze základních mechanických vlastností, vyjadřuje schopnost materiálu nabývat původního tvaru po odstranění všech působících vnějších sil. Lze ji popsat hlavně pomocí modulů pružnosti (Youngových modulů  $E_i$  pro namáhání v tlaku, tahu a ohybu, a smykových modulů  $G_{ij}$  při namáhání ve smyku a krutu), které udávají míru deformace ve směrech namáhání a koeficientů příčné deformace (Poissonových čísel  $\mu_{ij}$ ) popisujících velikost deformace ve směru kolmém na působící sílu (Matovič 1993).

Pevnost dřeva udává míru odolnosti materiálu vůči jeho trvalému porušení. Podle charakteru a směru působících sil můžeme opět rozlišit pevnost v tlaku, tahu, smyku a krutu a to ve směru vláken, napříč vláken atd.

Dřevo reaguje na mechanické napětí deformacemi pružnými (vratnými), pružnými v čase (návrat nenastává okamžitě) a plastickými (trvalými). Závislost deformace na napětí je nejprve lineární (podle modulu pružnosti) až do meze úměrnosti. Za těchto okolností vznikající pružné deformace jsou dány narušením a přeskupením vodíkových vazeb mezi polymerovými řetězci buněčných stěn. Nad mezí elasticity (velmi blízká mezi úměrnosti) vznikají deformace plastické v míře nelineárně závislé na napětí, způsobeny narušením i kovalentních vazeb (Čapek 2002). Mez pevnosti pak vyjadřuje takovou výši napětí, při které dochází k porušení materiálu.

Schopnost dřeva přijímat plastické deformace bez zjevného porušení se označuje jako plasticita. S ní úzce souvisí houževnatost coby množství energie potřebné k dosažení takových deformací, respektive až k přeražení tělesa. Jako poslední zmiňuji tvrdost, kterou se rozumí odolnost (odpor) vůči pronikání cizího tělesa do materiálu.

### *3.1.2.1 Fyzikální faktory s vlivem na mechanické vlastnosti*

Mechanické vlastnosti obecně podléhají vlastnostem fyzikálním – mění se s vlhkostí, hustotou dřeva a jeho teplotou. Vlhkost ( $w$ ) dřeva je definována jako procentuální podíl hmotnosti vody ve dřevě k hmotnosti tohoto dřeva (vlhkost relativní  $w_{rel}$ ), resp. k hmotnosti dřeva absolutně suchého (vlhkost absolutní  $w_{abs}$ ). Tato absolutní vlhkost dřeva se používá při určování vlastností dřeva. Promítá se jak do hustoty ( $\rho$ ) (odtud může být její vliv eliminován přepočtem na nulovou nebo standardní vlhkost 12%, Požgaj Et Al. 1993), tak přímo do pevnostních a dalších charakteristik. Byť se jejich závislost v jednotlivostech liší, je možné říci, že se stoupající vlhkostí



až do meze hygroskopicity (neboli se sorpcí vody do buněčných stěn, nikoliv do dutin) se pružnostní a pevnostní vlastnosti dřeva snižují. Protože mez hygroskopicity u kruhovitě pórovitých dřevin patří k nejvyšším, přibližně 32 až 35% (Matovič 1993, Gandelová Et Al. 1996), lze i vliv vlhkosti považovat za výraznější.

Pro hustotu obecně platí, že některé mechanické vlastnosti rostou společně s ní (Matovič 1993, Zeidler 2012). Typicky tomu odpovídá pevnost (Dubovský Et Al. 2006, Gandelová Et Al. 1996, Romagnoli Et Al. 2014, Braune 2010) a moduly pružnosti, pro které je prokázána kladná lineární závislost na hustotě (Gandelová Et Al. 1996), i když podle Braunera (2010) je míra této závislosti nižší, než např. u mezí pevnosti a dokonce sesychání. Vazba hustoty dřeva na mechanické vlastnosti ale nemusí být zcela přímočará, neboť zde hraje roli i anatomická stavba dřeva, nejen množství dřevní substance. Tím se konečně dostáváme k definici hustoty a od ní odvozených veličin.

Hustota (objemová hmotnost, denzita,  $\rho$ ) je obecně definována jako poměr hmotnosti k objemu dané látky, vyjádřených podle soustavy SI v  $kg/m^3$ , nebo  $g/cm^3$ . Ve vztahu ke dřevu je ale zavedena ještě řada specifických veličin. Hustota dřevní substance, tedy souboru všech stavebních elementů buněčných stěn bez submikroskopických dutin, je závislá jen na chemickém složení dřeva a je relativně stálá, v závislosti zejména na zastoupení ligninu (15-35%) kolísá jen v rozsahu 1460-1570  $kg/m^3$ , s průměrem 1540  $kg/m^3$  pro všechny dřeviny (Matovič 1993). Hustota dřeva jako takového je pak vždy nižší proporcionálně k množství dutin. Díky hygroskopicitě dřeva je ale nutné reflektovat množství vody dřevním pletivu, proto hustotu uvádíme ve vztahu k vlhkosti, pro kterou je stanovena. Vztah hustoty a obsahem vody ve dřevě je komplikován bobtnáním. Jak již bylo naznačeno, do meze hygroskopicity (resp. meze

nasycení buněčných stěn v kapalném prostředí) zvětšují buněčné stěny svůj objem (voda vázaná), zatímco dále (s volnou – kapilární vodou) roste pouze hmotnost dřeva (Matovič 1993, Požgaj Et Al. 1993).

Hustota při nulové vlhkosti je vypočtena na základě hmotnosti a objemu dřeva v absolutně suchém stavu (po vysušení po 48 hod. při  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Dělíme-li obecný objem dřeva jeho hmotností v absolutně suchém stavu, získáme redukovanou hustotu. Konvenční hustota nebo hustota v čerstvém stavu (angl. basic density) je podíl hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu a jeho objemu při vlhkosti nad mezí hygroskopcity. Používá se při technologických výpočtech v lesním a dřevozpracujícím průmyslu (přepočet zásoby mokrého dřeva) (Matovič 1993, Požgaj Et Al. 1993). Dále se používá termínu specifická váha, který je často s hustotou volně zaměňován. Máme-li však být poplatni předloze, anglo-americké veličině specific gravity, jedná se o poměr hustoty dřeva k hustotě vody ( $1000 \text{ g/cm}^3$ ) a tedy o bezrozměrnou míru v řádu nejvýše jednotek. Pojmem basic specific gravity se pak rozumí tento údaj vztažený k 12% vlhkosti (Williamson 2010, Meier 2007)

Stanovení hustoty lze realizovat jako podíl hmotnosti a objemu (podle normy), podle Archimedova zákona pomocí váhy a destilované vody (bývá zpravidla vyšší, vlivem resorpce vody) (Crivellaro 2013), podle absorpce a průniku rentgenového či gamma záření, tj. radiodenzitometricky (Cown 1983, Mandinec 2012) a podobně. Ke stanovení pomocí vážení stačí relativně malé vzorky, např. vývrty (Skolmen 1963) nebo jen fragmenty jednotlivých letokruhů (Crivellaro, osobní korespondence). Moderní metodou je např. použití přípravku Pilodyn, který umožňuje vypočítat hustotu (resp. Youngův modul pružnosti) na základě hloubky průniku vystřelovacího ocelového hrotu s normovanou silou (Wu Et Al. 2010, Klapálek Et Al. 2015). Na úrovni letokruhů až mikrostruktury dřeva je

s úspěchem možné použít principiálně obdobnou, jen řádově jemnější metodu nanoindentace (Klapálek Et Al. 2015). Díky analýze pomocí rentgenového záření bylo vyzkoumáno, že minimální hustota v rámci letokruhu koreluje s klimatickými daty lépe, než šířka letokruhu (Guay 2012). Letokruhové denzitometrii byla věnována hojná pozornost recentních výzkumů a McCarroll et al. (2002) popsali na výzkumech s borovicí lesní těsnou korelaci hustoty dřeva s odrazivostí modré složky spektra. Tento jev je zřejmě důsledkem pohlcování světelné energie ligninem. Tato metoda byla dále rozvíjena pod označením Blue reflectance resp. Blue intensity method (Rydval Et Al. 2014, Guay 2012).

Hustotu dřeva ovlivňuje především vlhkost, šířka letokruhů a podíl letního dřeva, poloha v kmeni a věk stromu, dále specifická pletiv reakčního dřeva, větví a kořenů (Požgaj Et Al. 1993) a rovněž sociální postavení stromu v porostu, stanoviště a pěstebních opatření (Matovič 1993). Hustota dřeva jehličnanů s rostoucí šířkou letokruhu (nad 2mm) klesá, u kruhovitě pórovitých stoupá a u roztroušeně pórovitých listnáčů není trend jednoznačný. Wagenführ (1989) mluví o nepatrně klesající tendenci roztroušeně pórovitých až na výjimky, jakou je např. buk lesní, zatímco Požgaj (1993) považuje za výjimky ty, u kterých hustota s šířkou letokruhu klesá.

Změnu hustoty ve směru od dřeni k obvodu kmene zkoumal pro dub a jasan Brauner (2010) a v obou případech konstatoval, že hustota se mění málo do určité tloušťky (cca 20cm), odkud pak čím dál strměji klesá. Matovič (1993) uvádí, že zastoupení cév se zvyšuje od báze k vrcholu. Slovy Gandelové et al. (1996) „jasnější vztah mezi strukturou, hustotou a mechanickými vlastnostmi dřeva můžeme zjistit analyzováním makroskopické stavby letokruhů, tj. šířky letokruhu a podílu letního dřeva.“

### 3.1.2.2 *Strukturní faktory s vlivem na mechanické a fyzikální vlastnosti*

Na základě odlišností ve struktuře jarního a letního dřeva, především z hlediska množství dřevní substance, je možné konstatovat, že letní dřevo má vyšší hustotu a pevnost než jarní, zároveň větší měrou sesychá a bobtná. Vlastnosti dřeva jsou tedy zásadním způsobem spjaty s podílem letního dřeva, odtud se odvíjí i vysoký technologický význam tohoto údaje. Šířka letokruhu je z tohoto pohledu ukazatelem nejistého významu, neboť při stejné šířce dvou letokruhů můžeme naměřit různé podíly letního dřeva, roli zde hrají i další faktory (Wagenführ 1989) a tento vztah je tedy třeba zjišťovat specificky pro daný druh dřeva.

Jak již bylo naznačeno, velikost a orientaci mech. vlastností na úrovni mikro- a makrostruktury dřeva silně určuje orientace kovalentních a vodíkových vazeb mezi stavebními polymery buněčných stěn, především dřevních vláken. Konkrétně struktura makromolekul celulózy (její amorfni a krystalické části) je příčinou anizotropie vlastností dřeva. Podstatnou měrou ovlivňuje sorpci vody, pružnost a další. Hemicelulózy ovlivňují hlavně fyzikální a chemické vlastnosti dřeva. Lignin dodává dřevu pevnost. Impregnuje polysacharidy buňčné stěny (zejm. hemicelulózy), a to nejvíce v zóně střední lamely a primární buněčné stěny (Gandelová Et Al. 1996). Výsledná relativní molekulová hmotnost je dosti odlišná pro různé dřeviny. Sklon mikrofibril, délka a průměr buněk (anatomických elementů), tloušťka jejich stěn a konečně jejich počet jsou rovněž z mechanického hlediska podstatné, společně souvisí a odrážejí se v hustotě dřeva. Tak je spjata s většinou fyzikálních a mechanických vlastností a přes určitou variabilitu je tedy komplexním a relativně přesným ukazatelem kvality dřeva (Požgaj Et Al. 1993, Gandelová Et Al. 1996, Elliott Et Al. 1970)

Struktura dřeva spolu s jeho hustotou přitom také podléhá činitelům růstu během vegetačního období. Geografická lokalita, stanoviště,

růstové podmínky, pěstební opatření i zdroj reprodukčního materiálu je ovlivňují. Odchytky jsou přirozeným jevem. Proměnlivost hodnot, kterých hustota nabývá v rámci jednoho stromu, je často srovnatelná, nebo vyšší než variabilita mezi jedinci (Elliott Et Al. 1970).

Na makroskopické úrovni je možné vlastnosti dřeva spojovat zejména s šířkou letokruhu a uspořádáním jarního a letního dřeva (u kruhovitě pórovitých dřevin). Podle Požgaje (1993) existuje určité rozpětí ideální šířky letokruhu, ve kterém dřevo dosahuje nevyšší kvality a mimo ní klesá. Pro kruhovitě pórovité dřeviny (v kontrastu s jehličnany) se šířka letokruhu zvětšuje v souvislosti s lepším vývojem letního dřeva, což znamená, že vrstva jarního dřeva je relativně málo proměnlivá s šířkou letokruhu (též Ross Et Al. 2010). Pod určitou hranicí šířky letokruhu ovšem dramaticky klesá podíl letního dřeva. Jak ale víme, je to právě podíl letního dřeva, co zlepšuje mechanické vlastnosti, jak vyplývá z výše uvedených skutečností o anatomii. Hustota, resp. množství dřevní hmoty je v zóně jarního dřeva nižší (i několikanásobně) oproti dřevu letnímu, proto lze při snížení jarního podílu očekávat nárůst pružnostních a pevnostních charakteristik. Mechanické vlastnosti jsou přímo závislé na hustotě, a proto se očekává, že se mění spolu s ní (Požgaj Et Al. 1993). Lze tedy odvodit, že zlepšení mechanických vlastností můžeme očekávat i při zvýšení šířky letokruhu.

Jarní dřevo plní především vodivou funkci, mechanická je zastána méně, avšak jeho pórovitost umožňuje při radiálním tlaku či ohýbání tyto vrstvy zhustit bez výrazného porušení a přispívá tak pružnosti či plasticitě. Rostoucí podíl letního dřeva přináší vyšší Youngův modul pružnosti v tangenciálním směru konkrétně právě u jasanu, u smrku pak i v podélném. V radiálním směru zatížení se vliv podílu letního dřeva statisticky neprokázal díky tomu, že je zde využita i vrstva jarního dřeva (Požgaj Et Al. 1993).

Závislost mezi hustotou a mech. vlastnostmi je ovšem složitější proto, že pevnost dřeva závisí nejen na množství dřevní hmoty v objemu, ale i od zvláštností ve stavbě dřeva (Požgaj Et Al. 1993). Závěry publikované Greenem et al. (2010) pro ořechovec (hickory, *Carya* sp.), který je ceněn pro stejné kvality, jako jasan (Hamm Et Al. 2000), mluví o nejvyšší houževnatosti při nejširších letokruzích (nad 1,8 mm), její nízké reakci na šířku v nižších hodnotách až do 0,7 mm, odkud směrem dolů houževnatost prudce klesala. To rámcově odpovídá i typickému průběhu podílu letního dřeva, je tedy možné formulovat hypotézy o příčinné souvislosti. Ovšem pevnost zaznamenal Green nejvyšší v intervalu 1,3 – 1,8 mm, nad ním se opět snižovala. Podle výzkumu Dubovského (2006) pevnost kruhovitě pórovitého dřeva (jasan, jilm) v podélném tlaku roste s hustotou. Pozoruhodné přitom je, že směrnice regresních přímek pro obě dřeviny (byť při nízkém korelačním koeficientu) je shodná, což může být interpretováno právě jako potvrzení rozhodujícího vlivu hustoty.

Struktura letokruhu závisí i na kambiálním věku (letokruhováz vzdálenost od dřeni), tedy na stáří stromu. Již bylo zmíněno, že šířka letokruhu obecně klesá s věkem (Gandelová Et Al. 1996), což analogicky platí i pro hustotu (většina dřevin) (Požgaj Et Al. 1993) a dedukovat to tedy můžeme i pro mechanické vlastnosti.

Gandelová et al. (1996) uvádí, že cévy ucpané thylami a jádrové látky obecně zvyšují mechanické vlastnosti dřeva. Téhož názoru o jádru je Hamm et al. (2000), Matovič (1966) to však pro jasan neprokazuje, konečně ve shodě se Šlezingerovou a Gandelovou (1998 ex Braune 2010). Není možné opomenout také délku dřevních vláken jakožto faktoru. Kruhovitě pórovité dřeviny mají relativně dlouhá vlákna (Čunderlík 2011). Podle tohoto autora ale délka vlákna závisí na šířce letokruhu, část vlivu se tedy statisticky ukryje pod tento faktor. Výrazný význam má délka vláken

v chemickém zpracování dřeva na buničinu. Další informace jsou uvedeny přímo pro jasan níže.

Konečně je při použití či testování konkrétních těles zohledňovat průběh vláken ve vztahu ke směru namáhání, jak vyplývá již ze samotné odlišnosti tabelovaných údajů ve směrech radiálním a tangenciálním. To dokládá i Čapek (2002) na jasanu nebo Hamm (2000) pro různá dřeva. Pakliže průběh vláken neodpovídá přesně směru napětí, podle Matoviče (1993) může odklon o 15% způsobit pokles pevnosti v tlaku až o 20 % oproti hodnotám pro podélný směr.

## 3.2 *Jasan ztepilý*

Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior, L.*), slov. Jaseň štíhlý, an. European Ash, Common Ash, něm. Gemeine Ashe, Gewöhnliche Esche, Hohe Esche.

### 3.2.1 *Základní údaje*

Jasan ztepilý, původní středoevropská dřevina tvořící významnou součást lužních a suťových lesů (Kubát 42428), je zároveň nejrozšířenějším druhem jasanu v Evropě (Fraxigen 2005). V programu EUFORGEN se řadí mezi ušlechtilé listnáče (Turok Et Al. 1996) a jako takový se v našich podmínkách pěstuje často v porostech smíšených, které přislíbují zvýšenou stabilitu a produkci hodnotného sortimentu - esteticky, mechanicky i funkčně ceněného dřeva. Z pohledu české legislativy (Česko 1996) vystupuje nejčastěji jako dřevina vtroušená, avšak v hospodářstvích lužních stanovišť, olšových stanovišť na podmáčených půdách a rovněž exponovaných stanovišť vyšších poloh je doporučen coby dřevina základní. Příznivé pěstební vlastnosti jej předurčují k hojnému užití jako meliorační a zpevňující dřevinu v řadě HS a nemalý význam zaujímá i v městském lesnictví a arboristice, což dokládá i jeho estetické přednosti.

Zastoupení jasanu v lesích nejen ČR od druhé poloviny 20. století vzrůstá stále rychleji, v současném století je však tento trend významně narušen plošným odumíráním zejména v důsledku tracheomykózního onemocnění *Hymenoscyphus fraxineus* (*H. pseudoalbidus*, *Chalara fraxinea*) (např. Jankovský Et Al. 2008, Černý 2011, Havrdová 2012). Podle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství ČR pro rok 2014 dosahuje plošné zastoupení jasanu 1,4%, přičemž rekonstruovaná přirozená hodnota je 0,6% a doporučená 0,7% (Riedl Et Al. 2014). Tyto údaje zahrnují krom jasanu ztepilého (90% v roce 2002) i jasan úzkolistý (*F. angustifolia Vahl.*, 9%) a nepůvodní jasan americký a pensylvánský (*F. americana*, *F. pensylvanica*



Marschall, 1%); jasan zimnář (*F. Ornus*) u nás není významně zastoupen na lesních půdách (Hrib 2005, Hrib 2008). Celková těžba jasanového dříví v ČR se v posledním desetiletí pohybuje mezi 60 a 70 tisíci m<sup>3</sup> b.k (Koub 2008, Hrib 2005).

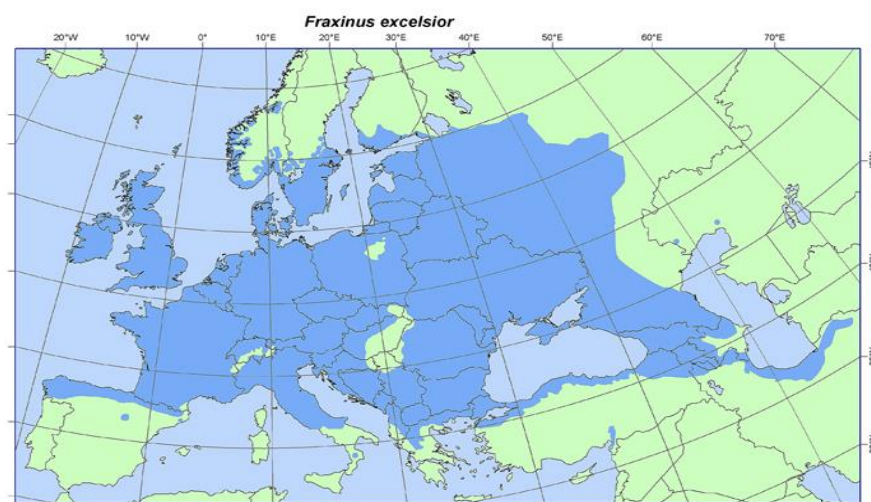
Habitus solitérního stromu je v mládí štíhlý, později nabývá vejčitý až kulovitý tvar koruny se silnými málo členitými větvemi, které se v porostu dobře čistí (Pagan 1992). Dorůstá až 40 metrů výšky a dožívá se v maximu 200-300 let. Kořenový systém tvoří poměrně krátký kůlový kořen, zatímco boční kořeny zasahují daleko a hluboko (srdčitý, panohový k.s.), na suchých stanovištích v takové hustotě, která může vést k vytlačování jiných dřevin. Má velice nápadné velké vrcholové pupeny černohnědé barvy. Listy jsou lichozpeřené, díky příznivému poměru C/N (21) se rychle rozkládají a přispívají k zvýšení úživnosti půdy a dynamice živin (spolu s dřevní hmotou) (Pagan 1992). Mimo to byly listy v minulosti využívány jako zimní krmivo prasat a koz (Fraxigen 2005), své uplatnění mají i v lidovém léčitelství.

Jasan kvete ještě před olistěním - během dubna a května, květenství tvoří složená větvená lata, důležitý rozlišovací znak od *F. angustifolia*. Pro jeho mnohomanželnost je možno setkat se nejen s jedinci čistě samčími či samičými, ale rovněž s hermafrodity, disponujícími oboupohlavným květenstvím. Výskyt typu květů se však může v průběhu života stromu měnit (Svoboda 1955, Pagan 1992). K opylení dochází anemogamně, rovněž plody jsou roznášeny větrem za pomoci létacího ústrojí relativně těžké křídlaté nažky, ještě dlouho po opadu listů, mohou tak využít větší unášecí síly zimních větrů (Schmidt 2002). Semena zajišťují efektivní disperzi do vzdálenosti 100-150m (Pagan 1992), na příznivých stanovištích vedoucí k intenzivnímu a rovnoměrnému zmlazení v okruhu 100 m, dále pak jen roztroušeně (cc9). V mládí semenáčky vykazují vysoký výškový přírůst a kompenzují tím (spolu s pozdním kvetením) relativní citlivost terminálního

prýtu k poškození mrazem (a následnou vidličnatost) – již druhým rokem často odrůstají mrazové zóně (Svoboda 1955). Vysoká tolerance vůči zastínění, ba dokonce preference těchto podmínek v mládí (zvýšená vlhkost, snížené riziko pozdních mrazů), se v průběhu života mění ve vysoké nároky na světlo dospělých stromů. Solitéry začínají plodit již 20. rokem každoročně, v porostu plodí od 30-40 let s intervalem semenných let 2-3 roky. V tomto věku si může podle Svoboda 1955 udržovat výškový roční přírůst až 0,5 m, ten pak následně klesá, ale i ve věku nad 100 let je pozorován. Přírůst tloušťkový zákonitě kulminuje později, mezi 40-60 rokem. Rendel (in Fraxigen 2005) zaznamenal v semenném roce kvetení 91% stromů v porostu, mimo semenný rok 53%.

### 3.2.2 Ekologie

Jasan ztepilý se vyznačuje vysokou ekologickou plasticitou. Přirozené rozšíření je nejspíše vymezeno omezenou odolností vůči mrazu a suchým horkým létům. Areál se rozkládá mezi 37 a 64°s. š., sahá tedy od Středozemního Moře po střední Norsko a od atlantického pobřeží po Kavkaz. Jasan je možno nalézt v Alpách a Pyrenejích do výšky 1800 m n.m.,



**Obr. 1** Současné rozšíření jasanu ztepilého. Zdroj: cc17

v Íránu i ve 2200 m n.m., naproti tomu na Britských ostrovech nevystoupá výše, než 450 m n.m. (Dobrowolska Et Al. 44075, Fraxigen 2005). Za

pozornost stojí, že zatímco v Evropě je často zmiňována jeho citlivost k teplotním výkyvům, na JV hranici areálu, v Íránu je ceněn naopak pro relativní odolnost vůči mrazu i přísušku a získává tak uplatnění v aforestačních a reforestačních programech (Moraghebi Et Al. 2010).

Ekologická charakteristika jasanu v místech přirozeného výskytu jej řadí do pomyslného prostoru mezi pionýrské dřeviny a trvalé porostní komponenty (Fraxigen 2005). Nejčastěji se objevuje ve skupinkách, čistě jasanové porosty nebo jednotlivé vtoušení je méně časté. Dominantním druhem je spíše v raných stádiích vývoje porostu, čerpá výše zmíněné výhody k propagaci na úkor dominantních dřevin, které lokálně ztrácí konkurenční výhodu, a to i v bukovém, ba i smrkovém pásmu. Kromě lužních stanovišť, na kterých byl v minulých staletích člověkem prosazován i na úkor dubu (Matovič 1966, Svoboda 1955), je jasan ztepilý typickou dřevinou suťových lesů, kde roste většinou ve směsi spolu s dalšími suťovými dřevinami jako s javory, lípami a jilmem horským. V současné době je možné pozorovat expanzivní chování jasanu ztepilého v řadě oblastí až v míře ohrožující charakter přirozených lesních společenstev (jako např. subxerofilní a šipákové doubravy) (Kubát 2008). Například na vápencích v Českém Krasu byl zjištěn až v denzitách 6000ks/400m<sup>2</sup> (Střeštík 2006). Děje se tomu zřejmě v důsledku změn v hospodaření v lesích, především v neodstraňování biomasy z lesa (pastva apod.), rovněž tak vlivem postupující eutrofizace a synantropizace prostředí a souvisejícími změnami stanovištních poměrů, jako např. snížení stavů zvěře (která činí na jasanu okusem škody srovnatelné s dubem a bukem), porostního zápoje a oslabení konkurence a reprodukce ostatních dřevin (např. zhoršení zdravotního stavu dubů) (cc9). Podle Sádla a Pokorného (2004a in Střeštík 2006) jde spíše než o zvláštní hospodaření o abnormální absenci disturbancí.

Dá se říci, že nároky na vlastnosti půdního substrátu má jasan velice vysoké (podobně jako třeba jilm), zatímco klima je faktorem sekundárním. Při jejich splnění pak úspěšně roste pod širokou škálou klimatických podmínek. Tyto nároky jsou vysoké zejména ve vztahu k živinám, rovněž značné jsou vůči fyzikálním vlastnostem. Vyžaduje půdy živné, nezřídka kdy se vyskytuje na substrátu bohatém na vápník, optimálně hlinité, s pH vyšším než 5,5 (Fraxigen 2005). Ideální půda by tak měla být měkká, vlhká, ale dobře propustná, hluboká, jílovitá s příměsí písku (sedimentární podloží, aluvia), bohatá na báze (vápno), dusík a fosfor, pH 7-8 (zejména v hlubších vrstvách) (Dobrowolska Et Al. 44075). Nedaří se mu na půdách vysloveně jílovitých, zhutněných či naopak písčitých, ani kyselých a rašelinných, nesnáší zasolení. Zřídka výskyt na půdách s pH níže než 4,2 může být dán toxicitou iontů hliníku. Jeho požadavek na snadno dostupné živiny, zejména dusík a fosfor, je vyšší oproti dubu či buku (Pliûra 2003, Fraxigen 2005, Moraghebi Et Al. 2010).

Navzdory hojnému přesvědčení tedy není ideálním stanovištěm mokré údolní dno, ale dobře propustná zásaditá půda. Silným příznivým růstovým faktorem vedle zásaditosti substrátu (zejména v hloubce), je velmi dobře vyvinutý humusový horizont – aktivní, kyselý mull. Z hlediska klimatu je preferována teplá lokalita (min. 1376 dní nad 5,6°C), přestože požadavek na teplotu není silný (Dobrowolska Et Al. 44075). Nejdůležitějším faktorem však zůstává světlo. Jasan ztepilý je v dospělosti na světlo vysoce náročný, netoleruje ani boční zastínění a na nevhodné světelné podmínky reaguje stagnací růstu. Podobá se v tom dubu letnímu (*Quercus robur*) a olši lepkavé (*Alnus glutinosa*).

Nároky jasanu vůči vlhkosti se zdají být dvojího charakteru. Nejčastěji je mu připisován požadavek na vysokou půdní vlhkost odpovídající výskytu jak v lužních biotopech, tak na suťových stráních a ve

vyšších polohách. Jako komponenta tvrdého luhu snáší periodický zdvih hladiny spodní vody, nikoliv však trvalý zatopení a stojící vodu. Vyžaduje vlhkost čerstvou, zároveň s dobrým provzdušněním. Roste pak dobře i na mělkých půdách, skeletovitých i na skalních hřebtech. Jak z hlediska vlhkosti, tak světla, mu vyhovují horské hřebety. Podle Fraxigen 2005 patří mezi naše dřeviny s nejintenzivnější transpirací. Na druhou stranu se stejně tak objevuje na suchých vápencových hřebenech, dročinách a stanovištích až stepního charakteru. Tuto nejednotnost se nabízí vysvětlit skrze existenci různých edafotypů.

### 3.2.3 Proměnlivost

Historicky je možné setkat se v literatuře s teoriemi o řadě ekotypů jasanu ztepilého. Zatímco např. Dobrowolska et al. (2008), Leibundgut (1956, in Matovič 1966) pokládají rozdíly za nepotvrzené, jiní autoři přijímají Svobodovo (1955) rozdělení na minimálně dva ekotypy (Pagan 1992, Buriáne 2009): jasan suchý, neboli skalní, vápencový (*oec. saxatilis* – *var. calcicola* Ros.) a ekotyp lužní nebo mokrý, vodní (*oec. rivularis*) (Buriáne 2009, Matovič 1966, Pagan 1992). Svoboda dále doplňuje jasan z rovin z šedých hlinitých půd a podzolovaných černozemí a formu označovanou jako zahradní či parkový, tedy solitérní jasan. Tyto formy se údajně odlišují mj. vlastnostmi dřeva, kterými se budeme věnovat v dalších kapitolách. Bez ohledu na to, zda je v konkrétních pokusech pozorovaná variabilita podmíněna podmínkami edafickými, klimatickými, nebo genetickou výbavou, vždy jde o ilustraci vysoké ekologické valence a adaptační schopnosti jasanu ztepilého jako druhu.

Současné provenienční výzkumy Buriánkovy (2009a) v průběžných výsledcích nasvědčují, že průměrné výšky stromů klesají s rostoucí nadmořskou výškou jejich původu a dále, že materiál z lužního-

pahorkatinného ekotopu velice dobře roste na většině stanovišť. Autor ale upozorňuje na předběžný charakter a nízkou vypovídající hodnotu těchto závěrů.

Podle Svobody (1955) existuje navíc řada forem jasanu podle dalších kritérií, jako např. doba olistění, morfologie, geografické oblasti a v neposlední řadě charakter dřeva.

#### 3.2.4 Pěstební péče

Jasan ztepilý těží ze své kompromisní charakteristiky mezi pionýrským a klimaxovým druhem například vysokou schopnost generativní reprodukce. Plodí pravidelně i mimo semenné roky, vysoká klíčivost a odolnost vůči patogenům umožňuje vytvářet bohatou banku zmlazení (Buriánek 2009b). Dobře se zmlazuje, zejména pod zápojem, a to i na plochách, kde nebude schopen růst nadále. Selfing není výrazný, není tedy pravděpodobné, že sběr semen z hermafroditních jedinců významně zvyšuje množství samosprášených semen (Fraxigen 2005)

Porosty lze tedy zakládat (obnovovat) jak obnovou přirozenou (která může být hojná), tak umělou, nebo kombinací obého – např. vylepšování mezi skupinami přirozené obnovy. Semenáčky přitom odrůstají lépe pod částečnou clonou. Pro podporu přirozené obnovy Pliûra&Heuertz (2003) doporučuje provést clonnou seč v pruzích o šířce 15-30m, ideálně po semenném roce. V případě seče holé navrhuje zachovat náhodné, bohatě kvetoucí výstavky.

Doporučené hektarové počty pro výsadbu se liší napříč evropskými státy a zatím, co britští či francouzští autoři doporučují 300-1200 nebo 1600-2500 sazenic na hektar, některé německé státy uvádějí 4000-5000 a česká vyhláška 139/2004Sb. stanoví minimálně 6000 kusů na hektar (jako hlavní dřevina). Dobře odrůstá například plaménku (*Clematis sp.*), přes svou

vysokou juvenilní toleranci vůči zastínění těžko snáší kompetici například s travinami z hlediska živin a vody. Buřeň tedy při obnově může představovat problém. Jasan ztepilý je silně tolerantní vůči zastínění po dobu přibližně 7 let (4m výšky), následně začíná vyžadovat světlo v hojně míře. Nevyhovující jsou tedy porosty se silným zápojem a kompeticí v korunové úrovni; jakmile obnova dosáhne úrovně 6-7m, pravidelné probírky jsou nutností.

Alternativou je i výmladkové hospodářství, pro dobrou schopnost vegetativní regenerace. Jako častý omyl v péči o jasanové porosty uvádí Fraxigen (2005) nedostatečnou výchovu. Je důležité umístit probírku včas, neboť jasan nereaguje na pozdní uvolnění. Souvisí to s umístěním kulminace výškového růstu mezi 10. a 25. rok. (Dobrowolska et al. 2008) Všechny zásahy by měly při tom být silné a časté s cílem ponechat koruny zcela volné a v rozsahu zhruba třetiny výšky stromu. Cílové denzity by pak mělo být dosaženo okolo 30-35 let věku. Rovněž důležité je vyvětňování zamezující tvorbě silnějších větví.

Po období rychlého růstu v mladém věku se tento zpomaluje okolo 60 let. V Evropě je tedy běžné hospodařit s jasanem na základě šedesátileté doby obmýtní (Fraxigen, 2005). V ČR vyhláška 83/1996 uvažuje pěstování jasanu coby hlavní dřeviny (vždy společně s jednou další) jen na CHS 19, 29 s obmýtní dobou 90 let a na CHS 51 s obmýtním 110. Vzhledem k hodnotnosti cílového sortimentu může však být výhodné stanovit obmýtní nižší a snížit tak riziko poškození porostu (a rovněž dobu vázanosti kapitálu). Hodnota vytěžených kmenů je v případě listnáčů poplatna rychlosti objemového růstu a výšce nezavětveného kmene, ovšem uvolněný zápoj hrozí také právě prodloužením koruny. Vysoké kvality jasanového dřeva je dosahováno pouze na optimálním stanovišti (popsáno výše). Intenzivní pěstování jasanu

na stanovišti jiném pravděpodobně pozbývá pro tento produkční cíl smysl (Dobrowolska et al. 2008)

Podle Fraxigeny (2005) je reálné dosáhnout kmene o délce 6m a výčetní tloušťce 40-60cm během 50 let na příznivém stanovišti, zatímco v porostech s nižší bonitou lze obdobného výsledku dosáhnout například v 80 letech. Podle Dobrowolska et al. 2008 je možno hovořit o celkové objemové produkci ve věku 80 let v rozmezí 250 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> pro nejhorší (reálná) stanoviště a 650 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> pro nejlepší.

Jasan je vhodnou dřevinou v porostní směsi, zejména ve skupinové formě smíšené. Velmi dobře prospívá například s klenem (*Acer pseudoplatanus*), třešní (*Cerasus avium*) nebo bukem (*Fagus sylvatica*), dále bývá často pěstován s dubem (*Quercus* sp.), osikou (*Populus tremula*), lípou (*Tilia* sp.), břízou (*Betula* sp.) či jilmem (*Ulmus* sp.). Při pěstování s dubem je třeba mít na paměti, že jasan výrazně omezuje zmlazení dubu (které je hojné, ale neodrůstá). Přirozená obnova dubu se tak může bez omezení jasanu stát až nemyslitelnou. Dobrovolný, který zdůrazňuje úlohu jasanu jako pomocné dřeviny při výchově cílových, pak uvádí, že předrůstá všechny mimo dub a klen.

Aktuální hromadné odumírání jasanů v důsledku *Hymenoscyphus fraxineus* se dnes vykytuje víceméně na celém území ČR. Výzkumy ukazují, že napadení porostů je závislé na faktorech prostředí. Prokázal se pozitivní vliv vzdušné vlhkosti na rozsah poškození porostu. Nejméně jsou napadeny solitérní jasany ve volné krajině a nejvíce břehové porosty a jasanové olšiny (Havrdová&Černý 2001).

### 3.2.5 Jasanové dřevo

Jasan ztepilý by mohl být z hlediska dřeva důležitou dřevinou, v praxi je však v rámci ČR využíván jen málo, přestože mechanické vlastnosti



jeho dřeva jsou vysoké (Dubovský Et Al. 2006). Vyznačuje se atraktivním světlým, kruhovitě pórovitým dřevem, které je pevné, odolné, pružné a snadno ohýbatelné, a proto obzvláště vhodné pro interiér domů a nábytek. V severských zemích je s oblibou využíván na podlahy, schody a lišty. V minulosti byl dokonce preferován pro výrobu zemědělského náčiní, jako jsou rýče, pluhy a brány (Fraxigen 2005), dodnes se z něj vyrábí násady na široké spektrum nářadí – všude tam, kde je zapotřebí pevnosti, houževnatosti a pružnosti. Výsadní místo proto zaujímá v oblasti sportovního náčiní. Historicky představoval hlavní materiál pro lyže, tenisové rakety, nástroje, vagony (Svoboda 1955). Dodnes se z něj vyrábí pádla, soustružené pálky a paličky od baseballových po truhlářské, hokejové hole, saně, kulečnicková tága, luky a šípy a podobně (Hamm Et Al. 2000). V Severní Americe jsou hojně oblíbené tradiční pletené koše z letokruhových pásků jasanu černého, oddělených otloukáním (Gupta 2011).

Při pohledu do struktury dřeva zde chybí vláknité tracheidy, vazicentrické tracheidy nevytváří vodivé dráhy, dřeňové paprsky jsou velmi úzké, 1-4 vrstvé, homogenního typu, makroskopicky patrné jen na radiálním řezu. Cévy jsou jednoduše perforovány s téměř úplně rozpuštěnými příhradkami (Matovič 1993, Gandelová Et Al. 1996). Cévy při svém podélném průběhu nejsou sdružené, tangenciálně i radiálně se vlní a stýkají (na různých vzdálenostech), což utváří relativně řídkou prostorovou cévní síť (Burggraaf 1972), ve které se cévy na hranicích letokruhů propojují dvojtečkami a přispívají k apoplastickému přenosu kapalin přes hranici letokruhu (Kitin Et Al. 2004). Kapilární propustnost cévního systému je však výrazně omezena výskytem extraktiv a thyl (Braune 2010, Kurjatko Et Al. 2006). Na hranici letokruhu se též vyskytuje apotracheální marginální parenchym (bez tečkového kontaktu s cévami) a v dalších vrstvách

paratracheální vazicentrický parenchym (tj. obklopující cévy, s tečkovým kontaktem). Relativní molekulová hmotnost je u jasanu téměř dvojnásobná oproti smrku (Gandelová Et Al. 1996).

Pozoruhodný výzkum předvedl, že kořeny jasanu vykazují zřetelně odlišnou strukturu dřeva jen pod povrchem půdy. V letokruzích tehdy není výrazný rozdíl mezi jarním a letním dřevem, neboť všechna vlákna mají tenké stěny a rozsáhlý lumen. Množství pórů je vyšší a jejich rozmístění je spíše roztroušené, po celé šířce letokruhu, byť na jeho vnitřní hranici jich přisedá více. Při odhalení kořene dochází ke změně struktury pletiva vznikajících letokruhů kořene. Nové letokruhy se jeví tmavší a struktura vláken se utváří podobně, jak ji známe z kmene: tlustší stěny, výrazně menší lumen. Objevuje se zjevný přechodem od jarního k letnímu dřevu, přičemž póry se koncentrují v jarním dřevě při hranici letokruhu (Hitz Et Al. 2008).

Čunderlík a Mišíková (2011) zkoumali délku vláken jasanu s těmi to závěry: V úzkých letokruzích se nachází výrazně kratší vlákna a v menším poměrném množství ve prospěch cév a parenchymatických buněk. Ve středu kmene mají vlákna délku cca 850  $\mu\text{m}$ , ta vzrůstá až do průměrné hodnoty cca 1100  $\mu\text{m}$ , kterou můžeme najít okolo 30. letokruhu nebo ve kmenech tlustých alespoň 10 cm. Další růst už na délku vlákna výrazný vliv nemá.

Z hlediska tvrdosti je jasan řazen mezi středně tvrdá dřeva (vryp nehtem nevýrazný) a dle hustoty mezi dřeva středně těžká (Gandelová Et Al. 1996). Minimální uváděná hustota jasanového dřeva při 12% vlhkosti je 650  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Dubovský Et Al. 2006) maximální 728  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Matovič 1966), průměrná 680  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Matovič 1993), případně 690  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Wagenführ 1989) nebo 710  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Gandelová Et Al. 1996).

### 3.2.5.1 Proměnlivost vlastností jasanového dřeva

Pro jasanové dřevo platí obecné zákonitosti popsané v kapitole 3.1.2. o vztahu hustoty a makroskopických znaků, což potvrzuje řada autorů exaktními testy. Můžeme tedy znovu popisovat vztahy šířky letokruhu, podílu letního dřeva, hustoty a mechanických vlastností, ovšem s konkrétnějšími údaji.

Jasan je charakteristickým zástupcem dřev s bělí, vyzrálým dřevem a jádrem, tvoří tedy až tři barevně rozlišitelné zóny, byť jejich zbarvení a šířka jsou velmi variabilní. Tyto zóny se liší konkrétními vlastnostmi, avšak citování autoři se ne zcela shodují. Matovič (1966) a Svoboda (1955) uvádějí, že zjadernění dřeva nemá významný (negativní) vliv na mechanické vlastnosti jasanu. Podle Perelygina (1965 in Požgaj Et Al. 1993) má bělové dřevo jasanu menší pevnost než jádrové. Hustota je nižší o 14%, modul pružnosti a přerážecí práce jsou nižší o 21 až 30%. Ohybová pevnost se nemění (Požgaj Et Al. 1993). Konečně Šlezingerová a Gandelová (1998 ex Horáček 2010) vysvětlují vyšší hustotu jádrového dřeva jasanu větší průměrnou šířkou letokruhu. Podle Kurjatka (2006) je propustnost (kapalin) bělí u jasanu mnohem vyšší, než jádra. Je to dáno tylositou jádrového dřeva. Ta je u jasanu výrazně vyšší, než např. u jilmu. Množství pórů v jádrovém dřevě je také nižší oproti jilmu. To je v souladu s níže citovanými poznatky o hustotě, které učinil Dubovský (2006). Matovič (1966) zjistil málo významný nárůst mechanických vlastností ve výšce kmene 6 m oproti výšce výčetní (1,3 m).

Doporučení pro výběr dřeva jasanu amerického, který má obdobné vlastnosti, jako jasan ztepilý podle Greena (1999) uvádějí hodnotu  $690 \text{ kg/m}^3$  jako záruku prvotřídní kvality pro výrobu např. dých, nábytku a podlah, sportovního náčiní a držadel a zároveň staví požadavky vůči šířce letokruhů, která se má pohybovat mezi 1,4 a 5 mm (nikoliv méně, ani více),

čímž naznačuje souvislost těchto veličin. Svoboda (1955) nárokuje široké letokruhy (bez omezení), vysoký podíl letního dřeva a přímá vlákna z čistých kmenů pro funkčně namáhané výrobky, zatímco u nábytku „se cení tzv. olivový jasan s dřevem silně zjadernělým a slabou bělí...nejsou tu žádoucí široké letokruhy s vysokým podílem pozdního dřeva, neboť nezáleží na pevnosti a ohebnosti.“

Hustota jasanového dřeva klesá s věkem (Požgaj Et Al. 1993), alespoň od 30-40 roku, v důsledku čehož může rozdíl hustot mezi mladým a stoletým jasanem (letokruhem) činit až 22% (Matovič 1966). Nahradíme-li věk tloušťkou kmene, potvrzuje tento trend i Brauner (2010), od určitého bodu (cca 20 cm) klesá hustota stále více. Obdobně hovoří Kollmann (1941 ex Braune 2010), když potvrzuje závislost šířky letokruhu jasanového dřeva na věku: „Do 15. roku stromu je průměrná šířka letokruhu větší jak 5 mm. S přibývajícím věkem 25 (až do 40 let) se šířka letokruhů postupně snižuje a od tohoto věku vykazuje poměrně konstantní hodnoty. Stejný průběh po poloměru kmene vykazuje i hustota, na niž má šířka letokruhu a podíl letního dřeva velký vliv.“

Tím je potvrzeno, že hustota roste se šířkou letokruhu a zřetelně s ní korelují mechanické vlastnosti, podle lineárních závislostí. Rozsáhle je popisuje Matovič (1966) a Brauner (2010), konkrétně pro meze pevnosti v tlaku a ohybu a modul pružnosti v ohybu (též Gandelová Et Al. 1996). Koeficienty determinace se pohybují nad 50%. Modul pružnosti v tlaku je naproti tomu korelován jen velmi vágně (koef. determinace  $r^2=0,12$ ) a představuje tak spíše výjimku, kterou potvrzují i Dubovský a Hrubý (2006), kteří rovněž zjišťovali na jasanu ukazatele pevnosti v tlaku ( $r^2=0,10$ ). Při vlhkosti 12% ji stanovili níže, než Brauner (60,4 MPa), totiž na průměrných 51,7 MPa a mez úměrnosti na 35,3 MPa (68.29% meze pevnosti) což má odpovídat i jiným autorům s přihlédnutím k hustotě přes jejich slabou

korelovanost. Rázová houževnatost taktéž odpovídá hustotě, byť Matovič (1966) tuto závislost nepokládá za lineární. V radiálním směru dosahuje průměrné hodnoty  $8,2 \text{ J/cm}^2$  a výrazně klesá s úhlovou odchylkou od tohoto směru (Čapek 2002, resp. Zeidler et Čapek, 2008).

Z Braunerových výsledků vyplývá, že nejtěsnější lineární závislost uvedených vlastností se objevuje s hustotou, o něco slabší s šířkou letního dřeva a výrazně nižší se šířkou letokruhu.

Z hlediska vlivu stanoviště Matovič (1966) shledává největší hodnoty hustot a dalších mechanických vlastností dřeva jasanu úzkolistého v lužních lesích na minerálně bohatých a hlubokých půdách, bohatých dusíkem. Tam bylo též dosaženo nejvyššího podílu letního dřeva a celkové objemové produkce. Jasan ze suchých kamenitých svahů naproti tomu dává dřevo s kratšími vlákny, méně ohebné a houževnaté oproti jasanu z rovin, humózních půd (Svoboda 1955). Nicméně Matovič dále upozorňuje, že variabilita vlastností dřeva z lužních stanovišť je značně vysoká a může zastínit variabilitu mezi stanovišti, dále pak, že vztah šířky letokruhu je do jisté míry proměnlivý mezi stanovišti. Dostatek vody vidí tento autor v kontextu lužních lesů jako limitující faktor pro formování makroskopické stavby dřeva. Luhy Svoboda pokládá za porosty s řídkým sponem společně s parky a sdruženým lesem, které poskytují dřevo se širokými letokruhy, elasticitější a cennější oproti zapojeným porostům. Tentýž autor navíc zmiňuje lesnický poněkud neznámou formu „zahradní“ neboli „parkový“ jasan, charakterizovaný soliterním výskytem. „Tyto jasany mají značný podíl na těžbě a dokonce se zvláště cení. Následkem zvláště nerušeného a stejnoměrného osvětlení koruny tvoří zahradní jasan velmi široké letokruhy, které jsou dosti spolehlivým znakem pro mechanicky vysoce cenné jasanové dřevo. Dále se u nich vyskytují zvláštní silnostěnná dřevní vlákna v pozdním dřevě. Konečně zahradní jasan má sklon k silnému, časnému, ne však značně

zbarvenému jádru a zřejmý nadbytek živin podporuje tvorbu thyll (Kollmann 1941)“. Na závěr cituji zajímavou hypotézu Svobodovu, že samičí stromy bývají vzrůstnějši.

Boshier prováděl provenienční výzkum s jasaný v Anglii a konstatoval, že v kulturách existují provenienční rozdíly v tloušťkovém a objemovém přírůstu, zatímco ve výškovém nikoliv. Dále vyzdvihuje význam vysoké adaptační schopnosti jasanů.

Romá (2004) v souladu se Svobodou zdůrazňuje důležitost tendencí opustit od intenzivních způsobů pěstování jasanu zejména s ohledem na kvalitu dřeva, ale i zdravotní rizika takových porostů.

### 3.3 *Souhrn poznatků*

Z rešerše literatury vyplývá několik zřejmých poznatků. Intenzita růstu, dána vhodnými stanovištními podmínkami, má pozitivní vliv na šířku letokruhu a podíl letního dřeva jasanu ztepilého. Podstatná je přitom zejména dostupnost vody, fyzikální charakteristiky půdy a intenzita oslunění. Variabilita v hodnotách mechanických vlastností může být větší po poloměru stromu, než mezi jedinci. Vysoká je obzvláště na lužních stanovištích. Závisí primárně na hustotě dřeva, která je dána především hustotou dřevní substance a podílem letního dřeva (lineární závislost). Pro mnohé z mechanických vlastností je tento vztah také možné vyjádřit lineární závislostí. Šířka letokruhu, podíl letního dřeva a hustota od určitého stáří stromu klesají.

## 4 Metodika

Jedním z cílů této práce je zhodnocení vlivu stanoviště na parametry dřeva. Klimatický vliv předmětem zájmu této práce není, je tedy vhodné jej v maximální možné míře eliminovat volbou zkusných ploch vzájemně si maximálně blízkých. Z toho vyplývající potřebu vysokého množství vzorníků (stromů) není reálně možné uspokojit těžbou celých stromů pro odběr zkušebních těles, s uvážením nízkého zastoupení jasanových porostů v našich lesích a omezenými časem k vyhotovení diplomové práce. Metodika práce je tedy vystavěna na odběru vývrtů ze stojících stromů. Zhodnocení mechanických vlastností dřeva pak může probíhat pouze nepřímo, odvozením od měřitelných veličin s na ně prokázaným vlivem. Literární rešerše potvrdila, že silnou vazbu na mechanické vlastnosti má hustota dřeva. V rozlišení na jednotlivé letokruhy jsme podle získaných vědomostí schopni hustotu stanovit pouze rentgenovým denzitometrem, nanoindentací, dělením vývrtu na letokruhové fragmenty, jejich měřením a vážením (Crivellaro, osobní korespondence), nebo pomocí zástupné veličiny (proxy). Takovou veličinou je odrazivost v modrém spektru viditelného světla (Mccarroll Et Al. 2002).

### 4.1 *Sběr a příprava dat*

#### 4.1.1 *Výběr ploch a odběr vzorků*

Prvotní výběr ploch proběhl na základě průzkumu hospodářských knih, terénního průzkumu a v případě alejí i pomocí ortofotomap a služby Google Maps Street View. Zájmovým územím bylo okolí Prahy. Lokality s výskytem jasanu ztepilého v zastoupení nad 40% byly zaevidovány a následně proběhl výběr tří párů se srovnatelnými stanovištními podmínkami a dostačujícím množstvím stromů vhodných k zahrnutí do výzkumu. Za účelem pokrytí široké škály stanovištních podmínek byly zvoleny tři výrazně

odlišné typy stanovišť, které zároveň mohou odpovídat ekotypům jasanu ztepilého (např. podle Svobody 1955, Buriánka 2009a):

V zapojených porostech:

- údolní stanoviště na podmáčených půdách dobře zásobených vodou (vysoká hladina spod. vody) či periodicky zaplavovaných, resp. v bezprostřední blízkosti potoka s nízkým podélným sklonem - dále jen pracovní označení „niva“
- suťové stráně s výrazným sklonem a skeletovitým půdním profilem (edaf. řady J, Z,..) - dále jen „suť“

V nezapojených porostech

- jasanové aleje podél silnic druhé třídy s maximálně bilaterálním zápojem - dále jen „aleje“

Pro každý zmíněný typ stanoviště byly vybrány dvě lokality (plochy), všechny společně spadají do okruhu 17 km. Snahou bylo minimalizovat klimatické rozdíly mezi jednotlivými lokalitami, nicméně dostupné a vhodné porosty vyvolené pro odběr vzorků nakonec zaujímají rozdíl v nadmořské výšce přibližně 130 m a dle typologické klasifikace spadají jak do 1., tak 2. LVS. Podrobnější charakteristiku stanoviště pro každou plochu uvádí Příloha 1.

Kritériem k zahrnutí stromů byla výčetní tloušťka nad 15 cm a celkový stav výrazně nevybočující od ostatních jedinců na ploše (okraj porostu, silné poškození). V porostu byl nejprve zvolen strom ve středu porostní skupiny a vzorníky byly dále voleny jako nejbližší bez subjektivního posuzování. Z každé lokality bylo vybráno nejméně 10 stromů bez výrazného poškození ve smyslu odumřelé či odstraněné větší části stromu. Vzhledem k hospodářské povaze dotčených porostů nebylo přihlíženo k běžnému vyvětřování stromů (i v alejích), které zjevně nepodlamuje jejich vitalitu. Stejně tak nebylo zohledněno sociální postavení stromů v porostu nebo jejich věk.



Z takto zvolených stromů byly přírůstovým (Presslerovým) nebozecem odebrány až na výjimky 2 vývrty o tloušťce 6mm v radiálním směru (ideálně), a to v prsní výšce 120 cm a ze strany největší zjevné tloušťky na rovinných stanovištích a podél vrstevnic na svázných lokalitách. Druhý vývrt není určen pro dendrochronologickou analýzu, nýbrž pro případné gravimetrické stanovení hustoty letokruhů. Proto byl odebírán ve stejném směru a v minimálním výškovém odstupu od prvního vývrty. Měření letokruhové řady tedy probíhá jen na jednom vývrty, což podle Šmelka (2000) zavádí průměrnou chybu 20% ve stanovení reálného tloušťkového přírůstu stromu, nicméně s ohledem na primárně zamýšlené porovnávání letokruhových dat, nikoliv vnějších dendrometrických veličin, je tato námitka málo relevantní.

Pro každý vrtaný strom byla zaznamenána výčetní tloušťka (přesněji tloušťka ve výšce vývrty) obvodovým měřidlem, výška a nasazení koruny a dva na sebe kolmé poloměry průmětu koruny do vodorovné roviny. Z těchto údajů byl ve smyslu elipsy vypočten ukazatel přibližné korunové plochy (vodorovné) a objemu koruny ve smyslu rotačního elipsoidu podle vzorce

$$V_k = \frac{4\pi}{3} * s_1 * s_2 * \frac{v - v_k}{2}$$

kde  $V_k$  je objem koruny

$s_1$  a  $s_2$  jsou dva vodorovné poloměry průmětu koruny

$v$  a  $v_k$  je výška stromu a výška nasazení koruny

Tento model jistě není ani zdaleka přesným odhadem rozsahu asimilačního aparátu stromu, je ale stanovitelný za dostupných podmínek a spojuje čtyři měřitelné údaje. Pro jednotlivé strom byly zaznamenán i celkový charakter (habitus) a případné zvláštnosti.

Celkově jsme získali 83 vzorků pro dendrochronologická měření, z nichž validních 66 vstupovalo do statistických analýz. Mimoto bylo získáno 52 dalších vývrtů použitelných pro následný gravimetrický rozbor.

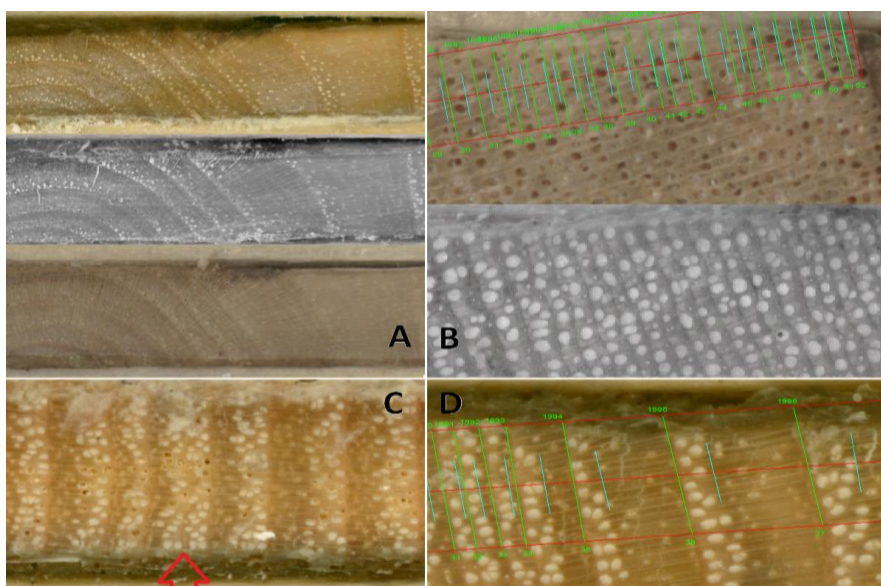
#### *4.1.2 Zpracování vzorků*

66 Vývrtů určených pro dendrochronologická měření bylo bez řízeného vysoušení seříznuto na mikrotonu (Wagenführ 1989) tak, aby se čistým řezem kolmo na vlákna odhalila struktura dřeva v transverzální rovině kmene (nikoliv vývrtu). Letokruhová kresba nebyla v první řadě nijak dodatečně ošetřována, upravené vývrty byly vlepeny do dřevěných nosičů, ponechány vyschnout na rovnovážnou vlhkost a scanovány při rozlišení 2400 DPI v režimu RGB bez softwarových korekcí barev, aby bylo možné uplatnit analytické metody založené na odrazivosti ve spektru RGB. Pro usnadnění vizuálního rozlišení letokruhů v problémových místech byly pořízeny další série snímků po zvýraznění letokruhové kresby křídou a vodou. Všechny vzorky pak byly nascanovány při rozlišení 1600 DPI v odstínech šedi a vybrané vývrty ještě s barevnou korekcí při rozlišení 2400 DPI. Ke zpracování snímků sloužil software Regent Instruments Inc. WinDENDRO Density 2009b, případně WinDENDRO Reg 2012b. Tento program pro digitální analýzu obrazu pracuje výhradně s nekomprimovaným formátem TIFF s bitovou hloubkou nejvýše 24b.

Zmíněný software umožňuje měřit jak celkovou šířku letokruhů, tak šířku jarního (resp. letního) dřeva zároveň, s přesností na tisícinu milimetru, což silně přesahuje běžně dostačující měření na desetinu milimetru (Gandelová Et Al. 1996). Optickým posouzením uživatele byly s jeho pomocí digitálně stanoveny hranice letokruhů a rovněž jarního a letního dřeva v rámci každého z nich, přičemž program vypočítává jejich vzdálenosti na základě údaje o rozlišení snímku (scanner je kalibrován na přesnou velikost

pixelu). Šířka letokruhu byla měřena ve směru dřeňových paprsků z důvodu, že tento princip reflektuje směr vytváření dřevního pletiva, což je dle mého názoru při zkoumání souvislostí ve struktuře dřeva až na úrovni buněk opodstatněné, navzdory konvenčnímu postupu měření vzdálenosti (nejkratší) tečen k hranicím letokruhu. Pro každý vývrt bylo také zaznamenáno, zda zasáhl dřeň, respektive odhadnuto, o kolik letokruhů byla minuta (0, 1, 2, či 3 a více). Tam, kde byla zřetelná hranice jádra, vyvrátého dřeva a běli, bylo zaznamenáno pořadí letokruhu.

Kritérium pro stanovení hranice jarního a letního dřeva v ročním přírůstu bylo formulováno jako pomyslná linie, před kterou se nachází 90% makropórů (širokých cév) v libriformním pletivu daného roku. Jde jen o přibližné vodítko bez možnosti jej v daném software ověřit, bylo zvoleno na základě doporučení Crivellara (osobní korespondence). V praxi se ale často relativně dobře shodovala automatická detekce této hranice softwarem podle kritéria, kdy minimální světelná intenzita (denzita) odpovídá 50% maximální. Automatické detekce ale rozsáhleji využito nebylo, z důvodu



**Obr. 2 A) srovnání tří zhotovených snímků téhož vzorku  
 B) rozpoznání letokruhů s pomocí jiného snímku (stejně zvětšení)  
 C) příklad letokruhu odhaleného teprve metodou křížového datování  
 D) Ukázka určení hranice jarního a letního dřeva**

náročnosti následně nutných, velmi hojných oprav. Pro představu slouží obrázek č.2.

Z takto uživatelem definovaných oblastí navíc program automaticky vypočítává denzitometrické údaje, tedy hodnoty reflektující hustotu dřeva na principu intenzity odrazivosti modré složky světla (Mccarroll Et Al. 2002). K dendrometrickým údajům jsme tedy pro každý strom získali ještě data o počtu letokruhů, šířce každého z nich, jeho jarní a letní části v absolutním i procentuálním vyjádření, sklonu hranice letokruhu k trajektorii měření a hodnotu denzity (hustoty) celkové, maximální a minimální pro celý letokruh a rovněž denzitu jarní a letní části. Hustota by měla být vyjádřena v jednotkách  $\text{g/cm}^3$ , ovšem pouze za předpokladu provedené světelné kalibrace (Guay 2012). Protože stanovení hustoty nebylo cílem této práce a pro svou práci jsem neměl k dispozici kalibrační prostředky (referenční klín), žádná kalibrace provedena nebyla a získaná data měla být pouze experimentálně testována v relativní rovině vzhledem k jiným proměnným, bez ohledu na absolutní hodnoty, kterých nabývá. Parametry analýzy denzity programu Windendro byly: „Y F No; 0 1.2922 Lin 1.00“. Hodnoty získané při použití novější verze programu musely být později vyřazeny z testů (plocha S a částečně Z), neboť nejsou srovnatelné s ostatními. Vzhledem k výrazné barevné proměnlivosti vývrtů jsem neočekával pozitivní výsledky při testování denzitometrických údajů.

V programu WinDendro bylo celkem změřeno přes 4000 validních letokruhů, což utváří soubor čítající přes 44000 letokruhových dat. Tento soubor byl rozsáhle upraven (formátován) v prostředí Microsoft Excel a Visual Basic for Applications, zejména z důvodu exportu dat do formátu Heidelberg, se kterým pracuje program Sciem PAST4 pro analýzu letokruhových chronologií. V tomto programu proběhlo křížové datování, neboli vzájemné srovnání sady chronologií, které umožňuje kontrolu

správné detekce všech letokruhů na základě fundamentálního principu dendrochronologie, že utváření letokruhů stromů odráží společné vlivy (zejm. klimatické). Touto metodou byly v několika případech odhaleny chyby v určení letokruhů v prostředí WinDendro, které byly následně opraveny na základě originálních snímků. Obr.2 ilustruje případ, kdy letokruh nebyl vizuálně zaznamenán a objeven byl až s pomocí křížového datování.

#### *4.1.3 Příprava dat*

Součtem počtu naměřených letokruhů a počtu chybějících letokruhů ke dřeni byl stanoven kambiální věk dřeva s neurčitou chybou vyplývající z odhadu chybějících letokruhů. Na jeho základě můžeme stanovit minimální věk stromu připočtením pěti let pro kompenzaci výšky vývrtu, což je věk, při kterém je jasan schopen dosáhnout 120cm (Svoboda 1955). Reálný věk stromu (při tvorbě daného letokruhu) je s vysokou pravděpodobností buď stejný, nebo vyšší. Některé výzkumy při analýzách používají jako vysvětlující proměnnou vzdálenost od dřeni v jednotkách délky (Braune 2010, Dubovský Et Al. 2006). Ta je však kromě věku závislá i na intenzitě růstu podobně jako veličiny, které chceme zkoumat jako závislé. Proto raději používám údaje založené na počtu letokruhů.

Data získaná výše popsaným způsobem bylo třeba pro každý druh analýzy připravit nejen ve smyslu uspořádání do vhodných matic, ale též vytvoření zástupných nebo sumárních hodnot pro různé prvky. To je podle potřeby popsáno v části Statistické zpracování dat.

Z denzitometrických dat, pořízených analýzou snímků v programu Windendro, byla použita bezrozměrná proměnná RINGDENSITY (RD) udávající průměrnou hodnotu pro jednotlivé letokruhy. Tato proměnná má v rozporu s manuálem (Guay 2012) klesající charakter podél rostoucího

zastoupení letního dřeva, což je důsledkem absence kalibrace. Z toho důvodu byla zavedena pomocná proměnná  $RD_{inv}$ , pro níž byly hodnoty  $RD$  převráceny a řádově povýšeny vzorcem

$$RD_{inv} = 10000 / RD.$$

Pro možnost grafického srovnání s šířkou letokruhu ( $RW$ ) na společné ose byla  $RD$  obdobně transformována ještě do proměnné  $RD_i$  tak, aby střední hodnoty a rozptyl nového rozdělení přibližně odpovídal rozdělení  $RW$ , a to experimentálně stanoveným vzorcem

$$RD_i = (400000 / RD) - 8.$$

Protože použité denzitometrické údaje jsou bezrozměrné a nekalibrované, lineární transformace pomocí konstant nemají vliv na těsnost korelace s ostatními letokruhovými proměnnými, což je jediné, co nás v tomto smyslu zajímá.

#### 4.1.4 Popis proměnných

LOK (plocha) lokalita odběru jednoho souboru vzorků {B, L, S, T, Y, Z}

typ (stanoviště) kategorie sdružující plochy po dvojicích do stanovištních typů {alej, niva, suť}

Ze souboru dat pro celé stromy jsou pro statistiky nejdůležitější následující veličiny

vyska [m] výška stromu

dbh [cm] tloušťka ve výšce vývrtu

Vk\_elip [m<sup>3</sup>] objem koruny

Z letokruhových dat jsou nadále zmiňovány tyto proměnné:

$RW$ ,  $EW$ ,  $LW$  [mm] šířka letokruhu, jarního dřeva a letního dřeva

$LW\%$  [%] zastoupení (podíl) letního dřeva v letokruhu [%]

$\emptyset RW$  [mm] průměrná šířka letokruhu pro strom (viz níže)

$\emptyset LW\%$  [%] průměrné zastoupení letního dřeva (viz níže)

RD, RDinv, RDi	bezrozměrná čísla daná barvou letokruhu odrážející jeho hustotu (viz výše)
Age	minimální kambiální věk tvorby daného letokruhu = pořadí letokruhu od dřeni ve směru ke kůře
Year	letopočet tvorby letokruhu

#### 4.2 Statistické zpracování dat

Po kompletaci a úpravách základních dat byly vypočteny doplňující a odvozené proměnné pro plánované analýzy. U všech stromů bylo odstraněno prvních 5 měřených letokruhů, neboť obecně náleží do zóny juvenilního dřeva, které vykazuje specifické hodnoty letokruhových veličin. Na základě předběžné korelační analýzy v programu Past byly sestaveny průměrné chronologie pro jednotlivé měřené veličiny na úrovni plochy a stanoviště. K dalšímu zpracování byl použit software StatSoft STATISTICA 12.

Popisné statistiky (JS statistiky ANOVA.sta)												
Proměni	N platných	% plat. pozor.	Prumer	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Medián	Modus	Cetnost modu	Součet	Minimum	Maximum	
ØRW	66	100,0000	70,60809	68,17480	73,04138	69,84080	Vícenás.	1	4660,134	47,70869	90,27456	
ØLW%	66	100,0000	3,43745	2,93921	3,93570	2,44077	Vícenás.	1	226,872	1,28327	9,43431	
	Dolní kvartil	Horní kvartil	Kvantil 10,00000	Kvantil 90,00000	Rozpetí	Kvartilové rozpetí	Rozptyl	Sm.odch.	Spolehlivost Sm.Odch. -95,000%	Spolehlivost Sm.Odch. +95,000%	Var.koef.	Smerod. Chyba
ØRW	62,30864	79,73168	57,63596	83,59393	42,56587	17,42304	97,97523	9,898244	8,450610	11,94903	14,01857	1,218390
ØLW%	1,77883	5,09541	1,45257	6,43189	8,15104	3,31659	4,10786	2,026787	1,730366	2,44671	58,96188	0,249480

**Tab. 1** Popisná statistika souborů průměrné šířky letokruhů a zastoupení letního dřeva ve vzorku

#### 4.2.1 Analýza rozptylu sumárních dat stromu podle stanoviště

Cílem je posoudit, zda na veličiny RW a LW% má vliv některý z kvalitativních znaků, konkrétně typ stanoviště (typ) a plocha (LOK). Jejich hodnoty (např. stanovištní typ „niva“, plocha B apod.) představují kategorie, mezi kterými budeme porovnávat střední hodnoty, resp. rozptyl. Datové soubory budou tvořeny průměrnými měrami pro každý vzorek (strom), vypočtenými sumárně z jednotlivých letokruhových sérií podle následujících vzorců.

Průměrná šířka letokruhu

$$\bar{RW}_x = \frac{\sum_{i=1}^{RC_x} RW_{x,i}}{RC}$$

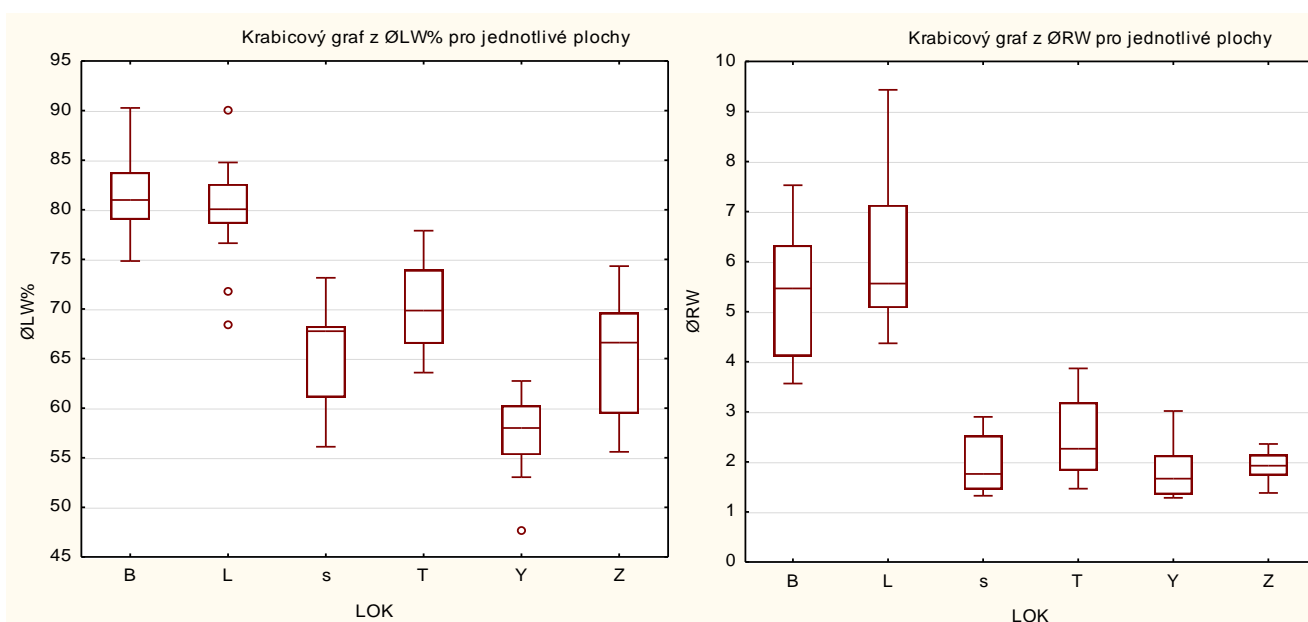
Průměrné zastoupení letního dřeva (odpovídá normě)

$$\bar{LW}\%_x = \frac{\sum_{i=1}^{RC_x} LW_{x,i}}{\bar{RW}_x}$$

kde	x	-	index vzorku (stromu)
	i	-	index letokruhu v rámci vzorku
	RC	-	počet letokruhů daného vzorku
	$RW_{x,i}$	-	šířka letokruhu
	$LW\%_{x,i}$	-	procentické zastoupení letního dřeva v letokruhu



Před volbou vhodné metody statistického testování byly nejprve vypočteny ukazatele popisné statistiky pro zmíněné proměnné představující efekt. Aby bylo možné použít silnější parametrický test ANOVA oproti testu Kruskal-Wallisovu, je nutné ověřit podmínky nezávislosti, normality a homogenity datového souboru. Normalita byla testována Shapiro-Wilkovým testem spolu s vizualizací dat pro jednotlivé kategorie v normálním pravděpodobnostním grafu pro jednotlivé plochy. Souhrnný soubor hodnot RW normálnímu rozdělení nevyhovuje, což není překážkou, pakliže vyhovují dílčí soubory na plochách. Většina ploch odpovídala na hladině významnosti  $p=0,05$  normálnímu rozdělení, ovšem na ploše L (alej Lidice) byl tento předpoklad, byť slabě, porušen ( $p=0,0468$ ). Tato skutečnost by se dala „napravit“ odstraněním nejvíce se odchyloujícího vzorku L06, nicméně překážkou zůstává předpoklad homogenity rozptylů či homoskedasticity, který pro veličinu RW není splněn, jak naznačuje již krabicový graf a exaktněji Leveneův test, podle něhož zamítáme hypotézu o shodnosti rozptylů. Z těchto důvodů nebude použita analýza ANOVA, nýbrž neparametrická Kruskal-Wallisova analýza a mediánový test.



**Obr. 3** Krabicové grafy průměrné šířky letokruhu a zastoupení letního dřeva na jednotlivých plochách

	Leveneov test homogenity rozptylu. Efekt: typ Stupne volnosti pro všechna F: 2, 63			
	PC Efekt	PC Chyba	F	p
ØRW	2,54145	0,33469	7,593484	0,001110
ØLW%	23,19667	13,30878	1,742961	0,183334

**Tab. 2 Výsledky  
Leveneova testu pro  
rozptyl veličin podle  
kategorií plochy  
(LOK)**

#### 4.2.2 Regresní analýza letokruhových řad

##### 4.2.2.1 Charakteristika použitých dat a design analýzy

Regresní analýza umožňuje nalézt lineární vztah dvou spojitých veličin. Při statistickém souboru větším, než 15 vzorků poskytuje spolehlivé výsledky i při nenormálním rozdělení středních chyb souboru (Minitab 2014). Tímto nástrojem tedy získáváme možnost dotazovat vliv času na růst stromu, a to ve dvojím smyslu: Zaprvé můžeme sledovat chování sledovaných veličin v průběhu let ve smyslu kalendářního letopočtu, zadruhé pak z pohledu stromu, resp. jeho věku. Tato hlediska v budou dále označovat jako čas a věk, resp. Year a Age v datovém souboru.

V této fázi se tedy pozornost statistického zpracování přesouvá z úrovně stromů na úroveň letokruhů, avšak protože cílem zkoumání zůstává vliv stanoviště, můžeme vstupní data sdružit podle plochy (aritmetickým průměrem) a výsledky analýzy následně znovu separovat na úroveň plochy, resp. typu stanoviště (LOK a typ).

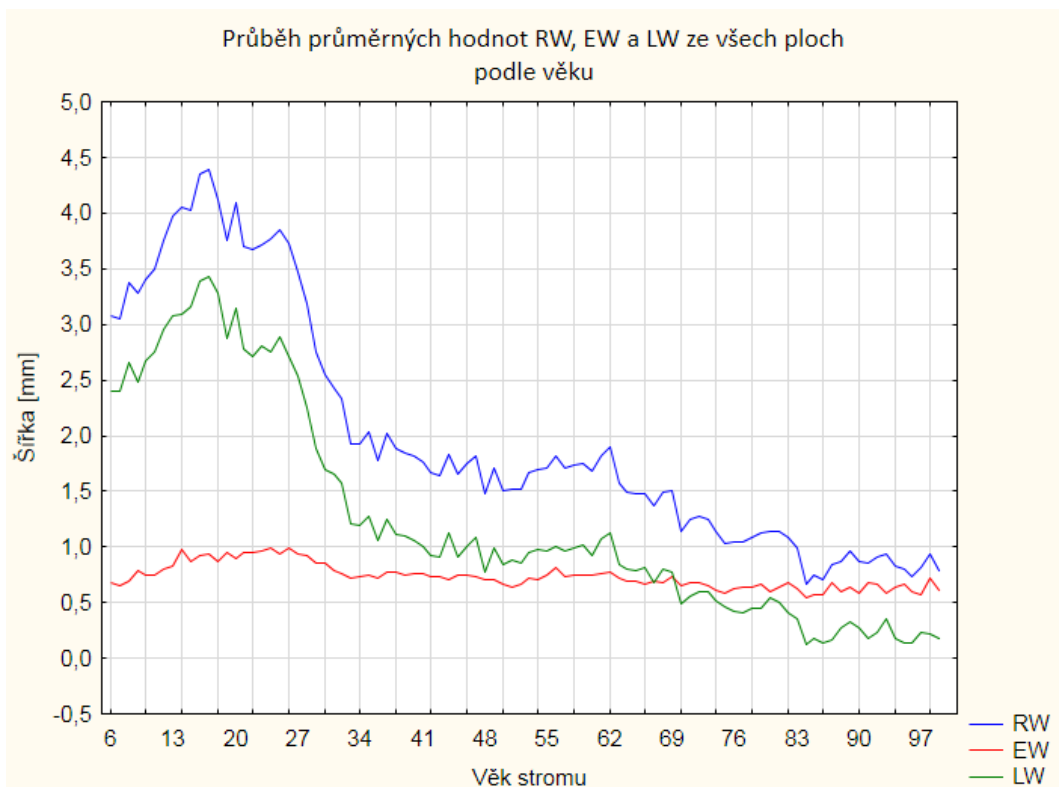
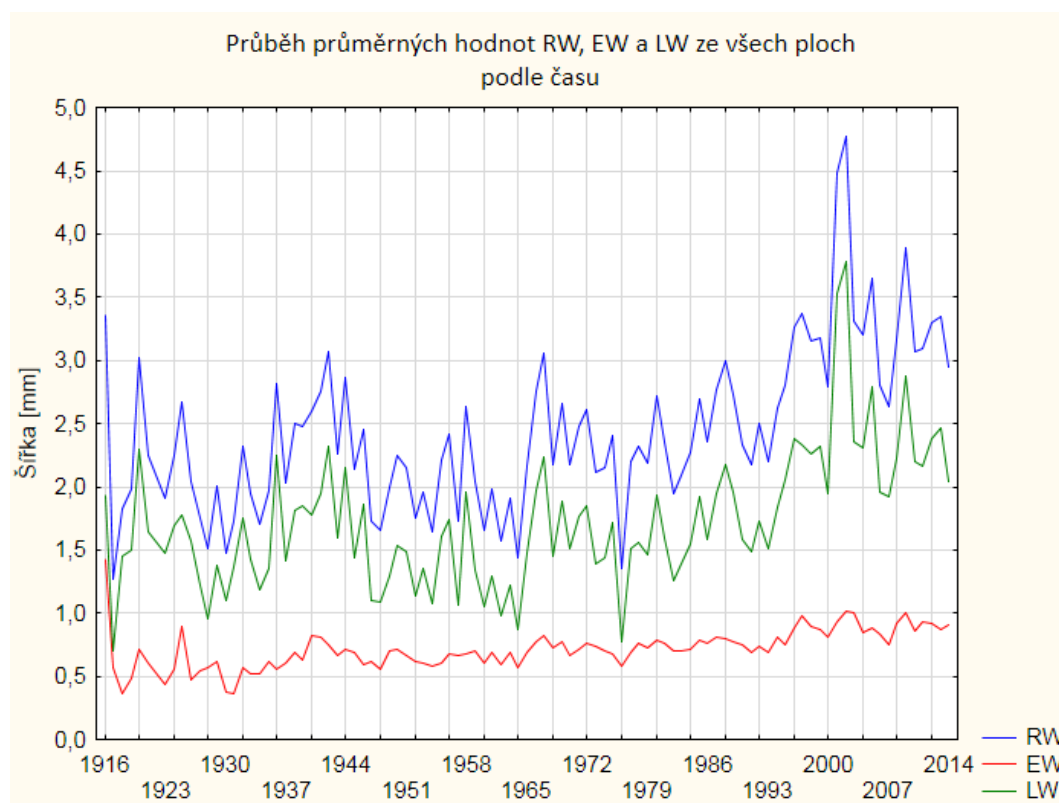
Sdružením je míněna tvorba průměrných chronologií (časových řad) z každé plochy. Tyto chronologie byly vytvořeny pro všechny měřené letokruhové veličiny. Protože měřené vzorníky nejsou stejně staré, je při tomto postupu třeba reflektovat kritérium, podle kterého se letokruhové série řadí do matice pro výpočet průměrných hodnot – buď podle kalendářního roku, nebo podle věku dřeviny. První varianta umožňuje

odezírat vnější vlivy proměnlivé v čase, např. klimatický signál. Ve druhém případě sledujeme primárně vliv věku dřeviny, klimatický signál je částečně potlačen v závislosti na míře různověkosti souboru, čímž se snažíme přiblížit požadavkům na detrendování letokruhových chronologií (Esper 2009). Datové řady je pak třeba transformovat principem, který ilustruje tabulka 3. Tato a další transformace byly provedeny pomocí skriptů v prostředí MS Excel a VBA. Díky nepřesnému stanovení kambialního věku zde však zavádíme určitou chybu při ztotožnění počátku chronologie jednotným (šestým) rokem věku oproti chronologiím časovým, které jsou prokazatelně zarovnané na svém konci na letopočet 2014. Je třeba mít též na zřeteli, že na počátku řady časové a naopak ke konci řady věkové klesá množství vzorků a tedy i spolehlivost střední hodnoty odhadované průměrem. Na stanovištích typu alej jsou měřené vzorníky významně mladší, z toho plyne i nižší počet párů letokruhových hodnot, které vstupují do analýzy pro tyto plochy, neboli kratší průměrné chronologie. Oba druhy vzniklých řad pro šířky letokruhů, jarního a letního dřeva ilustrují grafy na obr.4. Rozdíl mezi korelačními koeficienty získanými z obou sad analýz byl vyhodnocen jako statisticky významný výpočtem Fishcherova Z.

čas:	1990	1991	1992	1993	1995
strom1	5	2	3		
strom2		4	3	4	6
strom3				3	6
mean_chrono	5	3	3	3,5	6

věk:	1	2	3	4	5
strom1	5	2	3		
strom2	4	3	4	6	
strom3	3	6			
mean_chrono	4	3,667	3,5	6	0

**Tab. 3 Princip transformace časových řad na věkové**



**Obr. 4 Srovnání průměrných řad stejných letokruhových dat ze všech ploch.** Nahoře řada časová, dole věková. Patrná je relativně stabilní šířka jarního dřeva a naopak vysoká korelace šířky dřeva letního s šířkou celého letokruhu.

Pro regresní analýzu denzitometrických dat, která byla doplňujícím experimentem mj. pro nemožnost kalibrace pořizovacího zařízení, je datový soubor méně početný díky velkému zastoupení neplatných hodnot díky datové nekompatibilitě dvou softwarových verzí měřicího programu WinDendro. Dále tento soubor označuji jako redukované řady.

Korelační a regresní analýze byly postupně podrobeny tyto sady dat:

- $\emptyset$ LW% oproti výčetní tloušťce, výšce a objemu koruny

Na časových řadách:

- LW oproti RW
- LW% oproti RW a logRW
- RW a LW% oproti Year

Na věkových řadách:

- LW a logRW
- LW% a Age
- RW a Age

Na redukovaných řadách:

- RDi oproti LW%

Jednotlivé testy byly provedeny jak pro celý soubor, tak po kategoriích, tedy pro jednotlivé stanovištní typy zvlášť. Významnost případných odlišností těchto výsledků (mezi typy) byla párově testována srovnáním korelačních koeficientů pomocí Fischerova Z.

Pomocí modulu vícenásobné regrese byly vyčísleny Pearsonovy korelační koeficienty mezi RW a LW%, a to jak v základním tvaru, tak po matematické transformaci – mocninné, logaritmické, exponenciální. Srovnáním Pearsonových koeficientů byly jako relevantní vytrženy pouze hodnoty základní a logaritmické, nejsilnější korelace podle nich existuje mezi zastoupením letního dřeva a (LW%) a logaritmem (o jakémkoliv

základu) šířky letokruhu ( $\log RW$ ). Pro dostatečné zhodnocení závislosti dvou proměnných je ovšem potřeba vyhodnotit samotný regresní model. Korelační koeficient nadto neurčuje ani smysl závislosti, tj. která z proměnných je nezávislá (vysvětlující) a která závislá (vysvětlovaná). I když kovariance je v obou směrech shodná, metoda vyhodnocení nejmenších čtverců, o kterou se hledání lineárního regresního modelu opírá, skýtá pro oba případy odlišný výsledek. Byla proto provedena série iterací regresní analýzy pro obě sady chronologií a jednotlivé testované veličiny.

#### 4.2.2.2 Hodnocení výsledků

Pro posouzení regresního vztahu slouží zmíněný korelační koeficient, který měří těsnost vztahu v intervalu  $\langle 0; \pm 1 \rangle$ . Hypotézu o nulovosti tohoto koeficientu zamítáme pod zvolenou hladinou významnosti 0,01 (hodnota  $p$ ). Tato hodnota zároveň zohledňuje velikost výběrového (testovaného) souboru (podle statistiky  $T$ ). Hodnota  $p$  se pro vhodně sestavené modely pohybovala hluboko pod hodnotou 0,000001, byla ale rovněž ověřována analýzou reziduí modelu. Při ní byl použit koeficient determinace ( $r^2 > 0,95$ ) reziduí v normálním rozdělení ( $p$ -graf). Výsledkem grafického posouzení  $p$ -grafu reziduí, histogramu reziduí a závislosti pozorovaných hodnot nebo reziduí na očekávaných hodnotách bylo označení „negativní“ v případě, že jejich hodnoty vykazovaly systematické vybočení od modelové funkce resp. tendenci (např. esovitý průběh, shlukovitost, asymetrie apod.). Jako negativní ale označeny nebyly v případě, že hlavní vliv na tento jev měl výskyt odlehlých hodnot, jejichž eliminace vedla k výraznému zlepšení. S výjimkou denzitometrických dat má rovněž smysl uvádět předpis zjištěné regresní přímky, tj. absolutní člen udávající polohu protnutí s osou  $y$  a lineární člen udávající směrnici přímky.

## 5 Výsledky

Prosté chronologie, tj. průběh základních letokruhových dat podél kambiálního věku a času, zobrazuje obr.4 výše a přílohy 3-5. Níže uvedeny jsou výsledky statistického testování těchto

### 5.1 Analýza rozptylu sumárních dat stromu podle stanoviště

Kruskal-Wallisova analýza rozptylu i mediánový test shodně vyjevují, že rozdíl mezi kategoriemi je obecně statisticky významný na hladině  $p=0,0001$ . Vícenásobný test pak zobrazí, mezi kterými kategoriemi tomu tak je jmenovitě. Výsledky zobrazuje tabulka níže. Smysl odlišnosti pak vyplývá z jednoduché popisné statistiky (Obr.3). Podle hodnot pro kategorie stanoviště je možno říci, že stanovištní typ alej se liší v obou ohledech (RW i LW%) od obou ostatních typů. Nejméně to však platí pro plochu T (Tuchoměřice – niva), u níž hypotéza o shodnosti rozptylu s plochou plochy B (Brázdím – alej) není zamítnuta z hlediska RW ani LW%, zatímco oproti ploše L (Lidice – alej) lze zamítnout takovou hypotézu o RW. Stanovištní typy niva a suť podle tohoto testu nelze prohlásit za významně odlišné z hlediska RW ani LW%.

Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); ØRW Nezávislá (grupovací) proměnná : LOK Kruskal-Wallisuv test: H ( 5, N= 66) =48,45377 p =,0000						
Závislá: ØRW	B	L	S	T	Y	Z
B	R:52,364	R:55,214	R:19,273	R:29,000	R:15,700	R:20,300
L	1,00000	1,00000	0,00079	0,08016	0,00018	0,00197
S	0,00079	0,00005	1,00000	0,01459	0,00001	0,00018
T	0,08016	0,01459	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Y	0,00018	0,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Z	0,00197	0,00018	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Vš. skupiny Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); ØRW Nezávislá (grupovací) proměnná : typ Kruskal-Wallisuv test: H ( 2, N= 65) =45,54471 p =,0000			
Závislá: ØRW	alej	niva	suť
ØRW	R:53,458	R:23,905	R:18,000
alej	1,00000	0,00000	0,00000
niva	0,00000	1,00000	0,95261
suť	0,00000	0,95261	1,00000

Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); ØLW%						
Nezávislá (grupovací) proměnná : LOK Kruskal-Wallisuv test: H ( 5, N= 66) =49,72284 p =,0000						
Závislá: ØLW%	B	L	S	T	Y	Z
B	R:54,909	R:51,643	R:22,909	R:32,000	R:8,5000	R:22,700
L	1,00000	1,00000	0,00138	0,09461	0,00000	0,00184
S	0,00138	0,00304	1,00000	0,20187	0,00000	0,00406
T	0,09461	0,20187	1,00000	1,00000	0,09289	1,00000
Y	0,00000	0,00000	1,00000	0,09289	1,00000	1,00000
Z	0,00184	0,00406	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

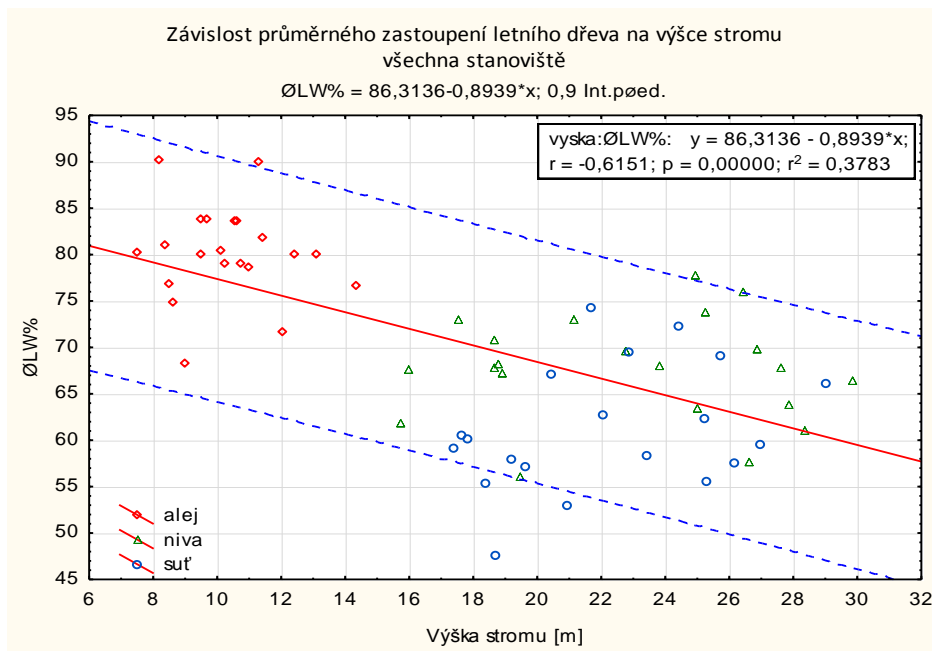
  

Vš. skupiny Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); ØLW%			
Nezávislá (grupovací) proměnná : typ Kruskal-Wallisuv test: H ( 2, N= 65) =44,52429 p =,0000			
Závislá: ØLW%	alej	niva	suť
ØLW%	R:52,542	R:27,238	R:15,600
alej	1,00000	0,00002	0,00000
niva	0,00002	1,00000	0,14649
suť	0,00000	0,14649	1,00000

Tab. 4 Výsledky Kruskal-Wallisovy analýzy rozptylu

## 5.2 Regresní analýza letokruhových řad

Výsledky korelační a regresní analýzy pro stromové veličiny výšku, výčetní tloušťku a odhad objemu koruny jakožto vysvětlující proměnné oproti průměrnému zastoupení letního dřeva poskytly signál o lineární závislosti veličin pouze v případě výšky, kde nulová hypotéza o neexistenci korelace nebyla zamítnuta ( $p < 0,05$ ), ovšem v celkovém souboru. Podle dílčích analýz není statisticky významný vztah prokázán lokálně na žádném ze stanovištních typů a regresní předpis je tedy dán pouze celkovou odlišností stanoviště alej, kde je při nižších výškách dosahováno vyššího zastoupení letního dřeva.



**Obr. 5** Závislost průměrného zastoupení letního dřeva na výšce stromu. Regresní přímka je určena pouze rozdílem mezi alejemi a ostatními stanovišti.

Mezi analýzami provedenými na základě časových a věkových řad nebyly významné rozdíly, což potvrzují srovnání korelačních koeficientů skrze Fisherovo Z. Smysl těchto řad tedy zůstává omezen na testování přímých vztahů s proměnnou Year resp. Age. Dále budu citovat primárně hodnoty získané z řad věkových, protože vztah sledovaných veličin k věku je jedním z hlavních zaměření této práce.



Výsledky regresních analýz shrnuje tabulka vybraných ukazatelů (tab.6).

Promenná	Korelace. Časové řady.			
	RW	LW%	logRW	logLW%
RW	1,000000	0,702391	0,911379	0,644747
LW%	0,702391	1,000000	0,796501	0,986304
logRW	0,911379	0,796501	1,000000	0,770417
logLW%	0,644747	0,986304	0,770417	1,000000

Promenná	Korelace. Věkové řady.			
	RW	LW%	logRW	logLW%
RW	1,000000	0,661597	0,911562	0,608073
LW%	0,661597	1,000000	0,741452	0,986390
logRW	0,911562	0,741452	1,000000	0,718595
logLW%	0,608073	0,986390	0,718595	1,000000

**Tab. 5 Srovnání Pearsonových korelačních koeficientů pro časové a věkové řady.**

Nejsilnější vztah je v obou případech mezi LW% a logRW, pro časové řady silnější.

Těsná korelace (Pearsonovo  $r > 0,996$ ) byla prokázána pro šířku letokruhu a šířku letního dřeva v něm, jak v řadách věkových, tak časových. Zastoupení letního dřeva, což je prostý poměr obou šířek vyjádřen procenticky, je zřetelně těsněji korelován s logaritmem šířky letokruhu, než jeho přirozenou hodnotou. Toto tvrzení platí jak nad řadami věkovými, tak nad časovými, přičemž pro řady časové je korelace silnější, jak je patrné z tabulky 5. Logaritmickou funkci tedy považujeme za model blízcí se reálnému tvaru v rozsahu daném koeficientem determinace. Koeficient determinace  $r^2$  je typicky možné interpretovat tak, že šířka letokruhu podle předpisu  $LW\% = 38,3 + 24,6 \times \log_{10} RW$  vysvětluje přibližně 80% variability zastoupení letního dřeva ve zkoumaném souboru. Nulovou hypotézu, že korelace neexistuje, zamítáme na řádově vyšší hladině významnosti, než  $p < 0,05$ . Rozdíl korelačních koeficientů jednotlivých stanovišť byl testován pomocí Fischerova z. Výsledkem, při použití věkových řad, je tvrzení, že míra závislosti LW% na  $\log_{10} RW$  nívního stanoviště je významně odlišná ( $p < 0,05$ ) od suťových a nívních stanovišť, zatímco vzájemný rozdíl druhých dvou významný není. Při řadách časových odlišnosti ploch statisticky významné nejsou. Nejsilnější vztah vychází pro nivu ( $r^2 = 0,891$ ) z hlediska věkových řad, zatímco z hlediska časových je

korelace nejtěsnější pro aleje, byť míra reakce na vysvětlující veličinu (lineární člen rovnice) je tam nejnižší.

Hypotézu, že věk nemá vliv na podíl letního dřeva, zamítáme v obecné rovině a dále konkrétně pro stanoviště niva a suť, na hladině významnosti  $p < 0,01$ . V případě alejí ji ovšem zamítnout nelze, což potvrzují i nevyhovující výsledky reziduální analýzy (koeficient determinace reziduí v norálním p-grafu  $r^2 < 0,95$ ). Patrné je to již při pohledu na samotnou věkovou řadu, jejíž maximum se nachází uvnitř série, průběh LW% podle věku na těchto plochách tedy není monotónní, tedy ani lineární. Rozdílnost korelace na jednotlivých plochách je statisticky významná, při vyřazení alejí z analýzy se však výsledky souhrnné analýzy nezvyšují.

V případě šířky letokruhu a jeho závislosti na věku jsou výsledky obdobné, avšak s nižší měrou korelace. Pro nevyhovující ukazatele reziduální analýzy je však třeba považovat výsledky regrese za nespolehlivé. Nulovou hypotézu opět nemůžeme zamítnout pro aleje. Jejich vyřazení v analýzy však zlepšuje výsledky zbytku souboru.

Lineární vliv času na šířku letokruhu i zastoupení letního dřeva se jeví jako neprůkazný.

Míru korelace proměnné vyjadřující průměrnou hustotu letokruhu (RD<sub>i</sub>) se zastoupením letního dřeva souhrnně kvantifikuje korelační koeficient 0,535, resp. 0,728 po vyloučení stanoviště alej. Toto stanoviště se i zde statisticky významně vymyká a neumožňuje závislost lokálně potvrdit ( $p > 0,05$ ), negativně vychází i analýza reziduí, pakliže je alej zahrnuta. Pro zbylá stanoviště není rozdíl korelačních koeficientů statisticky významný. Přibližně 53% indikované variability hustoty v důsledku variability podílu letního dřeva pro ostatní stanoviště tak není možné obhájit zcela spolehlivě.

				kritéria klasifikace: <0,75;0,1>				<0,01	>0,95	
	závislá	nezávislá	kategorie	r	r <sup>2</sup>	abs.člen	lin. člen	p<	rezidua r <sup>2</sup>	grafická analýza rez.
	ØLW%	VK_elip	CELKEM	0,043	0,002	85,193	0,001	0,797030	-	
	ØLW%	dbh	CELKEM	0,030	0,001	85,193	0,037	0,848837	-	
	ØLW%	vyska	CELKEM	-0,634	0,402	85,193	-0,921	0,000000	0,974	částečně negativní
		alej		-0,089	0,229	82,886	-0,260	0,702777	0,936	negativní
		niva		-0,013	0,229	68,137	-0,016	0,956649	0,977	negativní
		suť		0,337	0,222	46,943	0,648	0,145671	0,986	negativní
Chronologie										
věk	LW	RW	CELKEM	0,996	0,993	-0,493	0,883	0,000001	0,987	
věk	RW	LW	CELKEM	0,996	0,993	0,572	1,125	0,000001	0,982	
věk	LW%	RW	CELKEM	0,769	0,591	37,797	7,344	0,000001	0,977	
věk	RW	LW%	CELKEM	0,769	0,591	-2,032	0,080	0,000001	0,908	negativní
věk	LW%	logRW	CELKEM	0,891	0,794	38,299	56,660	0,000001	0,991	
		alej		0,807	0,651	41,574	45,391	0,000001	0,974	
		niva		0,944	0,891	31,529	84,052	0,000001	0,994	
		suť		0,828	0,686	38,409	65,999	0,000001	0,971	částečně negativní
věk	RW	Age	CELKEM	-0,582	0,338	4,164	-0,041	0,000001	0,854	negativní
		alej		-0,132	0,017	6,245	-0,021	0,315260	0,981	negativní
		niva		-0,822	0,676	3,159	-0,027	0,000001	0,968	částečně negativní
		suť		-0,647	0,418	2,362	-0,015	0,000001	0,974	částečně negativní
věk, vyloučena alej	RW	Age	CELKEM	-0,731	0,535	2,773	-0,021	0,000001	0,960	negativní
věk	LW%	Age	CELKEM	-0,841	0,708	79,338	-0,570	0,000001	0,991	
		alej		-0,204	0,041	78,633	-0,143	0,118815	0,944	negativní
		niva		-0,902	0,813	79,142	-0,587	0,000001	0,973	částečně negativní
		suť		-0,756	0,571	70,929	-0,431	0,000001	0,985	
věk, vyloučena alej	LW%	Age	CELKEM	-0,837	0,701	75,263	-0,515	0,000001	0,989	
věk, Grand_mean	LW%	Age	CELKEM	-0,957	0,915	79,547	-0,581	0,000001	N/A	N/A
čas	LW	RW	CELKEM	0,995	0,990	-0,423	0,872	0,000001	0,961	
čas	RW	LW	CELKEM	0,995	0,990	0,506	1,134	0,000001	0,955	
čas	LW%	RW	CELKEM	0,662	0,438	46,775	5,812	0,000001	0,989	částečně neg. pro T
čas	RW	LW%	CELKEM	0,662	0,438	-2,111	0,075	0,000001	0,906	
čas	LW%	logRW	CELKEM	0,797	0,634	46,991	43,473	0,000001	0,991	
		alej		0,887	0,786	57,900	27,594	0,000001	0,956	
		niva		0,786	0,619	42,150	61,589	0,000001	0,953	částečně negativní
		suť		0,783	0,612	42,193	57,589	0,000001	0,988	
čas	RW	Year	CELKEM	0,205	0,042	-25,166	0,014	0,000069	0,891	negativní
		alej		0,605	0,366	-318,409	0,162	0,000001	0,989	
		suť		-0,390	0,152	25,362	-0,012	0,000001	0,952	částečně negativní
		niva		-0,172	0,030	13,722	-0,006	0,034205	0,944	negativní
čas	LW%	Year	CELKEM	-0,294	0,087	399,028	-0,171	0,000001	0,989	částečně negativní
		alej		0,304	0,093	-838,066	0,456	0,018071	0,836	negativní
		niva		-0,671	0,450	787,585	-0,368	0,000001	0,991	částečně negativní
		suť		-0,550	0,302	589,579	-0,270	0,000001	0,979	částečně negativní
čas, vyloučena alej	LW%	Year	CELKEM	-0,608	0,370	693,038	-0,321	0,000001	0,991	
čas: Grand_mean	LW%	Year	CELKEM	-0,628	0,394	365,440	-0,154	0,000001	N/A	N/A
věk redukované-density	RD	LW%	CELKEM	0,495	0,245	2,426	0,047	0,000001	0,964	negativní
		alej		0,174	0,030	3,160	0,023	0,183178	0,960	negativní
		niva		0,791	0,625	-0,115	0,090	0,000001	0,966	částečně negativní
		suť		0,744	0,554	0,647	0,090	0,000001	0,969	negativní
vyloučena alej	RD	LW%	CELKEM	0,728	0,530	0,694	0,085	0,000001	0,976	

Tab. 6 Výsledky regresních analýz, vybrané ukazatele

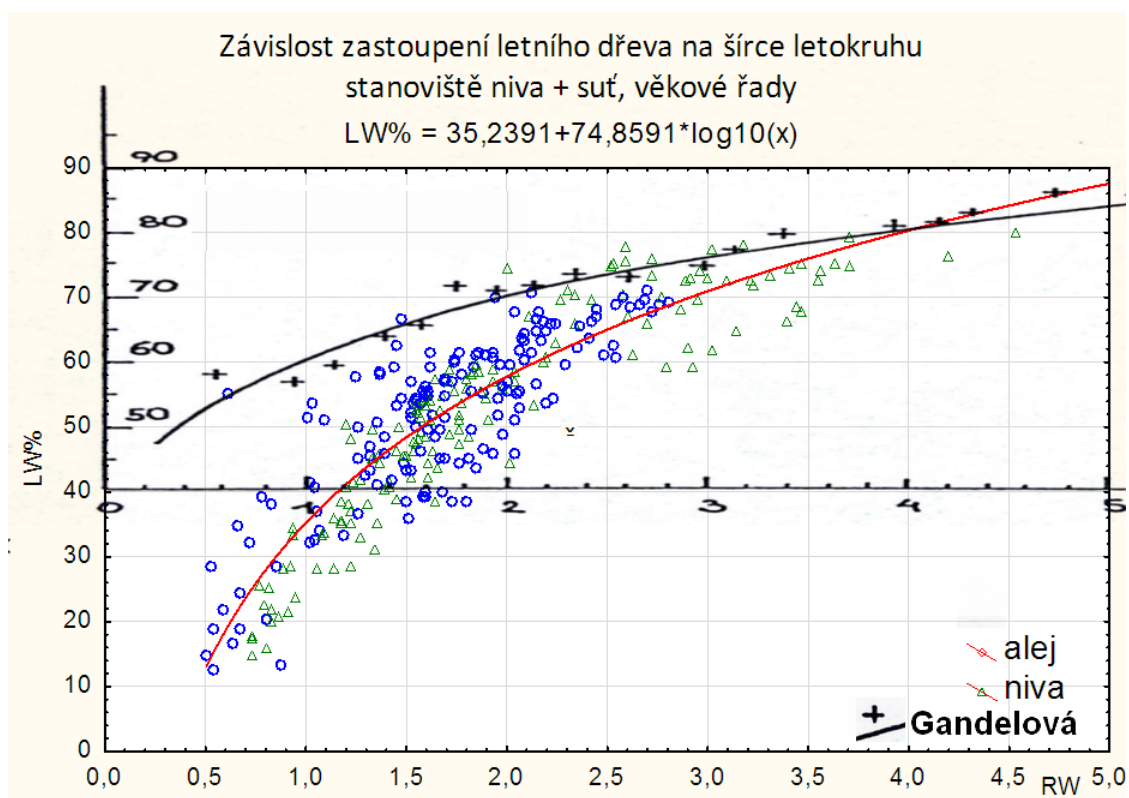
## 6 Diskuze

Výsledky Kruskal-Wallisovy analýzy rozptylu jsou v souladu s řadou zjištění skrze regresní modely. Jsou statisticky vyčísleným ověřením trendů více či méně zřejmých z grafických sestav vyhotovených při screeningu dat na počátku analýz. V řadě případů nebylo možné zamítnout nulové hypotézy a podpořit předpoklad o závislostech proměnných. V některých vztazích však konstatuji signifikantní korelaci. Kauzalita mezi zkoumanými proměnnými sice může být v omezené míře indikována regresními modely, avšak jejich vztah nemusí být, a nejspíše není, přímý. Zjišťujeme tedy pouze zdánlivé či zástupné faktory (vysvětlující proměnné), které mohou být vůči skutečným faktorům ve stejném hierarchickém postavení jako vysvětlované proměnné. Skutečné faktory zůstávají při daném způsobu zkoumání neznámé.

Obecná závislost procentuálního podílu letního dřeva letokruhu na jeho šířce, v literatuře hojně zmiňována, byla pro jasanové dřevo potvrzena i analýzami provedenými v rámci této práce. Logicky je podmíněna velice nízkou variabilitou šířky jarního dřeva, tj. nízkou korelací s šířkou letokruhu (např. Ross Et Al. 2010). Jinými slovy míra korelace šířky letokruhu s podílem letního dřeva zároveň udává míru nekorelovanosti se šířkou dřeva jarního. Vyjádřena je silnou lineární regresí se zástupnou veličinou, kterou může být logaritmus šířky letokruhu. Zatímco Matovič (1966) sestavil několik různých předpisů této závislosti, Brauner (2010) se spokojil s lineárním vztahem s přirozenou šířkou letokruhu i přes to, že výsledky zřetelně vykazují nelineární distribuci. Logaritmická závislost ilustruje princip, že reakce závislé veličiny, v našem případě zastoupení letního dřeva, klesá s rostoucí hodnotou veličiny vysvětlující (šířka letokruhu). To odpovídá grafu publikovaném Gandelovou et al. (1996) pro jasan úzkolistý, byť se předpis závislosti liší, viz Obr.6. Tvrzení o rychlém poklesu podílu letního dřeva pod

určitou šířkou letokruhu (Ross Et Al. 2010, Požgaj Et Al. 1993) jsou rovněž v souladu s logaritmickým tvarem závislosti, přesto je jeho omezená platnost zřejmá a vyplývá už jen z faktu, že logaritmická funkce se asymptoticky neblíží 100%, nýbrž je neomezeně rostoucí.

Na základě mnou zjištěných předpisů můžeme teoreticky na stanovišti lužním či suťovém očekávat navýšení podílu letního dřeva v průměru o 10%, jestliže se šířka letokruhu změní ze 3 mm na 4 mm. Tyto odhady je však možné uplatnit jen uvnitř zkoumaného rozpětí a za srovnatelných podmínek.



**Obr. 6 Srovnání výsledků s literaturou: Gandelová et al (1996, *Fraxinus angustifolia*)**

Nejméně 35% variability závislé veličiny však ovlivňují další faktory. Jedním z těchto faktorů je věk, při kterém se letokruh utváří. Zatímco pro samotnou šířku letokruhu nebylo možné prokázat závislost na věku, pro zastoupení letního dřeva byl věk jako negativní faktor doložen – ovšem jen

pro jiná stanoviště, než alej. Při interpretaci grafických výstupů s údajem věk (Age) je nutné mít na zřeteli, že se jedná o věk kambialní, v dané výšce.

Výrazná odlišnost ploch spadajících do kategorie alej vyplývá již z popisných statistik souboru. Rozdílná je především velikost dílčích souborů a jejich střední hodnoty. Analýzy vyhodnocují jako významné odlišnosti kategorie alej od stanovišť nivních a suťových jak z hlediska průměrné letokruhové šířky stromu a celkového zastoupení letního dřeva (v obou případech vyšší), tak i z hlediska průběhu letokruhových dat. Tomu v literatuře odpovídá Svobodův (1955) popis „jasanu zahradního či parkového, ... který tvoří zvláště silné letokruhy, které jsou dosti spolehlivým znakem pro mechanicky vysoce cenné dřevo“. Za povšimnutí stojí, že korelační koeficient byl v případě alejí vždy buď nejnižší, nebo nejvyšší v rámci stanovišť, ve všech testových sestavách, bez ohledu na porovnávané proměnné. Zahrnutí výrazně se odlišující skupiny dat do souboru ovlivňuje celkové statistiky, díky soustavné dekompozici souboru na dílčí kategorie ale máme možnost posoudit daný jev i při absenci těchto kontrastů. Je na místě dále zkoumat, který faktor je pro pozorované rozdíly rozhodující. Hlavními předpokládanými kandidáty jsou korunový zápoj, resp. míra ozáření, živnost půdního substrátu a zdroj reprodukčního materiálu.

Rozdíly regresních ukazatelů u kategorie alej mohou být rovněž způsobeny či zesíleny výrazně menším množstvím párových dat vstupujících do testů, z důvodu nižšího věku stromů a tedy kratších chronologií. Dílčí datový soubor alejí je dále ovlivněn specificky nízkým tloušťkovým přírůstem na ploše B mezi lety 1989 a 1993. Pakliže tato data vyloučíme z analýzy v časových řadách, regresní vztah mezi šířkou letokruhu a zastoupením letního dřeva se vytrácí. Neplatí to pro řady věkové, protože tam jsou data alejí celkově kompaktnější, bez odlehlých hodnot.

Souhrnně je možné říci, že pro stanoviště alej se podařilo vysvětlit variabilitu šířky letokruhu a podílu letního dřeva pouze vzájemnou závislostí, a to při použití časových řad ve větším rozsahu, než v případě jiných ploch ( $r^2=0,786$ ). Pouze na tomto jediném stanoviště lze dále hovořit o lineárním vztahu šířky letokruhů k faktoru času. Svou roli ale sehrálo zmíněné růstové minimum na počátku chronologií, které zdůrazňuje rostoucí trend v budoucím období. Nicméně i v kontextu přechozího zjištění a minimálních zbylých korelačních koeficientů to však může posílit hypotézu, že alejová stanoviště jsou jen málo závislá na věku. To lze uvést do souladu s faktem, že nezapojení (soliterní) jedinci jsou ušetřeni nutnosti v mládí alokovat nedostatkové zdroje (prostor) v kompetici s okolními jedinci, nemusí investovat do intenzivního výškového růstu a rovněž pohlavně dospívají dříve. Přičteme-li celkově vyšší ozářenost od útlého věku (kterou však jasan nevyžaduje) a možnou vyšší nabídku živin, není překvapivé, že dřevo soliterního jasanu se utváří odlišně.

Stanoviště niva a suť se od sebe liší významně méně, jak prokázala již analýza rozptylů. Mají výrazně nižší (výběrovou) střední hodnotu průměrné šířky letokruhu a současně nižší rozptyl, zejména stanoviště suť. Zastoupení letního dřeva na úrovni stromu je též nižší. Všechny čtyři plochy vykazují podél času i věku podobný průběh. Stanoviště nivní však dosahují nejvyšší korelace zastoupení letního dřeva s šířkou letokruhu i věkem. Podle regresního modelu podíl letního dřeva vzroste v průměru o 36% s nárůstem šířky letokruhu o 1 cm a klesá o více než jedno procento za každé dva roky. Na ploše T (Roztoky – niva) nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v rozdělení hodnot letního dřeva a šířky letokruhu oproti plochám typu alej.

Odlišnost jednotlivých stanovišť je dále vhodné zkoumat pro odhalení faktorů, které ji způsobují, přičemž oporou může být prezentovaná tabulka zjištěných stanovištních charakteristik. Pro potvrzení vlivu některé

z těchto charakteristik, stejně jako pro ověření existence různých ekotypů jasanu, by bylo nutné provést podobné analýzy s jiným souborem dat.

Překvapivým zjištěním bylo, že není možné zamítnout nulovou hypotézu o neexistenci korelace denzitometrických dat, získaných optickou metodou Blue intensity (z barevně dosti odlišných vzorků) se sledovanými veličinami. Při vyloučení ploch typu alej, pro které tomu tak nebylo, byla zjištěna relativně významná míra vlivu podílu letního dřeva na proměnnou zastupující hustotu letokruhu, dáno koeficientem determinace  $r^2=0,53$ . To je v souladu se základními fakty o souvislosti podílu letního dřeva s celkovou hustotou u kruhovitě pórovitých dřevin, kterou dokládá literatura. Barevná odlišnost jádra, vyvrátého dřeva, běli a celkově dřeva různých jasanů zřejmě významně nezasahuje modrou složku světelného spektra. Je tedy účelné realizovat další měření s touto metodou při náležité kalibraci a testovat, pro kterou z měřitelných charakteristik (např. průměrná, maximální, nebo hustota jarního dřeva) platí korelace nejtěsněji. Na základě těchto informací a kalibračních procedur je patrně možné s určitou přesností stanovit hustotu jasanového dřeva v rozlišení letokruhů optickou cestou.

Provedené analýzy neumožnily potvrdit tvrzení o souvislosti rozsáhlosti asimilačního aparátu (koruny) stromu s šířkou letokruhu (např. Požgaj 1993). Ostatní hlavní výsledky jsou v souladu se studovanou literaturou a potvrzují konstatování mnoha autorů, že s rostoucí šířkou letokruhu nelineárně vzrůstá podíl letního dřeva a tím i celková hustota dřeva. To je důvodem, pro který je doporučováno pěstování jasanu v řídkém sponu (Svoboda 1955), byť přímý vliv míry oslunění tato práce neumožňuje testovat a spoléhá se tak na citované zdroje. Pěstování kruhovitě pórovitých dřevin je proto oproti jehličnanům znevýhodněno v tom smyslu, že dobré parametry pro hodnocení kvality kulatiny (absence tvarových vad a suků, plnodřevnost) jsou dosahované pěstováním v zapojeném porostu, který



může být na úkor vysokému tloušťkovému přírůstu a tedy na úkor hustoty dřeva. Z hlediska šlechtitelského, ve smyslu selekce genetického materiálu s vysokou intenzitou růstu (obecně), je naopak tato vlastnost výhodou, neboť intenzivní růst kruhovitě pórovitých dřevin přináší i zlepšení hustoty dřeva.

Zjištěné výsledky jsou zatíženy nahodilými i systematickými chybami vyplývajícími v první řadě ze způsobu sběru dat, jejichž velikost nebyla zkoumána. Největší rozptyl naměřených proměnných od skutečných hodnot lze očekávat u objemu koruny z důvodu nepřímého měření průmětu koruny (kde lze však předpokládat normální rozdělení chyb) a modelování koruny rotačním elipsoidem.

## 7 Závěr

Na základě výše uvedených výsledků je možné o dřevě jasanu ztepilého v rámci zkoumaného souboru konstatovat tato zjištění:

- Mezi zastoupením letního dřeva v letokruhu a šířkou letokruhu existuje pozitivní nelineární závislost podobná logaritmické funkci.
- Vztah zastoupení letního dřeva v letokruhu a aktuálního věku se liší podle stanoviště. Na stanovištích typu alej nebyl zjištěn, což může být dáno malým množstvím dat. Na ostatních stanovištích letního dřeva s věkem ubývá.
- Šířky letokruhu a hodnoty zastoupení letního dřeva na stanovištích alej jsou významně vyšší oproti ostatním plochám.
- Na stanovištním typu alej je dosahováno vyššího celkového zastoupení letního dřeva při nižších výškách stromů.

- Nejtěsnější závislost zastoupení letního dřeva na šířce letokruhu i věku nacházíme na nivních stanovištích. Podíl letního dřeva zde vzrůstá o 10% se změnou šířky letokruhu o 1 cm a klesá o více než 1% každé dva roky.
- Data pořízená metodou Blue intenzity korelují se zastoupením letního dřeva.

Z uvedených výsledků vyplývá, že šířka letokruhu a věk jasanu ztepilého jsou důležitými prediktory zastoupení letního dřeva a tedy celkové hustoty dřeva ve kmeni. To je v plném souladu s literaturou, podle níž můžeme dále predikovat nárůst mechanických vlastností dřeva se zvýšením těchto veličin a naopak pokles s věkem (např. Požgaj Et Al. 1993, Matovič 1966).

V kontextu otázek položených při stanovení cílů této práce je možné říci, že vyšší intenzita radiálního růstu jasanu významně přispívá ke zlepšení mechanických vlastností takto utvářeného dřeva. Tento vztah je proměnlivý podle stanoviště a faktor věku k němu přistupuje jako doplňující činitel.

Jasan pěstovaný v alejích dosahuje vyšší hustoty dřeva. Příčiny tohoto jevu mohou být předmětem dalších studií. Pakliže je dominantním faktorem míra oslunění stromu, je účelné tuto skutečnost zohlednit při pěstební péči v lesnické praxi, neboť s osluněním zároveň klesá riziko odumírání jasanů. Při zohlednění objemového přírůstu a charakteru těžené kulatiny lze pojmenovat optimální podmínky potřebné k dosahování zvolené kvality dřevní suroviny i z hlediska mechanických vlastností, pro něž bylo jasanové dřevo vždy zvláště ceněno, a eventuálního ekonomického zisku.

## Seznam literatury a použitých zdrojů

- PRKNOVÁ, H. Jasan - strom roku 2008 = Ash - tree of the year 2008: sborník příspěvků z konference Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze. 2008.
- KITIN, P. B., et al. Anatomy of the vessel network within and between tree rings of *Fraxinus lanuginosa* (Oleaceae). *American Journal of Botany*, 2004, 91.6: s. 779-788.
- BURGGRAAF, P. D. Some observations on the course of the vessels in the wood of *Fraxinus excelsior* L. *Acta Botanica Neerlandica*, 1972, 21.1: s. 32-47.
- TSAI, C.-W., et al. Phenological responses of ash (*Fraxinus excelsior*) and sycamore (*Acer pseudoplatanus*) to riparian thermal conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 16: s. 95-102.
- CRIVELLARO, A.; SCHWEINGRUBER, F. H. Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs: With a Special Focus on Cyprus. Springer Science & Business Media, 2013. [580 s.]
- BURIÁNEK, V. Proměnlivost, ochrana genetických zdrojů a provenienční výzkum jasanu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2009a, 54 (4): 283 s. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Strnady
- D'ARRIGO, R., et al. On the 'divergence problem' in northern forests: a review of the tree-ring evidence and possible causes. *Global and Planetary Change*, 2008, 60.3: s. 289-305.
- ESPER, J.; FRANK, D. Divergence pitfalls in tree-ring research. *Climatic Change*, 2009, 94.3: s. 261-266.
- BURIÁNEK, V. Problematika expanze jasanu v českém krasu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2009b, 54 (4): 283. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Strnady,
- HITZ, O. M., et al. Application of ash (*Fraxinus excelsior* L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents. *Catena*, 2008, 72.2: s. 248-258.
- STŘEŠTÍK, S.; ŠAMONIL, P. Ecological valence of expanding European ash (*Fraxinus excelsior* L.) in the Bohemian Karst (Czech Republic). *Journal of Forest Science*, 2006, 52: s. 293-305.
- PLÍVA, K. Typologický systém ÚHÚL. Brandýs nad Labem: ÚHÚL, 1971, s. 90.
- ČUNDERLÍK, I., MIŠÍKOVÁ, O. Dížka vláken dřeva vybraných listnatých dřevin in *Vybrané procesy při spracování dřeva*. Dreárska fakulta, TU Vo Zvolene, 2011. s. 275-286.
- DUBOVSKÝ, J.; HRUBÝ, J. Stress-strain diagrams and selected mechanical characteristics of elm and ash wood at compression loading in longitudinal

- direction. In KURJATKO, S., et al. (eds.). Wood Structure and Properties '06. Zvolen: Arbora Publishers, 2006, s. 211-216.
- KURJATKO, S., et al. Permeability of ash and elm wood for water. In KURJATKO, S., et al. (eds.). Wood Structure and Properties '06. Zvolen: Arbora Publishers, 2006, 281-287.
- BOSHIER, David; STEWART, Janet. How local is local? Identifying the scale of adaptive variation in ash (*Fraxinus excelsior* L.): results from the nursery. *Forestry*, 2005, 78.2: s. 135-143.
- FRAXIGEN. 2005. Ash species in Europe: biological characteristics and practical guidelines for sustainable use. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK. 128 s.
- GUPTA, A., MIEDTKE, J.(eds) Ash Management Guidelines for Private Forest Landowners. University of Minnesota Extension, 2011.
- MEIER, E. European Ash. The Wood database. [online] 2007 [cit. 5.3.2016] Dostupné z WWW: <<http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/european-ash/>>
- HAMM, J., et al. The traditional bowyer's bible, Vol 1. Globe Pequot, 2000. 323 s.
- TUROK, J. et al. Noble hardwoods network: Report of the 1st meeting, 24-27 March 1996, Escherode, Germany. International Plant Genetics Research Institute, 1996., 172. s.
- Česko. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 83/1996 Sb. o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů. 1996
- HRIB, M. Ash (*Fraxinus* sp.) in the Czech Republic. In Fraxigen meeting in Valencia report. [online] Valencia, 2005, [cit.8.3. 2016]. Dostupné z WWW: <[http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs\\_and\\_docs/report\\_valencia\\_05.html](http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs_and_docs/report_valencia_05.html)>
- BRUCHÁNIK, R. Ash and his place in the Slovak forest management. In Fraxigen meeting in Valencia report. [online] Valencia, 2005, [cit.8.3. 2016]. Dostupné z WWW: <[http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs\\_and\\_docs/report\\_valencia\\_05.html](http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs_and_docs/report_valencia_05.html)>
- RIEDL, M., et al. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2014. Praha, Ministerstvo zemědělství, 2015
- DOBROWOLSKA, D., et al. A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture. [online] Valbro FreiBurg [cit. 9/2014].

Dostupné z WWW: <[http://www.valbro.uni-freiburg.de/pdf/paper\\_Ash.pdf](http://www.valbro.uni-freiburg.de/pdf/paper_Ash.pdf)>

KOUBA J.; ZARADNÍK, D. Jasan a základní informace z lesnické statistiky. In PRKNOVÁ, H. Jasan - strom roku 2008 = Ash - tree of the year 2008: sborník příspěvků z konference Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze. Praha: ČZU v Praze, 2008. s. 40-45.

ČERNÝ, Karel. Nebezpečné patogeny lesních dřevin *Phytophthora alni* a *Chalara fraxinea*: rozšíření, význam a možná rizika vyplývající z jejich zdomácnění. Zpravodaj ochrany lesa, 2011, 15: s. 71-75.

JANKOVSKÝ, L., et al. Chřadnutí a choroby jasanů v ČR. In PRKNOVÁ, H. Jasan - strom roku 2008 = Ash - tree of the year 2008: sborník příspěvků z konference Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze. Praha: ČZU v Praze, 2008. s. 34-39.

HAVRDOVÁ, Ludmila; ČERNÝ, Karel. Nekróza jasanu – přehled současných znalostí. In KNÍŽEK, M. (ed.). Zpravodaj ochrany lesa: Škodliví činitelé v lesích Česka 2012/2013, 2013, 17: 54. s

SVOBODA, Pravdomil. Lesní dřeviny a jejich porosty: Část 2 (Listnaté - první část). Praha: Státní zemědělské nakladatelství v Praze, 1955.

SCHMIDT, O. Zur Windverbreitung der Esche, Beiträge zur Esche - Fachtagung zum Baum des Jahres. Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 2002

HRIB, M. Pěstování jasanů v lužních lesích jižní Moravy. In PRKNOVÁ, H. Jasan - strom roku 2008 = Ash - tree of the year 2008: sborník příspěvků z konference Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze. Praha: ČZU v Praze, 2008. s. 26-33.

KUBÁT, K. Šíření *Fraxinus excelsior* z valů a lesních okrajů na úhory. Zajištění harmonizace krajiny, tvorbné, hydrologické a produkční funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově. [online] Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, UJEP. [cit. 28.2.2016] Dostupné z WWW: <<http://fzp.ujep.cz/projekty/QH82126/V004.html>>

MORAGHEBI, F., et al. Relationship Between Some Nutrient Uptake and Early Abscission of Fruits in Ash (*Fraxinus excelsior*L.). Iranian Journal of Plant Physiology, 2010, 1.1: s. 42-47.

PAGAN, J. Lesnícka dendrológia. Zvolen: Technická univerzita, 1992.

PLIÛRA, A.; HEUERTZ, M. EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for common ash (*Fraxinus excelsior*). Bioversity International, 2003.

- DOBROVOLNÝ, L. Pěstění lesů I. – studijní prezentace. [2010] Brno: Lesnická a dřevařská fakulta Mendelu [cit. 6.1. 2016] Dostupné z WWW: <[https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Pesteni\\_lesa\\_I/Pesteni\\_lesa\\_I\\_Dobrovolny.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Pesteni_lesa_I/Pesteni_lesa_I_Dobrovolny.pdf)>
- Buriánek V. 2009a. Proměnlivost, ochrana genetických zdrojů a provenienční výzkum jasanu. Zprávy lesnického výzkumu, 54 (4). Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Strnady, 2009b
- MATOVÍČ, A. Makroskopická stavba, fyzikálne a mechanické vlastnosti jaseňového dřeva z lužných lesů južnej Moravy, Habilitačná práca, Brno 1966
- WAGENFÜHR, R. Anatomie des Holzes unter besonderer Beruecksichtigung der Holztechnik. Leipzig: Fachbuchverlag. 1989. 320 s.
- GANDELOVÁ, L., et al. Nauka o dřevě. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. 178 s.
- KLAPÁLEK, P., et al. Porovnání modulu pružnosti lepeného lamelového dřeva. Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2015, 28.
- LAGAŇA, R.; KÚDELA, Jozef (eds.). Wood Structure and Properties' 10. Zvolen: Arbora Publishers, 2010. 233 s.
- POŽGAJ, Alexander. Metódy zjišťovania mechanických vlastností dřeva a dřevných veľkoplošných kompozitných materiálov - Náuka o dreve. Zvolen: VŠLD, 1987. 170 s.
- MATOVÍČ, Anton. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. Brno: VŠZ v Brně. 1993. 212 s.
- POŽGAJ, A., et al. Struktura a vlastnosti dřeva. Bratislava: Příroda, 1993, 486 s.
- GREEN, D. W. et al. Wood handbook: Wood as an engineering material. General technical report FPL-GTR-113, Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 485 s.
- ROSS, Robert J., et al. Wood handbook: wood as an engineering material. 2010. Forest Products Laboratory. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- ELLIOTT, G. K., et al. Wood density in conifers. Technical Communications. Imperial Forestry Bureau, 1970, 8s.
- TSOUMIS, George, et al. Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold, 1991.

- ZEIDLER, A., et al. Variation of wood density in Turkish hazel (*Corylus colurna* L.) grown in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 2012, 58.4: s. 145-151.
- ROMAGNOLI, M., et al. Wood Quality of Chestnut: Relationship between Ring Width, Specific Gravity, and Physical and Mechanical Properties. *BioResources*, 2014, 9.1: 1132-1147.
- PŘEMYSLOVSKÁ, E., et al. Basic density of wood in different forest type. In: *Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Pol'ana nad Detvou*. 2007. s. 17-20.
- GRYC, V., et al. The relation between the microscopic structure and the wood density of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *J. Forest Sci*, 2008, 54.4: s. 170-175.
- ADAMOPOULOS, S. et al. Ring width, latewood proportion and density relationships in black locust wood of different origins and clones. *IAWA journal*, 2010, 31.2: s. 169-178.
- KLOIBER, M.; KOTLÍNOVÁ, M. Vliv orientace a šířky letokruhů na šíření ultrazvuku ve struktuře dřeva. In: *Workshop NDT*. 2005. p. 53-59.
- VAVRČÍK, H.; GRYC, V.; KONAS, P. Comparison of wood density in relation to growth rings of English oak and Sessile oak. In *TRACE—Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2009*, 2010, 8: s. 157-163.
- GUAY, R. *WinDENDRO 2012: User's Guide*, Regent Instruments. Inc., Quebec, Canada, 2012.
- ŠMELKO, Š. *Dendrometria*. 1. vyd. Zvolen: TU vo Zvolene, 2000, 399 s.
- WILLIAMSON, G. Bruce; WIEMANN, Michael C. Measuring wood specific gravity... correctly. *American Journal of Botany*, 2010, 97.3: s. 519-524.
- WU, S.-J., et al. Use of the pilodyn for assessing wood properties in standing trees of Eucalyptus clones. *Journal of Forestry Research*, 2010, 21.1: 68-72.
- MCCARROLL, D., et al. Blue reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude pine tree rings. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2002, s. 450-453.
- SKOLMEN, Roger G. Wood density and growth of some conifers introduced to Hawaii. U. S. Forest Service Research Paper. Berkley CA. 1963.

- RYDVAL, M., et al. Blue Intensity for dendroclimatology: Should we have the blues? Experiments from Scotland. *Dendrochronologia*, 2014, 32.3: s. 191-204.
- ROMÁ, J. Experiences and perspectives of the broadleaf trees in Catalunya. In *Fraxigen Spain End Users' Group - Meeting Report June 2004*. [online] [cit 15.3.2016] Dostupné z WWW:<[http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs\\_and\\_docs/report\\_es04.html](http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/pdfs_and_docs/report_es04.html)>
- COWN, D. J.; CLEMENT, B. C. A wood densitometer using direct scanning with X-rays. *Wood Science and Technology*, 1983, 17.2: s. 91-99.
- ČAPEK, L. Kritéria výběru dřeva pro čepele hokejových holí. Diplomová práce. Praha: Lesnická fakulta ČZU v Praze, 2002. 68 s.
- PERGL, V. Rekonstrukce dynamiky a režimu disturbancí horských smrkových lesů. Diplomová práce. Praha: Fakulta lesnická a dřevařská ČZU v Praze, 2013. 64 s.
- MANDINEC, J. Porovnání dvou metod měření podílu letního dřeva: standardní metoda vs. metody zpracování obrazu. Bakalářská práce. Brno: Lesnická a dřevařská fakulta MU v Brně, 2012. 50 s.
- BRAUNER T., Srovnání vybraných vlastností dřeva dubu a jasanu z oblasti lužního lesa, Diplomová práce. Lesnická a dřevařská fakulta, MU v Brně, 2010. 123 s.
- HORÁČEK, P. 2001. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 1. vydání 1998, dotisk 2001. Brno: MZLU, 2001. 128 s.
- ZEIDLER, A.; ČAPEK, L. Kvalitativní parametry jasanového dřeva pro výrobu hokejových holí. In PRKNOVÁ, H. *Jasan - strom roku 2008 = Ash - tree of the year 2008: sborník příspěvků z konference Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze*. Praha: ČZU v Praze, 2008. s. 58-62.



## Seznam příloh

Příloha 1: Charakteristika ploch.....	přílohy 1
Příloha 2: Popisná statistika proměnných vstupujících do analýzy rozptylu. ....	přílohy 2
Příloha 3: Průběh šířky letokruhů na jednotlivých plochách. Srovnání věkových a časových řad .....	přílohy 3
Příloha 4: Souhrné chronologie šířky letokruhu a jeho složek ze všech ploch. Srovnání věkových a časových řad .....	přílohy 4
Příloha 5: Průběh šířek letokruhu, zastoupení letního dřeva a hustoty podle věku. Srovnání jednotlivých lokalit .....	přílohy 5
Příloha 6: Grafické zhodnocení vlivu věku stromu a času na zastoupení letního dřeva.....	přílohy 7
Příloha 7: Dva přístupy k testování faktorů ovlivňujících zastoupení letního dřeva.....	přílohy 8
Příloha 8: Závislost zastoupení letního dřeva na šířce letokruhu Srovnání věkových a časových řad .....	přílohy 9
Příloha 9: Závislost hustoty letokruhu na zastoupení letního dřeva. ....	přílohy 10