



## Porovnání vlivu příměsi na růstové veličiny, strukturu a stabilitu porostu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na antropogenních půdách sokolovského regionu

Influence of admixed tree species on growth, structure and stability of Scots pine stands on anthropogenic soils of the Sokolov region

Lukáš Dragoun\*, Radka Stolariková, Ján Merganič, Lubomír Šálek, Jitka Krykorková

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, CZ – 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

### Abstract

The reclamation of landscape disturbed by mining is a topical issue in the Czech Republic and elsewhere. The aim of this study was to evaluate whether the afforestation by Scots pine mixed with beech and lime trees on anthropogenic soils was advantageous in terms of timber production capacity and stability of forest stands, and whether it improved structural functionality of the forest ecosystem. The study was performed in the 40 year-old stand at Antonín dump near the town of Sokolov (Czech Republic) on a clay substrate. Basic stand variables and multivariate analysis of variance (ANOVA) of tree variables were used to compare different mixtures and monocultures. The comparison of pine monocultures with the mixed parts of the stand showed that the admixture of beech in the stands increased their stability, while the production was higher in the parts with an admixture of lime trees. Due to neglected stand tending, stability of all parts of the stand was reduced. Although lime generally appears as the most advantageous admixed tree species, further research is needed to prove the conclusions.

**Key words:** Scots pine; anthropogenic substrate; mixed stands; Sokolov region

### Abstrakt

Obnova narušené krajiny povrchovou těžbou nerostných surovin je stále aktuálním tématem nejen v České republice. Cílem této studie je vyhodnotit, zda bylo zalesnění borovicí lesní s příměsí buku či lípy na antropogenních substrátech výhodné pro zvýšení produkčních schopností lesa, zvýšení stability porostu a zlepšení strukturální funkčnosti lesního ekosystému. Studie byla provedena na výsypce Antonín v blízkosti města Sokolov na jílovém substrátu v porostu starém 40 let. Pro porovnání nesmíšených borových porostů a borových porostů s příměsí listnatých dřevin (lípa a buk) bylo využito základních porostních veličin a vícerozměrné analýzy rozptylu (ANOVA) u stromových veličin. Porovnání ukázalo, že borovice s příměsí buku mají tendenci tvořit stabilnější porosty, zatímco u porostů s příměsí lípy byl zjištěn trend vyšší produkce. Zanedbanou výchovou bylo způsobeno snížení stability u všech porostních skupin. Celkově se na antropogenních substrátech jeví jako nejvýhodnější přimíšená dřevina borových porostů lípa, avšak k určení nejvhodnější směsi dřevin je třeba další studie.

**Klíčová slova:** borovice lesní; antropogenní substráty; smíšené porosty; Sokolov

## 1. Úvod

Těžba nerostných surovin představovala základ rozvoje industriálních společností po celém světě (Conlin & Jolliffe 2011). Mnoho evropských hornických regionů se dnes vyznačuje útlumem těžby nebo jejím úplným ukončením (Lintz & Wirth 2009). Ukončení těžby představuje vznik antropogenního prostředí, se kterým je třeba nadále pracovat a v rámci možností a kladených požadavků na obnovu krajiny takové prostředí navrátit původnímu poslání a funkcím, tedy takzvaně rekultivovat. Rekultivace území narušených těžbou nerostných surovin je nejen v České republice aktuálním problémem, a to zejména na velkých plochách po povrchové těžbě. V zájmovém území sokolovského regionu zaujímají výsypky plochu 90 km<sup>2</sup> (Řehounek et al. 2010) a další rozšíření antropogenních lokalit se očekává.

Jedna z hlavních zásad rekultivace je dle publikace Vráblíková et al. (2008) posunout současný stav krajiny při zachování produkční schopnosti směrem po vývojové ose ke kli-

maxu. Tohoto cíle lze dosáhnout na postižených místech po těžební činnosti mnoha způsoby. Mezi moderní pojetí rekultivace můžeme řadit ponechání ploch samovolné sukcese, jež umožňuje studium vývoje ekosystému od raných stádií a ekonomickou nenáročnost. Prach et al. (2008) uvádí, že většina výsypků má potenciál pro obnovu spontánní sukcese nebo jinými formami přírodě blízké obnovy. Touto problematikou se také zabírají například Řehounek et al. (2010), Frouz (2011) a další. K dosažení a urychlení požadovaných výsledků je však vhodné sukcese napomáhat a usměrňovat ji. Mezi tradiční zástupce metod řízení obnovy krajiny patří zemědělská, hydriká a lesnická rekultivace.

Lesnická rekultivace si klade za cíl dosažení funkčního lesního ekosystému na lokalitách postižených lidskou činností s naplněním všech funkcí lesa, tedy i té produkční. Produkce dřevin je závislá na mnoha faktorech. Mezi hlavní faktory patří klima, půdní podmínky, druh dřeviny, dostupnost vody, vnější vlivy stanoviště, ať biotické či abiotické. Něk-

\*Corresponding author. Lukáš Dragoun, e-mail: dragoun@fd.czu.cz

teré z těchto podmínek však byly vlivem člověka pozměněny a většinou se staly limitujícími nebo omezujícími faktory (Dimitrovský & Vesecký 1989; Dimitrovský 2001; Čermák & Ondráček 2009; Vacek & Simon 2009; Cejpek et al. 2011; Frouz 2011; Lipovská 2011). Především v porostech první generace jsou podmínky pro klimaxové dřeviny extrémní a připomínají svým charakterem rozsáhlou disturbanci. Cílem lesnických rekultivací je najít vhodná řešení se zřetelem na vyšší produkce (Dimitrovský et al. 2010), stabilitu porostu, způsob obnovy (Dimitrovský & Vesecký 1989), správné hospodaření a zajištění ekologických a dalších funkcí v nově vzniklých ekosystémech. Jedním z vhodných řešení je snaha o vytvoření stanovištně odpovídajících směsí dřevin.

Smíšené porosty mají vliv na půdní profil, humusovou formu, aciditu půdy (Rothe 1997), látkové a vodní režimy stanoviště (Kantor 1981). V porostech na stanovištích kyselých dubových bučin, odpovídajících lokalitě výzkumu, se jako ekonomická dřevina uplatňuje borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) za předpokladu, že je dostatečně zajištěna příměsí melioračních dřevin. Cílovou skladbu je vhodné řešit v etáži – v horní borovici, ve spodní buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) a lípu malolistou (*Tilia cordata* Mill.) (Průša 2001). Aby bylo možné odpovědět na důležitost pěstování smíšených lesních porostů, je třeba provést šetření růstových procesů, potenciálu produkce, bezpečnosti, trvalosti produkce a ekosystémů (Poleno & Vacek 2007). Jelikož podobné smíšené porosty na antropogenních substrátech prozatím hodnoceny nebyly, cílem studie je posoudit vhodnost příměsí v borových porostech na těchto substrátech zodpovězením následujících otázek: 1) Existuje rozdíl mezi hlavními růstovými veličinami mezi smíšenými porosty borovice s lípou, bukem a borovou monokulturou? 2) Je rozdíl v produkčních schopnostech borovice lesní u řešených porostních skupin? 3) Existuje rozdíl mezi stabilitou a strukturou porostu ve smíšeném lese a monokultuře?

## 2. Materiál a metody

### 2.1. Lokalita

Předmětem výzkumu byla lokalita na antropogenních substrátech po těžbě hnědého uhlí nacházející se v severozápadních Čechách v sokolovské pánvi. Zkoumané porosty se vyskytovaly na severním svahu výsypky Antonín západně od města Sokolov (50°10'35" N a 12°37'38" E). Výsypka Antonín vznikla na lokalitě stejnojmenného lomu. Její převýšení je 50 m a rozloha 165 ha. Půdotvorným antropogenním substrátem byly jíly cyprisové série s neutrálním pH a živinově středně bohaté substráty (Dimitrovský 2001). Klimatické podmínky byly charakteristické pro nížinou pánev s průměrnou teplotou mezi 6 až 7 °C, teplotními maximy 35 °C a minimy –26 °C. Průměrný srážkový úhrn se pohyboval okolo 600 mm/rok (Zahradnický et al. 2004). Výzkumné plochy byly zařazeny dle lesních typů do kategorie kyselých dubových bučin 3K7 (LHPprojekt 2011). Zkoumaný stejnověký porost byl založen v roce 1973 na technicky upravených lokalitách. Technická úprava spočívala v provedení terénních úprav při zakládání výsypky, tj. v nasypání substrátu do požadovaného tvaru a vybudování cestní sítě. Porost je členěn na několik

porostních skupin rozdílného druhového složení o minimální rozloze 0,5 ha. Dřeviny byly na lokalitě vysazeny ve sponu 1 × 1 m v řadové výsadbě v poměru míšení řad 1:1, tj. 50 % listnaté a 50 % jehličnaté dřeviny.

### 2.2. Design zkusných ploch a dendrometrická měření

Kruhové zkusné plochy o velikosti 2 arů o poloměru 7,98 m byly vytyčeny pomocí dálkoměru (výškoměru) Vertex III. Celkově bylo založeno v porostu 7 zkusných ploch ve třech porostních skupinách různého druhového složení dřevin, a to borovice s příměsí lípy (BO (LP) – 3 zkusné plochy), borovice s příměsí buku (BO (BK) 2 – zkusné plochy) a borovice bez příměsí (BO – 2 zkusné plochy), které sloužily jako kontrolní. Dále byly plochy z hlediska vlhkostních podmínek mikroreliefu rozlišeny do dvou lokálních variant na vlhká (V) a suchá (S) stanoviště, která byla stanovena na základě specifických podmínek na antropogenních substrátech (Cejpek et al. 2011). Zkusné plochy s příměsí lípy a buku se i přes stejný způsob zalesnění vyvíjely odlišně z hlediska zapojení v porostu. Příměs lípy je v borovém porostu rovnoměrně rozmístěna, zatímco příměs buku má místy tendenci vytvářet shluky. Na jednotlivých zkusných plochách se nachází 39 až 45 jedinců borovice lesní a maximálně 29 jedinců listnatých dřevin (Tabulka 1).

Zjišťovány byly základní dendrometrické veličiny porostů: počet stromů, Reinekeho index hustoty porostu (SDI), absolutní výšková bonita (AVB), relativní bonita (RB), zastoupení dřeviny, střední tloušťka, střední výška, zásoba a kruhová základna. U jednotlivých stromů byla zjišťována: výška, výčetní tloušťka, štíhlostní koeficient, objem a výšková klasifikace stromů. Měření probíhalo u stromů, jejichž minimální výška byla 1,3 m. Výška stromu byla měřena s přesností na desetinu metru, tloušťka ve dvou směrech na sebe kolmých ve výšce 1,3 m s orientací na světové strany (JS a ZV) s přesností na jeden mm. Výčetní tloušťka stromu byla vypočítána jako průměr dvou měřených tloušťek. Ze změřených údajů byl získán objem jednotlivých stromů pomocí hmotových tabulek – ÚLT (ÚHÚL 1951). Štíhlostní koeficient byl vypočítán jako podíl výšky v metrech a výčetní tloušťky v centimetrech podle vzorce [1]. Tento koeficient byl hodnocen pouze pro hlavní dřevinu z důvodu výskytu listnaté dřeviny především v podúrovni, kde ztrácí význam tuto veličinu hodnotit. Štíhlostní koeficient byl použit z důvodu možnosti porovnání s taxačním průvodcem a pro upřesnění je uveden i vzorec [2] častěji užívaného štíhlostního kvocientu. Hodnota štíhlostního koeficientu (kvocientu) byla porovnána s kritickými hodnotami pro borovici dle literatury Polley (1995), Peltola et al. (2000), Zhu et al. (2006) a Novák et al. (2013). Základní porostní hodnoty byly porovnány s hodnotami v růstových tabulkách (Černý et al. 1996) pro odpovídající bonitu zkusné plochy a věk porostu. Pro každou zkusnou plochu a dřevinu byl vytvořen výškový grafikon, který byl vyrovnán regresní funkcí logaritmickou (Husch et al. 2003). Absolutní výšková bonita a relativní bonita byla určena na základě růstových a taxačních tabulek hlavních dřevin České republiky (Černý et al. 1996). Střední kruhová základna (*g*) byla vypočtena pro plochu a dřevinu

podle vzorce [3]. Střední tloušťka ( $d_g$ ) byla vypočítána na základě střední kruhové základny dle vzorce [4] a střední výška byla pomocí patřičné regresní funkce dopočítána dle střední tloušťky. Zastoupení listnaté dřeviny bylo vypočítáno jako procentuální podíl počtu stromů listnaté dřeviny a celkového počtu stromů, z důvodu možnosti porovnání s počátečním stavem při výsadbě.

Struktura porostu byla hodnocena na základě čtyř kritérií, a to podle počtu stromů na ploše, počtu stromů rozdělených dle tloušťkových stupňů, výškové klasifikace a SDI. Pro zjištění struktury porostu byly stromy zatříděny do výškové klasifikace pro každou zkusnou plochu dle horní výšky borovice. Horní výška borovice byla vypočítána jako průměrná výška deseti procent nejvyšších stromů, minimálně ale jako průměr pěti nejvyšších stromů. Výškové třídy byly navrženy a poté upraveny dle Polena et al. (2007) jako: nadúrovňová vrstva (0) – výška stromu větší než 9,5/10 horní výšky; horní vrstva (1) – výška stromu se pohybuje mezi 9,5/10 a 2/3 horní výšky; střední vrstva (2) – neúčastní se na vytváření horní korunové clony, výška stromu se pohybuje mezi 2/3 až 1/3 horní výšky; spodní vrstva (3) – výška stromu je menší než 1/3 horní výšky. Index hustoty porostu SDI (Stand Diversity Index) byl vypočítán podle Reinekeho (1933) pro jednotlivé dřeviny na ploše podle vzorce [5]. Celková hodnota SDI byla vypočítána jako součet hodnot SDI zastoupených dřevin dle vzorce [6], kterou u smíšených porostů řeší Shaw (2000), Woodall et al. (2005), Vacchiano et al. (2008), Shaw & Long (2010). Při výpočtu SDI byla použita střední tloušťka z kruhové základny (Fabrika & Pretzsch 2011), která je shodná s tloušťkou kvadratickou použitou například v publikacích Ducey & Knapp (2010), Pietrzykowski & Socha (2011), a dalších.

$$\check{S}K = h/d_{1,3} \quad [1]$$

$\check{S}K$  – výpočet štíhlostního koeficientu [m],  
 $d_{1,3}$  – výčetní tloušťka stromu [cm],  
 $h$  – výška stromu.

$$\check{S}Kv = h/d_{1,3} \quad [2]$$

$\check{S}Kv$  – výpočet štíhlostního kvocientu [m]

$$g = \Sigma(d_{1,3}^2 \times \pi) / N \quad [3]$$

$g$  – výpočet střední kruhové základny,  
 $N$  – počet stromů

$$d_g = \sqrt{g/\pi} \quad [4]$$

$d_g$  – výpočet střední tloušťky ( $d_g$ ) z kruhové základny,

$$SDI_{DREV} = N_{ha} \times (d_g/25)^{1,605} \quad [5]$$

$SDI_{DREV}$  – výpočet indexu hustoty porostu jednotlivých dřevin,  
 $N_{ha}$  – počet stromů na hektar

$$SDI_{SUM} = \Sigma SDI_{DREV} \quad [6]$$

$SDI_{SUM}$  – výpočet celkového indexu hustoty porostu.

### 2.3. Statistická analýza

Pro vyhodnocení dat byla použita základní statistika u porostů a vícerozměrná analýza rozptylu (ANOVA) u dendrometrických veličin stromů, které byly hodnocené pomocí Tukeyova HSD post-hoc testu. Analýzy rozptylu byly pro-

vedeny pro testování vlivu směsi, lokálních stanovištních podmínek a jejich interakce. Byly testovány pouze stromy odpovídající výškové klasifikaci 0 a 1 z důvodu odstranění vlivu podúrovňových stromů. Při testování byla hladina pravděpodobnosti alfa zvolena na hodnotu 0,05. Před analýzou rozptylu byla provedena kontrola normality dat a homogenity rozptylů. Statistická analýza byla provedena pomocí statistického softwaru Statistica verze 12 společnosti StatSoft (StatSoft 2012).

### 3. Výsledky

Počet stromů borovice lesní se pohyboval v rozmezí od 29 do 40 ks na zkusné ploše o velikosti dva ary, což dopovídá 1 450 až 2 150 stromům na hektar (Tabulka 1). Na smíšených zkusných plochách se počet jedinců borovice pohyboval v rozmezí 29 až 35 ks, které byly doplněny především podúrovň listnaté dřeviny od 11 do 29 stromů. V nesmíšeném borovém porostu se vyskytovalo 39 až 45 stromů. Ve výškové klasifikaci se počty borovice v nadúrovňové vrstvě pohybovaly v rozpětí 8 až 20 stromů, v horní vrstvě 14 až 23 stromů, střední vrstvě 1 až 5 stromů a ve spodní vrstvě se nevyskytovala žádná borovice. Ze zkoumaných listnatých dřevin dosáhla nejvyšší výškové úrovně lípa, a to horní vrstvy porostu v počtu 2 stromů. Ve střední vrstvě se nejvíce z listnatých dřevin uplatnily buky (4 a 13 stromů), lípa zde dosahovala 2 až 4 stromů. Ve spodní vrstvě se dokázala s 20 až 27 podúrovňovými stromy uplatnit více lípa než buk s počtem stromů 7 a 9. Celková průměrná hodnota indexu hustoty porostu je pro borovici bez listnaté příměsi 948, pro borovici s příměsí lípy 951 a s příměsí buku 764. Příměs tvoří z celkového indexu hustoty 4 až 8 procent.

Základní veličiny porostů ukazují na rozdílný růst v jednotlivých lokalitách a směsích (Tabulka 2). Nejvyšší střední výšku 22,1 m a střední tloušťku 18,7 cm měla hlavní dřevina s příměsí lípy a nejnižší střední výšku 16,8 m a střední tloušťku 14,6 cm borovice s bukem. Celková hektarová zásoba zkusných ploch činí v průměru 353 m<sup>3</sup>/ha pro plochy s lípou, 336 m<sup>3</sup>/ha pro plochy bez příměsi a 224 m<sup>3</sup>/ha pro plochy s bukem, z čehož listnatá dřevina se podílí průměrnou zásobou 4 m<sup>3</sup>/ha lípy a 3 m<sup>3</sup>/ha buku, což je v průměru jedno procento ze zásoby zkusné plochy. Lípa dosahuje průměrné střední výšky 4,3 m, střední tloušťky 3,6 cm a buk průměrné střední výšky 7,4 m a střední tloušťky 4,7 cm.

Vyhodnocení hlavních růstových veličin stromů prokázalo rozdíly v růstu borovice mezi smíšenými a nesmíšenými plochami, a také mezi různými vlhkostními podmínkami mikroreliefu zkusných ploch (Tabulka 3). Celkový růst se nejvíce liší mezi borovici s příměsí buku a s příměsí lípy. Hlavní dřevina s příměsí lípy byla v průměru o 4 m vyšší, výčetní tloušťka byla průměrně o 2,5 cm větší a kmene dosahovaly většího průměrného objemu téměř o 0,13 m<sup>3</sup> než v příměsí s bukem. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi směsmi porostů na hladině významnosti pro výčetní tloušťku ( $p = 0,006$ ), výšku ( $p = 0,001$ ), objem kmene ( $p = 0,001$ ), štíhlostní koeficient ( $p = 0,009$ ). Efekt vlhkostních podmínek stanoviště byl statisticky prokázán u rozdílu mezi výčetní tloušťkou, výškou a objemem kmene na hladině významnosti  $p = 0,001$ . U zbylých hodnocených položek nebyl prokázán statisticky významný rozdíl na stanovené hodnotě význam-

**Tabulka 1.** Porostní charakteristiky jednotlivých zkusných ploch**Table 1.** Stand characteristics of individual sample plots.

Zkusná plocha* <sup>1)</sup>	Vlhkostní podmínky mikroreliefu <sup>2)</sup>	Počet stromů* <sup>3)</sup> [ks / ha]	Zastoupení* <sup>4)</sup> [%]	$SDI_{SUM}$ $SDI_{DREV}$ * <sup>5)</sup>	Výšková klasifikace* <sup>6)</sup>
BO (LP) 1 V	vlhké <sup>7)</sup>	29 (27) 1450 (1350)	52 (48)	885 839 / (46)	0–12;1–14; 2–3;3–0(27)
BO (LP) 2 S	suché <sup>8)</sup>	35 (29) 1750 (1450)	55 (45)	922 844 / (78)	0–14;1–16; 2–5(2);3–0(27)
BO (LP) 3 V	vlhké <sup>7)</sup>	32 (26) 1600 (1300)	55 (45)	1047 1000 / (47)	0–18;1–14(2); 2–1(4);3–0(20)
BO 4 V	vlhké <sup>7)</sup>	39 1950	100 (0)	1003 1003 / (0)	0–20;1–16; 2–3;3–0
BO 5 S	suché <sup>8)</sup>	45 2150	100 (0)	893 893 / (0)	0–19;1–23; 2–3;3–0
BO (BK) 6 S	suché <sup>8)</sup>	33 (11) 1650 (550)	75 (25)	737 696 / (42)	0–13;1–19; 2–1(4);3–0(7)
BO (BK) 7 V	vlhké <sup>7)</sup>	30 (22) 1500 (1100)	58 (42)	790 725 / (65)	0–8;1–19; 2–3(13);3–0(9)

Vysvětlivky – Explanatory notes: \*V závorce jsou popsány hodnoty vedlejší dřeviny – the admixed tree species are given in the parentheses,  $SDI_{SUM}$   $SDI_{DREV}$  – index hustoty celkový a jednotlivých dřevin – index of the total density and density index of the individual trees, tučně jsou označeny výškové klasifikace (viz metodika),

počty stromů jsou za pomlčkou – number of trees by the height classifications, height classifications are in bold, number of trees are after the hyphen, BO – pine, LP – lime, BK – beech, S – dry, V – damp.

<sup>1)</sup>Sample plot, <sup>2)</sup>Moisture conditions of micro relief, <sup>3)</sup>Number of trees per hectare, <sup>4)</sup>Species composition, <sup>5)</sup>Index of the total density and density index of the individual tree species,

<sup>6)</sup>Number of trees by the height classifications, height classification are in bold, number of trees are after the hyphen

**Tabulka 2.** Charakteristika produkčních veličin jednotlivých zkusných ploch**Table 2.** Basic mensurational variables of individual sample plots.

Zkusná plocha <sup>1)</sup>	Střední výška* <sup>2)</sup> [m]	Střední tloušťka* <sup>3)</sup> [cm]	Hektarová zásoba* <sup>4)</sup> [m <sup>3</sup> ]	Kruhová základna* <sup>5)</sup> [m <sup>2</sup> ]	Bonita AVB (RB) <sup>6)</sup>
BO (LP) 1 V	22,1 (3,9)	17,7 (3,0)	332,0 (0,0)	36,0 (1,0)	32 (+1)
BO (LP) 2 S	20,5 (5,4)	15,9 (4,0)	316,5 (3,5)	34,6 (1,9)	30 (1)
BO (LP) 3 V	21,1 (7,2)	18,7 (5,3)	399,5 (8,5)	43,7 (2,9)	32 (+1)
BO 4 V	20,8 (0)	16,5 (0)	377,5	41,8 (0)	30 (1)
BO 5 S	18,4 (0)	14,5 (0)	294,0	36,9 (0)	28 (2)
BO (BK) 6 S	16,8 (8,2)	14,6 (5,4)	205,5 (3,0)	27,6 (1,2)	26 (3)
BO (BK) 7 V	17,2 (8,0)	15,9 (4,7)	236,0 (3,0)	29,7 (1,9)	26 (3)

Vysvětlivky – Explanatory notes: ako pri tabulke 1 – see Table 1; AVB (RB) absolutní výšková bonita (relativní bonita – AVB (RB) absolute height-yield class (relative height-yield class).

<sup>1)</sup>Sample plot, <sup>2)</sup>Mean height, <sup>3)</sup>Mean diameter, <sup>4)</sup>Standing volume with bark per hectare, <sup>5)</sup>Basal area, <sup>6)</sup>

**Tabulka 3.** Vicerozměrná analýza rozptylu vybraných veličin borovice lesní**Table 3.** Multivariate analysis of variance of pine mensurational variables.

Příměs dřeviny <sup>1)</sup>	Vlhkostní podmínky mikroreliefu <sup>2)</sup>	Počet stromů <sup>3)</sup>	Výška <sup>4)</sup> [m]	Výčetní tloušťka <sup>5)</sup> [cm]	Objem stromu <sup>6)</sup> [m <sup>3</sup> ]	Štíhlostní koeficient <sup>7)</sup>
Bez příměsí <sup>8)</sup>	vlhké <sup>11)</sup>	36	20,85 ± 0,28 a	16,58 ± 3,92 ab	0,21 ± 0,020 ab	1,32 ± 0,05 ab
	suché <sup>12)</sup>	42	18,28 ± 0,28 b	14,03 ± 4,41 a	0,14 ± 0,016 b	1,4 ± 0,05 b
	průměr ± SD <sup>13)</sup>	78	19,47 ± 0,24	15,21 ± 4,93	0,17 ± 0,013	1,36 ± 0,04
S příměsí buku <sup>9)</sup>	vlhké <sup>11)</sup>	27	17,26 ± 0,35 bc	15,91 ± 4,62 ab	0,17 ± 0,021 ab	1,17 ± 0,06 a
	suché <sup>12)</sup>	32	16,60 ± 0,27 c	14,17 ± 4,19 a	0,13 ± 0,016 b	1,24 ± 0,05 ab
	průměr ± SD <sup>13)</sup>	59	16,9 ± 0,22	14,96 ± 5,78	0,15 ± 0,013	1,21 ± 0,04
s příměsí lípy <sup>10)</sup>	vlhké <sup>11)</sup>	58	21,44 ± 0,27 a	17,99 ± 4,60 b	0,25 ± 0,020 a	1,25 ± 0,04 ab
	suché <sup>12)</sup>	30	20,61 ± 0,42 a	16,34 ± 4,04 ab	0,20 ± 0,022 ab	1,32 ± 0,05 ab
	průměr ± SD <sup>13)</sup>	88	21,16 ± 0,23	17,43 ± 4,76	0,23 ± 0,015	1,28 ± 0,03
Signifikance (P-hodnota) <sup>14)</sup>						
Příměs dřeviny <sup>1)</sup> (DF = 1) <sup>15)</sup>			0,001	0,006	0,001	0,009
Vlhkostní podmínky mikroreliefu <sup>2)</sup> (DF = 2) <sup>15)</sup>			0,001	0,001	0,001	0,067
Příměs dřeviny <sup>1)</sup> * Vlhkostní podmínky mikroreliefu <sup>2)</sup> (DF=1) <sup>15)</sup>			0,004	0,781	0,747	0,977

Vysvětlivky – Explanatory notes: SD směrodatná odchylka – mean ± standard deviation, DF stupně volnosti – Degrees of freedom.

<sup>1)</sup>Species admixture, <sup>2)</sup>Moisture conditions of micro relief, <sup>3)</sup>Number of trees, <sup>4)</sup>Tree height, <sup>5)</sup>Breast-height diameter, <sup>6)</sup>Tree volume, <sup>7)</sup>Slenderness coefficient (h/d/100), <sup>8)</sup>Pine monoculture, <sup>9)</sup>Admixture of beech, <sup>10)</sup>Admixture of lime, <sup>11)</sup>Damp, <sup>12)</sup>Dry, <sup>13)</sup>Mean ± standard deviation, <sup>14)</sup>Significance (P-value), <sup>15)</sup>Degrees of freedom

nosti, nicméně u štíhlostního koeficientu ( $p=0,067$ ) se výsledek pohybuje blízko hodnotě testovacího kritéria. Celkově jsou stromy na vlhkých stanovištích v průměru o 2 m vyšší, o 2,2 cm silnější a kmeny objemnější o 0,06 m<sup>3</sup> v porovnání se suchými stanovišti. Interakce mezi příměsí a vlhkostními podmínkami mikroreliefu u žádné položky nebyla prokázána. Pouze u výšky ( $p=0,004$ ) byla zaznamenána ordinální interakce.

Rozdíly mezi průměrnými hodnotami veličin borovice v jednotlivých příměsích a podmínkách mikroreliefu byly nejvýznamnější u výšky a výčetní tloušťky (Tabulka 3). Prokazatelně nejvyšší výšky dosáhla borovice v příměsí s lípou na obou typech vlhkosti mikroreliefu, stejně jako na nesmíšených borových vlhkých zkusných plochách, kdy ve všech těchto případech hlavní dřevina přesáhla průměrnou výšku 20 metrů. Nejnižší výšky dosahuje borovice s příměsí buku, a to především na suchém stanovišti. Výčetní tloušťka je největší u borovice s příměsí lípy na vlhkých stanovištích (průměrná výčetní tloušťka 18,0 cm), naopak nejmenší tloušťky dosahuje nesmíšená borovice (14,0 cm) a borovice v příměsí s bukem (14,2 cm) na suchých stanovištích.

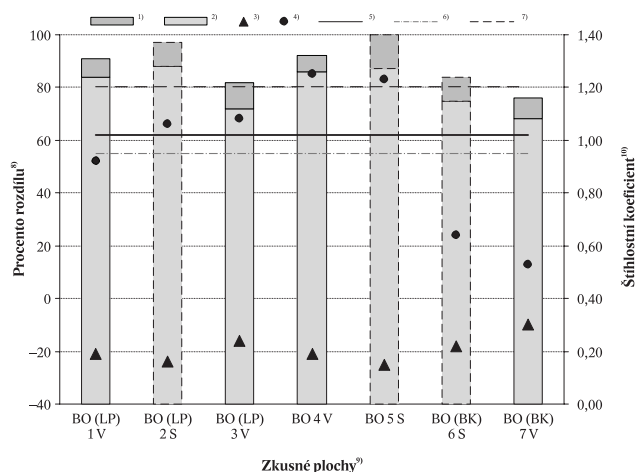
Stabilita porostu byla hodnocena pomocí štíhlostního koeficientu a porovnáním skutečných hodnot počtu stromů a střední tloušťky s modelovými hodnotami růstových tabulek (Černý et al. 1996) na zkusné ploše (Obr. 1). Průměrný štíhlostní koeficient je nejvyšší pro borové zkusné plochy bez příměsí o hodnotě 1,4 a nejnižší pro borovici s příměsí buku o hodnotě 1,2. Při statistickém porovnání štíhlostních koeficientů prokázal test rozdíly mezi příměsí dřevin ( $p=0,001$ ). Vlhkostní podmínky dle testu nemají na stanovené hladině významnosti vliv ( $p=0,067$ ). Počet stromů je oproti modelu růstových tabulek vyšší u nesmíšeného porostu borovice v průměru o 84 %, u příměsí lípy o 58 % a s bukem o 19 %. Skutečná střední tloušťka stromu je oproti modelu nižší u nesmíšeného porostu borovice v průměru o 23 %, u příměsí s lípou o 20 % a s bukem o 14 % (Obr. 1).

## 4. Diskuze

### 4.1. Struktura porostu

Nesmíšené borové zkusné plochy a plochy s příměsí lípy se strukturálně podobají, obě varianty vykazují podobný index hustoty. Obdobné výsledky na antropogenních půdách zjistili Pietrzykowski & Socha (2011). Vlhčí stanoviště vykazují vyšší hustotu porostu (SDI), která je způsobena vhodnějšími podmínkami pro uplatnění většího počtu stromů. Doporučený index hustoty borových porostů je podle Fabriky a Pretzsche (2011) 990 bodů, pouze mírně ho překračují zkusné plochy vlhké varianty dle tabulky 2. Borové zkusné plochy s příměsí buku měly menší hustotu porostu (SDI) a menší hodnotu štíhlostního koeficientu. Tento fakt je zřejmě způsoben pomalejším růstem buku v počátečních stádiích, a tedy i menší konkurencí mezi dřevinami. Hlavní rozdíl ve struktuře smíšených zkusných ploch je ve výškovém postavení příměšené dřeviny. Buk, jako stín snázející dřevina, byl však konkurenčně potlačen tempem růstu borovice a na hlavní úrovni porostu se proto podílil minimálně. Lípa borovici nedokázala konkurovat téměř vůbec, ale dokázala se

díky své houževnatosti a výmladnosti udržet v podúrovni a při vhodných podmínkách uplatnit ve vyšším zastoupení než buk, a to v průměru o 10 %. Zkusné plochy s lípou měly dvě etáže po celé ploše, na zkusných plochách s bukem není etáž patrná a spíše se jedná o skupinovitě smíšení, což je zřejmě také jedna z příčin nižší produkce smíšení s bukem (Dieler & Pretzch 2013).



**Obr. 1.** Porovnání vybraných veličin borovice s modely  
**Fig. 1.** Comparison of selected variables of pine with models.

Vysvětlivky – Explanatory notes: <sup>1</sup> štíhlostní koeficient průměrný – mean slenderness coefficient, <sup>2</sup> štíhlostní koeficient středního kmene – slenderness coefficient of a mean stem, <sup>3</sup> procento rozdílu střední tloušťky oproti modelu (Černý et al. 1996) – percentual difference in mean diameter compared to the model (Černý et al. 1996), <sup>4</sup> procento rozdílu počtu stromů oproti modelu (Černý et al. 1996) – percentual difference in tree number compared to the model (Černý et al. 1996), <sup>5</sup> kritická hladina štíhlostního koeficientu (ŠK) dle ÚHÚL (1976) – critical level of slenderness coefficient according to ÚHÚL (1976), <sup>6</sup> hladina ŠK pro nestabilní kmene (Novák et al. 2013 a další) – level of slenderness coefficient for unstable stems (Novák et al. 2013, etc.), <sup>7</sup> hladina ŠK pro velmi nestabilní kmene (Novák et al. 2013 a další) – level of slenderness coefficient for very unstable stems (Novák et al. 2013, etc.), <sup>8</sup> procento rozdílu, <sup>9</sup> vzorkové plochy BO – lípa, LP – lípa, BK – beech, S – suché, V – vlhké, <sup>10</sup> slenderness coefficient/100

### 4.2. Růstové veličiny a produkční schopnosti

Na základě analýzy rozptylu růstových veličin byly prokázány rozdíly mezi růstem borovice s příměsí lípy, buku a borovice bez příměsí. Z jednotlivých veličin je nejvýznamnější výška, která se prokazatelně liší v příměsích s bukem a s lípou, a co se týče vlhkostních podmínek, příměs buku na vlhkém, tedy potenciálně výhodnějším stanovišti, odpovídá svojí výškou zkusné ploše borovice bez příměsí na suchém stanovišti (tabulka 3). Ukazuje se, že podmínky výškového růstu jsou v případě příměsí s bukem nejméně výhodné na suchém i vlhkém stanovišti. Tloušťka kmene borovice je prokazatelně nižší na suchých stanovištích s výskytem borovice bez příměsí a s příměsí buku než zkusné plochy na vlhkém stanovišti s příměsí lípy. Nejvyšší zásoby dosáhly zkusné plochy borovice s příměsí lípy s průměrným objemem kmene 0,23 m<sup>3</sup> a nejnižší zásobu měla borovice s příměsí buku s průměrným objemem kmene 0,17 m<sup>3</sup>, což zmiňují i autoři Podrázský & Remeš (2005), André et al. (2010), Seidel et al. (2013). Průměrný objem kmene borovice byl statisticky významně rozdílný při porovnání ploch s různou příměsí a s různými stanovištními podmínkami. Borovice nacházející se na zkusných plochách na vlhkém stanovišti

s příměsí lípy měla průměrný objem kmene 0,25 m<sup>3</sup>. Oproti tomu borovice bez příměsí měla průměrný objem 0,14 m<sup>3</sup> a borovice s příměsí buku 0,13 m<sup>3</sup>. Ke zjištěným rozdílům mezi objemy může pravděpodobně přispívat i rozdílný rozklad opadu. Pozitivní vliv přimíšených dřevin a vliv opadu listnatých dřevin na růst stromu popisují Hynynen et al. (2011), Porte & Bartelink (2002).

#### 4.3. Stabilita porostu

U zkoumaného porostu se stabilita stala zásadním problémem. U všech zkusných ploch je ohrožena, a to z důvodu překročení doporučeného štíhlostního koeficientu. Kritická hodnota štíhlostního koeficientu je stanovena v taxačním průvodci (ÚHÚL 1976) na 1,02 pro čtyřicetileté borové porosty. Autoři Polley (1995), Peltola et al. (2000), Zhu et al. (2006) a Novák et al. (2013) považují hodnotu štíhlostního koeficientu u borových porostů větší než 0,95 jako ukazatel nestabilního kmene a větší než 1,20 za velmi nestabilní kmen. Vypočítané hodnoty štíhlostního koeficientu borovice lesní však dosahují průměrné hodnoty 1,29 (BO 1,36; BO (LP) 1,28; BO (BK) 1,21) a průměrná hodnota štíhlostního koeficientu středního kmene je 1,20 (BO 1,21; BO (LP); 1,27; BO (BK) 1,12) viz obrázek 1. Při analýze rozptylu byl zjištěn statisticky významný rozdíl u štíhlostního koeficientu pouze mezi vlhkou variantou borovice bez příměsí s průměrnou hodnotou 1,40 a variantou s příměsí buku o průměrné hodnotě 1,17. Přesto nelze tvrdit, že příměs má vliv na stabilitu, jelikož u všech hodnot byly překročeny kritické hodnoty. Dále byla hodnocena stabilita na základě skutečných a tabulkových počtů stromů. Zkusné plochy bez příměsí přesahují doporučené počty v průměru o 84 %, zkusné plochy s příměsí lípy o 62 % a s příměsí buku o 19 %. Uvedené procento především u příměsí s bukem, kde se na úrovni podílí i buk, je ve skutečnosti ještě vyšší. Na základě naměřených dat lze konstatovat, že porosty jsou přeštíhlené, což podporuje i fakt menší tloušťky středního kmene oproti růstovým tabulkám (Obr. 1). Z důvodů vysokého štíhlostního koeficientu a nevyhovujícího počtu stromů se můžeme domnívat, že byla zanedbána výchova porostu především v raných stádiích. Novák et al. (2013) uvádí nutnost výchovného zásahu do dosažení horní výšky 5 m. V nesmíšených borových zkusných plochách již dochází důsledkem zmíněných faktů k rozpadu porostů zapříčiněným především větrem. Ukázalo se, že porosty s příměsí listnatých dřevin dosahují lepší stability s ohledem na přežití podúrovňové dřeviny, která však nemá žádný produkční potenciál, ale pouze ekologickou a půdoochrannou funkci (Vandermeer 1992; Oliver & Larson 1996).

#### 5. Závěr

Na základě vyhodnocených dat při porovnání nesmíšených borových zkusných ploch a porostů s příměsí listnatých dřevin (lípa a buk) nelze jednoznačně tvrdit, že příměs má vždy kladný vliv na stabilitu, růstové veličiny a produkci porostu. Výsledky ukazují, že porosty s příměsí buku mají tendenci tvořit stabilnější porosty oproti ostatním porovnávaným

plochám. Z hlediska největší dosahované výšky, celkové zásoby či výčetní tloušťky byl zjištěn trend vyšší produkce u borových porostů s příměsí lípy. Zanedbanou výchovou byla snížena celková stabilita na všech zkusných plochách a byla zásadním způsobem ovlivněna celková produkce. S ohledem na různou strukturu zkoumaných porostních skupin, podobných svými počátečními stanovištními podmínkami a systémem zakládání, se nejpřirozeněji jeví struktura borových porostů s příměsí lípy, s nejvyšším produkčním a ekologickým potenciálem dvou etází. S přihlédnutím k průkaznému zhoršení fytoocenóz a biodiverzity u monokultur borovice (Průša 2001) lze prozatím doporučit na podobných lokalitách pěstování borových porostů především s příměsí lípy. Tyto poznatky (argumenty) je třeba dále rozšířit, upřesnit, případně potvrdit. V tomto směru jsou připravovány výstupy fytoecologického průzkumu antropogenních půd, toleranční analýza pomocí dendrochronologických dat a vliv opadu na přírůst v borových porostech s příměsí.

#### Poděkování

Tento výzkum byl podpořen ze zdrojů Interní grantové agentury České zemědělské univerzity v Praze z grantu č. A 17/14.

#### Literatura

- André, F., Jonard, M., Ponette, Q., 2010: Biomass and nutrient content of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stem and branches in a mixed stand in southern Belgium. *Science of the Total Environment*, 408:2285–2294.
- Čejpek, J., Kuráž, V., Frouz, J., 2011: Vodní režim rekultivovaných a nerektivovaných výsypek. *Acta Environmentalica universitatis comenianae* (Bratislava) 19:52–55.
- Conlin, M., Jolliffe, L., 2011: What Happens When Mining Leaves? In: Conlin, M., Jolliffe, L. (eds.): *Mining Heritage and Tourism. A Global Synthesis*. London and New York: Routledge, p. 3–0.
- Čermák, P., Ondráček V., 2009: Stanovištní a rhizologické vlastnosti dřevin využívaných při zalesňování výsypek severočeské hnědouhelné pánve: metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 57 s.
- Černý, M., Pařez, J., Malík, Z., 1996: Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub). Praha, IFER, 245 s.
- Dieler, J., Pretzsch, H., 2013: Morphological plasticity of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in pure and mixed-species stands. *Forest Ecology Management*, 295:97–108.
- Dimitrovský, K., 2001: Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. Sokolov, Sokolovská uhelná, 191 s.
- Dimitrovský, K., Modrá, B., Prokopová, D., 2010: Produkční a mimoprodukční význam antropogenních substrátů na výsypkách sokolovské uhelné pánve. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, 4:8–16.
- Dimitrovský, K., Vesecký, J., 1989: Lesnická rekultivace antropogenních půdních substrátů. Praha, SZN, 132 s.
- Ducey, M. J., Knapp, R. A., 2010: A stand density index for complex mixed species forests in the northeastern United States. *Forest Ecology and Management*, 260:1613–1622.
- Fabrika, M., Pretzsch, H., 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 599 s.
- Frouz, J., 2011: Rozvoj půd jako základní předpoklad obnovy ekosystémových služeb na těžce disturbovaných plochách. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae* (Bratislava), 19:66–70.

- Husch, B., Beers, T. W., Kershaw, J. A. Jr., 2003: Forest Mensuration. 4th edition. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 456 p.
- Hynynen, J., Repola, J., Mielikäinen, K., 2011: The effect of species mixture on the growth and yield of mid-rotation mixed stands of Scots pine and silver birch. *Forest Ecology and Management*, 262:1174–1183.
- Kantor, P., 1981: Hydrické účinky smrku a buku v zimních obdobích. *Práce VÚLHM*, 58:153–176.
- Lintz, G., Wirth, P., 2009: Erfolgs faktoren der Sanierung und Entwicklung von Bergbauregionen. *GeoScape*, 4:222–238.
- Lipovská, Z., 2011: Strategic planning in the mining microregion Sokolov – East. In: Škarpá, P. (ed.): *MendelNet 2011 – Proceedings of International Ph. D. Students Conference*. Brno: Mendel University in Brno, Faculty of Agronomy, p. 495–510.
- Novák, J., 2013: Výchova porostů borovice lesní a poškození sněhem. *Zprávy lesnického výzkumu – report of forestry research*, 58:147–157.
- Oliver, C. D., Larson, B. C., 1996: *Forest stand dynamics, update edition*. New York, John Wiley, 520 p.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander M., 2000: Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135:143–153.
- Pietrzykowski, M., Socha, J., 2011: An estimation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem productivity on reclaimed post-mining sites in Poland (Central Europe) with using of allometric equations. *Ecol Eng*, 37:381–386.
- Podrázský, V., Remeš, J., 2005: Effect of forest tree species on the humus form state at lower altitudes. *Journal of Forest Science*, 51:60–66.
- Poleno, Z., Vacek, S., 2007: Pěstování lesů II. – Teoretická východiska pěstování lesů. *Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce*, 463 s.
- Polley, H., 1995: Assessing the mechanical stability of forest trees on the basis of the German forest inventory. *Forst und Holz*, 50:594–597.
- Porte, A., Bartelink, H. H., 2002: Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Ecological Modelling*, 150:141–188.
- Prach, K., Bastl, M., Konvalinková, P., Kovář, P., Novák, J., Pyšek, P. et al., 2008: Sukcese vegetace na antropogenních stanovištích v České republice – přehled dominantních druhů a stádií. *Příroda*, 26:5–26.
- Průša, E., 2001: Pěstování lesů na typologických základech. *Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce*, 593 s.
- Reineke, L., H., 1933: Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *J. Agric. Res.*, 46:627–638.
- Rothe, A., 1997: Einfluss des baumatenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Höglwald. München: Forstlicher Forschungsbericht Nr. 163, 213 p.
- Řehounek, J., Řehouňková, K., Prach K., 2010: Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. *České Budějovice, Calla*, 178 s.
- Seidel, D., Leuschner, Ch., Scherber, Ch., Beyer, F., Wommelsdorf, T., Cashman, M. J. et al., 2013: The relationship between tree species richness, canopy space exploration and productivity in a temperate broad-leaf mixed forest. *Forest Ecology and Management*, 310:366–374.
- Shaw, J. D., 2000: Application of stand density index to irregularly structured stands. *Western J. Appl. Forest.*, 15:40–42.
- Shaw, J. D., Long, J. N., 2010: Consistent Definition and Application of Reineke's Stand Density Index in Silviculture and Stand Projection. In: Jain, T. B., Graham, R. T., Sandquist, J. (tech. eds.): *Integrated management of carbon sequestration and biomass utilization opportunities in a changing climate*. Fort Collins (Colorado), USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p. 199–209.
- Vacek, S., Simon, J., 2009: Zakládání a stabilizace lesních porostů na bývalých zemědělských a degradovaných půdách. *Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce*, 792 s.
- Vacchiano, G., Motta, R., Long, J. N., Shaw, J. D., 2008: A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): a tool for assessing the forest's productive effect. *Forest Ecology and Management*, 255:2542–2554.
- Vandermeer, J. H., 1992: *The ecology of intercropping*. England, Cambridge University Press, 237 p.
- Vráblíková, J., Blažková, M., Farský, M., Jeřábek, M., Seják, J., Šoch, M. et al., 2008: Revitalizace antropogenně poškozené krajiny v Podkrušnohoří, I. část Přírodní a sociálně ekonomické charakteristiky disparit průmyslové krajiny v Podkrušnohoří. Ústí n. L., UJEP, FŽP, 182 s.
- Woodall, C. W., Miles, P. D., Vissage, J. S., 2005: Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stocking assessments. *Forest Ecology and Management*, 216:367–377.
- Zahradnický, J., Mackovčín, P. (eds.) et al., 2004: Plzeňsko a Karlovarsko. In: Mackovčín, P. a Sedláček, M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek XI*. Praha, AOPK ČR a EkoCentrum Brno, s. 418–444.
- Zhu, J., Li, X., Liu, Z., Cao, W., Gonda, Y., Matsuzaki T., 2006: Factors affecting the snow and wind induced damage of a montane secondary forest in northeastern China. *Silva Fennica*, 40:37–51.

## Summary

The reclamation of large areas disturbed by extraction of mineral resources is a topical issue mainly in large areas after opencast mining. Forest reclamation aims to achieve functional forest ecosystems on localities influenced by human activities which should fulfil all forest functions including wood-production function.

The research was carried out on anthropogenic substrates after brown coal mining located in north-west Bohemia in the Sokolov basin. The research site was classified in accordance with the Czech ecosystem classification (Průša 2001) as an acid oak-beech woods forest site type. The investigated even-aged stand was established in 1973 and was planted in rotating broadleaved and coniferous tree lines in a ratio 1:1 with 1 to 1 meter spacing.

The sample plots were circular with an area of 200 m<sup>2</sup>. In total, 7 sample plots were set in three different stand structures, two mixed structures of pine with an admixture of broadleaved species (3 pine-lime sample plots, 2 pine-beech sample plots), and pine monocultures (2 sample plots), which were used as control plots. Furthermore, the plots were differentiated into two local variants in terms of micro relief moisture conditions, to damp and dry sites, based on the specific conditions on the anthropogenic soils according to Cejpek et al. (2011) (Table 1).

The following basic mensurational variables were quantified: number of trees, Reineke's stand density index (SDI), absolute height-yield class of a tree species (AVB), relative height-yield class (RB), tree species composition, mean diameter at breast height, mean height, standing volume and basal area. The measured data of individual trees were: height, diameter at breast height, slenderness coefficient, volume and height classification of trees (Tables 1, 2, 3 and Fig. 1). For statistical analysis, basic stand variables and multivariate analysis of variance (ANOVA) of tree variables were used.

The number of the investigated trees ranged between 29 and 40 individuals per sample plot which corresponds with 1,450 to 2,150 individuals per hectare (Table 1).

The basic mensurational variables indicated different growth in individual mixtures and also differences between mixtures in accordance to moisture conditions. The highest values of mean height (22.1 m), mean diameter (18.7 m) and average standing volume (353 m<sup>3</sup>/ha) were recorded in the mixtures with lime (Table 2). Damp sites had on average higher stand density than dry sites which is probably caused by more suitable conditions for a higher number of trees. According to Fabrika and Pretzsch (2011), recommended SDI value for pine stands is 990, which was exceeded only at the sample plots on damp sites (Table 1). Height seems to be the most significant mensurational variable for pine, because it was significantly different in the mixed parts of the stand with lime and with beech. Considering moisture conditions, pine heights in the stands with beech on the damp site, i.e. a more suitable site, correspond with pine heights in pine monoculture on the dry site (Table 3). Therefore, the conditions for the height growth in mixed pine stands with beech are least suitable under both moisture conditions.

With regard to mixtures and site conditions, statistically significant difference was revealed only in the average volume of pine stem on the damp site with admixed lime (0.25 m<sup>3</sup>), on the dry site within pine monocultures and mixed pine with lime (0.14 m<sup>3</sup> and 0.13 m<sup>3</sup>). The differences are probably caused by different litter decomposition and its influence on stand structure. The positive impact of litter from admixed tree species on diameter and height growth is also confirmed by Porté & Bartelink (2002), Hynynen et al. (2011).

The critical level of slenderness ratio for forty-year-old pine stands is claimed to be 1.02 (ÚHÚL, 1976). Polley (1995), Peltola et al. (2000), Zhu et al. (2006) and Novák et al. (2013) consider slenderness ratio values higher than 0.95 as an indicator of unstable stems, and values higher than 1.2 indicate very unstable stems. The average value of the investigated trees was 1.29, and the mean tree value was 1.20 (Table 3). The analysis of variance found statistically significant difference of slenderness coefficients only between the damp site with pine monocultures (average value of 1.40) and the damp site with admixed beech (average value of 1.17). The stand stability is threatened as the recommended values of slenderness ratio were exceeded resulting from the negligence of stand tending. Novák et al. (2013) state the need for stand tending before reaching the height of 5 m.

Based on the comparison of pine monocultures and pine mixtures with broadleaved tree species one cannot definitely claim that the mixture has only a positive impact on stability, growth and stand volume of forest stands. However, considering the apparent deterioration of plant communities and biodiversity in pine monocultures (Průša 2001) we can recommend establishment of pine stands mainly with an admixture of lime on similar anthropogenic sites. Further research is needed to prove the conclusions.