

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra pěstování lesů



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Morfologická variabilita rodu bříza (*Betula* L.) ve vybraných oblastech ČR se zaměřením na tetraploidní zástupce

Autor: Bc. Rostislav Linda
Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Kuneš, Ph.D.
Rok: 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Rostislav Linda

Aplikovaná ekologie

Název práce

Morfologická variabilita rodu bříza (*Betula* L.) ve vybraných oblastech ČR se zaměřením na tetraploidní zástupce

Název anglicky

Morphological variability of birch genus (*Betula* L.) in chosen regions of the Czech Republic with a focus on tetraploid taxa

Cíle práce

Posoudit morfometrickou proměnlivost jednotlivých taxonů rodu *Betula* ve vybraných oblastech České republiky

Metodika

Proveďte odběry vzorků na vybraných lokalitách zájmových regionů.

Z každého jedince část odebraných vzorků zaherbárujte a část předejte laboratoři pro provedení cytometrické analýzy.

Proveďte potřebná morfometrická měření.

Porovnejte morfometrické údaje s výstupy cytometrických analýz a zhodnoťte, jestli existují vizuálně zjištělné odlišnosti mezi skupinou tetraploidních a diploidních taxonů v rámci rodu *Betula*.

Připravte vzorky pro molekulární genetické analýzy.

Doplňte výsledky o první vybrané výstupy z molekulárních genetických analýz.

Doporučený rozsah práce

45 stran

Klíčová slova

bříza karpatská; bříza bělokorá; cytometrie; morfometrické znaky

Doporučené zdroje informací

- ATKINSON M. D., CODLING A. N. 1986. A reliable method for distinguishing between *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Watsonia* 16: 75–76
- EŠNEROVÁ J., KARLÍK P., ZADRADNÍK D., KOŇASOVÁ T., STEJSKAL J., BALÁŠ M., VÍTÁMVÁS J., RAŠÁKOVÁ N., STACHO J., KUTHAN J., LUKÁŠOVÁ M., KUNEŠ I. 2012. Morfologická variabilita rodu bříza (*Betula* L.) v Krkonoších se zaměřením na tetraploidní zástupce. *Zprávy lesnického výzkumu* 57(2): 112–125.
- GARDINER A. S., JEFFERS J. N. R. 1962. Analysis of the collective species *B. alba* L. on the basis of leaf measurements. *Silvae Genetica*, 11 (5/6): 125–176.
- GARDINER A. S. 1972. A Review of the Sub-Species *carpatica* and *tortuosa* within the Species *Betula pubescens* Ehrh. *Botanical Journal of Scotland*, 41(4): 451–459.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Ivan Kuneš, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivana Kuneše, Ph. D. a za použití uvedených zdrojů.

V Praze dne 11. dubna 2016

.....

Bc. Rostislav Linda

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi jakoukoliv cestou pomohli k napsání této diplomové práce, zejména

- **doc. Ing. Ivanovi Kunešovi, Ph.D.** (Katedra pěstování lesů, FLD, ČZU) za vedení, odborné rady, pomoc při terénním šetření, metodické vedení a konzultace,
- **Ing. Martinovi Balášovi, Ph.D.** (Katedra pěstování lesů, FLD, ČZU) za pomoc s terénním šetřením, metodické rady a odborné konzultace,
- **Ing. Janě Ešnerové, Ph.D.** (Katedra pěstování lesů, FLD, ČZU) za pomoc s terénním šetřením a odborné konzultace,
- **Bc. Josefu Gallovi** (Katedra pěstování lesů, FLD, ČZU) za pomoc s terénním šetřením, konzultace a jazykové korektury,
- **Ing. Nadě Rašákové** (Katedra pěstování lesů, FLD, ČZU) za pomoc s terénním šetřením,
- **RNDr. Ivaně Bufkové, Ph.D.** (NP Šumava) za pomoc s vytipováním vhodných lokalit a agendou ohledně udělení výjimky pro vstup do 1. zón NP., a v neposlední řadě
- **personálu cytometrické laboratoře PřF UK** za provedení cytometrických analýz vzorků.

Poděkování patří též správám **CHKO Jeseníky**, **CHKO Broumovsko** a **CHKO Jizerské hory** za pomoc se sběrem dat.

Tato práce vznikla za podpory grantových projektů „Vztah populací břízy karpatské a typu stanoviště ve vrcholových horských polohách“ – **CIGA ČZU (20104308)**, „Funkční potenciál vybraných listnatých dřevin a jejich vnášení do jehličnatých porostů v Jizerských horách“ – **NAZV (QH 92087)** a „Analýza genetických vztahů populací horských bříz“ – **IGA FLD (201130)**.

Na závěr bych chtěl poděkovat svým rodičům, Jiřímu Lindovi a Aleně Lindové za veškerou podporu při studiu, bez které by tato práce nikdy nevznikla.

Abstrakt

Předkládaná práce se zabývá rozlišením diploidních (dvě sady chromozomů, $2n$) a tetraploidních (čtyři sady chromozomů, $4n$) jedinců z rodu bříza (*Betula* L.) na základě makroskopických znaků měřených na jejich listech (klasická morfometrika). Tato metoda je dobře proveditelná i v terénních podmínkách za použití běžných kancelářských potřeb (pravítko, úhloměr). Dalším cílem práce je zhodnocení genetické variability v rámci tetraploidních taxonů, jejichž systematika je stále předmětem diskuzí.

Pro statistickou analýzu bylo vzorkováno celkem 97 jedinců z 11 lokalit z oblasti Šumavy, přičemž na každém z jedinců byly vybrány 4 listy. Za účelem rozlišení ploidie bylo na každém listu měřeno celkem 20 znaků (16 kvantitativních a 4 kvalitativní). Vzorky jedinců byly taktéž analyzovány metodou průtokové cytometrie pro určení skutečné velikosti genomu každého jedince.

Rozdílnosti v hodnotách měřených znaků mezi jedinci s odlišnou ploidií (velikostí genomu) byly statisticky testovány, přičemž významné rozdíly byly pozorovány u 12 ze 16 testovaných kvantitativních znaků a 2 kvalitativních znaků. Pro předpověď ploidie jedince na základě listových parametrů byla navržena klasifikační funkce se třemi vstupními parametry, která měla na původních datech (z oblasti Šumavy) úspěšnost 96 %.

Spolehlivost navržené funkce byla ověřena na dalších třech lokalitách v rámci ČR a porovnána s funkcemi navrženými v minulosti jinými autory. Průměrná úspěšnost navržené klasifikační funkce byla 89 %, což je nejvíce ze všech porovnávaných.

Genetická variabilita, zejména tetraploidních taxonů, je v textu zmíněna v souvislosti s dřívější prací autora. Rozlišení *B. pubescens* a *B. carpatica* se na základě použitých genetických markerů nepodařilo. Genetickou nerozlišitelnost těchto taxonů zmiňují i některé práce zahraničních autorů, zatímco v české literatuře jsou tyto taxony zpravidla rozlišovány jako samostatné druhy.

Klíčová slova: bříza karpatská; bříza bělokorá; cytometrie; morfometrické znaky

Abstract

The aim of this work is to propose reliable method for distinguishing between diploid ($2n$) and tetraploid ($4n$) taxa of the genus *Betula* L., based on leaf measurements. These measurements are realized by common tools, such as ruler or protractor. Main advantage of these methods is that they can be applied even in the field. The further aim of work is to describe and evaluate genetic variability within tetraploid taxa, whose taxonomic relationships are still unclear and under discussions.

For statistical analysis, 97 individuals from 6 localities within Šumava region were selected and 4 leaves from every individual were analysed. In total, 20 parameters were measured on every leaf (16 quantitative and 4 qualitative). Each individual was also analysed by flow cytometry method to determine real genome size (ploidy).

Differences in selected parameters between individuals with different ploidy were statistically tested. Significant results were observed in 12 of 16 quantitative and 2 of 4 qualitative parameters. For real ploidy prediction, the classification function was designed, whose reliability was 96 % for the primary data.

The reliability of classification function was verified on samples from three different regions within the Czech Republic and compared with functions suggested by other authors. Function designed in this work was able to correctly determine real ploidy in 89 %, which is the most of all compared functions.

Genetic variability, especially within tetraploid taxa is mentioned in relation to other author's previous studies. Distinguishing between *B. pubescens* and *B. carpatica* was not possible using selected genetic markers. Genetic conformity of these taxa is also mentioned in publications of foreign authors, as contrasted to Czech literature, which generally distinguishes *B. pubescens* and *B. carpatica* as separated species.

Keywords: *Betula carpatica*; *B. pendula*; cytometry; morphometric traits

Obsah

1	Úvod a cíl práce	10
2	Charakteristika zájmových taxonů	12
2.1	Taxonomické rozdělení rodu <i>Betula</i> L.	12
2.1.1	Ploidie – velikost genomu	12
2.1.2	Taxonomie rodu bříza (<i>Betula</i> spp.)	12
2.1.3	Problematika zařazení některých taxonů rodu <i>Betula</i> L.	14
2.2	Obecná charakteristika taxonů	14
2.2.1	Bříza bělokorá (<i>Betula pendula</i> Roth)	15
2.2.2	Bříza pýřitá (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.)	16
2.2.3	Bříza karpatská (<i>Betula carpatica</i> W. et K.)	16
3	Využití determinace bříz v lesnické praxi	17
3.1	Potenciál bříz pro lesnickou praxi	17
3.2	Význam břízy jako náhradní dřeviny	18
3.2.1	Vitalita diploidních a tetraploidních bříz v PND	19
4	Metodika	21
4.1	Sběr dat	21
4.2	Průtoková cytometrie	22
4.3	Měření listových parametrů	23
4.4	Statistická analýza dat	25
4.4.1	Kvantitativní parametry	25
4.4.2	Kvalitativní parametry	26
4.5	Ověření spolehlivosti klasifikační funkce	26
5	Výsledky	27
5.1	Analýza kvantitativních dat	27
5.2	Analýza kvalitativních dat	32
5.3	Spolehlivost klasifikační funkce	34

6	Diskuze	35
7	Závěr	38
	Reference	39
	Příloha	45

1 Úvod a cíl práce

Taxonomie – věda zabývající se klasifikací organismů (z řečtiny *taxis* – třídit, uspořádat; *nómos* – zákon) je jednou z nejstarších věd na poli biologie. Potřeba pojmenování a zařazení živých organismů je známa již z doby před naším letopočtem, kdy například Aristotelés (384 př. n. l. – 322 př. n. l.) roztrídil vše živé na rostliny a živočichy. Jeho student Theofrastos již zařadil a pojmenoval několik stovek rostlin. Přibližně od přelomu letopočtu do 16. století nedošlo v taxonomii k větším objevům. Změnu přinesl až vynález mikroskopu, který umožňoval studium živých organismů ve větším detailu. A. Caesalpino (Itálie, 1519–1603) popsal ve svém díle cca 1500 druhů rostlin a je tak považován za prvního „taxonoma *sensu stricto*“. Jiný pohled na taxonomii přinesl Carl Linné (1707–1778) ve svém díle *Systema naturae* (1753). Principy definované v tomto a také dalších dílech se z velké části používají dodnes a Linné je tak právem považován za zakladatele moderní taxonomie (STACE, 1989).

Dnes se pro taxonomické studie používají zejména molekulární metody, umožňující nahlédnout do genomu jedinců a odhalit i jinak nepozorovatelné rozdíly. Dochází tak ke stále častějším revizím, změnám, objasněním i komplikacím v systému živých organismů.

Tato práce se zabývá rozdělením bříz (*Betula* spp.) do skupin dle ploidie (velikosti genomu) na diploidní ($2n$, 2 sady chromozomů) a tetraploidní ($4n$, 4 sady chromozomů), a to na základě měření makroskopických znaků na listech jedinců (klasická morfometrika). Měření je prováděno běžně dostupnými pomůckami – kancelářským pravítkem a úhloměrem.

Rozdělení jedinců dle ploidie je dobře aplikovatelné zejména v lesnické praxi, kdy tetraploidní jedinci ($4n$, 4 sady chromozomů) lépe odolávají nepříznivým klimatickým podmínkám (KUNEŠ ET AL., 2007; KULA, 2011), viz Obr. 1.



(a) Diploidní jedinci ($2n$)



(b) Tetraploidní jedinci ($4n$)

Obr. 1: Porovnání vitality diploidních a tetraploidních bříz na výzkumné ploše Jizerka. Stáří porostu je cca 19 let [Foto: R. Linda, I. Kuneš].

Cílem práce je stanovit rozhodovací kritérium na základě měřených listových parametrů. Dle tohoto kritéria (klasifikační funkce) bude možné rozdělit jedince dle ploidie s co největší pravděpodobností. Výhodou takové aplikace je nenáročnost na technické vybavení z důvodu měření parametrů běžnými kancelářskými pomůckami a s tím spojená proveditelnost v terénních podmínkách. Spolehlivost navržené klasifikační funkce bude nadále ověřena na vzorkách listů z jiných oblastí (cross-validation).

Sekundárním cílem je otevření otázky taxonomické klasifikace, a to zejména taxonu *B. carpatica* z důvodu jeho neustáleného zařazení.

2 Charakteristika zájmových taxonů

2.1 Taxonomické rozdělení rodu *Betula* L.

2.1.1 Ploidie – velikost genomu

Ploidie označuje počet sad chromozomů (n) v buňkách daného jedince (REEVE, 2001). Vznik polyploidie (polyploidizaci) lze považovat za genetickou mutaci. Buňka obsahující jednu replikaci každého chromozomu je označována jako haploidní (n), buňka obsahující dvě replikace diploidní ($2n$), tři replikace triploidní ($3n$) atp. (BRUIJN ET AL., 1998; WHITE, 1973).

Polyploidie (více než 2 sady chromozomů) se v drtivé většině objevuje pouze u rostlin, nicméně předpokládá se, že své místo měla i v historickém vývoji živočichů (GREGORY & MABLE, 2005). Bylo prokázáno, že v říší rostlin se polyploidie objevuje spíše u taxonů s areálem výskytu v chladnějších oblastech a polyploidní jedinci se od svých diploidních předků v mnoha ohledech liší (VAMOSI & DICKINSON, 2006).

2.1.2 Taxonomie rodu bříza (*Betula* spp.)

Břízy patří do bukotvarých dřevin, čeledi břízovitých. Zjednodušený diagram zařazení do vyšších taxonomických jednotek viz Obr. 2.

Říše: Rostliny (*Plantae*)

Podříše: Cévnaté rostliny (*Tracheobionta*)

Oddělení: Krytosemenné (*Magnoliophyta*)

Třída: Dvouděložné (*Rosopsida*)

Řád: Bukotvaré (*Fagales*)

Čeleď: Břízovité (*Betulaceae*)

Podčeleď: *Betuloideae*

Rod: Bříza (*Betula*)

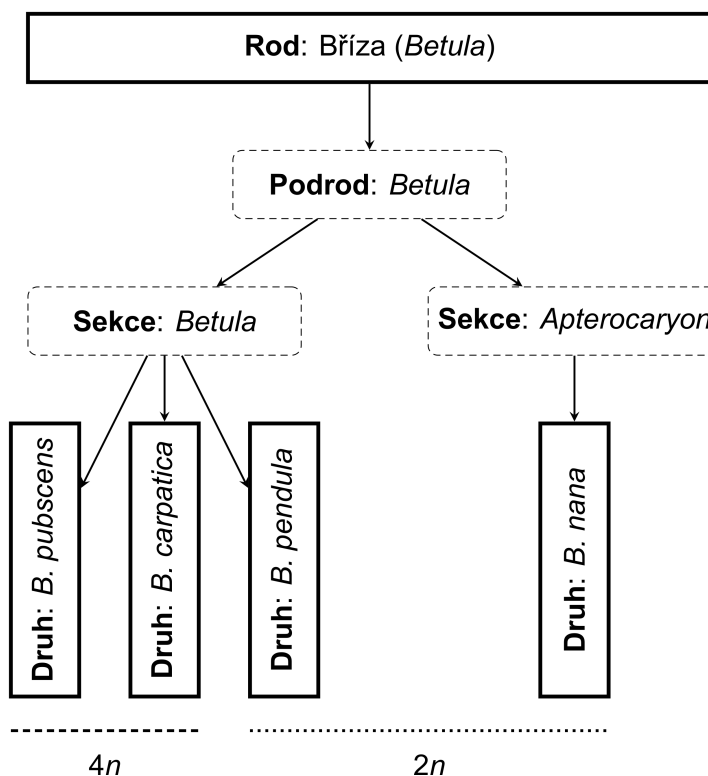
Obr. 2: Zařazení rodu bříza do systému vyšších taxonomických jednotek (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990, 1997; GRIMM & RENNER, 2013)

Taxonomické rozdělení v rámci rodu bříza (*Betula* L.) je stále nevyřešenou otázkou a názory různých autorů na tuto problematiku jsou značně rozdílné

(JÄRVINEN ET AL., 2004; ASHBURNER & MCALLISTER, 2013). Dle taxonomického přehledu bříz (ASHBURNER & MCALLISTER, 2013) lze rod bříza rozdělit do 4 podrodů, ty dále do 8 sekcí. Takto je dle zmíněné publikace zařazeno 64 taxonů rodu bříza, nicméně jiní autoři uvádějí, že těchto taxonů může být až okolo 120 (KULA, 2011).

Na území ČR se přirozeně vyskytují jedinci pouze z jednoho podrodu (*Betula*) a dvou sekcí (*Betula*, *Apterocaryon*), přičemž tato práce se zabývá zejména rozlišením jedinců v rámci sekce *Betula* – jedinci ze sekce *Apterocaryon* jsou odlišitelní vizuálně, např. bříza trpasličí (*Betula nana* L.). Zjednodušený diagram viz Obr. 3.

Dle ploidie lze naše nejčastěji se vyskytující břízy rozdělit do dvou skupin ($2n$, $4n$), viz Obr. 3. V praxi je toto rozdělení účelné pro oddělení jedinců *B. pendula* od jedinců skupiny *B. pubescens*/*B. carpatica*, jelikož *B. nana* je jak již bylo uvedeno velmi dobře rozlišitelná dle svého habitu.



Obr. 3: Zjednodušený diagram zařazení zájmových taxonů – částečně převzato z publikace ASHBURNERA & MCALLISTERA (2014) a upraveno autorem (navrhované zařazení *B. carpatica*).

2.1.3 Problematika zařazení některých taxonů rodu *Betula* L.

Pravděpodobně nejvýznamnějším z faktorů majících za následek problematické určování jednotlivých taxonů v rámci rodu *Betula* L. je rozsáhlé křížení a s tím spojená introgrese (zpětné křížení s rodičovskými druhy) v rámci rodu. Předpokládá se, že tyto dva faktory měly v minulosti zásadní vliv na utváření fylogenetických vztahů bříz. Břízy tvoří také polyploidní taxony, s chromozomovými čísly $2n = 28, 56, 70, 84$ a 112 (JÄRVINEN ET AL., 2004).

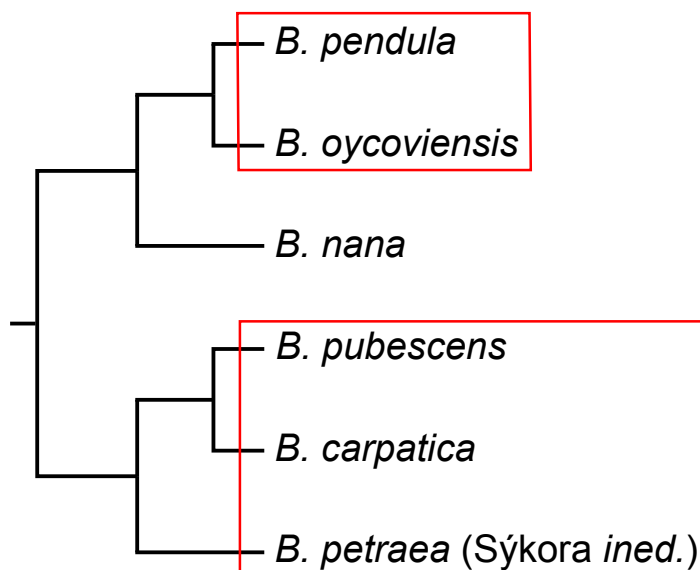
Příkladem taxonu s nejasným původem a zařazením je bříza karpatská (*B. carpatica* W. et K.). Tento taxon je zejména v českých publikacích uváděn jako samostatný druh (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990; BURIÁNEK ET AL., 2014). V zahraničních studiích se však *B. carpatica* na úrovni druhu neobjevuje (ASHBURNER & MCALLISTER, 2013; SCHENK ET AL., 2008). V některých studiích je zmiňována jako poddruh břízy pýřité, tj. *B. pubescens* ssp. *carpatica* (WIELGOLASKI, 2001), či jsou odlišeny dva „typy“ břízy pýřité, které však autor již taxonomicky nezařazuje (JÄRVINEN ET AL., 2004). MALIOUCHENKO (2007) zmiňuje vysokou genetickou variabilitu druhů *B. pendula* i *B. pubescens*, avšak taktéž mezi tetraploidními taxony nerozlišuje.

Problematické je i jednoznačné rozlišení výše zmíněných taxonů dle makroskopických znaků. Dle zkušeností z terénních šetření mají někteří jedinci znaky (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990) příslušné *B. carpatica* i *B. pubescens*, některé dokonce kombinace znaků příslušných diploidním a tetraploidním břízám (M. BALÁŠ, X/2015, PERS.COMM.).

Odlišnost břízy karpatské od břízy pýřité nebyla prokázána ani na základě genetických analýz – v příspěvku LINDY ET AL. (2015), ve kterém bylo analyzováno celkem 12 markerů na 145 vzorcích z 10 oblastí v rámci ČR. Zařazení zájmových taxonů viz Obr. 4.

2.2 Obecná charakteristika taxonů

Břízy jsou jednodomé opadavé dřeviny vyskytující ve stromovém či keřovém habitu. Květy jednopohlavné, v oddělených jehnědovitých květenstvích. Kořenový systém je srdcovitého tvaru, zpravidla bohatě rozvinutý. Borka je v mládí hladká, nejčastěji bílá. Plodem je jednosemenná křídlatá nažka. Rozšířená po celé severní polokouli mimo tropického a subtropického pásu (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990). Základní chromozomové číslo je $x = 7$ (KULA, 2011).



Obr. 4: Zařazení pracovních taxonů dle LINDY ET AL. (2015). Jedince ve stejném rámečku nebylo možné na základě použitých genetických metod v publikaci LINDA ET AL. (2015) odlišit.

Břízy jsou vesměs nenáročné pionýrské světlomilné dřeviny, nasnášející hustý zápoj a jsou téměř mrazuvzdorné. Velmi dobře rostou na živinově chudších lokalitách, však s vysokými nároky na množství vody (KULA, 2011).

Dle makrofosilních zbytků se na území ČR vyskytovaly břízy již ve Würmském období (poslední glaciál, před cca 0,13 mil. lety). Od boreálu (před cca 10 000 lety) její zastoupení ubývá (KULA, 2011). V těžbě je v současné době podíl břízy cca 1,25 % (ČSÚ, 2014).

Následující popis taxonů vychází z všeobecně uznávané literatury, praktické zkušenosti však ukazují na vysokou variabilitu a neurčitost determinačních znaků.

2.2.1 Bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth)

Až 25 m vysoký strom s nepravidelnou korunou a žlutavě až načervenalé hnědou borkou, později bílou až šedavě bílou, ve stáří rozpukanou zejména v dolní části kmene. Větve nižších řádů jsou jemné, ve stáří většinou převislé, letorosty jsou lysé. Pupeny zašpičatělé, vejcovitého tvaru. Nažky jsou cca 2 mm dlouhé s lemlem nejméně 2 × širším než semenné pouzdro, nahoře přesahující vrchol blizen. Diploidní, $2n = 28$. Bříza bělokorá se běžně vyskytuje od planárního do montánního stupně, mimo živné půdy (vápence) a lužní lesy. Horní hranice výskytu je okolo 1000 m n. m. Dřevina světlomilná, v zástínu rychle odumírá (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990).

2.2.2 Bříza pýřitá (*Betula pubescens* Ehrh.)

Strom až 20 m vysoký s matně bílou borkou, bez rozpukané borky v nižších částech kmene. Větve nižších řádů nepřevíslé, letorosty pýřité, bez pryskyřičných bradavek. Řapík listů roztroušeně chlupatý, lem nažek je cca 1–1,5 × širší než semenné pouzdro, v horní části dosahuje maximálně k vrcholu blizen. Tetraploidní, $2n = 56$. Rozšíření v ČR je ostrůvkovité, od planárního po montánní stupeň, zejména na vlhčích až rašelinných stanovištích (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990).

2.2.3 Bříza karpatská (*Betula carpatica* W. et K.)

Až cca 12 m vysoký strom nebo keř s nepravidelnou korunou, borka bílá, žlutavá, šedá až černá. Letorosty pýřité pouze v mládí, záhy olysávající. Postranní větévky tlusté, „uzlovité“. Lem nažky je stejně široký jako nažka, popř. užší, zpravidla nedosahující k vrcholu blizen. Vyskytuje se na rašelinných a vlhkých půdách zejména v horských oblastech, na území ČR pouze ostrůvkovitě od montánního po subalpínský stupeň (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990). Tetraploidní, $2n = 56$. Bříza karpatská jako taxon je dodnes velmi diskutovanou problematikou z důvodu jejího nejasného zařazení.

3 Využití determinace bříz v lesnické praxi

3.1 Potenciál bříz pro lesnickou praxi

Břízy se v lesnické praxi používají zejména jako tzv. meliorační a zpevňující dřeviny (MZD). Tyto dřeviny se při obnově vnášejí do téměř každého lesního (hospodářského) porostu za účelem jeho ochrany, například před imisními či hmyzími kalamitami, tedy nepřímo za účelem zachování produkčních schopností lesa, zachování jeho hydrologických a dalších funkcí (ŠACH, 2005). Minimální podíl melioračních a zpevňujících dřevin a jejich druhovou skladbu stanoví dle zákona č. 289/1995 Sb. (resp. vyhlášky MZe č. 83/1996 Sb., přílohy 3 a 4) příslušný lesní hospodářský plán.

Březové porosty se na v minulosti silně disturbovaných místech mohou uplatnit v tzv. přípravných porostech, resp. porostech náhradních dřevin (PND). Tyto porosty plní mimoprodukční funkce, zejména zajištění ekologické stability lesního prostředí (KULA, 2011). Přípravné porosty, jak již napovídá název, nejsou zakládány s cílem jejich dlouhodobého zachování, nýbrž za účelem přípravy lesního prostředí pro založení stabilních lesních ekosystémů (SLODIČÁK & NOVÁK, 2008).

Vysoký potenciál bříz pro výše zmíněné aplikace je dán jejich pionýrským charakterem (r-stratég). Břízy jsou světlomilné dřeviny schopné osidlovat téměř veškeré půdy s výjimkou záplavových oblastí. Předností je také nenáročnost na klimatické podmínky a tvorba vysokého počtu semen – jeden jedinec až 13 mil. ročně, která mohou být roznášena větrem na relativně velké vzdálenosti (MARTINÍK, 2012). Meliorační schopnost bříz spočívá zejména ve schopnosti tlumení proudění vzduchu, pozitivnímu působení na půdní prostředí, kde může pozitivně přispívat k tvorbě humusu (PODRÁZSKÝ ET AL., 2005), a stabilizaci hydrologických poměrů (ZAKOPAL, 1958; KULA, 2011).

Břízy byly již v minulosti používány pro zalesňování holin po hmyzích či imisních kalamitách. ZAKOPAL (1958) se například zabýval zalesněním holin na Křivoklátsku, které byly způsobeny živelnými a hmyzími kalamitami. Tyto kalamity byly následovány poškozením mokřým sněhem mezi lety 1939 a 1940, který způsobil výskyt rozsáhlých kalamitních holin (až 80 ha). Na těchto holinách probíhaly pokusy o opětovné zalesnění různými dřevinami (dub, modřín aj.). S většími úspěchy na těchto lokalitách rostly pouze náletové břízy. V těchto polohách bříza dobře snášela pozdní mrazy a plnila tak funkci ochranného porostu, kdy nové sazenice byly schopny růstu právě v těchto březinách. V letním období se také projevovaly ochranné funkce březového porostu, a to redukcí teplotních rozdílů,

kdy rozpětí teplot v březových porostech bylo v přízemní vrstvě zhruba poloviční oproti holým plochám.

3.2 Význam břízy jako náhradní dřeviny

Břízy se díky svému pionýrskému charakteru, odolnosti proti mrazům a příznivému působení na půdu staly vhodnou dřevinou pro zakládání náhradních porostů. Březový porost oproti holině výrazně omezuje erozní vliv srážek a prokořeněním přispívá ke provzdušnění a prohumóznění půd, a to i velmi zhutněných. Kořeny dosahující do relativně velkých hloubek na těchto půdách významně přispívají k biologické aktivaci půdního profilu (ZAKOPAL, 1958; PODRÁZSKÝ ET AL., 2006). Zde je však nutné podotknout, že tvar kořenového systému může být silně závislý na půdních podmínkách konkrétních stanovišť. Neméně významný je i příznivý vliv na nadložní humus (opadem) a také jejich půdoochranná funkce (PODRÁZSKÝ ET AL., 2010). Vysazování cílových dřevin do podrostu bříz je možné až po zapojení březového porostu a potlačení pasečné vegetace, tj. přibližně po 15. roku od vysazení přípravného porostu (ZAKOPAL, 1960).

V druhé polovině 20. století postihla některá naše pohoří, zejména Krušné hory, rozsáhlá imisní kalamita, která gradovala mezi lety 1970–1985 (FERKL, 2006), kdy byla uvedena do provozu elektrárna Pruněřov II. Rozpad porostů je urychlen mrazovým šokem v roce 1978 a následovalo velkoplošné odlesnění (KULA, 2011). K odsíření zdrojů škodlivin došlo po roce 1990, náhradní porosty se zde přestaly vysazovat v roce 1994. Celkem bylo v Krušných horách založeno cca 40 000 ha porostů náhradních dřevin (FERKL, 2006). Břízy tvořily na přelomu 80. a 90. let 20. století 18,3 % porostů v severovýchodním Krušnohoří (KULA, 2011). Tyto březové porosty však postihlo mezi léty 1995–1997 rozsáhlé chřadnutí (SLODIČÁK, 2006), a část porostů byla nahrazena jinými dřevinami. Břízy se však na disturbované lokality vracejí, a to zejména díky sukcesi (HERING & IRRGANG, 2005). V roce 2001 byl podíl bříz v SV Kruškohoří cca 16 % (KULA, 2011).

Břízy se díky své tolerantnosti k imisnímu zatížení a nenáročnosti na úpravu substrátu taktéž hojně používají při rekultivacích výsypek a dobývacích prostor. I v takto nepříznivých podmínkách se břízy vyznačují velmi dobrou růstovou kapacitou (KUPKA & DIMITROVSKÝ, 2011).

Přestože imisní kalamita zasáhla i oblast Jizerských hor, břízy pro plošné zakládání náhradních porostů zakládány nebyly – zastoupení bříz v centrální oblasti Jizerských hor je asi 1 % (SLODIČÁK, 2004). Výsledky z výzkumné plochy Jizerka (VÚLHM, VS Opočno) však ukazují na dobrou kondici březových porostů i v silně disturbovaných podmínkách (Obr. 5).

3.2.1 Vitalita diploidních a tetraploidních bříz v PND

Vhodnost bříz k zakládání porostů náhradních dřevin zejména na silně disturbovaných lokalitách byla již v minulosti potvrzena (ZAKOPAL, 1958) a na mnohých místech byly břízy za tímto účelem s úspěchem vysázeny. Zkušenosti z Krušných hor však ukazují, že vysazené březové porosty časem mohou podléhat chřadnutí (SLODIČÁK, 2006).

Za účelem výzkumu růstového potenciálu různých dřevin v extrémních podmínkách byla v roce 1990 založena výzkumná plocha Jizerka. Výzkumná plocha se nachází na Středním Jizerském hřebenu (WGS84: N 50° 49' 47"; E 15° 21' 36") ve výšce 950–980 m n. m. Průměrný roční úhrn srážek je zde okolo 1 050 mm a průměrná roční teplota cca 5 °C. Lokalita je silně zatížena vlivem průmyslových emisí. Půdním typem je podzol a zařazení do souboru lesních typů odpovídá 8K. Lokalita leží na JZ orientovaném svahu se sklonem cca 10 % (VÚLHM, 1990).

Mimo jiné druhy dřevin (celkem 32 druhů) je zde testován i růstový potenciál tetraploidních bříz z okruhu *B. pubescens*/*B. carpatica*. Tito jedinci, oproti diploidní *B. pendula*, která je zde taktéž předmětem výzkumu, vykazují výrazně lepší vitalitu (BALCAR, 2001), viz Obr. 5.



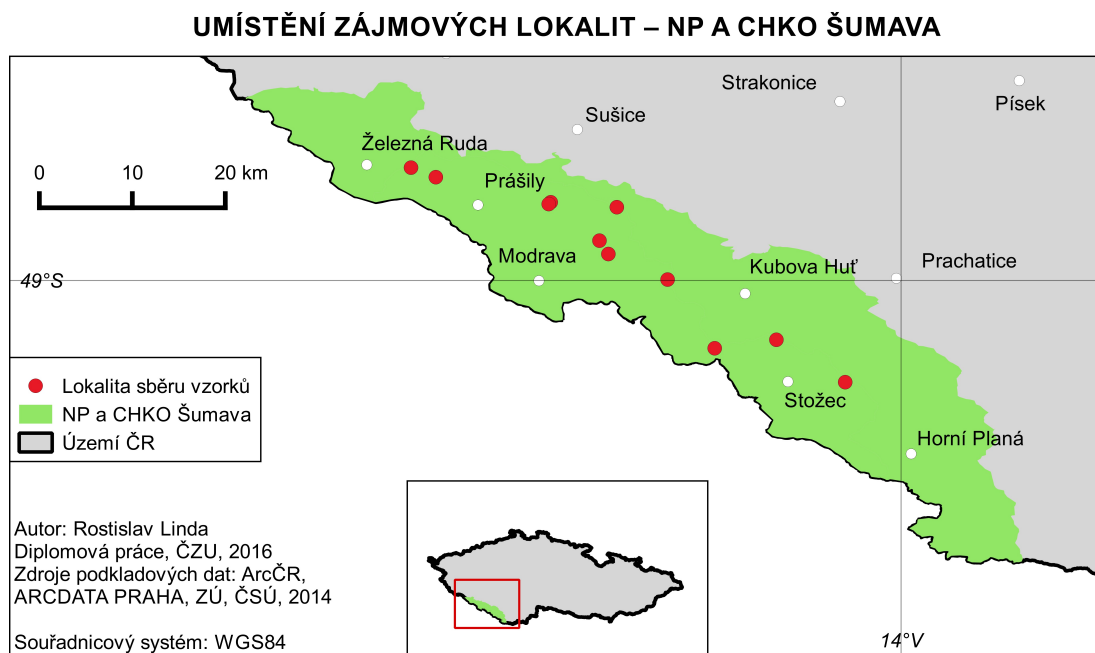
Obr. 5: Porovnání březových výsadeb na VP Jizerka. Levá strana – diploidní ($2n$) břízy, pravá strana – tetraploidní ($4n$) břízy [Foto: I. Kuneš].

Dobrou kondici porostů tetraploidních bříz v silně narušených podmínkách potvrzuje ve své práci i KUNEŠ ET AL. (2007). Bříza pýřitá se ukázala i jako vhodná dřevina pro smíšené porosty (např. se smrkem) v klimaticky nepříznivých podmínkách, kdy za cenu složitějšího managementu porostů a většího okusu zvěří lze dosáhnout větší stability porostu, biodiverzity, odolnosti proti škůdcům, kvality vody apod. (FELTON ET AL., 2016).

4 Metodika

4.1 Sběr dat

Sběr vzorků probíhal v letech 2011–2012 na Šumavě. Celkem byly odebrány vzorky 97 jedinců z 11 lokalit, viz Tab. 1. Rozmístění lokalit v rámci NP a CHKO Šumavy je znázorněno na Obr. 6.



Obr. 6: Umístění lokalit sběru vzorků

Lokality byly vytipovány s ohledem na výskyt bříz tak, aby došlo k pokrytí co největší části zájmového území. Na každé z lokalit bylo vybráno 5–14 jedinců, ze kterých byly odebrány 2 letorosty (teleskopickými nůžkami) a dostatečné množství materiálu pro průtokovou cytometrii, viz dále.

Letorosty byly dále herbářovány a materiál pro cytometrické měření přechováván v chladícím boxu pro zachování maximální možné biologické aktivity materiálu.

Herbářované vzorky byly označeny unikátním kódem pro následné měření listových parametrů a materiál pro cytometrické měření (určení ploidie) odeslán do laboratoře.

Tab. 1: Počty vzorkovaných jedinců na jednotlivých lokalitách

Lokalita	Počet vzorkovaných jedinců		
	<i>Diploidní (2n)</i>	<i>Tetraploidní (4n)</i>	<i>Celkem</i>
Horská Kvilda	0	10	10
Chalupská slat'	0	12	12
Jezerní slat'	0	14	14
Kaňon Křemelné	1	7	8
Novohůrecké slatě	0	5	5
Obří hrad	3	5	8
Paštecké skály*	8	5	13
Slatinný potok	1	4	5
Soumarský most	0	8	8
Splavské rašeliniště	0	6	6
Vltavský luh – Pěkná	0	8	8
Σ	13	84	97

* Na lokalitách Jezerní slat' a Paštecké skály bylo nalezeno po jednom triploidním ($3n$) jedinci. Tito jedinci jsou s největší pravděpodobností kříženci $2n$ a $4n$ taxonů a nebyli zařazeni do dalších analýz.

4.2 Průtoková cytometrie

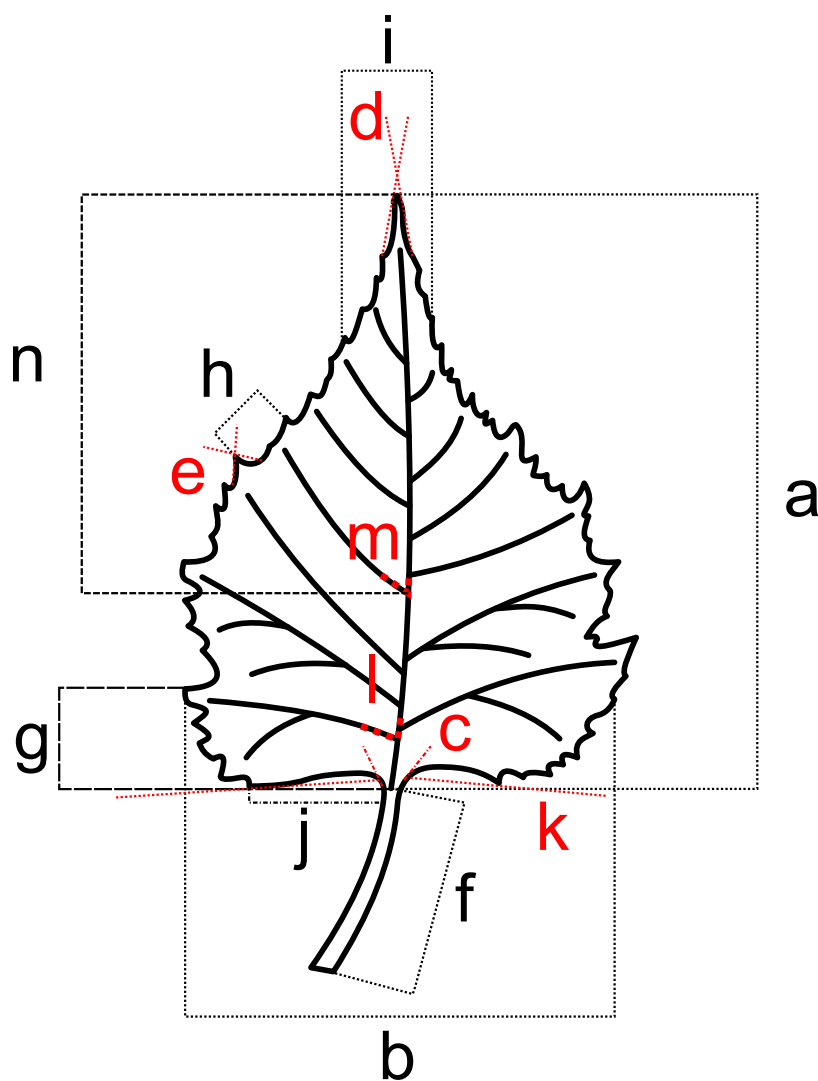
Průtoková cytometrie (*angl.* flow cytometry, FCM) je laboratorní metoda analýzy buněčných parametrů. Principem této metody je vhnání připraveného materiálu do tenké trysky, ve které je na vzorek aplikováno monochromatické záření (laser). Parametry analyzovaných buněk jsou následně odvozeny od optických vlastností vzorku – světla zachyceného detektory odraženého a rozptýleného záření. Průtoková cytometrie se v současné době používá v ekologii, evoluční biologii i biosystematice rostlin (KRON ET AL., 2007; SUDA & PYŠEK, 2010), ale i pro nejrůznější účely například v medicíně.

V této studii byla pomocí průtokové cytometrie měřena velikost buněčných jader vzorků, tzn. velikost genomu (velikost buněčného jádra závisí na počtu obsažených sad chromozomů, tedy na ploidii). Analýza byla provedena ve spolupráci s katedrou botaniky Univerzity Karlovy v Praze.

4.3 Měření listových parametrů

Pro účely statistické analýzy byly měřeny 2 listy z každé větvičky daného jedince, tzn. celkem 4 listy z každého jedince. Listy použité pro měření byly označeny a zachovány pro další případné analýzy.

Na každém z listů bylo sledováno 20 parametrů, z toho 16 kvantitativních a 4 kvalitativní. Měřené parametry byly vybrány na základě již publikovaných prací (ATKINSON & CODLING, 1986; GILL & DAVY, 1983; GARDINER & JEFFERS, 1962; GARDINER, 1972) a doplněny o několik dalších. K měření bylo používáno standardní kancelářské trojúhelníkové pravítko a úhloměr. Veškerá měření byla provedena na levých částech rubových stran listů. Seznam měřených parametrů viz Tab. 2.



Obr. 7: Měřené listové parametry. Délkové parametry černě, úhlové červeně. U parametrů c a k byly zaznamenávány opačné hodnoty úhlu. [Zdroj: EŠNEROVÁ ET AL. (2012), upraveno autorem.]

Tab. 2: Měřené listové parametry

KVANTITATIVNÍ PARAMETRY		
Parametr	Jednotky	Index (Obr. 7)
Délka čepele	mm	a
Šířka čepele	mm	b
Úhel báze listu – nasazení listu	°	c
Úhel špičky listu	°	d
Úhel vroubení listu – zoubku 3. žilky	°	e
Délka řapíku	mm	f
Vzdálenost nejširšího místa čepele od báze	mm	g
Počet postranních žilek*	—	x
Vzdálenost mezi zuby u 3. a 4. žilky	mm	h
Počet zubů mezi zakončením 3. a 4. žilky*	—	y
Šířka čepele v horní $\frac{1}{4}$ čepele	mm	i
Vzdálenost 1. zoubku od báze čepele	mm	j
Úhel báze čepele	°	k
Úhel 1. žilky	°	l
Úhel 4. žilky	°	m
Vzdálenost 4. žilky od špičky čepele	mm	n
KVALITATIVNÍ PARAMETRY		
Parametr	Varianty	
Uspořádání žilek	Párové ¹	
	Nepárové	
Symetrie báze	Symetrická ²	
	Asymetrická	
Tvar báze	Srdčitá	
	Mírně srdčitá ³	
	Kulatá	
	Uťatá	
	Ostrá	
Pilování okraje čepele listu	Jednoduché	
	Mírně dvojité	
	Dvojité	
	Extrémně dvojité	

¹ Všechny dvojice postranních listových žilek nasedají ve stejném místě

² Listová báze je symetrická podle osy čepele

³ Zařiznutí báze směrem do čepele je menší než 2 mm

* Tyto parametry nejsou na Obr. 7 vyznačeny

4.4 Statistická analýza dat

Výpočty byly provedeny na datech z 379 vzorků listů (97 jedinců \times 4 listy z každého jedince = 388 záznamů, 9 záznamů bylo vyřazeno z důvodu neúplných či chybných údajů), z toho 52 záznamů pro diploidní jedince a 327 záznamů pro tetraploidní jedince.

Statistická analýza je rozdělena na analýzu kvantitativních a analýzu kvalitativních dat. Veškeré statistické testy byly provedeny na stanovené hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Výpočty byly provedeny ve statistickém prostředí R (R CORE TEAM, 2015).

4.4.1 Kvantitativní parametry

Pro obecný náhled na charakter dat byly vypočítány základní popisné statistiky a dále jednoduchý korelogram pro ilustraci závislostí mezi jednotlivými měřenými parametry. Tyto analýzy byly provedeny na celém souboru dat, tzn. bez rozlišení vzorků dle ploidie.

Zobrazená data v korelogramu (Obr. 8) jsou hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu v % ($r * 100$).

Analýza hlavních komponent (*angl.* Principal Component Analysis, PCA) je metoda dekorelace datové struktury, kdy dochází k projekci dat do ortogonálního prostoru. Takto lze odhalit trendy v datové struktuře a vizualizovat závislosti dat na měřených parametrech.

V této práci byla analýza hlavních komponent provedena s korelační maticí namísto varianční kvůli rozdílným škálám měření parametrů.

Rozdílnosti v jednotlivých parametrech mezi diploidními a tetraploidními jedinci byly testovány pomocí dvouvýběrových testů (t-test, Wilcoxonův test). Druh testu byl zvolen na základě splnění podmínek normality v testovaných výběrech a je u každého dílčího výpočtu specifikován, viz Tab. 4.

Pro účely odlišení, resp. předpovědi ploidie jedinců byla vypočítána klasifikační funkce. Vhodnost parametrů pro tuto funkci je dána tzv. CAT-scores (Correlation Adjusted T-scores). Tyto hodnoty vyjadřují míru schopnosti rozlišení ploidie jedinců pro jednotlivé měřené parametry. Podrobnější popis metody a další aplikace viz ZUBER & STRIMMER (2009).

Samotná klasifikační funkce byla vypočítána pomocí Shrinkage Discriminant Analysis (SDA) obsažené v balíku softwaru R „sda“ (AHDESMAKI ET AL., 2015). Termín „shrinkage“ označuje proceduru k dosažení regulární varianční matice v

některých případech. Další možnosti využití zmíněných metod viz např. ZUBER & STRIMMER (2009) nebo AHDESMÄKI & STRIMMER (2010).

Počet vstupních parametrů do klasifikační funkce byl zvolen na základě závislosti úspěšnosti klasifikačních funkcí na jejich počtu vytvářením a dosazováním do vypočítaných funkcí.

4.4.2 Kvalitativní parametry

V této práci byly zjišťovány rozdíly v rozdělení celkem 4 kvalitativních parametrů v závislosti na ploidii jedince. Pro zjištění závislosti dichotomických proměnných („uspořádání žilek“ a „symetrie báze“) byl proveden Fisherův exaktní test, pro ostatní („pilování okraje čepele listu“ a „tvar báze“) Chí-kvadrát test nezávislosti v kontingenční tabulce.

U parametrů „pilování okraje čepele listu“ a „tvar báze“ byl vypočítán 95% konfidenční interval spolehlivosti pro pravděpodobnost, se kterou jedinci dané ploidie nabývají znaku s největší četností. Tento výpočet byl realizován pomocí rozdělení beta.

4.5 Ověření spolehlivosti klasifikační funkce

Ověření determinační schopnosti klasifikační funkce bylo provedeno na dalších 3 oblastech z území ČR, a to z Jeseníků, Adršpachu a Jizerských hor.

Spolehlivost funkce navržené v této práci byla taktéž porovnávána s funkcemi navrženými v dřívějších studiích (ATKINSON & CODLING, 1986; EŠNEROVÁ ET AL., 2012). Úspěšnost funkce byla vypočítána jako

$$(1) \quad \frac{\text{Počet správně zařazených jedinců}}{\text{Celkový počet jedinců}} * 100 [\%].$$

5 Výsledky

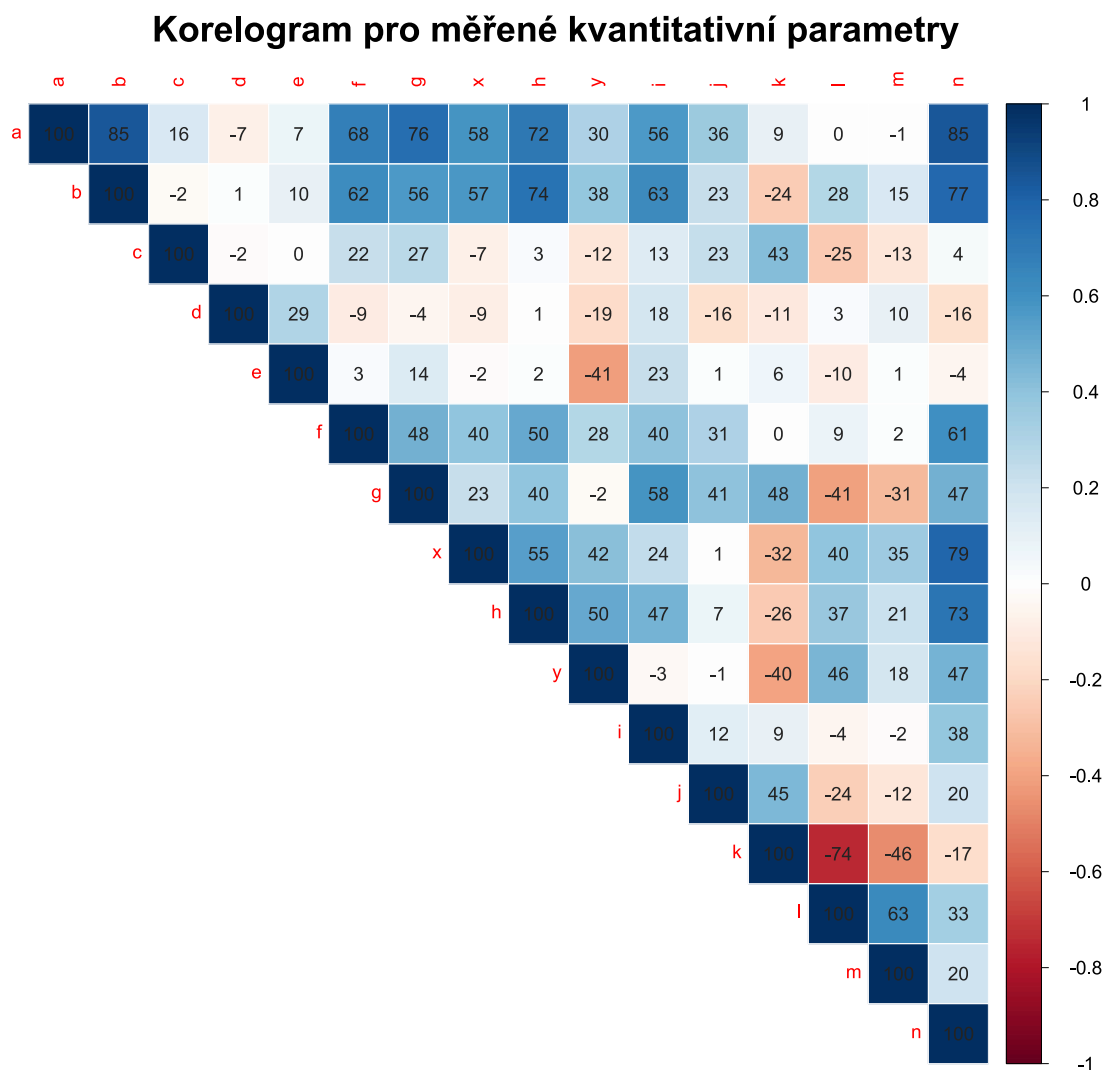
5.1 Analýza kvantitativních dat

Základní popisné statistiky pro měřené parametry viz Tab. 3. Výpočty jsou provedeny pro celý datový soubor, tzn. bez rozlišení diploidních a tetraploidních jedinců a slouží pouze jako orientační náhled.

Tab. 3: Základní popisné statistiky kvantitativních parametrů; průměr – \bar{x} , směrodatná odchylka – SD, minimum – Min a maximum – Max. Celkový počet vzorků je 379.

Parametr	\bar{x}	SD	Min	Max
Délka čepele	44,8	9,04	22	73
Šířka čepele	34,4	6,87	15	55
Úhel báze listu – nasazení listu	271,8	24,88	184	334
Úhel špičky listu	40,0	10,65	12	81
Úhel vroubení listu – zoubku 3. žilky	84,9	18,80	11	133
Délka řapíku	16,0	4,14	6	29
Vzdálenost nejširšího místa čepele od báze	17,1	4,53	6	31
Počet postranních žilek	6,6	1,06	4	10
Vzdálenost mezi zuby u 3. a 4. žilky	5,3	1,17	3	9
Počet zubů mezi zakončením 3. a 4. žilky	1,6	0,82	0	5
Šířka čepele listu v horní $\frac{1}{4}$ čepele	17,1	5,00	6	46
Vzdálenost 1. zoubku od báze čepele	11,1	3,24	3	24
Úhel báze čepele	229,3	24,55	138	295
Úhel 1. žilky	45,9	7,94	27	73
Úhel 4. žilky	29,0	4,21	12	42
Vzdálenost 4. žilky od špičky čepele	21,4	7,44	5	41

Dle struktury dat lze předpokládat, že některé z měřených parametrů jsou vzájemně silně pozitivně či negativně korelované. Vzájemnou korelaci parametrů zobrazuje Obr. 8. Hodnoty zobrazené na průsečíku každých dvou parametrů jsou hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu v %, tzn. $r * 100$.

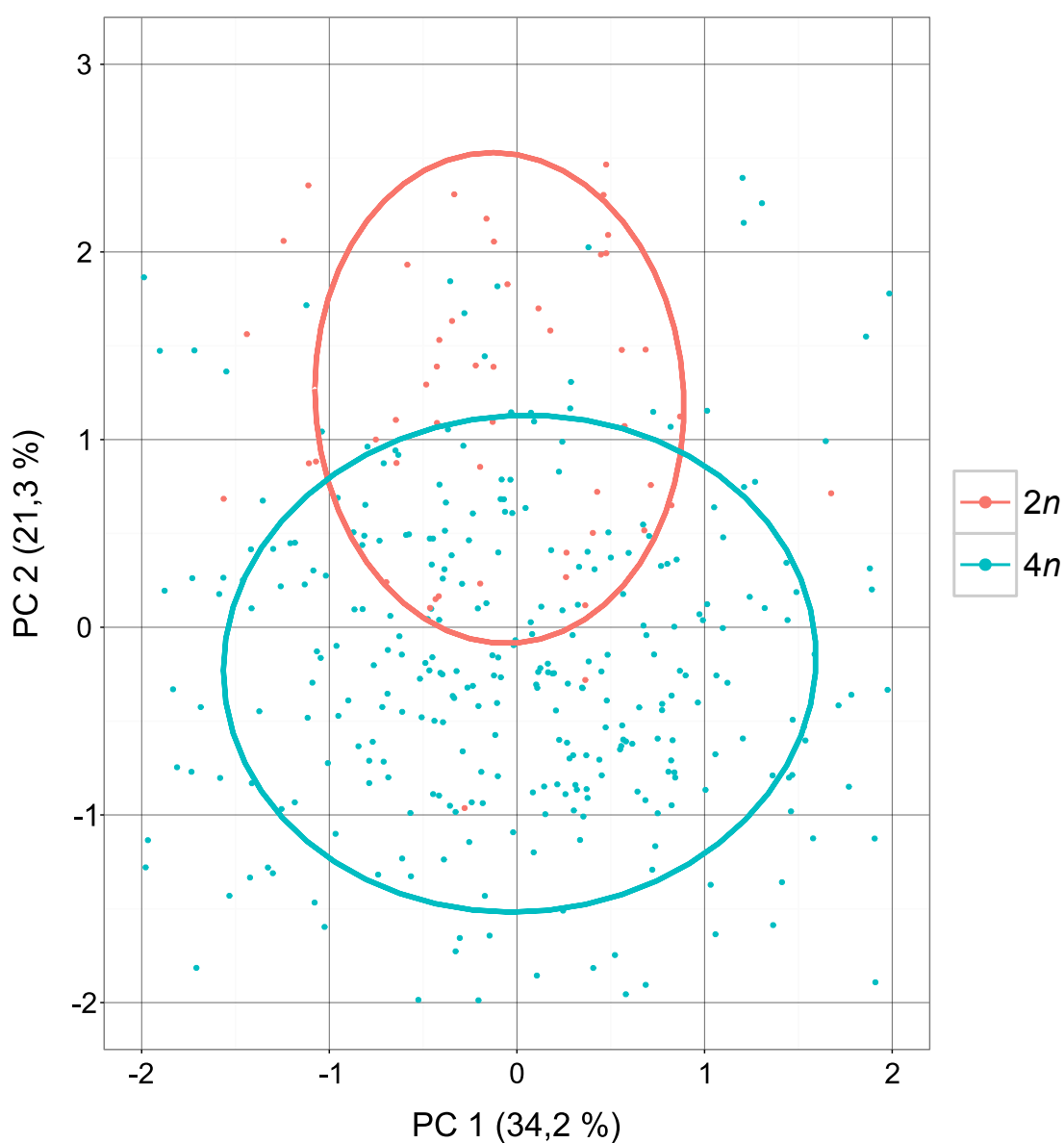


Obr. 8: Korelogram pro měřené kvantitativní parametry. Zobrazené hodnoty jsou hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu vyjádřené v % ($r * 100$). Označení parametrů odpovídá indexům z Tab. 2, sloupce „Index“.

Analýza hlavních komponent (PCA) se provádí za účelem vizualizace vzájemných vztahů v datových strukturách.

Obrázek níže (scatterplot) ukazuje projekci naměřených dat do dvou hlavních komponent datové struktury. Celková vysvětlená variabilita těmito komponentami je 55,5 %. Barevně odlišené elipsy (diploidní jedinci červeně, tetraploidní modře) představují znázornění oblasti s nejčastějším výskytem příslušných hodnot. Pro přehlednost zde nejsou zobrazeny vlastní vektory představující jednotlivé parametry. Vlastnosti parametrů lze předpokládat z ostatních provedených analýz.

Bodový graf (PCA) pro kvantitativní parametry



Obr. 9: Analýza hlavních komponent pro kvantitativní data. Pro přehlednost jsou zobrazeny pouze body reprezentující jednotlivé záznamy.

Pro testování odlišnosti mezi diploidními a tetraploidními jedinci v jednotlivých parametrech byl použit (v závislosti na splnění podmínek normality dat) dvouvýběrový t-test nebo dvouvýběrový Wilcoxonův test. Výsledky testování viz Tab. 4.

Tab. 4: Testování odlišnosti $2n$ a $4n$ jedinců v jednotlivých kvantitativních parametrech

Parametr	Test	$\overline{2n}$	$\overline{4n}$	p	Sig.
Délka čepele	P	42,3	45,2	0,004	**
Šířka čepele	P	34,5	34,4	0,908	ns.
Úhel báze listu – nasazení listu	N	268,1	272,4	0,048	*
Úhel špičky listu	N	34,8	40,8	<0,001	***
Úhel vroubení listu – zoubku 3. žilky	N	66,6	87,8	<0,001	***
Délka řapíku	N	17,1	15,8	0,021	*
Vzdálenost nejširšího místa čepele od báze	N	12,7	17,8	<0,001	***
Počet postranních žilek	N	6,8	6,5	0,038	*
Vzdálenost mezi zuby u 3. a 4. žilky	N	5,4	5,2	0,168	ns.
Počet zubů mezi zakončením 3. a 4. žilky	N	2,7	1,4	<0,001	***
Šířka čepele listu v horní $\frac{1}{4}$ čepele	N	11,8	17,9	<0,001	***
Vzdálenost 1. zoubku od báze čepele	N	11,5	11,1	0,308	ns.
Úhel báze čepele	N	204,8	233,2	<0,001	***
Úhel 1. žilky	N	55,2	44,4	<0,001	***
Úhel 4. žilky	N	31,1	28,7	<0,001	***
Vzdálenost 4. žilky od špičky čepele	N	22,6	21,2	0,151	ns.

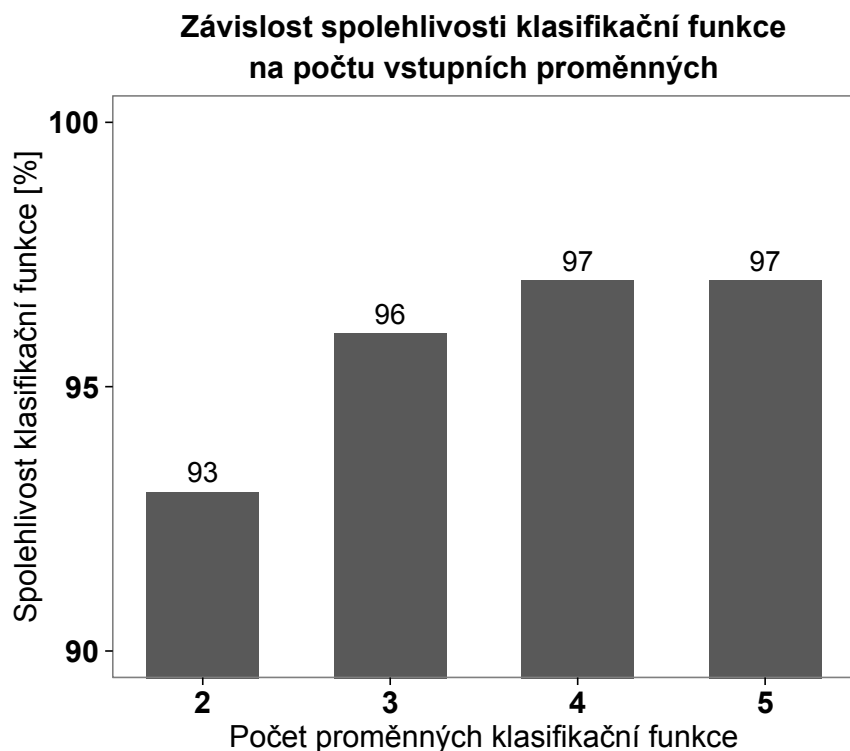
Použitý test je specifikován ve sloupci „Test“, kde je označen písmenem „P“ (parametrický) t-test a písmenem „N“ (neparametrický) Wilcoxonův test. Sloupce „ $\overline{2n}$ “ a „ $\overline{4n}$ “ označují průměrnou hodnotu v daném znaku, sloupec „p“ příslušnou p-hodnotu a sloupec „Sig.“ statistickou významnost (signifikanci výsledku) takto: „ns.“ – výsledek není statisticky významný, $p > 0,05$, * – nulová hypotéza o rovnosti průměrů (mediánů) se zamítá na $\alpha = 0,05$, ** – nulová hypotéza o rovnosti průměrů (mediánů) se zamítá na $\alpha = 0,01$, *** – nulová hypotéza o rovnosti průměrů (mediánů) se zamítá na $\alpha = 0,001$.

Jako rozlišovací kritérium mezi diploidními a tetraploidními jedinci byla zvolena klasifikační funkce. Vstupní parametry byly vybrány na základě tzv. CAT (Correlation Adjusted T) scores (ZUBER & STRIMMER, 2009) – vyšší hodnota CAT-score znamená větší významnost pro klasifikaci.

Tab. 5: CAT-scores pro kvantitativní parametry. Zobrazeno prvních 5 hodnot.

Parametr	CAT-score
Šířka čepele listu v horní $\frac{1}{4}$ čepele	11,65
Úhel 1. žilky	10,37
Počet zubů mezi zakončením 3. a 4. žilky	10,07
Úhel vroubení listu – zoubku 3. žilky	7,60
Vzdálenost nejširšího místa čepele od báze	7,59
...	

Pro výpočet diskriminační funkce byly zvoleny 3 parametry – spolehlivost funkce na použitých datech je cca 96 % viz Obr. 10.



Obr. 10: Závislost spolehlivosti klasifikační funkce na počtu použitých proměnných. Proměnné jsou do funkce přidávány na základě CAT-scores, viz Tab. 5

Výpočet klasifikační funkce byl proveden taktéž na základě práce autorů ZUBER & STRIMMER (2009) pomocí R balíčku „sda“ (AHDESMÄKI ET AL., 2015).

Výsledná funkce má tvar:

$$(2) \quad -9,627 - 0,449 * A + 0,219 * B + 1,729 * C,$$

kde:

A = Šířka čepele listu v horní $\frac{1}{4}$ čepele [mm],

B = Úhel 1. žilky [°],

C = Počet zubů mezi zakončením 3. a 4. žilky.

Jedince určíme jako diploidního ($2n$), pokud je výsledek výrazu (2) větší než 0 a naopak. Tato funkce vykazuje na zdrojových datech spolehlivost cca 96 %.

5.2 Analýza kvalitativních dat

Počty jedinců pro jednotlivé varianty kvalitativních proměnných viz Tab. 6, 7 a 8.

Statistická významnost rozdílů v rozdělení počtu jedinců pro parametr „uspořádání žilek“ nebyla testována z důvodu nulového výskytu párového uspořádání u diploidních jedinců a pouze jednoho výskytu u tetraploidních jedinců.

Rozdíl ve výskytech případů u parametru „symetrie báze“ nebyl prokázán (Fisherův exaktní test, $p = 0,73$).

Tab. 6: Počty případů pro dichotomické proměnné

Ploidie	Uspořádání žilek		Symetrie báze	
	<i>Párové</i>	<i>Nepárové</i>	<i>Symetrická</i>	<i>Asymetrická</i>
$2n$	0	52	3	49
$4n$	1	326	16	311

Pro parametr „tvar báze“ byla prokázána statistická významnost, tzn. rozdělení případů se mezi diploidními a tetraploidními jedinci liší (Chí-kvadrát test nezávislosti v kontingenční tabulce, $p < 0,001$).

Nejvyšší výskyt byl u $2n$ jedinců zaznamenán u varianty „uřatá báze“ – 19 z 52, 95% konfidenční interval pravděpodobnosti výskytu této varianty u diploidních jedinců vypočtený na základě beta rozdělení je (0, 23; 0, 50).

U tetraploidních jedinců se nejčastěji objevovala ostrá listová báze, a to ve 213 případech z 327. Konfidenční interval (95%) pravděpodobnosti výskytu ostré báze u $4n$ jedinců je (0, 60; 0, 70).

Tab. 7: Rozdělení jedinců dle tvaru báze čepele

Ploidie	Tvar báze				
	<i>Srdčitá</i>	<i>Mírně srdčitá</i>	<i>Kulatá</i>	<i>Uřatá</i>	<i>Ostrá</i>
$2n$	2	2	11	19	18
$4n$	0	11	85	18	213

Taktéž v parametru „pilování okraje čepele listu“ byla zaznamenána statisticky významná odlišnost mezi $2n$ a $4n$ jedinci (Chí-kvadrát test nezávislosti v kontingenční tabulce, $p < 0,001$).

Pro diploidní jedince bylo nejčastěji pozorováno extrémně dvojitě pilování čepele listu (38 z 52 případů), 95% konfidenční interval pravděpodobnosti této varianty o $2n$ jedinců je (0, 61; 0, 85).

U tetraploidních jedinců bylo nejčastěji pozorováno mírně dvojitě pilování čepele a to ve 197 případech z 327. Konfidenční interval (95%) pravděpodobnosti této varianty u $4n$ jedinců je (0, 55; 0, 66). Chí-kvadrát testy mohou být zatíženy chybou z důvodu nižších frekvencí jedinců u některých variant, než je požadováno, jejich výsledky jsou tak pouze orientační.

Tab. 8: Rozdělení jedinců dle typu pilování čepele listu

Ploidie	Pilování okraje čepele listu			
	<i>Jednoduché</i>	<i>Mírně dvojitě</i>	<i>Dvojitě</i>	<i>Extrémně dvojitě</i>
$2n$	0	2	12	38
$4n$	2	197	85	43

5.3 Spolehlivost klasifikační funkce

Spolehlivost vypočítané klasifikační funkce (2) byla ověřena na datech z dalších 3 oblastí v rámci ČR (Jeseníky, Adršpach a Jizerské Hory). A porovnána s funkcemi navrženými v dřívějších studiích (ATKINSON & CODLING, 1986; EŠNEROVÁ ET AL., 2012).

Funkce navržená v této práci vykazovala nejvyšší úspěšnost determinace ploidie jedince (89 %), nepatrně nižší úspěšnost měla funkce navržená v práci ATKINSONA & CODLINGA (1986), a to 88 %. Funkce EŠNEROVÉ ET AL. (2012) vykazovala úspěšnost nižší oproti dvěma předešlým přibližně o 10 procentních bodů. Detailnější informace o úspěšnostech funkcí v jednotlivých oblastech viz Tab. 9

Tab. 9: Úspěšnost klasifikačních funkcí ve zvolených oblastech

Oblast	Úspěšnost klasifikační funkce			Počet vzorků
	<i>Linda - DP</i>	<i>Atk. et Cod.</i>	<i>Ešnerová et al.</i>	
Šumava*	96 %	94 %	79 %	379
Jeseníky	87 %	92 %	80 %	131
Adršpach	82 %	76 %	74 %	158
Jiz. Hory	84 %	85 %	81 %	268
Celkem	89 %	88 %	79 %	936

* Data použitá v této práci

6 Diskuze

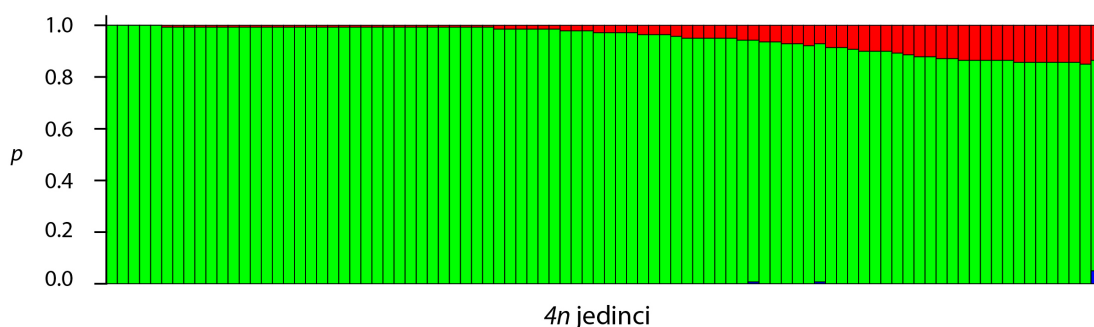
Cílem této práce bylo stanovení rozhodovacího kritéria pro rozlišení mezi diploidními a tetraploidními druhy bříz, jeho ověření, a otevření otázky taxonomického zařazení některých taxonů v rámci rodu bříza (*Betula* L.).

Rozlišení jedinců dle ploidie může být přínosné pro lesnickou praxi, kdy tetraploidní jedinci lépe odolávají nepříznivým klimatickým podmínkám a jsou více tolerantní k imisnímu zatížení (BALCAR, 2001). Rozlišovací metody byly zvoleny tak, aby je bylo možné aplikovat za pomoci běžně dostupných kancelářských potřeb a byly tak dobře proveditelné i v terénních podmínkách.

V minulosti provedené genetické analýzy potvrdily vysokou genetickou variabilitu v rámci rodu bříza (JÄRVINEN ET AL., 2004; MALIOUCHENKO ET AL., 2007) a zařazení některých taxonů v rámci rodu bříza je tak dodnes značně problematické, např. taxonomické zařazení břízy karpatské (*B. carpatica*).

Jak již bylo zmíněno, názory na taxonomické postavení břízy karpatské se mezi mnohými autory liší (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990; WIELGOLASKI, 2001; ASHBURNER & MCALLISTER, 2013). Předešlá studie autora této práce a kolektivu (LINDA ET AL., 2015) ukázala na potenciální genetickou nerozlišitelnost břízy karpatské a břízy pýřité (Obr. 11). Tato studie byla provedena na 94 tetraploidních jedincích z 6 lokalit v rámci ČR.

Tyčkový graf pravděpodobností zastoupení jedinců v jednotlivých skupinách (STRUCTURE)



Obr. 11: Výstup ze softwaru STRUCTURE – no admixture model (HUBISZ ET AL., 2009) použitý v práci (LINDA ET AL., 2015). Osa X znázorňuje jednotlivé jedince, osa Y pravděpodobnost zařazení každého z nich do příslušné barevně odlišené skupiny. Zde je patrné, že analýza identifikovala soubor *B. pubescens*/*B. carpatica* jako jednu geneticky mírně variabilní skupinu.

Původ taxonu *B. carpatica* je podobně, jako jeho taxonomické zařazení, nejasný. Autoři některých publikací (HEJNÝ & SLAVÍK, 1990; SÝKORA, 1983) uvádějí možný původ křížením *B. pendula* popř. *B. pubescens* s *B. odorata*, která se dá dnes ztotožnit se severskou břízou *B. tortuosa* (KARLÍK, 2010), jednoznačné určení původu však chybí.

Otázkou morfometrického rozlišení bříz se již zabývali např. ATKINSON & CODLING (1986), GILL & DAVY (1983), GARDINER & JEFFERS (1962) nebo GARDINER (1972), na základě jejichž publikací byly vybrány měřené parametry i pro tuto práci. Studie těchto autorů ukazují, že jednotlivé taxony (popř. jejich skupiny) jsou za pomoci metod klasické morfometriky často odlišitelné.

Potenciální možnost odlišení diploidních a tetraploidních bříz vyplývá z provedené analýzy hlavních komponent, podobně, jak již bylo provedeno v minulosti (GILL & DAVY, 1983; EŠNEROVÁ ET AL., 2012). Výsledky testování odlišnosti jednotlivých parametrů taktéž ukazují statisticky významné rozdíly v některých měřených kvantitativních (zde ve 12 z celkem 16) i kvalitativních parametrech (2 ze 4). Statisticky významné rozdílnosti v některých parametrech popisuje ve své práci i (EŠNEROVÁ ET AL., 2012).

Podobně jako v předchozích studiích je v této práci navržena klasifikační funkce za účelem určení ploidie jedince, konkrétně odlišení *B. pendula* od *B. pubescens*/*B. carpatica*. ATKINSON & CODLING (1986) uvádí funkci, která má tvar:

$$(3) \quad 12 * LTF + 2 * DFT - 2 * LTW - 23,$$

kde

LTF = počet zoubků mezi zakončením 3. a 4. žilky,

DFT = vzdálenost 1. zubu od báze čepele v mm,

LTW = šířka čepele v horní $\frac{1}{4}$ její délky.

Pokud je výsledek výpočtu > 0 , zařadíme jedince jako diploidního a naopak. Autor této funkce uvádí spolehlivost 93 %, nutno však podotknout, že studie proběhla na území Velké Británie a její spolehlivost může být pro oblast střední Evropy z důvodu vysoké variability bříz nižší. Funkce navržená v práci ATKINSONA & CODLINGA 1986 správně rozlišila 88 % jedinců analyzovaných v předkládané práci a její chybovost byla tak jen nepatrně vyšší než u funkce navržené autorem.

Klasifikační funkci navrhla ve své práci taktéž EŠNEROVÁ ET AL. (2012) a to na základě vzorků bříz z oblasti Krkonoš. Její klasifikační funkce ve tvaru:

$$(4) \quad (31 * i) - (10 * j) + (12 * l) - 166,$$

kde

i = vzdálenost mezi zuby 3. a 4. žilky,

j = šířka čepele v horní $\frac{1}{4}$ její délky,

l = vzdálenost 1. zubu od báze čepele v mm,

rozlišila správně 79 % vzorků použitých v této studii. Podobně jako u předchozích případů, výsledek > 0 značí příslušnost k diploidním jedincům a naopak.

Funkce navržená v předkládané práci byla vypočítána na základě vzorků z oblasti Šumavy (96% úspěšnost pro primární data), a její spolehlivost byla autorem ověřena, stejně jako u dvou předchozích funkcí, na vzorkách z Jeseníků, Adršpachu a Jizerských hor. Průměrná spolehlivost této funkce byla 89 %. Jako jediná z porovnávaných funkcí byla schopna rozlišit ploidiu vzorků s více jak 80% úspěšností na všech testovaných oblastech.

Funkce, kterou představili ATKINSON & CODLING (1986) byla méně spolehlivá na vzorkách z oblasti Adršpachu, naopak v oblasti Jeseníků byla schopna rozlišit ploidiu vzorků přesněji. Funkce EŠNEROVÉ ET AL. 2012 byla v determinaci ploidiu jedinců nejhorší (úspěšnost 79 % na datech použitých v této práci), avšak autoři uvádějí její 100% spolehlivost na jedincích z oblasti Krkonoš.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že rozlišení diploidních a tetraploidních jedinců bříz dle morfometrických znaků je možné s relativně vysokou úspěšností. Všechny porovnávané klasifikační funkce ve vstupních parametrech podobají, což značí vysoký potenciál některých znaků pro determinaci ploidiu. Podrobnější rozlišení druhů v rámci skupiny tetraploidních bříz je však problematické, zejména kvůli vysoké morfologické i genetické variabilitě jedinců a pravděpodobně bude předmětem dalšího výzkumu.

7 Závěr

Pro rozlišení jedinců dle ploidie byla navržena klasifikační funkce (se třemi vstupními parametry) na základě morfometrických měření jedinců z oblasti Šumavy. Úspěšnost této funkce byla dále testována na 3 dalších lokalitách z ČR a v průměru dosáhla 89 %. V porovnání s jinými, ke stejnému účelu navrženými funkcemi, byla její úspěšnost nejvyšší.

Autor této práce se taktéž zabýval genetickou variabilitou v rámci tetraploidních jedinců, konkrétně odlišení taxonů *B. pubescens* a *B. carpatica*. Ve studii LINDY ET AL. (2015) se nepodařilo tyto dva velmi diskutované taxony na základě použitých genetických markerů odlišit, přestože je zejména česká literatura v drtivé většině rozlišuje jako rozdílné druhy.

Taxonomické uspořádání v rámci rodu bříza je dodnes velmi diskutovanou otázkou nejen díky nejasnému zařazení taxonu *B. carpatica*. Vysoká genetická a koneckonců i morfologická variabilita je pravděpodobně dána vysokou mírou hybridizace v minulosti a následného zpětného křížení s rodičovskými druhy.

Je známo, že břízy mají potenciál pro opětovné zalesňování dokonce i silně disturbovaných lokalit, jako meliorační a zpevňující dřeviny i jako dřeviny poskytující materiál pro dřevozpracující průmysl. Odhalení taxonomických a genetických vztahů mezi nimi však ještě bude muset být předmětem dalších studií.

Reference

- AHDESMÄKI, M., STRIMMER, K., 2010: Feature selection in omics prediction problems using cat scores and false nondiscovery rate control. *Annals of Applied Statistics*, 4: 503–519.
- ASHBURNER, K., MCALLISTER, H.A., 2013: The genus *Betula*: A taxonomic revision of Birches. Kew Publishing, Richmond, Surrey, UK.
- ATKINSON, M.D., CODLING, A.N., 1986: A reliable method for distinguishing between *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Watsonia*, 16: 75–87.
- BALCAR, V., 2001: Some experience of European birch (*Betula pendula* Roth) and Carpathian Birch (*Betula carpatica* W. et K.) planted on the ridge part of the Jizerské hory Mts. *Journal of Forest Science*, 47: 150–155.
- BRUIJN, F.J., LUPSKI, J.R., WEINSTOCK, G.M. (eds.), 1998: *Bacterial Genomes: Physical Structure and Analysis*, Springer, Boston, US.
- BURIÁNEK, V., NOVOTNÝ, P., FRÝDL, J., 2014: Metodická příručka k určování domácích druhů bříz: Certifikovaná metodika. VÚLHM, Strnady.
- ČSÚ, 2014: *Statistická ročenka ČR 2014*. ČSÚ, Praha.
- EŠNEROVÁ, J., KARLÍK, P., ZAHRADNÍK, D., KOŇASOVÁ, T., STEJSKAL, J., BALÁŠ, M., VÍTÁMVÁS, J., RAŠÁKOVÁ, N., STACHO, J., KUTHAN, J., LUKÁŠOVÁ, M., KUNEŠ, I., 2012: Morfologická variabilita rodu bříza (*Betula* L.) v Krkonoších se zaměřením na tetraploidní zástupce. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57: 112–125.
- FELTON, A., NILSSON, U., SONESSON, J., FELTON, A.M., ROBERGE, J.M., RANIUS, T., AHLSTRÖM, M., BERGH, J., BJÖRKMAN, C., BOBERG, J., DRÖSSLER, L., FAHLVIK, N., GONG, P., HOLMSTRÖM, E., KESKITALO, E.C.H., KLAPWIJK, M.J., LAUDON, H., LUNDMARK, T., NIKLASSON, M., NORDIN, A., PETTERSSON, M., STENLID, J., STÉNS, A., WALLERTZ, K., 2016: Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio*, 45: 124–139.
- FERKL, J., 2006: Lesy v Krušných horách. In: ŠIŠÁK, L., STÝBLO, J. (eds.): *Ekonomické aspekty rekonstrukce náhradních porostů v Krušných horách*. ČZU, Fakulta lesnická a environmentální, Praha: 4–6.

- GARDINER, A.S., 1972: A review of the sub-species *carpatica* and *tortuosa* within the species *Betula pubescens* Ehrh. *Botanical Journal of Scotland*, 41: 451–459.
- GARDINER, A.S., JEFFERS, J.N.R., 1962: Analysis of the collective species *B. alba* L. on the basis of leaf measurements. *Silvae Genetica*, 11: 125–176.
- GILL, J.A., DAVY, A.J., 1983: Variation and polyploidy within lowland populations of the *Betula pendula*/*B. pubescens* complex. *New Phytologist*, 94: 433–451.
- GREGORY, T.R., MABLE, B.K., 2005: Polyploidy in Animals. In: GREGORY, T.R. (ed.): *The Evolution of the Genome*, Academic Press, Burlington, USA: 427–517.
- GRIMM, G.W., RENNER, S.S., 2013: Harvesting *Betulaceae* sequences from GenBank to generate a new chronogram for the family. *Botanical Journal of Linnean Society*, 172: 465–477.
- HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. (eds.), 1990: *Květena České Republiky II*. Academia, Praha.
- HEJNÝ, S., SLAVÍK, B. (eds.), 1997: *Květena České Republiky I*. Academia, Praha.
- HERING, S., IRRGANG, S., 2005: Conversion of substitute tree species stands and pure spruce stands in the Ore mountains in Saxony. *Journal of Forest Science*, 51: 519–525.
- HUBISZ, M.J., FALUSH, D., STEPHENS, M., PRITCHARD, J.K., 2009: Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Molecular ecology resources*, 9: 1322–1332.
- JÄRVINEN, P., PALMÉ, A., MORALES, L.O., LÄNNENPÄÄ, M., KEINÄNEN, M., SOPANEN, T., LASCOUX, M., 2004: Phylogenetic relationships of *Betula* species (*Betulaceae*) based on nuclear ADH and chloroplast *MatK* sequences. *American Journal of Botany*, 91: 1834–1845.
- 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*. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha: 61–65.
- KRON, P., SUDA, J., HUSBAND, B.C., 2007: Applications of flow cytometry to evolutionary and population biology. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 38: 847–876.

- KULA, E., 2011: Bříza a její význam pro trvalý rozvoj lesa v imisních oblastech. Lesnická práce, Kostelec n. Černými lesy.
- KUNEŠ, I., BALCAR, V., ZAHRADNÍK, D., 2007: Influence of a planting hole application of dolomitic limestone powder and basalt grit on the growth of Carpathian birch (*Betula carpatica* W. et K.) and soil chemistry in the air-polluted Jizerské hory Mts. Journal of Forest Science, 53: 505–515.
- KUPKA, I., DIMITROVSKÝ, K., 2011: Výsledky testování dřevin pro lesnické rekultivace na Sokolovsku: Review. Zprávy lesnického výzkumu, 56: 52–56.
- LINDA, R., EŠNEROVÁ, J., RAŠÁKOVÁ, N., BALÁŠ, M., KUNEŠ, I., 2015: Morfologická a genetická variabilita vybraných diploidních a tetraploidních zástupců rodu bříza (*Betula* spp.). In: HOUŠKOVÁ, K., ČERNÝ, J. (eds.): Proceedings of Central European Silviculture. Mendelova univerzita v Brně, Brno: 171–181.
- LINNÉ, C., 1753: Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Laurentius Salvius, Stockholm.
- MALIOUCHENKO, O., PALMÉ, A.E., BUONAMICI, A., VENDRAMIN, G., LASCOUX, M., 2007: Comparative phylogeography and population structure of European *Betula* species, with particular focus on *B. pendula* and *B. pubescens*. Journal of Biogeography, 34: 1601–1610.
- MARTINÍK, A., 2012: Bříza – „mocná“ dřevina a nemocné lesy. Lesnická práce, 3/2012: 22–24.
- PODRÁZSKÝ, V., KAPIČKA, A., KOUBA, M., 2010: Restoration of forest soils after bulldozer site preparation in the Ore mountains over 20 years development. Ekológia, 29: 281–289.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., ULBRICHOVÁ, I., 2006: Rychlost regenerace lesních půd v horských oblastech z hlediska kvantity nadložního humusu. Zprávy lesnického výzkumu, 51: 230–234.
- PODRÁZSKÝ, V., ULBRICHOVÁ, I., MOSER, W.K., 2005: Využití břízy a smrku pichlavého při obnově porostů na plochách s nenarušenou vrstvou nadložního humusu. Zprávy lesnického výzkumu, 50: 75–77.
- REEVE, E.C.R. (ed.), 2001: Encyclopedia of genetics. Fitzroy Dearborn Publishers, Chicago, Illinois, USA.

- SCHENK, M.F., THIENPONT, C.N., KOOPMAN, W.J.M., GILISSEN, L.J.W.J., SMULDERS, M.J.M., 2008: Phylogenetic relationships in *Betula* (*Betulaceae*) based on AFLP markers. *Tree Genetics & Genomes*, 4: 911–924.
- SLODIČÁK, M. (ed.), 2004: Lesnické hospodaření v Jizerských horách. VÚLHM, Jíloviště-Strnady.
- SLODIČÁK, M., 2006: Lesnické hospodaření v imisní oblasti Krušných hor (Informace o projektu Grantové služby LČR). In: ŠIŠÁK, L., STÝBLO, J. (eds.): Ekonomické aspekty rekonstrukce náhradních porostů v Krušných horách. ČZU, Fakulta lesnická a environmentální, Praha: 7–15.
- SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., 2008: Výchova porostů náhradních dřevin. Recenzovaná metodika. VÚLHM, Opočno.
- STACE, C.A., 1989: *Plant Taxonomy and Biosystematics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SUDA, J., PYŠEK, P., 2010: Flow cytometry in botanical research: Introduction. *Preslia*, 82: 1–2.
- SÝKORA, T., 1983: Taxonomie a rozšíření bříz okruhu *Betula alba* v Českém masivu. *Zprávy České Botanické Společnosti*, 18: 1–14.
- ŠACH, F., 2005: Meliorační a zpevňující dřeviny ve vztahu k funkcím lesa. In: NEUHÖFEROVÁ, P. (ed.): Místo biologické meliorace v obnově lesních stanovišť. ČZU, Fakulta lesnická a environmentální, Katedra pěstování lesů, Praha: 7–13.
- VAMOSI, J., DICKINSON, T., 2006: Polyploidy and Diversification: A Phylogenetic Investigation in Rosaceae. *International Journal of Plant Sciences*, 167: 349–358.
- VÚLHM, 1990: Evidenční list výzkumné plochy Jizerka. VÚLHM a VS Opočno, Jíloviště-Strnady, Praha.
- WHITE, M.J.D., 1973: *Animal Cytology and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- WIELGOLASKI, F.E. (ed.), 2001: *Nordic mountain birch ecosystems*. UNESCO, Paříž, Francie.
- ZAKOPAL, V., 1958: Přínos břízy pro zalesnění našich kalamitních holin. *Lesnická práce*, 37: 487–491.

ZAKOPAL, V., 1960: Kdy, jak a v jakém rozsahu kultivovat břízu na holiny. Lesnická práce, 39: 292–296.

ZUBER, V., STRIMMER, K., 2009: Gene ranking and biomarker discovery under correlation. *Bioinformatics*, 25: 2700–2707.

Legislativa

Vyhláška MZe č. 83/1996 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů, v platném znění.

Zákon č. 298/1995 Sb., o lesích a změně některých zákonů, v platném znění.

Použitý software

AHDESMÄKI, M., ZUBER, V., GIBB, S., STRIMMER, K., 2015: sda: Shrinkage Discriminant Analysis and CAT Score Variable Selection. R package version 1.3.7. <https://CRAN.R-project.org/package=sda>

HLAVAC, M., 2015: stargazer: Well-Formatted Regression and Summary Statistics Tables. R package version 5.2. <http://CRAN.R-project.org/package=stargazer>

R CORE TEAM, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vídeň, AT.
URL <https://www.R-project.org/>.

WICKHAM, H., 2009: ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York.

Seznam obrázků

1	Porovnání vitality di- a tetraploidních bříz na výzkumné ploše Jizerka	10
2	Zařazení rodu bříza do systému vyšších taxonomických jednotek	12
3	Zjednodušený diagram zařazení zájmových taxonů do systému	13
4	Zařazení pracovních taxonů dle LINDY ET AL. (2015)	15
5	Porovnání březových výsadeb na VP Jizerka	19
6	Umístění lokalit sběru vzorků	21
7	Měření listové parametry	23
8	Korelogram pro měření kvantitativní parametry	28
9	Scatterplot – analýza hlavních komponent	29
10	Spolehlivost klasifikační funkce	31
11	Výstup ze softwaru STRUCTURE použitý v předešlé práci autora	35

Příloha

Seznam obrazových příloh

- A) Typický habitus bříz – *B. pendula*, *B. pubescens* a *B. nana*
- B) Mapa imisního zatížení SO₂ na území ČR
- C) Výsadba náhradního březového porostu v Jiz. horách
- D) Sběr vzorků na lokalitách Chalupská slat' a Paštěcké skály
- E) Měření listových parametrů
- F) Březový porost na Albrechtické výsypce (Mostecko)

A) Typický habitus bříz – *B. pendula*, *B. pubescens* a *B. nana*

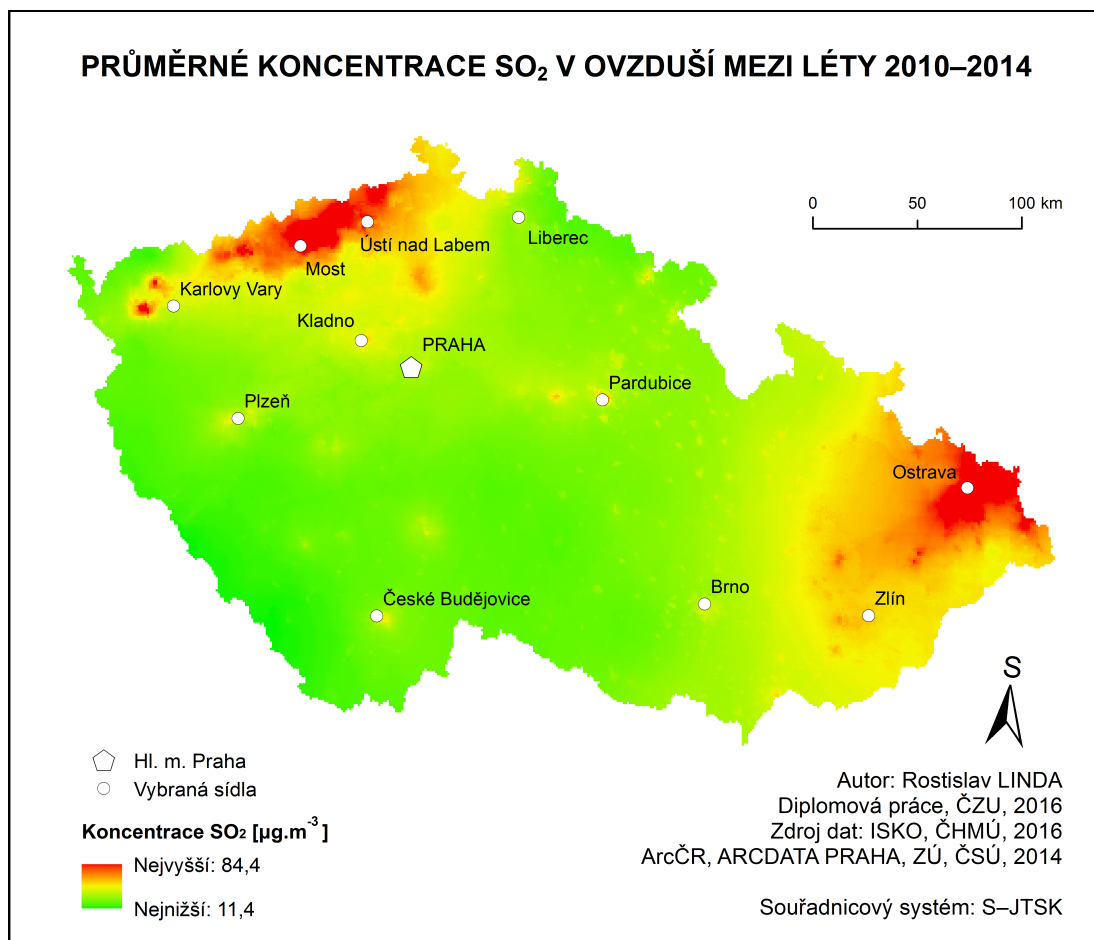
(a) Bříza bělokorá (*B. pendula*) z lokality Paštěcké skály [Foto: I. Kuneš]



(b) Bříza pýřitá (*B. pubescens*) z lokality Horská Kvilda [Foto: P. Karlík, FLD, ČZU]



(c) Bříza trpasličí (*B. nana*) [Zdroj: <http://www.henriettes-herb.com/galleries/botany/betula/jdl-betula-38.html>]

B) Mapa imisního zatížení SO₂ na území ČR

C) Výsadba náhradního březového porostu v Jiz. horách



[Foto: R. Linda]

D) Sběr vzorků na lokalitách Chalupská slat' a Paštěcké skály



[Foto: J. Ešnerová]

E) Měření listových parametrů



[Foto: R. Linda]

F) Březový porost na Albrechtické výsypce (Mostecko)



[Foto: Z. Ščudlová, FŽP, ČZU]