

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Fakulta lesnická a dřevařská

**Geometrická morfometrika na příkladu bříz z okruhu  
*Betula pubescens* agg.**

Bakalářská práce

Rok 2010/2011

Jiří Kuthan

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, Geometrická morfometrika na příkladu bříz z okruhu *Betula pubescens* agg., zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby má bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s § 47 b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně České zemědělské univerzity v Praze (dále jen ČZU), zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s vyhláškou rektora ČZU o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Praze, dne        dubna 2011

.....

Jiří Kuthan

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na zpracování této bakalářské práce a byli mi nápomocni svými praktickými zkušenostmi a poznatky. Zejména pak děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Petru Karlíkovi a konzultantce Ing. Janě Ešnerové za jejich rady a připomínky.

V Praze, dne

.....  
Jiří Kuthan

## **Geometrická morfometrika na příkladu bříz z okruhu *Betula pubescens* agg.**

### **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na determinálně problematickou skupinu bříz z okruhu *Betula pubescens* agg. Hlavním cílem je snaha pokusit se o rozlišení drobných taxonů bříz na základě morfologických znaků. Konkrétně byla využita moderní metoda geometrické morfometrie.

Práce se skládá ze tří částí. První částí je stručná rešerše, pojednávající o jednotlivých taxonech rodu *Betula*. Pozornost je věnována i ekologickým nárokům jednotlivých taxonů a oblasti jejich využití. Druhá část práce seznamuje s použitým programem a s postupem práce, která spočívala ve zpracování herbářových položek, konkrétně v naskenování listů vybraných pro další analýzu. Na základě těchto dat bylo potom provedeno vyhodnocení v příslušném počítačovém programu. Třetí částí je vyhodnocení a shrnutí výsledků práce.

Z předběžného průzkumu vyplynula vzájemná variabilita mezi druhy *Betula pendula* a *Betula carpatica* a také jasná odlišnost v morfologických znacích mezi tetraploidními a diploidními jedinci.

**Klíčová slova:** Geometrická morfometrika, morfologie listu, bříza, *Betula pubescens*

## **Geometrical morphometry on the example of birch *Betula pubescens* agg.**

### **Abstract**

This study is focused on determinate problematic group of birch *Betula pubescens* agg. The main aim of this study is effort of attempt of distinguish tiny taxons of birch on the foundation of morphological features. Concrete was used a modern method of geometrical morphometry.

This study is composed of three parts. In the first part is brief resersion , which discuss about individual species of birch. The attention is focused on ecological claims of

individuals taxons of birch and their area of use. The second part introduce used programme and method of study, which consist process of herbarium item, concrete in scanning leaves, choiced for next analyse. On the end of this work were these leaves compared in computer programme. The third part was process and sumarize of results.

From the premilitary study resulted mutually varibiality between species *Betula pendula* and *Betula carpatica* and also clear differences in morphological signs between tetraploid and diploid individuals.

**Keywords:** Geometrical morphometry, morphology of leaf, birch, *Betula pubescens*

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Literární přehled.....</b>	<b>8</b>
2.1. Seznámení s problematikou břízy.....	8
2.2. Domácí druhy rodu <i>Betula</i> na našem území.....	9
2.2.1. Diploidní druhy bříz.....	9
2.2.1.1. Bříza bělokorá– <i>Betula pendula</i> .....	9
2.2.1.2. Bříza trpasličí – <i>Betula nana</i> .....	10
2.2.1.3. Bříza ojcovská – <i>Betula oycoviensis</i> .....	11
2.2.1.4. Bříza nízká – <i>Betula humilis</i> .....	11
2.2.2. Tetraploidní druhy bříz.....	11
2.2.2.1. Bříza pýřitá – <i>Betula pubescens</i> .....	11
2.2.2.2. Bříza karpatská – <i>Betula carpatica</i> .....	13
2.2.2.3. <i>Betula petraea</i> .....	14
2.3. Bříza jako přípravná dřevina v hospodářských lesích.....	14
2.4. Funkce břízy v lesních porostech.....	16
2.5. Zastoupení břízy v ČR napříč přírodními lesními oblastmi .....	17
2.6. Geometrická morfometrika.....	22
2.6.1. Historie geometrické morfometriky do 90. let 20. století .....	22
2.6.2. Historie geometrické morfometriky od 90. let 20. století po současnost... ..	23
2.6.3. Přednosti geometrické morfometriky.....	25
<b>3. Metodika .....</b>	<b>26</b>
3.1. Postup práce .....	27
3.1.1. Příprava materiálu ke skenování.....	27
3.1.2. Úprava neskenovaného materiálu.....	27
3.1.3. Vlastní práce s programem.....	28
3.1.3.1. Načtení listů do aplikace Chain coder programu SHAPE.....	28
3.1.3.2. Vykreslení obrysů listů pomocí aplikace Chc2Nef.....	29
3.1.3.3. Popis listu koeficienty, aplikaci PrinComp.....	30
3.1.3.4. Tvorba grafu a porovnání jednotlivých lokalit.....	30
<b>4. Výsledky.....</b>	<b>32</b>
4.1. Vyhodnocení dat pomocí mnohorozměrné analýzy (PCA – analýza).....	32

4.2. T-test.....	35
<b>5. Diskuse.....</b>	<b>38</b>
<b>6. Závěr.....</b>	<b>39</b>
<b>7. Přílohy.....</b>	<b>40</b>
<b>8. Seznam Použité literatury.....</b>	<b>41</b>

# 1. Úvod

Cílem této bakalářské seminární práce bylo posouzení tvarové variability listů u druhů rodu *Betula* se zřetelem na souborný taxon *Betula pubescens*. Na samém počátku je třeba zmínit, že má seminární bakalářská práce je součástí většího projektu, na němž pracuje několikačlenný tým osob. Cílem tohoto projektu je spolehlivější odlišení jednotlivých druhů bříz z okruhu bříz *Betula pubescens* agg., se snahou o nalezení průkazných rozlišovacích znaků. Důvodem této práce je také skutečnost, že mnoho autorů, zejména v minulosti, veškeré, i pouze slabě ochmýřené jedince bříz klasifikovalo jako druh *Betula pubescens*.

Toto téma je důležité také proto, že je třeba zjistit, jestli existují mezi populacemi bříz na jednotlivých zkoumaných lokalitách, a to jak rozdíly v morfologii, tak i v jejich ekologických nárocích. A zda jsou nebo nejsou tyto rozdíly významné. Neboť tato problematika bříz nebyla dosud dostatečně objasněna.

Kdyby se zjistilo, že mezi dvěma porovnávanými populacemi bříz neexistují žádné nebo pouze nevýznamné rozdíly. A současně jednalo-li by se o lokality z podobných oblastí proveniencí, mohly by se jednotlivé populace mezi sebou zaměňovat. Toho by se dalo využít například při nedostatku semenného materiálu jednoho z druhů, nebo pro lepší schopnost adaptace té či oné populace danému stanovišti. Mohla by se tak snížit mortalita jedinců, nejen při zalesňování.

Na druhé straně ani případné zjištění, že jedinci rostoucí na jedné lokalitě mají zcela odlišnou morfologii nebo stanovištní nároky, by nebylo hodnoceno jako neúspěch, protože by to vypovídalo o tom, že tyto dvě populace jsou zcela odlišné a může se jednat například o dva zcela odlišné druhy nebo poddruhy. Jak již bylo uvedeno, ať by konečné zjištění bylo jakékoliv, bylo by jistě pro pochopení této problematiky přínosem.

Tato bakalářská seminární práce se skládá ze tří částí. První částí této práce je stručná rešerše, pojednávající o problematice jednotlivých taxonů rodu *Betula*. Je zde věnována pozornost i oblasti použití dřeva břízy a funkci břízy v lesních porostech.

Druhá část práce seznamuje s pracovním postupem sběru dat a s programem, který byl využit k jejich vyhodnocování. Třetí část potom prezentuje výsledky práce.



## 2. Literární přehled

### 2.1. Seznámení s problematikou břízy

Rod bříza patří do čeledi břízovitých, *Betulaceae*. Je to dřevina s jednoduchými, střídavými a opadavými listy, která má jednopohlavní jednodomá květenství. Květy jsou prašníkové jednopohlavné v oddělených samčích a samičích jehnědovitých květenstvích a plodem jsou drobné okřídlené nažky (Kříž 1990). Semenné nažky nedřevnatí. Již na podzim se zakládají prašníkovité jehnědy a vytrvávají do jara, kdy rozkvétají. Jehnědy pestíkové jsou ukryté v pupenech. Plodní jehnědy se rozpadají. Pupeny jsou střečovité, přisedlé, kryté několika šupinami.

Kořenový systém je srdčitý s bohatě rozvětvenými povrchovými i šikmo do půdního profilu směřujícími kořeny. Břízy jsou stromy nebo keře. Borka je v mládí hladká, většinou bílá, ale může být i tmavohnědá až černá.

Na severní polokouli od mírného pásma až po tundru je známo okolo 120 druhů bříz. Rod bříza se dělí podle počtu bočních žilek na listech na několik sekcí. Naše domácí druhy *Betula pendula*, *Betula pubescens* a *Betula carpatica* mají sedm párů bočních žilek na listu a převislé plodní šištice. Keřovité druhy jako např. *Betula nana* mají dva až pět párů žilek na bočních stranách listů (Kubát K. et al. 2002).

V některých severských státech je bříza hlavní hospodářskou dřevinou, naopak u nás je řazena k plevelným dřevinám. Břízy jsou atraktivní stromy do parků a alejí. Jsou to meliorační dřeviny, vhodné zejména k zalesňování a zpevňování písků.

Upotřebením březového dřeva v minulosti osvětluje Lenhart v roce (1793). Uvádí, jeho využití v kolářství, soustružnictví, větve na výrobu košťat a šťávu a mizu pro lékařské účely. Na území našeho státu se přirozeně vyskytuje šest druhů bříz. Větší stromovité druhy představuje především *Betula pendula* a *Betula pubescens*. V Krkonoších, Jizerských horách, Jeseníkách a v Karpatech se vyskytuje ještě horský druh *Betula carpatica*, která je ovšem někdy řazena k bříze pýřité, *Betula pubescens*. Velmi vzácným druhem našich vrchovišť je *Betula nana*. V minulosti se na našem území vyskytovala ještě *Betula humilis*, lokality jejího výskytu však byly zničeny odvodňovacími pracemi. Nově je u nás uváděn druh *Betula oycoviensis* a druh s tmavou borkou *Betula obscura* (Kříž 1990).

Bříza se velice často kříží, tudíž na lokalitách, kde se vyskytují dva či více druhů dochází k tvorbě kříženců.

## 2.2. Domácí druhy rodu *Betula* rostoucí na našem území

### 2.2.1. Diploidní druhy bříz

#### 2.2.1.1. Bříza bělokorá – *Betula pendula*

Jedná se o středně velký druh v mládí s rovným, později zprohýbaným kmenem a řídkou vejčitou korunou. Mladá borka je hladká, žlutá nebo načervenalá, ve stáří ve spodní části kmene nepravidelně rozpukaná. Větve jsou nejčastěji převislé, světle až tmavě hnědé lysými letorosty. Pupeny bývají zašpičatělé, vejčité s brvitými okraji šupin (Kubát et al. 2002). Listová čepel je trojúhelníkovitě vejčitá až kosníkovitá, dlouhá 3-6 cm a široká 2,5-5 cm. List bývá nejširší ve své spodní třetině. Čepel listu je dvojitě pilovitá se špičatě protaženým vrcholem. V mládí je roztroušeně chlupatá, později olysávající.

Strom dosahuje výšky 35m a tloušťky i přes 1m. V našich podmínkách jde o krátkověkou dřevinu, dožívající se 100-150 let. Na volném prostranství plodí již v 10-15 letech, v zápoji pak od 20-30 let. Téměř každoroční úroda semen bývá velice bohatá. Klíčivost je vysoká, avšak krátkodobá. Semena se šíří větrem. Kvete přibližně o 3-5 dní dříve než *Betula pubescens* (Kříž 1990).

Tento druh má daleko sahající rozvětvený mělký kořenový systém, dobře kotvící dřevinu na stanovišti. Tvoří ektomykorrhizu s různými druhy stopkovýtrusých hub.

Bříza bělokorá se vyskytuje na celém území od nížin až po horní hranici lesa, jde ale většinou o druhotná stanoviště. Je druhem se širokou ekologickou amplitudou. Jde o výrazně světlomilnou dřevinu, která nesnáší zástin a z našich listnáčů je nejvíce náročná na světlo, což se projevuje jejím postupným vytlačáním z mlazin jinými stín tolerantními listnáči. Roste na místech s nedostatkem, ale i přebytkem půdní vláhy, nesnáší však záplavy a kolísání hladiny spodní vody. Na půdu je nenáročná, převažuje na kyselých podkladech a má schopnost osidlovat i nevyvinuté surové půdy, což se projevuje jejím pionýrským charakterem (Kříž 1990).

Obsazuje hlavně acidofilní doubravy, silikátové skály, reliktní bory i na písčících podkladech, dále haldy, výsypky a jiné ladem ponechané plochy. Horní hranice jejího výskytu probíhá na Šumavě a v Krušných horách ve výšce 950 – 980 m. n. m., Krkonoších v 900 – 1000 m, maxima dosahuje na Lysé hoře a to 1150 m. n. m (Kříž 1990).

O variabilitě břízy bělokoré svědčí i to, že z ní bylo v minulosti mnoha autory vylišováno více druhů. Například Domin (Karlík 2010) rozlišuje v okolí Velkého Dářka na Českomoravské vrchovině druh *Betula atrata* a druh *Betula obscura*, které jsou

charakteristické neloupavou, tmavou, červenohnědou až černou borkou. Tento autor ji řadí do okruhu břízy pýřité *Betula pubescens* agg. Jeho názor však přehodnotil Hejtmánek, který tvrdil, že se jedná o varietu břízy bělokoré *Betula pendula*, nikoli však o samostatný druh (Karlík 2010). Další, svého času velmi zajímavou břízou byla bříza karelská *Betula pendula* var. *carelica*, rozšířená v severských zemích, jež byla nalezena v 50. letech 20. století na severní Moravě (Karlík 2010). Tato varieta má charakteristický tvar kmene a hlavně specifické vlastnosti dřeva, pro které byla v Beskydech známa jako “kamenná bříza“.

### **2.2.1.2. Bříza trpasličí – *Betula nana***

Bříza trpasličí je nízký keř s vystoupavými metlovitými větvemi, dorůstající výšky 20-120 cm a průměru až 3 cm. Postranní větve jsou poléhavé, uzlovité při povrchu půdy snadno kořenící. Díky tomu se bříza trpasličí šíří do okolí a tvoří nízké bochánkovité křoviny. Má okrouhlé drobné lístky, které jsou na podzim žlutě až červeně zbarvené. Málo loupavá borka má hnědou, později šedočernou barvu. Vejčité, tupě špičaté pupeny disponují brvitými lepkavými šupinami. Okrouhlá, 0,4-1,4 cm dlouhá a 0,5-1,5 cm široká listová čepel je tupě vroubkovaná, na bázi uťatá, se 2-4 páry postranních žilek a 1-2 mm dlouhým řapíkem.

Bříza trpasličí je vybavena hustým povrchovým kořenovým systémem s mnoha adventivními kořeny a dobře se řízkuje. Areál výskytu je v tundrách Eurasie a Severní Ameriky, v Grónsku a na Islandu. Je to druh horských vrchovišť a rašelinné tundry. Izolované na jih posunuté lokality sahají až do střední Evropy. Je to jediná dřevina, schopná růst na rašeliništích spolu s klečí.

U nás se vyskytuje vzácně na vrchovištích na Šumavě, v Jizerských a v Krušných horách. Je světlomilnou dřevinou, vyžadující otevřené prostranství, která snese vodu trvale na půdním povrchu a je schopna růst i na silných vrstvách čisté rašeliny. Nevadí ji velmi krátká vegetační doba ani nejhorší vegetační extrémy. Ojediněle bývá pěstována na skalkách a v zahradách. Snáší i dlouhou vegetační dobu, sucho, vápnitou půdu a i za těchto podmínek velmi dobře roste, pokud má dostatek světla. Jde o zákonem chráněnou rostlinu (Úradníček et al. 2010).

### **2.2.1.3. Bříza ojcovská – *Betula oycoviensis***

Bříza ojcovská je statný keř 3-5 m vysoký, řidčeji menší strom s křivolatým rozvětveným kmenem. Koruna je nepravidelná a při okraji olistěná. Kůra na mladých prýtech má červenavě hnědou barvu, na starších kmíncích je šedobílá. Letorosty jsou lysé, červenavě hnědé, pokryté voskovými žlázkami. Pupy má malé, obvejčité a lepkavé. Čepel listů kosníkovitou, 1,5-3 cm dlouhou, 1-2cm širokou, k bázi klínovitě sbíhavou. Listová žilnatina oboustranně vyniká 4-6 páry postranních žilek. Řapík je načervenalý, 1-1,5 cm dlouhý. Kvete a plodí velice brzy, někdy již ve druhém roce života a produkuje velké množství snadno klíčivých semen (Kříž 2010).

Dřevina má všestranně rozvinutý kořenový systém, dobře kotvicí dřevinu na stanovišti. Neobráží z kořenů ale tvoří často výmladky.

Bříza ojcovská představuje endemický druh pouze několika izolovaných lokalit ve Švédsku, Dánsku, na Ukrajině a v Polsku. V České republice je známa jediná lokalita v severozápadních Čechách u Kadaně v nadmořské výšce 530-670m. Herbářovým materiálem je doložen její výskyt ještě od Chomutova z let 1842-43.

Tato bříza je světlomilným druhem vysychavých a chudých půd. Je to pionýr surových půd (Kubát et al. 2002).

### **2.2.1.4. Bříza nízká- *Betula humilis***

Byla keřovitým druhem, který rostl do počátku 20.století na našem území jako glaciální relikv. Rostla na jediné lokalitě mezi Hradiskem a Černovírem na Hané (Kříž 1990). Tento druh je považován za jednoho z dávných rodičů břízy pýřité *Betula pubescens*. Druhým z rodičů by měl být druh *Betula pendula* (Jarvinen et al. 2004 in Karlík 2010).

## **2.2.2. Tetraploidní druhy bříz**

### **2.2.2.1. Bříza pýřitá – *Betula pubescens***

Jde o strom středních rozměrů s kulovitou korunou a přímým bílým kmenem až 20 m vysokým a přes 0,5 m silným. Je to krátkověká dřevina, zřídka dosahující 100 let věku. Oproti druhu *Betula pendula* je kůra matně bílá i ve spodní části kmene, hladká, odlupuje se v tenkých pruzích. Zřetelně zbrázděná borka ve spodních částech kmene se netvoří a tenké větve jsou také bílé. Větve jsou křivolaté a i na koncích směřují šikmo vzhůru, oproti

druhu *Betula pendula* ale nejsou konce větví převislé. Letorosty jsou tmavě hnědé. Mírně lepkavé pupeny mají obvejčitý tvar. Listová čepel je eliptická až vejčitá nebo kosníkovitá. List je nejširší ve své jedné polovině a jeho okraj je nepravidelně dvakrát pilovitý. Na bázi je čepel široce klínovitá. List má délku 5-8 cm a šířku 2,5-5 cm (Kříž 1990). Rub listu je alespoň na žilkách chlupatý, každý list má 6-7 párů žilek.

Plodí stejně jako předchozí druh pravidelně a bohatě, již v 10 letech věku. Lehké semeno šířící se větrem na velké vzdálenosti má však nízkou klíčivost, kterou si udrží jeden rok.

Kořenový systém se nachází těsně pod povrchem půdy, je dalekosahající, rovnoměrně rozložený a dobře kotví dřevinu i na bažinatých stanovištích. Celkový areál rozšíření *Betula pubescens* je téměř shodný s rozšířením *Betula pendula*, s tím rozdílem, že sahá více na sever a naopak méně na jih. Její severní hranice dosahuje až po okraj tundry. Jen ojediněle tvoří souvislé porosty a zejména ve Skandinávii roste s jinými druhy bříz nebo s borovicí blatkou a klečí. V nížinách naopak roste spolu s vrbou a olší.

Na území České republiky je rozšířena nepravidelně na stanovištích dvou typů. Prvním typem jsou stanoviště bažinatých luk a slatin v nižších polohách, kde dosahuje plno dřevného kmene. Druhým typem stanoviště jsou okraje vrchovišť a rašelinné louky od středních poloh až po horní hranici lesa, kde roste spolu s blatkou, klečí a vrbami. V nižších polohách došlo k poklesu jejího rozšíření díky odvodnění zamokřených luk.

*Betula pubescens* je světlomilný druh, méně náročný na světlo než *Betula pendula*, ale často se přizpůsobuje zástínu. Pokud se hladina spodní vody pohybuje téměř na povrchu půdy, dokáže růst i v oblastech s nízkým srážkovým úhrnem. Dobře snáší i stagující vodu ale netoleruje záplavy. Na půdu je nenáročná, roste zejména na kyselých a zrašeliněných půdách. Snese i extrémní stanoviště v drsnějších polohách s krátkou vegetační dobou. Velmi často se vyskytují rostliny s intermediálními znaky, blíží se druhu *Betula pendula*, které svádí k označení za recentní křížence druhů *Betula pubescens* a *Betula pendula*. Podle jiných názorů dochází pouze vzácně ke křížení tetraploidního druhu *Betula pubescens* s diploidním druhem *Betula pendula* (Kříž 1990). Tyto velmi těžko rozlišitelné typy potom bývají označovány jako *Betula carpatica* nebo *Betula petraea*, proto je současné rozšíření druhu *Betula pubescens* na našem území nejasné.

Sýkora (1983) se domnívá, že jde o taxon vzácný, vázaný na montánně laděné, suboceánské oblasti západních Čech. Naopak podle Kříže (1990) je jeho rozšíření podstatně větší a to ostrůvkovité, po území České republiky. Ve velké většině jiných prací se však tato problematika účelově redukuje a všichni pouze trochu pýřití jedinci jsou klasifikováni jako *Betula pubescens* s.e.(Karlík et al. 2010). Do taxonu *Betula pubescens* je dokonce zahrnována i *Betula petraea*, která osidluje suchá slunná stanoviště skal a kamenných moří. Jindy se v oblastech karů Vysokých Sudet vyčleňuje jen druh *Betula carpatica* a všechny ostatní taxony jsou hodnoceny jako *Betula pubescens* (Karlík 2010).

Dřevo má podobné využití jako u břízy bradavičnaté. Listy se využívají ve farmacii, míza v kosmetice. Uplatňuje se při zalesňování zrašeliněných ploch. V okrasném zahradnictví ani v parkovnictví nemá výrazné uplatnění.

#### **2.2.2.2. Bříza karpatská – *Betula carpatica***

Jedná se o stromek či keř s nepravidelnou korunou a šikmým křivolatým kmínkem. Maximální výška je až 12 metrů a průměr 20 cm (Kříž 1990). Má tmavé tenké, řídké větve. Borka je bílá, žlutavá, červenavě hnědá, šedá až černá. Letorosty plstnaté pouze z počátku, později olysávají, zkrácené postranní větévky má tlusté, uzlovité. Obvejčité pupeny jsou víceméně lepkavé. Vyznačuje se vejčitou až kosníkovitou listovou čepelí, 2,5-5 cm dlouhou a 2-4cm širokou, často dvojité pilovitou. List je krátce špičatý, na rubu zpočátku plstnatý, brzy olysávající. List má 5-8 párů postranních žilek s 4-20 mm dlouhým řapíkem (Kubát et al. 2002).

Stejně jako předchozí dva druhy plodí velmi brzy a ve velkém množství. Kořeny jsou spletité, mělko sahající, vystupující na povrch. Kořenový systém výborně drží dřevinu v půdě. Tento druh se vyskytuje při horní hranici lesa a vystupuje i do pásma kleče, hlavně na lavinové svahy. Je to samostatný střeoevropský druh, rozšířený pouze v Sudetech, Karpatech a některých částech hercynských horstev.

Na našem území roste spolu s jinými druhy bříz v Krkonoších a roztroušeně i jinde v horách. Nejpočetnější populace se nalézají v Jeseníkách na lavinových svazích ve Velké kotlině.

Bříza karpatská je silně světlomilným druhem a pro svůj zdárný růst vyžaduje volnou plochu. Vyskytuje se v oblastech s vysokým srážkovým úhrnem a s dostatkem

půdní vláhy, hlavně na kyselých horninách. Má ráda silně skeletovité humosní půdy nebo suť na příkrých svazích ale také rašeliniště. Nedělá jí problém dlouho ležící sněhová pokrývka, ani krátká vegetační doba. Pod sněhem se bez poškození ohýbá, zatímco jiné druhy dřevin jsou vytrženy ze země a snášeny dolů po svahu. Má nezanedbatelný potenciál při stabilizaci porostů v horských polohách (Sýkora 1983). Disponuje také fyziologickými a mechanickými vlastnostmi, zděděnými po jejím severském rodiči *Betula odorata*. Je velmi odolná i proti mrazu, těžkému sněhu a námrazám (Sýkora 1983). Nemá žádnou oblast praktického použití, jelikož je běžné veřejnosti neznámou dřevinou.

Sýkora (1983) ji považuje za druh vzniklý ze severské břízy *Betula odorata* a z *Betula pendula*. Naproti tomu podle Kříže (1990) je jedním rodičem *Betula pubescens* a druhým *Betula tortuosa*. Někteří rakouští autoři jako Adler považují břízu karpatskou za křížence druhů *Betula pubescens* a *Betula pendula*. Jiní ji ani za samostatný druh vůbec nepovažují (blíže viz Karlík 2010), chápou ji jako poddruh břízy pýřité *Betula pubescens* a označují ho jako subsp. *glutinosa*.

### **2.2.2.3. *Betula petraea***

Zde je třeba zmínit, že se zatím nejedná o zcela plnohodnotný druh, a je třeba se jeho studiem dále zabývat.

Sýkora (1983), který tento taxon objevil tvrdí, že tento taxon vznikl v období klimatického optima v holocénu, na východním okraji areálu výskytu *Betula pubescens*. Tehdy totiž měla *Betula pubescens* širší rozšíření než dnes a docházelo k introgresi *Betula pendula*. Dceřinný taxon *Betula petraea* se jako reliktní zachoval na kamenných mořích, rašeliništích a skalních hranách středních poloh Českého masívu. Sýkora (1983) zmiňuje jako těžiště výskytu v pískovcových skalních městech České křídové tabule. A popisuje její rozšíření i na rašeliništích Třeboňska, Českonoravské vysočiny, Českolipska, západních Čech a Šumavy.

## **2.3. Bříza jako přípravná dřevina v hospodářských lesích**

Jelikož v lesnických knihách se bříza jako dřevina nerozlišuje na jednotlivé druhy, přičemž je zejména na mysli taxon *Betula pendula*, bude tedy v následujících několika kapitolách pojednáváno o bříze pouze v obecné rovině.

Bříza byla v minulosti chápána jako dřevina plevelná a byla snaha ji z lesních porostů odstranit, navzdory tomu, že se jedná o naši původní domácí dřevinu. Už ale z období okolo roku 1769, z dob, kdy ještě nešlo hovořit o organizovaném lesním hospodářství, pochází doporučení o velmi šetrném odstraňování břízy z lesních porostů (Kamenský, Štefančík 2010). Podle tohoto doporučení se měly zachovávat v porostech bukových a dubových zejména silnější jedinci bříz, kteří se neměli vytěžit dříve, než sousední buky a duby nedorostly do jejich výšky. Bylo to považováno za jeden z požadavků stability porostu. Navzdory tomu byla bříza však i nadále mýcena.

Zajímavá je problematika popisu březového semene, jenž ve své knize zmiňuje Lenhart (1793). Uvádí, že se jedná o semeno tvrdé a nejmenší, se sírovou barvou a bez křídla. Dále doporučuje i jak semeno správně sbírat a skladovat. Podle jeho doporučení by se semeno mělo ze stromu sbírat rukama, utřhané šišky by se měli mnout v rukou a po vymnutí semeno i s šiškami uložit na dřevěnou podlahu, přičemž se musí dávat pozor, aby místnost, kde semeno leží byla větratelná. Semeno by pak mělo být rozprostřeno v tenké vrstvě a každý den by se mělo obracet, aby brzy uschlo a nepodléhalo zkáze. Vysévat by se potom podle něj mělo hned ještě na podzim nebo na jaře a skladovat maximálně dva roky.

Určitým krok vpřed v názorech na zastoupení břízy v porostu z pohledu jejího potenciálního ekonomického zhodnocení nastal v 80. letech minulého století. Například Košút spatřuje ve využívání břízy v lesních porostech lepší využití dostupných domácích surovin. Další autor Saniga vyzývá k ponechávání břízy v lesích jako dočasné příměsi do 50 let věku, kvůli zvýšení produkční schopnosti lesa, získání budoucí suroviny pro papírenský průmysl a v neposlední řadě i jako důležitý faktor pro udržení a zlepšení zdravotního stavu lesů (Kamenský, Štefančík 2010).

Navíc podle zjištění Bergmana mohou přípravné dřeviny jako je bříza zlepšovat kvalitativní parametry těžných sortimentů. Tvrdí, že v bukové mlazině, rostoucí na plně osvětlené holině je téměř 60% jedinců vidličnatých, zatímco v mlazině, tvořené smíšeným porostem buku a břízy je podíl nekvalitních jedinců pouze 17%. Díky tomuto zjištění konstatuje, že pouze kultivace buku pod přípravné porosty může vést k získání kvalitního bukového dříví.

Díky rozvoji poznatků o ekologii lesa se začaly objevovat nové pohledy na použití břízy v lesních ekosystémech, z hlediska její funkce v ontogenetickém vývoji lesa. Důležitým bodem v tomto směru byla konference o ochraně lesů, která se konala v roce



1993 v Helsinkách. Na této konferenci bylo diskutováno trvale udržitelné hospodaření v lesích a byly uvažovány všechny zásady, vedoucí k tomuto obhospodařování. Jednou z těchto metod byl i názor, že při zakládání lesů by měly být používány způsoby, napodobující přirozené přírodní procesy.

Při vzniku klimaxového lesa rozlišujeme dva cykly. Prvním je velký vývojový cyklus, počínající sekundární sukcesí na holině, kdy se uplatňují silné přípravné dřeviny, vytvářející příznivé podmínky pro následné uplatnění clonných dřevin klimaxového lesa. Druhým procesem je malý vývojový cyklus, charakterizován přirozenou obnovou klimaxových dřevin pod clonou samotného klimaxového lesa. V obou případech se klimaxové dřeviny obnovují pod clonou dřevin přípravných.

Podle názoru Polena je základem pěstování lesa zvyšování jeho druhové bohatosti a struktury a to všude tam, kde to dovoluje přirozená dynamika společenstev. Tento názor vede k novému pohledu na ekonomicky méně významné a dosud podceňované dřeviny, jako jsou bříza, osika, jeřáb, olše a vrby (Kamenský, Štefančík 2010).

## **2.4. Funkce břízy v lesních porostech**

Bříza má přirozenou schopnost rychle obsazovat plochy po uvolnění smrku a buku, které zejména buk nedokáže kvůli špatným klimatickým podmínkám nebo díky malé plodnosti a malé schopnosti svých semen šířit se na větší vzdálenosti včas obsadit. Naproti tomu bříza plodí téměř každoročně a s velkou produkcí lehkých semen, šířených větrem na dlouhé vzdálenosti (Kamenský, Štefančík 2010). Bříza je navíc rychle rostoucí dřevina, schopná na příznivých stanovištích v pěti letech dosáhnout výšky tří metrů. Zápoj a příznivější prostředí je schopna vytvořit už po pěti až osmi letech po odstranění původního porostu. Navíc chrání plochu před mrazem, větrem a slunečním úpalem.

Bříza disponuje řídkou korunou, která při plném olistění propouští až 37% plného osvětlení (Kamenský, Štefančík 2010). Nejprve jsou dřeviny, rostoucí pod ochranným krytem břízy chráněny před nepříznivými vlivy prostředí. Ve věku 40-60 let končí břízy výškový přírůst a jsou přerůstány klimaxovými dřevinami a protože bříza je dřevina z našich listnáčů nejvíce světlo milná, postupně z porostu ubývá.

Jistým impulsem pro přehodnocení názorů na umělou obnovu lesa je v současné době v mnoha oblastech odumírání nepůvodních smrčín. I v těchto podmínkách je třeba usilovat o udržení takového stavu lesa, který umožní pokud možno co nejlepší plnění

funkcí lesa, především funkce půdoochranné a vodohospodářské, přičemž v kategorii hospodářských lesů je ještě požadavek na produkční funkci. Z tohoto důvodu je potřeba, aby byla obnova lesa provedena v co nejkratší době. Jedním takovým způsobem je právě použít při obnově dřeviny, schopné při daných ekologických podmínkách vytvořit v krátkém časovém úseku zápoj. Proto se v imisemi a těžbou postižených oblastech věnuje pozornost dřevinám, jako je bříza (Kamenský, Štefančík 2010).

## **2.5. Zastoupení břízy v ČR napříč přírodními lesními oblastmi**

Ze všech přírodních lesních oblastí byly vybrány pouze ty, s větším zastoupením břízy v lesních porostech, než je 1%. Proto zde nejsou zmiňovány všechny.

### **PLO 1- Krušné hory**

V Krušných horách převažují kyselá společenstva smrkobukového, bukosmrkového i jedlobukového lesa a na plošinách se vyskytují se i podmáčené i rašelinné smrčiny. Historie zdejších lesů byla však velice pohnutá. Oblast byla ovlivňována těžbou rud, což mělo za následek rozsáhlá odlesnění a špatnou obnovu lesa se vznikem smrkových monokultur. Zde je však třeba zmínit, že se jednalo o sadební a semenný materiál dovážený z nevhodných proveniencí, což se potom projevilo rozsáhlým poškozením lesních porostů imisemi, sněhem i kůrovcem. Bylo tedy nutné opětovné zalesnění, které si vyžádalo opětovné zalesnění, kde se ve větší míře jako přípravná dřevina uplatnila i bříza, jejíž semeno sem bylo dováženo z různých koutů republiky. Zde se však objevil problém, protože například břízy vypěstované ze semen, sebraných v nižších polohách nedisponují potřebnou odolností vůči zdejším extrémním podmínkám (Průša 2001). Proto je nutné nalézt takové populace bříz, pokud možno v podobných oblastech proveniencí, které by byly vůči těmto extrémním podmínkám odolné.

Nejzachovalejší a nejbohatší původní porosty se v Krušných horách vyskytují na rašeliništích, kde roste borovice blatka spolu s břízou trpasličí – *Betula nana*.

V souvislosti s imisní kalamitou v Krušných horách byl pro opětovné zalesňování použit zejména taxon *Betula pendula* (Kuneš et al. 2010).

## **PLO 2 - Podkrušnohorské pánve**

Jedná se zejména o oblasti, které jsou postupně odlesňovány s postupující těžbou uhlí a jiných surovin. Vytěžená místa jsou potom rekultivována. Průměrná nadmořská výška je 450 m. Velká část oblasti je postižena těžkým průmyslem, s častým výskytem mlh, klimatické inverze a je zde i srážkový stín. Převažují zde porosty borové a smrkové a ve větší míře jsou zastoupeny i listnaté porosty. Hlavní rozšíření břízy se nachází ve věkových třídách od 31 do 70 let, ve starších věkových třídách mizí. Na pískách se zde vyskytují kvalitní borové porosty, na rekultivovaných místech se uplatňují hlavně listnaté dřeviny, s větším zastoupením břízy (Průša 2001). Jelikož se jedná díky srážkovému stínu o sušší oblast, dalo by se předpokládat, že se jedná o taxon *Betula pendula*.

## **PLO 3 - Karlovarská vrchovina**

V těchto oblastech, díky jejich kyselému charakteru převažují jehličnaté porosty. Listnáče jsou zastoupeny v nepatrné míře, tedy i bříza se vyskytuje nepatrně. Významná jsou však rašeliniště vrchovištního typu v jihozápadní části oblasti s porosty borovice blatky a břízy pýřité – *Betula pubescens*. Průměrná nadmořská výška je 700 m.

## **PLO 5 – České středohoří**

Klimaticky jde o mírně teplé a mírně vlhké území, sloužící v ledových dobách jako útočiště některých, dnes již reliktních druhů rostlin. Bohaté půdy byly využívány k zemědělství a les byl vytlačen na strmé svahy a mělké půdy. Lesní společenstva tvoří pestrou mozaiku dubových bučin, bukových a zakrslých doubrav. Nejvíce zastoupenou dřevinou je smrk, trpící imisemi a hnilobou, dále lokálně buk a dub, vyskytuje se i bříza (Průša 2001).

## **PLO 8 – Křivoklátsko**

Oblast Křivoklátska byla v minulosti spojena s výrobou dřevěného uhlí, kdy bylo potřeba množství dříví a na malých vytěžených plochách se lesy snadno obnovovaly přirozenou obnovou, přičemž se udržovala původní listnatá a jedlová skladba porostů. Velkou převahu měly bukové, dubové a jedlové porosty a značné rozlohy zaujímala bříza, která spontánně obsazovala holiny. Následovalo však i zde masivní vysazování smrku a

borovice. Zdejší porosty jsou také pod neustálým tlakem zvěře, hlavně jelení a mufloní, která ničí všechny nárosty (Průša 2001).

### **PLO 10 – Středočeská pahorkatina**

Stoupající osidlování zdejší krajiny od 14. století vedlo ke stále větší potřebě zemědělské půdy, spojené s klučením a vytlačení lesů na absolutní lesní půdy. Uplatňovala se toulavá těžba, kdy se vybíral pouze potřebný sortiment a nepříznivě působilo i pastevectví a hrabání steliva. Od 17. století se začaly vysévat lesní dřeviny, přestalo se hrabat stelivo a polařit a skladba lesů se výrazně změnila. Původně zde převládal dub, jedle, habr, lípa a javor. V současné době převažují smrkové a borové monokultury. Listnaté porosty jsou soustředěny hlavně na extrémních stanovištích. Bříza se zde vyskytuje zejména na výsypkách po těžbě uranu u Příbrami nebo po těžbě stříbra v Kutné hoře. Z minulosti pochází i některé místní názvy, jako Březové hory u Kutné hory nebo Březové hory u Příbrami (Průša 2001). V souvislosti se zdejšími podmínkami by se zde mělo jednat zejména o taxon *Betula pendula*.

### **PLO 12 – Předhůří Šumavy a novohradských hor**

Klimaticky jde o oblast mírně teplou a vlhkou, místy se vyskytuje srážkový stín Šumavy a teplé větry od jihu. Současné porosty jsou silně pozměněny, s převahou smrku a borovice, z listnáčů má větší zastoupení pouze buk a bříza (Průša 2001).

### **PLO 13 – Šumava**

Původně tu byly pralesy, vytlačené ovšem později kolonizací, sklářstvím ale i větrnými a kůrovcovými kalamitami. V současnosti tu jsou nejvíce rozšířeny smrkové bučiny a bukové smrčiny. Oblast je typická velkým podílem ekotypicky vhodných smrkových populací, přizpůsobených horským podmínkám. Vyskytuje se i kvalitní štíhlá borovice s jehlanovitou korunou, odolávající sněhu. Větší plochy zaujímají i acerózní společenstva s javorem klenem a jilmem a také hluboká rašeliniště s vrchovištní klečí. Vyskytují se i rašelinné smrčiny. Bříza je zastoupena 1,9 % (Průša 2001). Zde by se podle mého názoru mohlo jednat i o výskyt *Betula carpatica*, který by však bylo nutné potvrdit či vyvrátit případným studiem taxonů bříz v této oblasti.

### **PLO 15 – Jihočeské pánve**

Typická jsou vodou ovlivněná lesní společenstva. Ve velké míře se vyskytují bory. Na písčích je to bor dubový, jedlodubový, smrkový, březový a rašelinný (Průša 2001).

### **PLO 17 – Polabí**

Polabí je známé svou úrodností a zemědělskou produkcí. Zvláště kvalitní jsou porosty borovice s příměsí dubu, poskytující kvalitní borové dříví. V oblastech listnatých lesů je pozornost věnována dubu, kde je vyhledávaný silný dubový sortiment. Druhou nejvíce zastoupenou listnatou dřevinou je bříza (Průša 2001).

### **PLO 18 – Severočeská pískovcová plošina a Český ráj**

V Severočeské pískovcové plošině, obdobně jako jinde byl les vytlačen na chudé pískovcové plošiny. Převládají tu borové porosty se smrkem a břízou, která zde má z listnáčů největší zastoupení. Na strmých kupách se vyskytují porosty listnaté.

Podobně i Český ráj je charakteristický borovými a smrkovými porosty. Je typický reliktními bory s příměsí břízy a jeřábu. Bříza je zde po dubu druhou nejrozšířenější listnatou dřevinou (Průša 2001).

### **PLO 20 – Lužická pahorkatina**

Smrkové, borové a méně bukové porosty. Smrkové porosty jsou z části zasaženy imisemi. Listnaté porosty na třetihorních vyvělinách silně zabuřeňují. Bříza je nejvíce zastoupenou listnatou dřevinou.

### **PLO 21 – Jizerské hory**

Nejvíce rozšířené jsou smrkové a jedlové bučiny s příměsí břízy. Na náhorních plošinách jsou rašeliniště s mnoha prameny vodotečí. Oblast byla zasažena znečištěním imisemi a oslabené porosty byly napadeny obalečem modřínovým. Následovalo masivní odumírání smrku, což mělo za následek ohrožení kvality pitné vody a zadržovací schopnosti lesních porostů (Průša 2001). Při zalesňování imisních holin tu byla použita *Betula carpatica*, která měla zpestřit druhové složení zdejších jehličnatých porostů na nepříznivých stanovištích (Kuneš et al. 2010).

### **PLO 23 – Podkrkonoší**

Stejně jako na Šumavě i zde se vyskytovaly původní pralesy, které byly však holosečným hospodařením přeměněny na smrkové monokultury, ohrožené mnoha činiteli. Ve dvacátých letech 20. století bylo téměř 70 % smrčin zničeno mniškou. Následovalo zalesnění řádkovou sítí směsí smrku, borovice a modřínu. V současnosti převládá smrk, v menší míře je zastoupena borovice a modřín. Listnáče jsou zastoupeny 13 %, z toho 4 % tvoří bříza (Průša 2001).

### **PLO 32 – Slezská nížina**

Jedná se o společenstva sprašových hlín a štěrků, s převahou monokultur smrku, dubových a jedlových bučin. Jsou zde i lesy výmladkové. Zastoupení břízy je 5 %. Růstové podmínky v této oblasti jsou poměrně příznivé.

### **PLO 35 – Hornomoravské úvaly**

Přestože lesnatost tohoto území se pohybuje jen na 10 %, je velice pestrá. V přirozeném složení by se zde vyskytovala lužní společenstva a na vátých písčích, kde jsou dnes bory by byly doubravy. Na obohacených půdách se dnes vyskytují habrové doubravy. Vodou ovlivněná místa jsou březové doubravy, březové olšiny a na močálech vrbové olšiny. Zastoupení břízy tvoří 2,3 % (Průša 2001).

### **PLO 37 – Kelečská pahorkatina**

Ve zdejších porostech je nejvíce zastoupen smrk, následovaný borovicí. Z listnáčů nejvíce buk a bříza. Značnou část těchto porostů tvoří ovšem výmladkové lesy. Bříza je zastoupena 6 % (Průša 2001).

### **PLO 41 – Hostýnsko – vsetínské vrchy a Javorníky**

Bříza se tu vyskytuje spolu s habrem, lípou a pařezovým bukem v takzvaných „palivových lesících“, zbytcích původních porostů, vzniklých výmladností vtroušených dřevin. Najdeme zde i březové lesíky, což jsou zbytky dříve hojných březových porostů (Průša 2001).

Obr.1.: Procentuelní zastoupení břízy v lesních porostech v České republice napříč přírodními lesními oblastmi podle Průši (2001)



## 2.5. Geometrická morfometrika

### 2.5.1. Historie geometrické morfometrie do 90.let 20.století

Morfologie jako celek je věda o tvaru. Biolog Kendall (Neustupa 2006) v jedné ze svých knih definuje tvar takto: „*Tvarem rozumíme veškerou geometrickou informaci o objektu, která pozůstává po odstranění vlivu jeho polohy, užitého měřítka a konkrétní míry v prostoru kolem některé os jím procházejících.*“ Již v 18. století se touto problematikou zabýval známý básník a přírodovědec Johann Wolfgang Goethe, který se věnoval rostlinné morfologii a formuloval ji jako nauku o zákonitostech vzniku a přeměny živých tvarů v přírodě. Morfologie závisela na znalostech a porozumění badatele danému organismu. Už v 19. století je chápána jako základní biologický obor. V této době se rostlinná morfologie zabývala především původem květních rostlinných struktur a ze živočišné říše například žaberními oblouky u obratlovců (Neustupa 2006).

Morfologie se stala hlavním základním stavebním kamenem pro utváření systému živých organismů, kdy se podle tvarových přeměn vysvětloval jejich vývoj. Bez detailních morfologických znalostí se nemohl tehdejší vědec vůbec obejít.

Následné 20. století však znamenalo veliký úpadek morfologie, kdy se pozornost začala obracet k rozvíjejícím se chemickým vědám, zejména pak biochemii. V posledních

asi 10 letech však problematika morfologie nabývá znovu na významu, což lze doložit mnoha pracemi na toto téma. K jejímu opětovnému rozvoji dochází kvůli jedné z morfologických specializací a to morfometrice (Neustupa 2006).

Základem morfometriky bylo původně statistické hodnocení úhlů a vzdáleností na tělech zkoumaných organismů. Především při studiu rostlin se tato metoda stala určitým standardem vědecké práce. Pro rozlišení příbuzných druhů rostlin se začaly používat kvantitativní morfometrické metody, jako je měření délky a šířky listů nebo počty zoubků na listech a z nich se zjišťovaly rozdíly pro jednotlivé druhy.

Postupem času se však ukázalo, že vypovídající hodnota této metody je poněkud jednotvárná a špatně vypovídá o zákonitostech přeměny a vývoje tvarů jako takových. S jakýmsi pokusem o zlepšení vypovídající hodnoty a odstranění jednotvárnosti této metody přišel roku 1917 britský biolog Darcy Thompson v jednom ze svých děl (O růstu a tvaru 1917), které je i dnes považováno za zdroj velké inspirace a poučení (Neustupa 2006). Tento biolog se pokusil toto nesmírné množství rozmanitých tvarů v přírodě vysvětlit pomocí matematických zákonitostí, jenž by dovoľovaly vytvořit i velice složité tvary.

Dokázal, že i proměny velice složitých tvarů lze v rámci jednotlivých skupin a vývojových větví matematicky vyjádřit pomocí transformací souřadnicových mřížek. Deformace mřížek lze potom matematicky popsat a vyhodnotit tak charakter morfologické dynamiky ve zkoumané skupině. Tento nápad byl ovšem v té době špatně technicky proveditelný, proto k jeho rozvoji došlo až s rozvojem výpočetní techniky ve 20. století (Neustupa 2006).

### **2.5.2. Historie geometrické morfometriky od 90.let 20.století po současnost**

V roce 1991 vyšla v Americe publikace (Geometrické metody pro morfometrická data 1991) od biologa Freda Booksteina, která se spolu s několika dalšími publikacemi stala základem moderního oboru – geometrické morfometriky, vědy o tvarech. Tato metoda je založena na analýze strukturně shodných bodů na sadě zkoumaných objektů. Například při analýze dubového listu se jako záchytné body používají báze čepelí nebo vrcholky listů. Jsou to v podstatě body, které lze na všech porovnávaných objektech bez problémů nalézt a počítačem digitalizovat jejich polohu, ve dvou nebo ve třech rozměrech.

Geometricko–morfologická analýza tedy umožňuje modelování komplexních tvarových změn mezi každou dvojicí porovnávaných objektů. Získáme li totiž informace o



tvárových změnách mezi všemi porovnávanými objekty, jsme schopni definovat i tvaroprostor našeho souboru. Tvaroprostorem se rozumí hypotetický dvojrozměrný či třírozměrný prostor, kde probíhá veškerá tvarová přeměna (Neustupa 2006). Tento prostor potom můžeme popsat pomocí jím proložených os, podle nichž dochází ve zkoumaném souboru objektů ke tvarovým změnám. V jiném pojetí lze tvaroprostor neboli tvarový prostor chápat jako *“prostor určený souřadnicemi objektů, které byly upraveny Prokrustovou procedurou, protože je zakřivený, je nutné ho transformovat do tangenciálního prostoru, který je plochý”* (Macholán 1999).

V souvislosti s tvaroprostorem je zde nutné osvětlit pojem Prokrustova analýza, což je metoda, která umožňuje superpozici více objektů, prostřednictvím jejich vzájemného posunu, rotací nebo změnou velikosti. Pro potřeby geometrické morfometrie se k definici tvaroprostoru používá analýza relativních deformací neboli warpů. Tato statistická metoda potom vymezuje jednotlivé osy tvaroprostoru podle jejich podílu z celkové tvarové variability, jíž vysvětlují (Neustupa 2006).

Po provedení analýzy prostorových deformací, se získá přehled o tom, co se v našem souboru objektů z morfologického hlediska děje a rozliší se, které morfologické změny jsou důležité, které jsou méně důležité a ke kterým prakticky vůbec nedochází. Každý zkoumaný objekt zaujímá v tvaroprostoru na jednotlivých osách určité přesně vymezené místo. S tvaroprostory se dají dělat různé věci, kdy můžeme například srovnávat odlišnosti a podobnosti různých druhů. V ekologii lze potom dokonce hledat faktory životního prostředí, ovlivňující tvaroprostor (Neustupa 2006).

Již několik let je geometrická morfometrika úplně novou metodou ve zkoumání tvaru živočichů a se zpožděním se v současné době dostávají metody geometrické morfometrie i do biologie rostlin. Významnější publikace o této problematice se totiž začínají objevovat až v posledních několika letech. Přinášejí nové poznatky o tvaroprostorech listů palem a dubů nebo u orchidejí. Využívají se i ve šlechtitelství, kde nastiňují určité nové trendy ve vývoji kultivarů (Neustupa 2006).

Geometrická morfometrika zahrnuje přímé zkoumání význačných homologických jevů bodů, umožňujících zpětnou rekonstrukci tvaru zkoumaných objektů. Odděluje také pomocí deformačních sítí lineární tvarové změny od nelineárních lokálních tvarových deformací a tyto sítě jsou potom statisticky zpracovávány. Díky tomu lze sledovat rozdíly v morfologii mezi jednotlivými organismy, ale i vysvětlovat biologické procesy, které tyto

změny působí (Macholán 1999). Tato nová metoda nabývá v poslední době na významu a nenachází své místo pouze v zoologii a biologii, ale dokonce i v takových oborech jako je paleontologie, paleoarcheologie nebo medicína.

### **2.5.3. Přednosti geometrické morfometriky**

Hlavním pozitivem geometrické morfometrie oproti klasickým morfologickým metodám, pracujícími pouze s omezeným množstvím rozměrů při popisu různých objektů je to, že geometrická morfometrie využívá tvar jako celek. Dochází tak k podstatně menším ztrátám informací o tvaru. V průběhu této analýzy nedochází ani k odstranění geometrické informace, tudíž lze získat i přesné vykreslení tvarů pro posouzení rozdílů mezi jednotlivými skupinami posuzovaných objektů.

Navíc při této analýze dochází k oddělení informace o tvaru od informace o velikosti objektu a analýza tvaru tak není zatížena rozměrovou chybou. Údaj o velikosti se tak stává nezávislou proměnnou, kterou lze využít při dalších operacích.

Nejvíce časově náročná je příprava materiálu ke skenování, jinak samotná geometrická morfometrie nepředstavuje velikou časovou zátěž.

### 3. Metodika

Práce na projektu spočívala v tom, že několik osob mapovalo výskyt zájmových druhů bříz na několika místech České republiky. Na každé lokalitě byla potom z několika jedinců, kteří byly pečlivě zaevidováni, odebrána dvojice vzorků větví z různých částí koruny, aby tyto vzorky byly dostatečně reprezentativní a měly větší vypovídající schopnost. Každý vzorek větve byl potom zaherbářován, pečlivě zaevidován a popsán. Z každé herbářové položky byla následně vybrána čtveřice dostatečně charakteristických a zdravých listů a ta byla ručně pomocí pravítka měřena. Toto je náplní právě dokončované bakalářské seminární práce kolegy Josefa Stacha.

Na stejné herbářové položce byla potom odebrána ještě další, dostatečně reprezentativní čtveřice jiných listů, která byla měřena a dále zpracovávána v počítačovém programu, což je náplní této bakalářské seminární práce. Tato bakalářská seminární práce se zabývá studiem pouze dvou vybraných, z několika zkoumaných oblastí, konkrétně lokalit v Jizerských horách a v Krkonoších. Jedná se tedy zatím pouze o pilotní studii, kde další lokality budou teprve v budoucnu porovnávány.

Čtveřice listů z každého jedince byla odebírána proto, aby výsledné hodnoty nebyly zkresleny případným výběrem atypického listu. Hodnoty odebrané čtveřice listů byly průměrovány, to znamená, že výstupem pro každého stromového jedince byla pouze jedna průměrná hodnota.

Náplň praktické části práce mé seminární bakalářské práce spočívala ve výběru jednotlivých listů bříz z obdržných herbářových položek a v jejich dalším zpracování v počítačovém programu. Nejprve bylo nutné vybrané listy nalepit na list papíru formátu A4, rubem nahoru. Listy byly uspořádány v řadách tak, aby zabíraly na stránce co nejméně místa, ale tak, aby bylo každý jednotlivý list možné označit a vybrat pro jeho následné zpracování.

Následovalo naskenování vzniklého materiálu ve formátu .bmp a jeho další zpracování pomocí japonského programového balíku SHAPE (Iwata a Ukai 2002), kde byla provedena analýza obrysu pomocí fountierových eliptických deskriptorů. Hodnoty těchto normalizovaných eliptických fountierových deskriptorů pro vždy čtyři listy z jedné rostliny byly zprůměrovány a body, které vznikly charakterizují jednotlivé jedince. Před vlastním zpracováním materiálu pomocí programového balíku SHAPE bylo nezbytné pomocí programu malování provést určité opravy jednotlivých naskenovaných

listů, neboť nelze opatřit herbářový materiál listů bříz bez určitého poškození různými parazity nebo jiných mechanických poškození. Programem malování se tedy zamazala dřevá a jinak poškozená místa na jednotlivých listech a provedlo se také, pro další práci nezbytné, umazání řapíků listů. Řapíky listů by totiž naši práci zkreslovaly.

### **3.1. Postup práce**

Tato metoda, jak již bylo popsáno v úvodu této práce, spočívá ve výběru vhodných listů, jejich naskenování a následném měření v programovém balíku SHAPE. Práce s tímto programem má však pro úplné začátečníky, neznalé tohoto programu, některá úskalí, výrazně ztěžující práci, bez jejichž znalosti nelze tímto programem dosáhnout kýženého cíle. Proto bych se v následujících odstavcích pokusil o co možná nejsrozumitelnější a nejpodrobnější nastínění celého postupu práce.

#### **3.1.1. Příprava materiálu ke skenování**

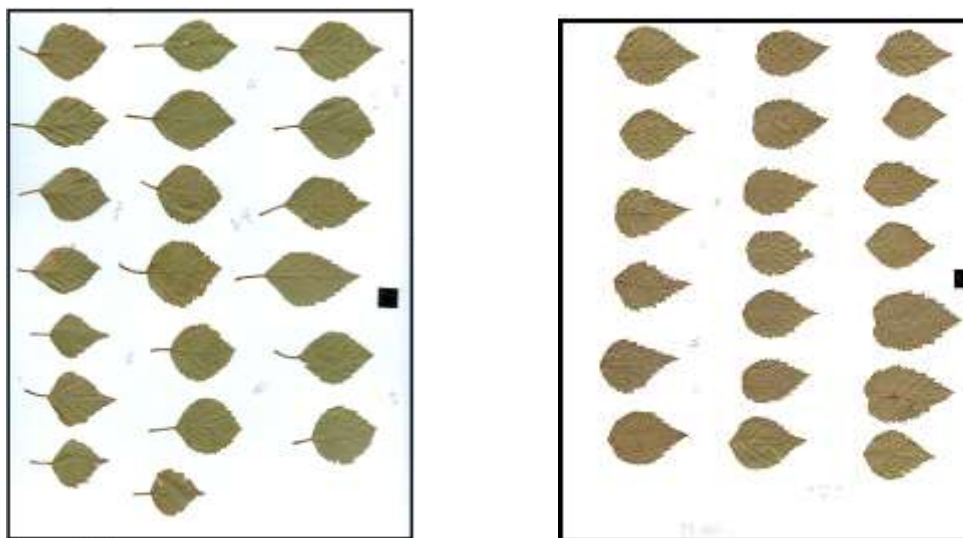
Jak již bylo uvedeno, nejprve je třeba si z předem připravených herbářových položek vybrat podle počtu větví na herbářové položce vždy nejlépe čtveřici listů a to tak, aby každá dvojice z nich byla vždy ze stejné větve. Čtveřice listů byla odebrána proto, aby listy, neboli vstupy do programu SHAPE byly dostatečně charakteristické, a aby nedocházelo ke zkreslování vstupních údajů. Takto vybrané listy byly nalepeny na list papíru, formátu A4, rubovou stranou listu nahoru a důkladně popsány. Je třeba, aby mezi jednotlivými listy bylo dostatek místa pro další práci s nimi. Neboť je nutné každý list vybrat zcela samostatně, je třeba, aby se listy nepřekrývaly. Na horní nebo spodní okraj stránky je dobré nalepit tmavý čtvereček o velikosti 10 x 10 mm, sloužící jako srovnávací měřítko, přičemž je třeba dodržet jeho pravoúhlost. Následně se jednotlivé archy papíru naskenují ve formátu .bmp. Je-li barva listu oproti barvě papíru tmavší, používá se papír bílé barvy. Kdyby se však pracovalo s výrazně světlým listovým materiálem, splývajícím s pozadím, bylo by třeba použít papír tmavé barvy.

#### **3.1.2. Úprava naskenovaného materiálu**

Protože vlastní naskenované listy nejsou po celé své ploše zcela homogenní a obsahují dřevá a jinak poškozená místa, musí se tato místa vyspravit, protože by nám další práci zkreslovala. Současně je třeba umazat u jednotlivých listů řapíky. Řapíky je

nutné odstranit, neboť by nám další práci zkreslovaly a program by nám správně nefungoval. Toto je nejlépe udělat v programu malování. Takto upravené naskenované obrázky se dále rozřežou, například v programu Microsoft Office Power Manager a uloží se do jedné složky pod názvy jednotlivých listů.

Obr. 2.: Vlevo naskenovaný materiál před úpravou, vpravo obrázek po odmazání řapíků listů



### 3.1.3. Vlastní práce s programem

#### 3.1.3.1. Načtení listů do aplikace Chain coder programu SHAPE

Chain coder je kódovací systém pro popis geometrických informací o tvaru, číselným kódem používajícím číslice od 0 do 7. Chain coder převádí vstupní obraz na binární systém, používající pouze bílou a černou barvu, dále redukuje nežádoucí rušivé vlivy jako jsou různá poškození listů. Výstupem této aplikace jsou číselné kódy, přidělené jednotlivým listům, obsahující informace o tvaru a velikosti listu. Tyto výstupní kódy slouží potom jako vstupní data navazující aplikace Chc2Nef.

Po kliknutí na ikonu Chain coder se nám zobrazí dialogové okno – „výběr analyzovaných parametrů“. V této tabulce je třeba označit v kolonce „Scale included“ možnost „No“. Tento krok je nesmírně důležitý pro další práci a bez něj by nám program dále správně nefungoval, neboť by nám program nevykreslil obrys listu. Poté v dolní části dialogové tabulky klikneme na tlačítko „Proceed to Processing“ a zobrazí se nám tabulka „Výběr neskenovaného obrázku“. V ní si načteme všechna data a dáme „OK“.

Následně se nám ukáže dialogová tabulka, kde je třeba zakliknout tlačítko „Load Image“, čímž se nám zobrazí vybraný list. Dále pokračujeme tlačítky „Gray scale,“ a „Make histogram“. Rozlišíme tak list od jeho pozadí. List se nám zobrazí bílou a jeho okolí černou barvou. Dalšími tlačítky „Ero Dill Filter“ a „Dil Ero Filter“, kde si můžeme nastavit intenzitu, vyfiltrujeme povrch listu od nežádoucích skvrn. Dalším tlačítkem „Labeling Object“ přiřadíme listu číselný kód a nakonec se list uloží. Tam, kam si uložíme první list, tam se nám budou automaticky ukládat všechny listy ostatní. Vznikne nám tak jeden soubor se všemi kódy listů, který potřebujeme pro další práci. Celý postup se opakuje, dokud se nezpracují všechny listy.

### 3.1.3. 2. Vykreslení obrysů listů pomocí aplikace Chc2Nef

Aplikace Chc2Nef používá výstupy z předchozí aplikace Chain coder k vykreslení obrysů listů, které porovnává s elipsou a vytváří informace o tvaru listu.

Po načtení aplikace Chc2Nef a zobrazení dialogové tabulky si načteme požadovaná data, získaná z předchozí aplikace a zvolíme si soubor, kam budeme další nově vzniklá data ukládat. Po stisku tlačítka „Ok“ se nám zobrazí nové dialogové okno, sestávající ze dvou částí, v nichž se nám vykreslí obrys listu. Pro další práci je potřeba, aby vykreslený obrys v pravém okně směřoval terminálem doprava, protože je třeba, aby byl materiál stejně orientován, zejména kvůli lepší přehlednosti a estetice. Toho docílíme pomocí tlačítka „Turn 180 deg“. Potom uložíme a celý proces opakujeme. Ukládáním prvního listu si navolíme, kam chceme list uložit a všechny ostatní listy se nám budou opět ukládat do stejného souboru, jako u předchozího kroku.

Obr. 3.: obrys listu vykreslený pomocí aplikace Chc2Nef



### **3.1.3.3. Popis listu koeficienty, aplikací PrinComp**

Tato aplikace využívá výstupy předchozí aplikace pro popis obrysů listů prostřednictvím koeficientů.

Po rozkliknutí ikony PrinComp se nám zobrazí dialogová tabulka, v níž si vybereme výstup z aplikace Chc2Nef, pomocí záložky „Open nef file“. Zatřené koeficienty nemusíme měnit. Dále v nabídce „Analysis“ vybereme „Principal component analysis“, dáme „Ok“, „Make report“ a uložíme ve formátu . pcr. Takto vzniklé hodnoty je třeba překopírovat do programu excel, kde se z každé čtveřice listů, to znamená ze čtyř listů z jednoho jedince se vypočte aritmetický průměr. Vzniknou tak průměrné hodnoty pro jednoho stromového jedince, s nimiž se potom dále pracuje. Po zkopírování hodnot do programu excel je třeba změnit desetinnou čárku, oddělující hodnoty desetinných míst na desetinnou tečku. Tento krok je velice důležitý a bez něj nám program nebude správně pracovat. Hodnoty z excelu si po zprůměrování načteme zpět do programu PrinComp.

Po spuštění ikony „kalkulačka“ v aplikaci „PrinComp“ se zobrazí dialogová tabulka, kde si vybereme vstupní hodnoty a uložíme soubor na požadované místo. Ikona „Redraw“ potom slouží pro zobrazení a vykreslení obrysů listů. Kde každý zprůměrnovaný list nám reprezentuje jeden řádek. Ve třetím sloupci je zobrazen obrys zprůměrnovaného listu. Druhý sloupec pak obsahuje obrisy, které představují hodnoty zprůměrnovaného listu, od nichž jsou odečtena dvě směrodatné odchylky a čtvrtý sloupec pak zobrazuje obrys průměrného listu pro sledovaného jedince plus dvě směrodatné odchylky. V prvním sloupci jsou potom zobrazeny všechny tyto tři sloupce zároveň a lze z něho tedy vyčíst rozdíly jednotlivých obrysů.

### **3.1.3.4. Tvorba grafu a porovnání zkoumaných lokalit**

Posledním krokem je spuštění ikony grafu, kde po jejím označení se nám všechny v předchozím kroku zprůměrnované hodnoty pro všechny zkoumané stromové jedince zobrazí do jednoho grafu. V tomto grafu je každý jednotlivý jedinec reprezentován jedním bodem, jenž představuje průměrnou hodnotu čtyřech odebraných listů z jednoho jedince. Díky tomu, že po celou dobu práce byly hodnoty všech zkoumaných lokalit ukládány do stejného souboru, zobrazily se nám stromoví jedinci ze všech lokalit do jednoho grafu.

Aby se jednotlivé lokality v grafu od sebe odlišily, přidělí se v možnostech grafu každé lokalitě jiná barva. Barevné odlišení jednotlivých lokalit pak umožňuje porovnání lokalit mezi sebou. Jsou-li jednotlivé body rozmístěny po celé ploše pole grafu, lze usuzovat na určité rozdíly jak ve tvaru mezi lokalitami navzájem tak i v rámci každé lokality. Naopak body, seskupené pouze do určitého místa grafu značí, že mezi jednotlivými zkoumanými lokalitami neexistují významné odlišnosti ve tvaru listů.



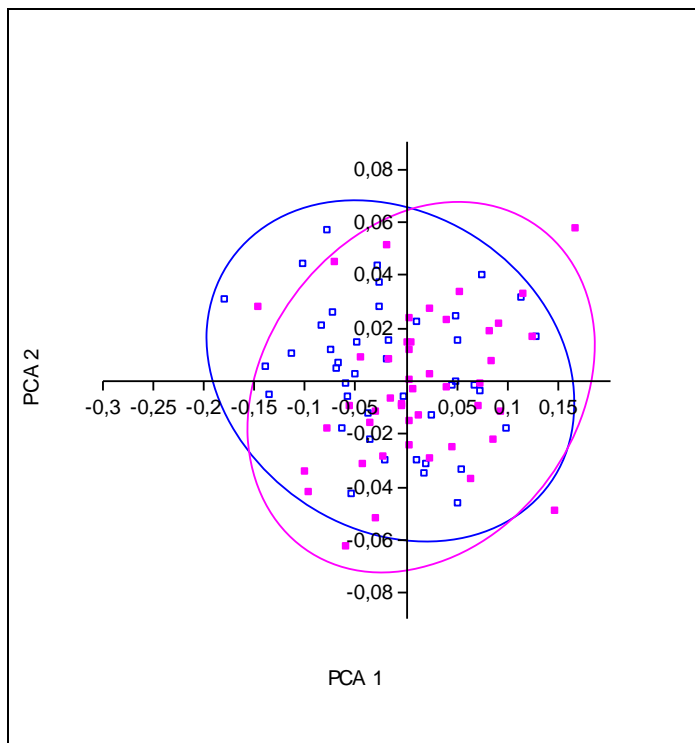
## 4. Výsledky

### 4.1. Vyhodnocení dat pomocí mnohorozměrných metod (PCA – analýza)

Pomocí aplikace PrinComp z programového balíku SHAPE byla provedena analýza obrysu listu, která využívá eliptických fountierových deskriptorů u všech listů. Jak již bylo uvedeno, byly vždy sledovány 4 listy z jednoho jedince a proto byly hodnoty všech čtyř listů zprůměrnovány tak, aby ve výsledné analýze hlavních komponent (PCA) byl každý stromový jedinec reprezentován v grafu jedním bodem.

Analyzována byla symetrická složka variability pro prvních 20 harmonických složek.

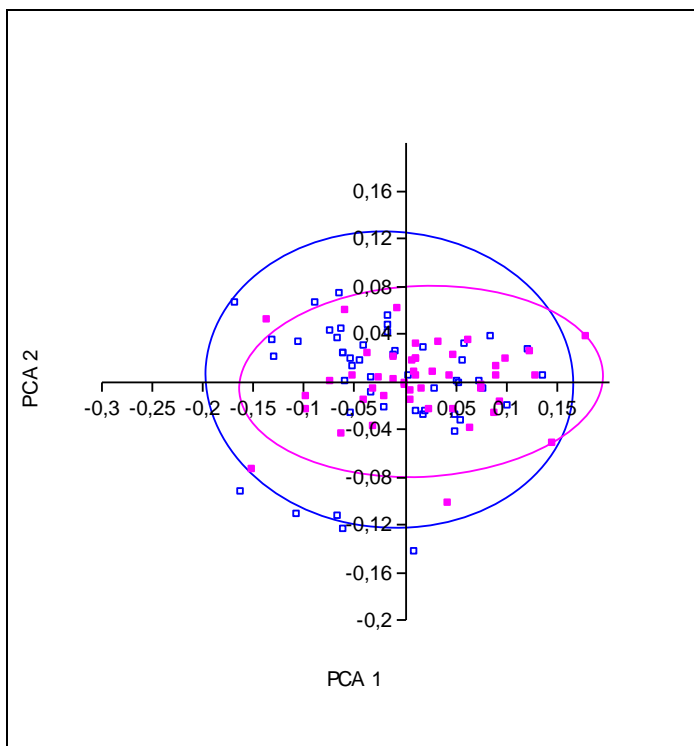
Obr. 4.: Výsledek PCA analýzy pro tetraploidní jedince. Jedinci z Jizerských hor jsou označeni modrou barvou a jedinci z Krkonoš barvou fialovou. Pro lepší znázornění výsledků je vložena elipsa, která ohraničuje 95% hodnot z jednotlivých regionů.



Jak je patrné z obrázku č. 4, mezi jedinci z Krkonoš a Jizerských hor existují na první pohled pouze malé rozdíly v morfologii listu, neboť elipsy nemají výrazně odlišný tvar.

Obr. 5.: Výsledek PCA analýzy pro tetraploidní i diploidní jedince

Jedinci z Jizerských hor jsou označeni modrou barvou a jedinci z Krkonoš barvou fialovou. Pro lepší znázornění výsledků je vložena elipsa, která ohraničuje 95% hodnot z jednotlivých regionů. (Skutečnost, zda se jedná o tetraploidního nebo diploidního jedince není mj. z důvodu velmi nízkého zastoupení diploidních jedinců nijak zvýrazněna).



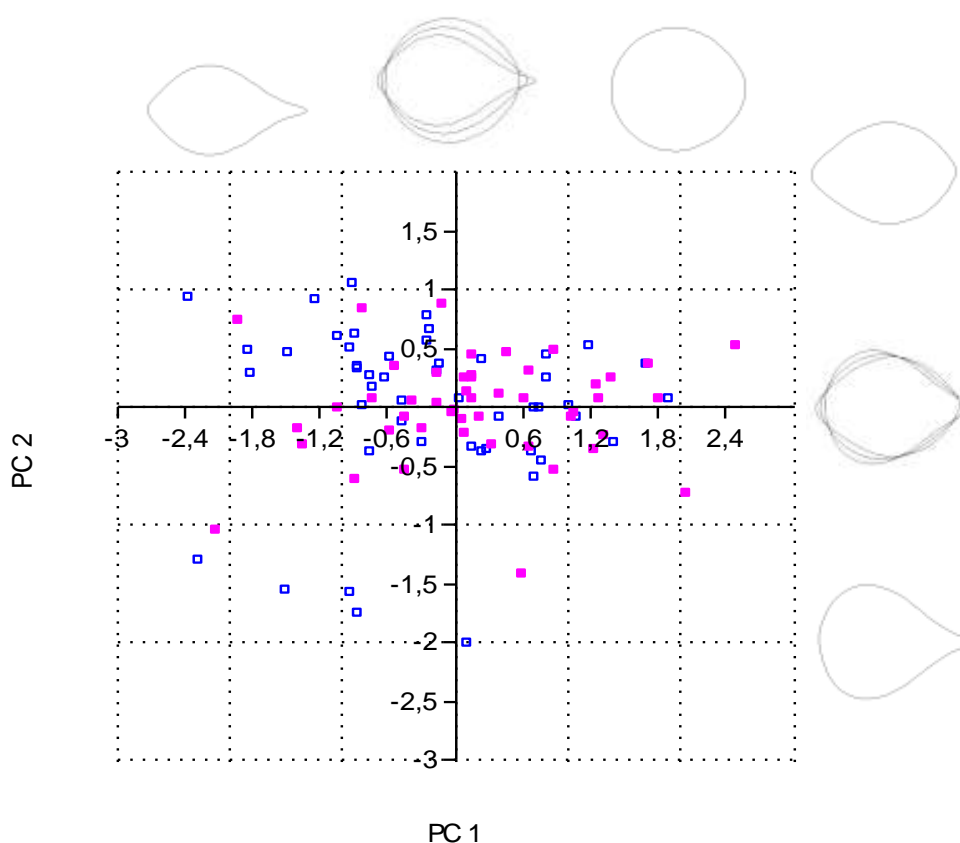
Z obrázku č. 5 je zřejmá vzájemná variabilita obou sledovaných lokalit, neboť elipsa, ohraničující jedince z Jizerských hor, reprezentované fialovou barvou má podstatně plošší charakter, než modrá křivka, ohraničující jedince z Krkonoš.

Na obrázku č. 6. je znázorněna výsledek analýzy hlavních komponent (PCA) s využitím hodnot normalizovaných eliptických fountierových deskriptorů sestavená pro všechny sledované listy. Bod v grafu odpovídá 1 jedinci, protože hodnoty jsou opět zprůměrovány pro 4 listy. Analyzována byla symetrická složka variability pro prvních 20 harmonických složek. První osa vysvětluje 63,34 % variability, druhá osa 20,42 % variability. Modré symboly odpovídají lokalitám v Jizerských horách, fialové lokalitám

v Krkonoších. U os je vždy vynesena překryv sledovaných tvarů listu a odchylky  $\pm 2$  SD podél dané osy (měřítko odpovídá jednotkám SD).

Jak je dále patrné z tohoto obrázku, pro taxon *Betula pendula* je typická listová čepel, která je nejširší ve své spodní třetině, což je vidět v pravé části obrázku na spodním obrysu. Naopak taxon *Betula carpatica*, na obrázku vlevo nahoře je charakteristický listovou čepelí, nejširší v jedné polovině listu.

Obr. 6.: Výsledek analýzy hlavních komponent (PCA) s využitím hodnot normalizovaných eliptických fountierových deskriptorů sestavená pro všechny sledované listy.



Na obrázku č. 6 jsou zobrazeny jednotlivé lokality, charakterizované jednotlivými body, stromovými jedinci, bez ohraničení elipsami. Na horním a v pravém okraji grafu jsou zobrazeny obrysy listů.

## 4.2. T-test

Dále byl v programu STATISTICA 9 proveden T-test, kde nezávislou proměnnou byly pozice na jednotlivých PC osách a vysvětlující proměnnou byly dva faktory prostředí, které byly pro vyhodnocení k dispozici. Jednalo se o skutečnost, zda daný vzorek (strom) pocházel z Krkonoš a nebo z Jizerských hor a dále informace o tom, zda rostl na suchém nebo mokřém stanovišti.

Výsledky statistické analýzy ukazují tabulky 1 a 2. Podobných výsledků bylo dosaženo, když pro analýzu byly použiti všichni zkoumaní jedinci, tj. nejen tetraploidní, ale navíc i nevelký počet diploidních jedinců.

Ve stručnosti lze shrnout, že krkonošské a jizerskohorské břízy se signifikantně odlišují v morfologii listů. Závislost tvaru listu na vlhkosti stanoviště je nejistá. Signifikantní výsledek se totiž nachází pouze na šesté PC-ose a k hranici signifikance se blíží i druhá PC-osa. Nejistý výsledek zde může být způsoben zejména nerovnoměrným zastoupením v datovém souboru, protože v Jizerských horách výrazně převažovali jedinci z vlhkých stanovišť a v Krkonoších výrazně převažovali jedinci suchých stanovišť.

Tab. 1.: Výsledek t-testu, kde vysvětlující proměnnou byla skutečnost, zda jedinci bříz pocházeli z Jizerských hor nebo Krkonoš. Do analýzy byly použiti pouze tetraploidní jedinci. Hodnoty zvýrazněné podtržením jsou signifikantní na hladině významnosti 0,05.

	průměr (Jiz.h.)	průměr (Krkon.)	Výsl. testu (t-val.)	počet st. volnos ti	p	N (Jiz.h.)	N (Krkon.)	Směrovat. odchylka (Jiz. H..)	Směrodatn . odchylka (Krkonoše)
<b>PC 1</b>	-	0.02115	-	87	0.054105	43	46	0.068316	0.066583
<b>PC 2</b>	0.01583	0.00272	2.2059	87	<b><u>0.030021</u></b>	43	46	0.029794	0.026245
<b>PC 3</b>	0.00437	-	2.1086	87	<b><u>0.037848</u></b>	43	46	0.014811	0.027203
<b>PC 4</b>	0.00326	0.00185	1.5064	87	0.135574	43	46	0.015816	0.016236
<b>PC 5</b>	0.00192	0.00226	1.1964	87	0.234772	43	46	0.015751	0.017212
<b>PC 6</b>	0.00410	0.00418	3.2460	87	<b><u>0.001662</u></b>	43	46	0.011326	0.012649
<b>PC 7</b>	0.00298	0.00080	1.6069	87	0.111692	43	46	0.010511	0.011658

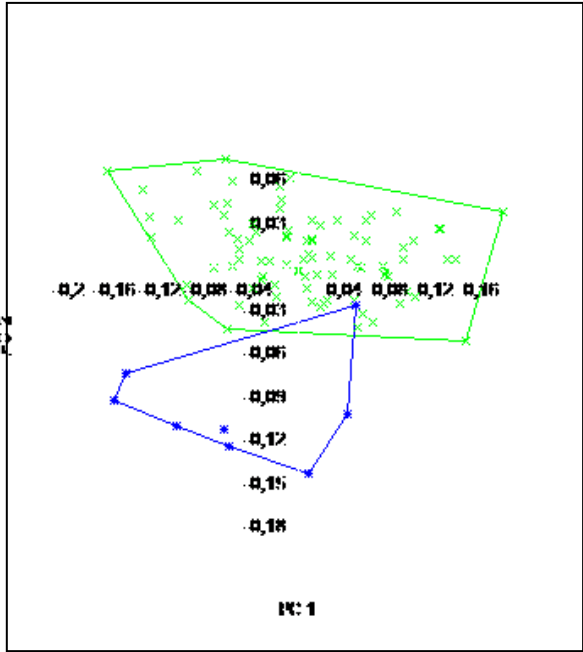
Tab. .2.: Výsledek t-testu, kde vysvětlující proměnnou byla skutečnost, zda jedinci bříz rostli na mokřím nebo suchém stanovišti. Do analýzy byly použity pouze tetraploidní jedinci. Zvýrazněné hodnoty jsou signifikantní na hladině významnosti 0,05.

	průměr (mokra)	průměr (sucho)	výsledek testu (t-value)	počet stupňů volnosti	p	N (mokra)	N (sucho)	směrodatná odchylka (mokra)	směrodatná odchylka (sucho)
PC1	0.00018	0.01645	-1.14629	87	0.254817	47	42	0.067826	0.068980
PC2	0.01442	0.00305	1.89862	87	0.060930	47	42	0.029801	0.026307
PC3	0.00287	0.00476	1.61109	87	0.110782	47	42	0.016776	0.027251
PC4	0.00257	0.00157	1.21320	87	0.228336	47	42	0.014876	0.017384
PC5	0.00139	0.00206	0.98535	87	0.327187	47	42	0.015765	0.017420
PC6	0.00406	0.00493 2	3.56302	87	<b>0.000598</b>	47	42	0.011021	0.012810
PC7	0.00251	0.00062	1.32357	87	0.189114	47	42	0.011399	0.010910

Na základě geometrické morfometriky lze dále poměrně spolehlivě rozlišit stromové jedince rodu *Betula* podle ploidnosti. Stupeň ploidie byl porovnáván s výsledky předchozí studie, která stanovila tento stupeň pomocí metody průtokové cytometrie. Tato metoda ale není náplní předložené bakalářské práce, výsledky byly přebrány z práce Karlík et al. (2010).

Jak je patrné z grafu (obr. 7), došlo k poměrně jasnému odlišení diploidních jedinců a v grafu jsou odlišeny modře, od jedinců tetraploidních, označených v grafu zeleně. Graf byl sestaven z jedinců rostoucích v obou sledovaných lokalitách.

Obr. č. 7.: Graf s rozlišením diploidů a tetraploidů. Analýza hlavních komponent (PCA) s využitím hodnot normalizovaných eliptických fountierových deskriptorů, sestavená pro všechny sledované listy. Bod v grafu odpovídá 1 jedinci – hodnoty jsou průměrovány pro 4 listy. Analyzována byla symetrická složka variability pro prvních 20 harmonických složek. První osa vysvětluje 63,33 % variability, druhá osa 20,41 % variability. Modré symboly odpovídají jedincům diploidním, zelené jedincům tetraploidním.



## 5. Diskuse

Při porovnání obrázků č. 4 a 5 je zřejmé, že při určování rozdílů v morfologických znacích listů mezi dvěma populacemi má rozhodující význam rovina porovnávání. Na obr. 4, kde byly porovnávány dvě populace tetraploidních jedinců, nebyly rozdíly mezi populacemi příliš patrné. Naopak při porovnání dvou lokalit, kde jsou zastoupeni diploidi i tetraploidi (obr. 5) je patrná značná morfologická variabilita listů mezi porovnávanými oblastmi.

Značná rozdílnost tetraploidních a diploidních jedinců byla navíc potvrzena i použitým T- testem.

Porovnáním tabulek 1 a 2 byla potvrzena hypotéza o vzájemné variabilitě v morfologii listů mezi populacemi v Jizerských horách a v Krkonoších. Naproti tomu rozdíl mezi jedinci rostoucími na suchých a mokřích stanovištích nebyl spolehlivě potvrzen. Tato skutečnost může být způsobena faktem, že v Jizerských horách byla převaha vlhkých stanovišť, na nichž by se měl vyskytovat taxon *Betula carpatica*. Naopak v Krkonoších převažují sušší stanoviště s výraznějším zastoupením *Betula pendula*.

Pro získání lepších výsledků by bylo optimální, kdyby byl k dispozici větší počet analyzovaných jedinců a navíc aby tyto jedinci byly pokud možno rozmístěni rovnoměrně po stanovišti.

Praktické využití zjištěných poznatků by mohlo přispět k lepšímu rozlišení jednotlivých taxonů rodu *Betula* a k lepší volbě sadebního a semenného materiálu při zalesňování extrémních poloh. Jak již bylo uvedeno, sušší podmínky vyhovují více taxonu *Betula pendula*, zatímco vlhčí oblasti obsazují druhy jako je *Betula carpatica*.

Při volbě vhodného reprodukčního materiálu je tedy rozhodující nejen oblast provenience, ale i volba vhodného taxonu. Do budoucna by tedy bylo vhodné najít snadno poznatelné determinační znaky pro jednotlivé taxony, které by umožnilo jejich snadné rozlišení. To by potom znamenalo lepší využití břízy v lesnické praxi. Zvýšila by se tak obnovy lesa a snížila by se mortalita jedinců při zalesňování. Protože na extrémních stanovištích by bylo možné použít druhy, které jsou těmito stanovištím lépe uzpůsobeny.

## 6. Závěr

Na základě zjištěných skutečností lze konstatovat, že rozdíly v morfologii listů mezi oběma populacemi bříz a to jak z Krkonoš, tak Jizerských hor jsou poměrně signifikantní. Zkoumaná závislost tvaru listu na vlhkosti stanoviště nebyla spolehlivě potvrzena, protože signifikantního výsledku bylo dosaženo pouze na jedné z PC – os a další osa se ke hranici signifikace pouze blížila. Tento nejistý výsledek může být způsoben zejména nerovnoměrným zastoupením obou skupin v datovém souboru. Jelikož v Jizerských horách výrazně převažovali jedinci z vlhkých stanovišť, zatímco v Krkonoších převládali jedinci suchých stanovišť.

Současně se potvrdila obecně známá skutečnost, že taxon *Betula pendula* má listovou čepel nejširší ve spodní třetině listu, kdežto taxon *Betula carpatica* je charakteristický listovou čepelí, nejširší v polovině listu.

Ze vzájemného porovnání fountierových deskriptorů jasně vyplynula vzájemná variabilita tetraploidních a diploidních stromových jedinců na obou sledovaných lokalitách.

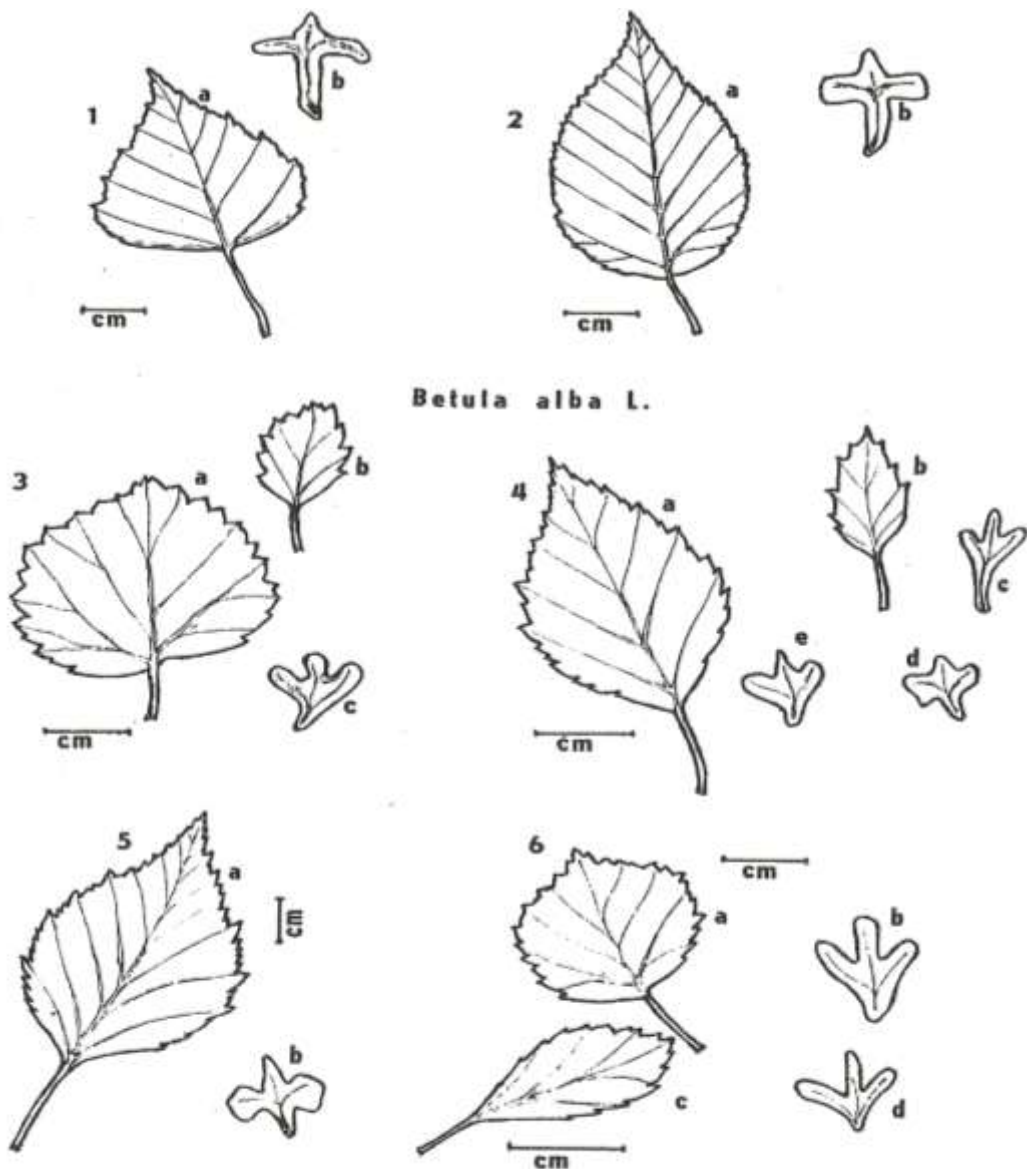
Je však nutné opět zdůraznit, že se jedná o pilotní studii, zatím pouze na dvou lokalitách, a že další zkoumané lokality budou teprve v příštích měsících vyhodnocovány. Proto nelze zatím zjištěné skutečnosti zcela brát v potaz.

Na závěr je třeba ještě uvést, že geometrická morfometrika sama o sobě, je metoda, která byla dosud používána zejména ke studiu morfologických znaků živočichů a v rostlinné říši nebyla zatím ve větší míře používána. Je tedy třeba jí v budoucnu věnovat větší pozornost.



## 7. Přílohy

Příloha č. 1: Listy a podpůrné šupiny taxonů z okruhu *Betula alba*: 1 – *Betula pendula*, 2 – *B. pubescens*, 3 – *B. odorata*, severský typ (s typickou heterofylií – a,b), 4 – *B. carpatica*: heterofylie (a,b), podpůrné šupiny z populací jizerské hory(c), Hrubý jeseník (d), Krkonoše(e), 5 – *B. petraea (celtiberica)*, 6a,b – morfotyp „*odorata*“ nalezený na Rýchorách v Krkonoších, 6c,d – předpokládaná *Betula tortuosa* z Božího daru v krušných horách



## 8. Seznam použité literatury

Karlík P. (2010): Taxonomická problematika bříz *Betula L.* v České republice se zvláštním zřetelem na drobné taxony z okruhu břízy pýřité *Betula pubescens* agg. – In Prknová H. (ed.): Bříza – strom roku 2010. Sborník příspěvků z konference. Kostelec nad Černými lesy 23. září 2010. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2098-7, pp. 61-65.

Karlík P., Ešnerová Baláš M., Vítámvás J., Koňasová T., Kubešová M., Fér T., J., Urfus T., Kuneš I., Vít P. (2010): Problematika určování druhů bříz *Betula L.* ve světle průtokové cytometrie. – In Prknová H. (ed.): Bříza – strom roku 2010. Sborník příspěvků z konference. Kostelec nad Černými lesy 23. září 2010. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2098-7, pp. 51-56.

Kuneš I., Baláš M., Ešnerová J., Koňasová T., Vítámvás J., Zahradník D., Stacho J., Pospíšilová K., Rašáková N., Gallo J., Karlík P., Pohlová J. (2010): Bříza byla a zůstává tématem pro lesnický provoz i výzkum. – In Prknová H. (ed.): Bříza – strom roku 2010. Sborník příspěvků z konference. Kostelec nad Černými lesy 23. září 2010. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2098-7, pp. 32-36.

Kříž Z.: *Betula L.*, In Slavík B. (ed) Květena České republiky, part II, 36-46, Academia, Praha, 1990

Kubát K. et al. (ed.) (2002): Klíč ke Květeně České republiky – 928p., Academia, Praha

Lenhart V. (1793): Zkušené naučení k velmi potřebnému již za našich časů osetí lesův. – In Roček I. (ed.): Přepis Lenhartova textu 2003 Česká zemědělská univerzita v Praze, UHÚL Brandýs nad Labem, ISBN 80-213-1026-X, pp 49-53

Macholán M. (1999): Prokrustes, deformace a nová morfometrie. – Vesmír 78/1: 35–39

Neustupa J. (2006): Co je to geometrická morfometrika aneb morfologie znovu na scéně. – Živa 54/2: 54

Průša E. (2001): Pěstování lesů na typologických základech, Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, pp. 419-567

Sýkora T.(1984): Příspěvek k fyto geografii Adršpašsko-Teplických skal, Preslia 56: 359-376

Úradníček L. (2010): Dendrologicko – ekologická charakteristika domácích druhů rodu *Betula*. – In Prknová H. (ed): Bříza – strom roku 2010. Sborník příspěvků z konference. Kostelec nad Černými lesy 23. září 2010. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2098-7, pp. 46-50.