

DOUGLASKA JAKO MELIORAČNÍ A ZPEVŇUJÍCÍ DŘEVINA

DOUGLAS-FIR AS A SOIL IMPROVING SPECIES

IVA ULBRICHOVÁ  - IVO KUPKA - VILÉM PODRÁZSKÝ - JIŘÍ KUBEČEK - MARTIN FULÍN

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, CZ - 165 21 Praha 6 - Suchdol

 e-mail: ulbrichova@fd.czu.cz

ABSTRACT

Douglas-fir and Norway spruce influence on the soil characteristics and humus accumulation in middle (altitude 410 m) mature stands (99 years) was evaluated. For both species, soil characteristics such as acidity, sorption complex, quantitative characteristics of humus profile and amount of total and available nutrients were compared. The holorganic horizons acidity was significantly lower (by 0.75 pH) as well as exchangeable H^+ and Al^{3+} ions content (two times lower) in Douglas-fir stand compared with spruce stand. More favorable conditions of qualitative soil sorption complex characteristics were also confirmed in Douglas-fir stand, with significantly higher base saturation and total base content (both characteristics exhibited two times higher values). The upper organic horizon differed significantly in available calcium, magnesium, potassium and phosphorus contents as the higher values were found in Douglas-fir stands. Total nutrients content differed only in the case of calcium with higher values in Douglas-fir stand. In the study area, positive effect of Douglas-fir on the soil characteristics compared with Norway spruce was found.

Klíčová slova: douglaska, *Pseudotsuga menziesii*, lesní půdy, půdní acidita

Key words: Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, forest soil, soil acidity

ÚVOD

Díky své schopnosti vysoké produkce, adaptabilitě a široké ekologické valenci v rámci velké části spektra evropských podmínek se douglaska (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) stala jednou z nejdůležitějších introdukovaných dřevin v Evropě. Její pěstování má relativně dlouhou tradici; v období kolem roku 1880 byla vysazována v Německu, Rakousku (FINCH, SZUMELDA 2007) a v České republice (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008), ve Francii před rokem 1950 (PONETTE et al. 2001). Význam douglasky výrazněji vzrostl zejména v posledních desetiletích, kdy se v některých zemích (např. Francie) stala jednou z nejvíce používaných introdukovaných dřevin a zaujala velmi významné místo v umělé obnově, ve které v současné době reprezentuje 30 % celkové roční výsadby jehličnanů a je vysazena na souhrnné ploše o více než 330 000 ha (PONETTE et al. 2001). Mezi země s největšími rozlohami výsadeb douglasky patří kromě Francie též Německo, Velká Británie, Nizozemí, Skotsko a Dánsko (GONZÁLES et al. 2013). V Německu zaujímá 1.7 % z celkové plochy lesa (180 000 ha) a je možné očekávat další zvyšování jejího podílu až k 3 % (PRIETZEL, BACHMANN 2012); v některých, pro ni vhodných regionech, jako je například severní Sasko (Niedersachsen) dokonce až k 10 % (FINCH, SZUMELDA 2007). Obdobnou situaci ve zvyšování významu této introdukované dřeviny je možné pozorovat i v celé řadě ostatních evropských zemí (CURT et al. 2001; FINCH, SZUMELDA 2007; KANTOR 2008; PRIETZEL, BACHMANN 2012; GONZÁLES et al. 2013), kde je často považována za produkčně vhodnou náhradu tradičně ekonomicky významných dřevin, jako například smrku ztepilého, a jako alternativa využitelná pro zajištění stability porostů v podmínkách klimatické změny (GONZÁLES et al. 2013).

Douglaska jako produkčně slibná dřevina byla v centru zájmu českých lesníků již od 19. století (BERAN 1995; HOFMAN et al. 1964; ŠIKA 1977; ŠIKA 1985; ŠINDELÁŘ 2003). Provenienční pokusy zalo-

žené v 60. letech 20. stol., které měly ověřit její produkční možnosti v našich podmínkách, současně přinesly řadu výsledků, ukazujících velkou vnitrodruhovou variabilitu a velký význam původu jednotlivých proveniencí pro založení stabilních a produktivních lesních porostů (BERAN 1993, 1995; HOFMAN et al. 1964; ŠIKA, PÁV 1990). V rámci druhu *Pseudotsuga menziesii* se kromě proveniencí ještě rozlišují dvě základní formy, lišící se barvou jehlic a především ekologickými nároky. Forma náročnější na vlhkost a s velkými produkčními možnostmi je ssp. *Glauca*, původem ze západního pobřeží Spojených států. Odolná vůči suchu a málo náročná na živiny je pak ssp. *Menziesii*, původem z vnitrozemských oblastí s kontinentálním klimatem. Názory na možnosti využití vnitrozemské (PRIETZEL, BACHMANN 2012) nebo formy z pacifického pobřeží (GONZÁLES et al. 2013) v Evropě se liší zejména podle klimatických a půdních podmínek stanoviště.

Značné produkční možnosti douglasky jsou známy již od 60. let 20. stol., zejména pokud byla vysazena ve smíšených porostech, kdy jsou pro 70letý porost uváděny jako hodnoty pro objem jednotlivého kmene 2,9 m³ a ve stoletém porostu dokonce 6 m³ (KANTOR et al. 2001a, 2001b). V případě pro douglasku vhodného a živného stanoviště ve Křtinách je dokonce uváděn průměrný objem jednoho kmene vypočtený pro 10 nejobyjnějších jedinců (ve věku 136 let) 9,12 m³ (KANTOR 2008) ve srovnání s průměrem pro smrk 3,17 m³ a modřín 3,70 m³. Průměrný roční objemový přírůst jednoho stromu se může u douglasky pohybovat okolo hodnot 0,12–0,16 m³·rok⁻¹ (KANTOR 2008), což odpovídá přírůstu objemu jednoho kmene 1,5 m³ za 10 let.

Douglasce vyhovují i stanoviště méně úživná, na chudších a kyselejších půdách (Hůrky, Písecko), kde KANTOR, MAREŠ (2009) uvádějí trojnásobně vyšší produkci než u smrku ztepilého (průměrný objem jednoho kmene stanovený z 10 největších jedinců byl 6,30 m³, ve srovnání se smrkem (1,93 m³) a modřínem (2,25 m³).

Významný produkční potenciál douglasky dokládají i další autoři (JUSSY et al. 2000; SVERDRUP et al. 2006; TURPAULT et al. 2005). Například francouzští autoři (PONETTE et al. 2001) dokládají u 50letého porostu 360 t.ha⁻¹ nadzemní biomasy a porostní zásobu 750 m³.ha⁻¹. Podle PODRÁZSKÉHO et al. (2009, 2010) v oblasti Kostelec nad Černými lesy, měl dospělý porost douglasky o třetinu vyšší produkci než věkově srovnatelný porost smrku (437 m³.ha⁻¹ ve srovnání s 352 m³.ha⁻¹). Samozřejmě, produkční možnosti douglasky mohou být limitovány kvalitou půdy a vlhkostními poměry stanoviště tak, že mohou i klesnout pod produkční možnosti jiných dřevin, např. modřínu, jak upozorňují BARTOŠ a KACÁLEK (2011).

Porosty douglasky v současné době zaujímají v rámci České republiky plochu 5600 ha, což je 0,2 % celkové plochy lesních porostů (PODRÁZSKÝ et al. 2013), nicméně situace s možnostmi introdukce a zvýšení podílu douglasky v lesních porostech se významněji liší od dalších evropských zemí: jako nepůvodní dřevina má vzhledem k platné legislativě omezené možnosti použití jen mimo chráněná území a i omezené zastoupení v hospodářských lesích. Hlavním důvodem pro omezené využívání introdukovaných dřevin je jejich možný negativní vliv na lesní ekosystémy. Nicméně, vzhledem k době introdukce a dlouhodobosti pěstování douglasky v Evropě, zde již existují možnosti vyhodnotit vliv této dřeviny na různé aspekty ekosystému a snížit obavy z jejího případného negativního vlivu. Vzhledem k tomu, že douglaska je introdukovanou dřevinou poměrně dosti rozšířenou v rámci celé Evropy, byly již publikovány studie zabývající se jejím vlivem na bylinné patro (AUGUSTO et al. 2002; FINCH, SZUMELDA 2007; PODRÁZSKÝ et al. 2011), působením na stav půd a půdní charakteristiky včetně koloběhu živin na stanovišti (ALFREDSSON et al. 1998; HOPE et al. 2003; MALCHAIR, CARNOL 2009; PRIETZEL, BACHMANN 2012; TURPAULT et al. 2007), i stabilizačních možnostech porostu vzhledem ke kvalitám kořenového systému (MAUER, PALÁTOVÁ 2012) i možnostem její přirozené i umělé obnovy (ŠIKA 1985; BUŠINA 2007; KANTOR et al. 2010; SYCHRA, MAUER 2013). Nicméně, v různých podmínkách jsou výsledky často obtížně srovnatelné, nebo se i výrazněji liší a jak někteří autoři upozorňují, podmínky stanoviště mohou převážet nad vlivem pěstované dřeviny (MALCHAIR, CARNOL 2009). Přestože z oblasti původního rozšíření douglasky, Severní Ameriky, existuje celá řada studií, (HOPE et al. 2003; HOMANN et al. 2008), informace z nepůvodních stanovišť v Evropě ještě stále nejsou úplné a nepokrývají celou šíři problematiky. Z tohoto důvodu je potřeba detailnější studium i dlouhodobého vlivu této dřeviny na lesní stanoviště.

V oblasti školního lesního podniku Kostelec nad Černými lesy (ČZU Praha), kde byla douglaska pěstována od r. 1880, existují rozsáhlejší porosty s příměsí douglasky a mezi nimi i některé, v současné době dospělé porosty s celkovou plochou 10,5 ha. Tyto porosty dávají možnost vyhodnotit dlouhodobý potenciál a vliv douglasky jako introdukované dřeviny na stanoviště nižších poloh v celé řadě vlastností, od produkčních možností přes vliv na bylinné patro a vliv na půdu (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008). Cílem této studie je tedy doplnit dosavadní poznatky týkající se dlouhodobého vlivu douglasky jako introdukované dřeviny na lesní stanoviště, resp. jeho svrchní půdní horizonty.

MATERIÁL A METODIKA

Vliv dospělého porostu douglasky (99 let) na půdu, ve srovnání s obdobným a stejně starým porostem smrku, byl hodnocen v zapojeném dospělém porostu 443D10 (o celkové ploše 3,3 ha), kde v různých částech porostu mají tyto dřeviny různé zastoupení, pro douglasku v průměru na celou plochu v rozmezí 10–50 %. Porost se nachází v nadmořské výšce 390–410 m n. m., s průměrnou roční teplotou 8 °C a průměrnými ročními srážkami 650 mm, 4O1 – svěží dubová jedlina štavelová (VIEWEGH et al. 2003), na luviselech.

Průměrná zásoba dřevin se v rámci celého porostu pohybuje mezi 830 až 1030 m³.ha⁻¹, v závislosti na podílu douglasky, pro čistý porost smrku je to při přepočtu na hektar 860 m³. Průměrný roční objemový přírůst v případě čistého porostu douglasky dosahuje až 11,1 m³ a 8,5 m³ v případě čistého porostu smrku. Průměrná zásoba kmene douglasky se pohybuje mezi 6–20 m³ a 2–27 m³ u smrku (REMEŠ et al. 2010).

V rámci celé lokality byly vybrány vždy tři plochy 50 × 50 m, kde byla douglaska v nesmíšené skupině v porostu. Podobně byly založeny 3 zkusné plochy v nesmíšené skupině smrku. Na každé z těchto ploch pak byly odebrány čtyři půdní vzorky.

Vzorky horizontů nadložního humusu (L+F1, F2+H, Ah) byly odebrány na podzim 2011 kvantitativním odběrem odběrným rámečkem (25 × 25 cm), u svrchního půdního horizontu Ah byl odběr pouze kvalitativní. U jednotlivých odběrů byly pak separátně provedeny základní chemické analýzy v laboratoři (ing. Tomáš, VŮLHM, v. v. i., VS Opočno).

Vyhodnocovány byly následující charakteristiky: obsah uhlíku a organické hmoty horizontů nadložního humusu (Springel-Klee), obsah celkového dusíku (Kjeldahl a Springel-Klee), půdní acidita aktivní (výluh H₂O) a potenciální (1 N KCL), výměnná acidita, obsah výměnného vodíku a hliníku, základní charakteristiky popisující stav půdního sorpčního komplexu (S – obsah bází, V – nasycení sorpčního komplexu bázemi, H – hydrolytická acidita, T – kationtová výměnná kapacita, stanovení podle Kappena). Z hlediska obsahu živin byl hodnocen obsah přístupných živin ve výluhu 1% kyseliny citronové a Mehlich III a obsah celkových živin mineralizací kyselinou sírovou ve směsi se selenem (vyhodnocení AAS).

U získaných dat byl nejdříve proveden Leveneův test homogenity rozptylů. Po ověření jejich homogenity byly výsledky porovnání vlivu douglasky a smrku na půdu a vlastnosti jednotlivých horizontů vyhodnoceny multifaktoriální metodou ANOVA. Pro vyhodnocení statisticky významných rozdílů byl použit Tukey test na hladině významnosti p = 0,05.

VÝSLEDKY

Při kvantitativním hodnocení horizontů nadložního humusu nebyl prokázán žádný rozdíl mezi dřevinami v množství sušiny organických půdních horizontů, ani v množství humusu a ani v podílu uhlíku v rámci horizontů (tab. 1).

Půdní acidita (aktuální i potenciální) v horizontech nadložního humusu (F+H) na stanovištích obou dřevin se lišila statisticky významně (o 0,75 pH stupňů), přičemž tento rozdíl směrem do hlubších horizontů ztrácel na významu a v horizontu Ah již nebyl statisticky doložitelný (tab. 1). Další půdní charakteristiky související s půdní aciditou, jako je obsah výměnných H⁺ a Al³⁺ iontů, měly v rámci půdních horizontů podobný průběh hodnot: titrační acidita a obsah výměnných vodíkových iontů je v půdách na ploše douglasky trojnásobně nižší v horizontech nadložního humusu a čtyřnásobně v Ah horizontu, než v půdách pod smrkem. Obdobný trend je i pro výměnný hliník, kde je rozdíl hodnot v půdě pod douglaskou a pod smrkem dvojnásobný.

Charakteristiky půdního sorpčního komplexu ukazují významný rozdíl mezi vlivem obou dřevin na půdu prakticky ve všech sledovaných hodnotách (tab. 1). Kationtová výměnná kapacita byla jako jediná z hodnot vyšší v půdách pod smrkem (o 25 %), pravděpodobně jako důsledek mírně vyšší (i když nikoli významně) sušiny humusových horizontů. Nicméně hodnota nasycení sorpčního komplexu bázemi a celkový obsah bází v horizontech nadložního humusu měly hodnoty přibližně dvakrát vyšší pod douglaskou než pod smrkem.

Při hodnocení obsahu živin (tab. 2) v humusových horizontech půdního profilu ovlivněného jednotlivými dřevinami se neukázalo

mnoho významných rozdílů. Obsah celkových živin se lišil pouze v případě vápníku. Obsah celkového vápníku byl pod porostem douglasky o třetinu vyšší než pod smrkem v horizontech L+F+H a dvojnásobně vyšší v horizontu Ah. Obsah přístupných živin ukazoval mezi vlivem obou dřevin výraznější rozdíl, a to nejen pro vápník a hořčík ve všech sledovaných horizontech, ale i pro fosfor a draslík, i když v jejich případě jen ve svrchních horizontech půdního humusu.

DISKUSE

Starších porostů introdukovaných dřevin v našich podmínkách není příliš velké množství, a proto výsledky z nich, ukazující vliv těchto dřevin na ekosystém obecně, mohou být velmi cenné. Vzhledem k tomu, že námi sledované plochy byly v dospělých porostech vyššího věku (99 let), vliv jednotlivých dřevin na půdu by měl být již jasně průkazný, neboť je dokládán rozdíl vlivu různých druhů dřevin na ho-

Tab. 1.

Charakteristiky obsahu uhlíku, půdní acidity a půdní sorpčního komplexu v humusových horizontech (spolu se směrodatnou odchylkou)
Characteristics of the carbon content, soil acidity and sorption complex in humus horizon (including standard deviations)

Plocha/Plot	Horizont/ Horizon	Vým. Titráč. Acidita Exchang. acidity	Výměnný H ⁺ / Exchang. H ⁺	Výměnný Al ³⁺ / Exchang. Al ³⁺	Celková sušič. na/Total dry mass	Humus (Springel- Klee)	C (ox.)	N (Kjeldahl)	pH /H ₂ O	pH /KCl	S	T	V
		mval/kg			g/m ²	(%)	(%)	(%)			mval/100g		(%)
DG	L+F1				88.40 (±25.18)								
DG	F2+H	23.09* (±15.01)	0.78* (±0.99)	22.32* (±14.35)	293.68 (±135.22)	20.87 (±6.72)	12.11 (±3.90)	0.92 (±0.24)	4.51* (±0.36)	4.07* (±0.36)	21.07* (±4.18)	44.53a (±9.06)	48.53* (±9.39)
DG	Ah	45.67* (±18.06)	0.28* (±0.37)	45.39* (±17.84)	480.03 (±145.95)	9.42 (±2.68)	5.46 (±1.56)	0.38 (±0.11)	4.05 (±0.34)	3.55 (±0.27)	7.62* (±2.50)	22.79 (±6.16)	33.80* (±8.89)
SM	L+F1				76.68 (±14.27)								
SM	F2+H	60.60* (±15.36)	2.35* (±1.85)	58.24* (±15.30)	374.60 (±121.14)	25.93 (±6.17)	15.04 (±3.58)	1.12 (±0.28)	3.75* (±0.35)	3.32* (±0.23)	14.52* (±3.80)	58.99b (±11.63)	24.68* (±4.63)
SM	Ah	79.46* (±9.98)	1.44* (±1.13)	78.02* (±9.62)	447.04 (±121.98)	8.87 (±2.26)	5.15 (±1.31)	0.27 (±0.07)	3.66 (±0.35)	3.23 (±0.20)	3.03* (±1.35)	20.83 (±4.33)	14.39* (±4.82)

Pozn.: Hvězdičky označují statisticky významné rozdíly hodnot srovnatelných horizontů pod porostem douglasky a smrku (DG – douglaska, SM – smrk)
Note: Asterisks show significant difference between Douglas-fir and Norway spruce in comparable horizons (DG – Douglas-fir, SM – Norway spruce)

Tab. 2.

Charakteristiky obsahu přístupných a celkových živin v humusových horizontech (spolu se směrodatnou odchylkou)
Characteristics of the soil nutrients content in humus horizon (including standard deviations)

Plocha/ Plot	Horizont/ Horizon	P	K	Ca	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	N	P	K	Ca	Mg
		Mehlich III extr. (mg/kg)					Citric acid extr. (mg/kg)				H ₂ SO ₄ extr. (%)				
DG	L+F1										1.28 (±0.18)	0.07 (±0.02)	0.31 (±0.09)	0.51 (±0.25)	0.05 (±0.01)
DG	F2+H	27.0 (±10.7)	330.7 (±108.9)	2490.5* (±551.1)	203.5 (±54.9)	200.3* (±64.7)	279.3a (±100.3)	3222.2* (±769.5)	391.2* (±124.1)	1381.4 (±364.8)	0.94 (±0.25)	0.08 (±0.02)	0.56 (±0.16)	0.16 (±0.11)	0.03 (±0.01)
DG	Ah	9.1 (±2.8)	123.4 (±22.3)	907.8* (±251.7)	85.6 (±18.8)	97.7 (±31.8)	85.3 (±19.3)	941.7* (±344.8)	142.3* (±41.3)	129.6 (±424.5)					
SM	L+F1										1.42 (±0.14)	0.07 (±0.02)	0.18 (±0.06)	0.39 (±0.14)	0.04 (±0.01)
SM	F2+H	24.5 (±4.7)	266.5 (±33.3)	1563.7* (±371.5)	166.8 (±31.8)	144.2* (±27.6)	212.89* (±30.4)	1626.7* (±421.2)	258.8* (±55.4)	1116.0 (±209.4)	1.15 (±0.20)	0.09 (±0.02)	0.44 (±0.12)	0.03 (±0.03)	0.03 (±0.02)
SM	Ah	6.3 (±4.0)	87.5 (±17.3)	376.7* (±95.8)	56.9 (±11.3)	79.3 (±18.2)	53.92 (±11.8)	260.6* (±78.5)	88.0* (±20.6)	1874.3 (±295.8)					

Pozn.: Hvězdičky označují statisticky významné rozdíly hodnot srovnatelných horizontů pod porostem douglasky a smrku (DG – douglaska, SM – smrk)
Note: Asterisks show significant difference between Douglas-fir and Norway spruce in comparable horizons (DG – Douglas fir, SM – Norway spruce)

rizonty nadložního humusu již u porostů podstatně mladších, např. na zalesněné zemědělské půdě (KACÁLEK et al. 2010a, b). Je znám pozitivní vliv listnatých dřevin (nebo travního porostu) na půdu, oproti dřevinám jehličnatým (ALFREDSSON et al. 1998; HÁKAN et al. 1998; MALCHAIR, CARNOL 2009; FINCH, SZUMELDA 2007; PRIETZEL, BACHMANN 2012), avšak rozdíl mezi jednotlivými jehličnatými dřevinami bývá již sledován méně. V našem případě byly rozdíly v půdních vlastnostech pod porostem douglasky a smrku statisticky významné pouze v některých charakteristikách.

Hodnoty půdní acidity se pohybovaly mezi 4,5 a 3,75 v horizontech nadložního humusu, což jsou hodnoty, které odpovídají podmínkám chudších stanovišť s jehličnatým porostem na horninově chudém podloží (žula). V původním druhovém složení sledované lokality by měly převažovat listnáče a jejich opad by měl mít hodnoty acidity výrazně nižší, než je to v případě jehličnanů, nicméně naše výsledky ukazují, že i douglaska může v těchto stanovištních podmínkách působit na půdu příznivěji než smrk (AUGUSTO et al. 2002; PODRÁZSKÝ et al. 2010; PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005, 2008), případně zlepšovat půdní podmínky ve smrkových porostech, pokud by byla v příměsi. Tyto vlastnosti mohou nicméně procházet během existence porostů vývojem, protože např. KACÁLEK et al. (2013) dokládá z 10 let starého zalesnění louky méně příznivé hodnoty pod čistou douglaskou než pod čistým smrkem a smíšenými variantami.

Variabilita koncentrací Al^{3+} a H^+ iontů může být ovlivňována biologickým rozkladem organické půdní hmoty a jeho výslednými produkty, ale i produkcí H^+ kořeny při odběru živin z půdy a vazbou těchto iontů na půdní komplex a současně i výměnnou reakcí OH iontů za živiny přijímané jako aniony (TURPAULT et al. 2007; ALFREDSSON et al. 1998), ale v našem případě tento efekt nebyl doložen. Nárůst biomasy a současně i odběr živin (vzhledem k podobným koncentracím prvků v biomase, viz BERGMANN 1988) se výrazněji projevilo u douglaskového než smrkového porostu (PODRÁZSKÝ et al. 2010), výměnný vodík a hliník měl však mnohem vyšší hodnoty v půdách pod smrkem než pod douglaskou. Tyto výsledky jsou ve shodě s autory (TURPAULT et al. 2007; ALFREDSSON et al. 1998; HÁKAN et al. 1998) zabývajícími se vlivem douglasky na stav půd v jiných oblastech.

Charakteristiky půdního sorpčního komplexu ukazují významné rozdíly mezi půdou pod porostem smrku a douglasky prakticky ve všech sledovaných ukazatelích, zejména v oblasti kvality sorpčního komplexu – nasycení sorpčního komplexu bázemi a celkového obsahu bází – s hodnotami dvojnásobně vyššími pod douglaskou než pod smrkem, což se shoduje s výsledky dalších autorů (PODRÁZSKÝ et al. 2010; PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005, 2008), kteří také popisují vyšší kvalitu sorpčního komplexu a humusových forem na stanovištích douglaskových než smrkových.

NADPOROZHSKAYA et al. (2006) popisuje dynamiku změn množství půdní organické hmoty v závislosti na intenzitě růstu a původních hodnotách množství nadložního humusu; pokud pod intenzivně rostoucím douglaskovým porostem byly původně nízké hodnoty sušiny humusových vrstev, dojde zde k akumulaci organické hmoty, a pokud byly počáteční hodnoty spíše vyšší, dojde naopak k jejímu postupnému rozkladu až do stavu dynamické rovnováhy. V našem případě byly hodnoty sušiny humusových horizontů i obsahy uhlíku mírně nižší (nevýznamně) v půdách pod porostem douglasky než pod porostem smrku, a to i přesto, že zásoba porostu douglasky byla zhruba o třetinu větší než v případě porostu smrku. Někteří autoři zmiňují nižší akumulaci organické hmoty pod porostem douglasky než ke které došlo v našem případě; např. NADPOROZHSKAYA et al. (2006) 15–20 kg.m⁻² do hloubky 1 m a MENŠÍK et al. (2009) 25 kg.m⁻², zatímco v našich podmínkách tyto hodnoty dosahovaly zhruba 38 kg.m⁻² v případě douglasky a 45 kg.m⁻² pro smrk a čisté humusové horizonty (L+F+H). MENŠÍK et al. (2009) současně dokládá daleko vyšší akumulaci organické hmoty pod porostem smrku než pod douglaskou – až trojnásobně, což je vyšší rozdíl než který uvádějí další autoři (např. PRIETZEL, BACHMANN 2012; PODRÁZSKÝ et al. 2010;

PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005, 2008) a ani v naší studii takto vysoký rozdíl nebyl potvrzen.

Mnoho autorů se v souvislosti s porosty douglasky zmiňuje o vysokém odběru živin rychle rostoucím douglaskovým porostem (PODRÁZSKÝ et al. 2002; MARTINÍK, KANTOR 2007; TURPAULT et al. 2007; ALFREDSSON et al. 1998) a v důsledku nižší dostupnosti některých přístupných živin (ALFREDSSON et al. 1998), zvláště vápníku a hořčíku (MARTINÍK 2003; TAKAHASHI 1997), draslíku (ALFREDSSON et al. 1998) a v některých případech i fosforu (PODRÁZSKÝ et al. 2009, 2010), avšak v našem případě se tento efekt při hodnocení obsahu živin (celkových i přístupných) v půdních horizontech nijak výrazně neprojevil. Obsah celkových živin v humusových horizontech se významně lišil jen v případě vápníku, a to ve prospěch vyšších hodnot pod skupinou douglasky. Výraznější rozdíly se ukázaly při vyhodnocení obsahu přístupných živin, a to pro vápník, hořčík, fosfor a draslík, a opět ve prospěch vyšších hodnot v půdách pod douglaskou. Vzhledem k tomu, že tento fakt nelze přičíst na vrub rozdílným hodnotám živin v asimilačním aparátu douglasky a smrku (a tím i opadu), protože tyto hodnoty jsou velmi podobné (BERGMANN 1988), je nutné hledat vysvětlení v dalších rozdílných půdních charakteristikách, jako je např. již zmíněná acidita. Nad efektem intenzivního odběru živin zde tedy patrně v tomto starším porostu převažuje efekt aktivnějších humusových forem (PODRÁZSKÝ et al. 2002) a rychlejšího odbourávání organické hmoty opadu a uvolňování živin zpět do koloběhu. Toto vysvětlení může být podpořeno výsledky GONZÁLES et al. (2013), který potvrzuje, že intenzita odběru živin záleží na vývojové fázi a věku porostu i na způsobu hospodaření v tomto porostu, a výsledky dalších autorů (PONETTE et al. 2001; MALCHAIR, CARNOL 2009), uvádějících výrazné kolísání hodnot obsahu živin v půdách různých stanovišť a porostech různého věku.

Z hlediska biologického rozkladu organické hmoty a koloběhu živin na stanovišti je důležitým prvkem i dusík, jehož obsah byl v různých studiích rovněž sledován. ALFREDSSON et al. (1998) například uvádí nižší celkový obsah dusíku ve svrchních vrstvách půdy pod porostem douglasky ve srovnání s travním porostem, což potvrzuje MALCHAIR, CARNOL (2009), když dokládají silnou nitrifikaci pod mladým douglaskovým porostem. Změny v dynamice dusíku po převodu smrkového porostu na douglaskový popisuje PRIETZEL, BACHMANN (2012), který v tomto případě zjistil významný vzestup koncentrací dusíku v hloubce 30–50 cm, a naopak pokles koncentrací dusíku v hlubších (50–80 cm) půdních vrstvách. Variabilita a kolísání obsahu dusíků v půdách může být ovlivněna populacemi nitrifikačních bakterií, ale i složením a biomasou bylinného patra (MALCHAIR, CARNOL 2009). Další vysvětlení pro variabilitu výsledků různých autorů, týkajících se obsahu živin v půdě, uvádí HOMANN et al. (2008), který se zabýval problematikou metodiky, a podle kterého lze zjistit rozdíly v obsahu uhlíku a dusíku v půdě (různých porostů a/nebo variant) jen pokud v dlouhodobém sledování tyto rozdíly přesahují 10 % a současně nedochází na stanovištích k rozdílům v hospodaření, ani k významnějším změnám v bylinném patře. V opačném případě tyto rozdíly budou statisticky doložitelné, pouze pokud rozdíl obsahu C a N v různých variantách překročí 30 %. V našem případě obsah C a N v půdách pod porosty smrku a douglasky nebyl statisticky významný.

Vyhláška č. 139/2004 Sb., která stanovuje minimální počty sazenic na jeden hektar při obnově lesa, totiž požaduje pouze 3000 ks sazenic na jeden hektar, tedy jeden z nejnižších počtů potřebných kusů sazenic pro základní dřevinu při zalesňování. Přitom se lze oprávněně domnívat, že i tyto počty jsou vyšší než je nezbytné, protože např. v Kanadě, kde je douglaska domácí dřevinou, se tyto počty pohybuji mezi 1000 až 1500 kusy na jeden hektar. Dobře odrůstání s velmi dynamickým výškovým přírůstkem z ní zároveň činí dřevinu, se kterou lze velmi rychle dosáhnout zajištěnosti kultury. Naše data prokazují, že je i vhodnou dřevinou meliorační, kterou je možno, vzhledem k jejímu mohutnému kořenovému systému s kulovým kořenem, doporučit i jako dřevinu zpevňující.

Její v podstatě jediným nedostatkem je to, že je dřevinou introdukovanou, a tudíž je její použití v našich lesních porostech zatím limitované.

ZÁVĚR

Douglaska je tedy nejen dřevinou s výjimečně vysokou produkcí kvalitního dřeva, ale prokazuje i dobrý vliv na stav půd. Z tohoto důvodu byla také zařazena mezi meliorační a zpevňující dřeviny (MZD) v cílových hospodářských souborech 23 (hospodářství kyselých stanovišť nižších poloh) a 43 (hospodářství kyselých stanovišť středních poloh). Analýza dat z našich zkusných ploch (středně bohatých na živiny) ukazuje, že by bylo oprávněné ji zařadit jako MZD do cílových hospodářských souborů 25, 35 a 45, kde se mimo jiné počítá i s další introdukovanou dřevinou, kterou je jedle obrovská.

Naše data ukazují, že v mnoha charakteristikách stavu nadložního humusu má douglaska v porovnání s porostem smrku příznivější vliv na půdu; jde například o hodnoty pH, výměnného vodíku a hliníku, obsahu bázi a nasycení sorpčního komplexu bázemi, ale i obsahu celkového vápníku a obsahu přístupných živin, především vápníku, hořčíku, ale i draslíku a fosforu.

Z hlediska zakládání nových porostů lze konstatovat, že douglaska je dřevinou velmi vitální, dobře odrůstající a mající tedy všechny předpoklady k tomu, aby byla použita nejen jako MZD, ale i jako dřevina základní.

Poděkování:

Tato práce byla podporovaná v rámci řešení projektu NAZV QI112A172 „Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR“ a projektu IGA 20134338 „Pěstování douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) na kyselých stanovištích ve středních polohách“.

LITERATURA

- ALFREDSSON H., CONDRON L. M., CLARHOLM M., DAVIS M. R. 1998. Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 112 (3): 245–252.
- AUGUSTO L., RANGER J., BINKLEY D., ROTHE A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annales of Forest Science*, 59: 233–253.
- BARTOŠ J., KACÁLEK D. 2011. Douglaska tisolistá – dřevina vhodná k zalesňování bývalých zemědělských půd. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56 (Special): 6–13.
- BERAN F. 1993. Fenotypová proměnlivost a růst douglasky tisolisté na školním polesí Hůrka (SLŠ Písek). *Zprávy lesnického výzkumu*, 38 (3): 5–15.
- BERAN F. 1995. Dosavadní výsledky provenienčního výzkumu douglasky tisolisté v ČR. *Zprávy lesnického výzkumu*, 40 (3–4): 7–13.
- BERGMANN W. (ed.) 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Stuttgart, Gustav Fisher Verlag: 762 s.
- BUŠINA F. 2007. Natural regeneration of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in forest stands of Training Forest District Hůrky, Higher Forestry School and Secondary Forestry School in Písek. *Journal of Forest Science*, 53: 20–34.
- CURT T., BOUCHAUD M., AGRECH G. 2001. Predicting site index of Douglas-fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *Forest Ecology and Management*, 149: 61–74.
- FINCH O.D., SZUMELDA A. 2007. Introduction of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) into Western Europe: Epigeic arthropods in intermediate-aged pure stands in north-western Germany. *Forest Ecology and Management*, 242 (2–3): 260–272.
- GONZÁLES G. S., BONNESOEUR V., PIZZI A., FEIJOO G., MOREIRA M.T. 2013. The influence of forest management systems on the environmental impacts for Douglas-fir production in France. *Science of the Total Environment*, 461–462: 681–692.
- HÅKAN A., CONDRON L.M., CLARHOLM M., DAVIS M.R. 1998. Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 112 (3): 245–252.
- HOFMAN J., VACKOVÁ M., HEGER B. 1964. Zpráva o prvních provenienčních pokusech s douglaskou tisolistou v ČSSR. *Acta Musei Silesiae*, C III: 43–50.
- HOMANN P.S., BORMANN B.T., BOYLE J.R., DARBYSHIRE R.L., BIGLEY R. 2008. Soil C and N minimum detectable changes and treatment differences in a multi-treatment forest experiment. *Forest Ecology and Management*, 255: 1724–1734.
- HOPE G.D., PRESCOTT C.E., BLEVINS LEANDRA L. 2003. Responses of available soil nitrogen and litter decomposition to openings of different sizes in dry interior Douglas-fir forests in British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 186 (1–3): 33–46.
- JUSSY J.H., COLIN-BELBRAND M., RANGER J. 2000. Production and root uptake of mineral nitrogen in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Beaujolais Mounts. *Forest Ecology and Management*, 128: 197–209.
- KACÁLEK D., NOVÁK J., BARTOŠ J., SLODIČÁK M., BALCAR V., ČERNOHOUS V. 2010a. Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy ve vztahu k druhům dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 19–25.
- KACÁLEK D., NOVÁK J., ČERNOHOUS V., SLODIČÁK M., BARTOŠ J., BALCAR V. 2010b. Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy pod smrkem, modřínem a olší v podmínkách bývalé zemědělské půdy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 158–164.
- KACÁLEK D., DUŠEK, D., NOVÁK, J., BARTOŠ J. 2013. The impact of juvenile tree-species canopy on properties of new forest floor. *Journal of Forest Science*, 59: 230–237.
- KANTOR P., KNOTT R., MARTINÍK A. 2001a. Production capacity of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in a mixed stand. *Ekológia (Bratislava)*, 20 (Suppl. 1): 5–14.
- KANTOR P., KNOTT R., MARTINÍK A. 2001b. Production potential and ecological stability of mixed forest stands in uplands – III. A single tree mixed stand with Douglas fir on a eutrophic site of the Křtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 47: 45–59.
- KANTOR P. 2008. Production potential of Douglas fir at mesotrophic sites of Křtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 54: 321–332.
- KANTOR P., MAREŠ R. 2009. Production potential of Douglas fir in acid sites of Hůrky Training Forest District, Secondary Forestry School in Písek. *Journal of Forest Science*, 55: 312–322.
- KANTOR P., BUŠINA F., KNOTT R. 2010. Postavení douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* [MIRB.] Franco) a její přirozená obnova na školním polesí Hůrky středních lesnických škol Písek. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 251–263.
- MALCHAIR S., CARNOL M. 2009. Microbial biomass and C and N transformations in forest floors under European beech, sessile oak, Norway spruce and Douglas-fir at four temperate forest sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 41 (4): 831–839.

- MARTINÍK A. 2003. Possibilities of growing Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) in the conception of sustainable forest management. *Ekológia* (Bratislava), 22 (Suppl. 3): 136–146.
- MARTINÍK A., KANTOR P. 2007. Branches and the assimilatory apparatus of full-grown trees of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) of a different coenotic position. *Ekológia* (Bratislava), 26: 223–239.
- MAUER O., PALÁTOVÁ E. 2012. Root system development in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) on fertile sites. *Journal of Forest Science*, 58: 400–409.
- MENŠÍK L., KULHAVÝ J., KANTOR P., REMEŠ M. 2009. Humus conditions of stands with the different proportion of Douglas fir in training forest district Húrky and the Křtiny Forest Training Enterprise. *Journal of Forest Sciences*, 55: 345–356.
- NADPOROZHSKAYA M.A., MOHREN G.M.J., CHERTOV O.G., KOMAROV A.S., MIKHAILOV A.V. 2006. Dynamics of soil organic matter in primary and secondary forest succession on sandy soils in The Netherlands: An application of the ROMUL model. *Ecological Modelling*, 190 (3–4): 399–418.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., LIAO CH.Y. 2002. Vliv douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb./ Franco) na stav humusových forem lesních půd – srovnání se smrkem ztepilým. *Zprávy lesnického výzkumu*, 46: 86–89.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J. 2005. Retenční schopnost svrchní vrstvy půd lesních porostů s různým druhovým složením. *Zprávy lesnického výzkumu*, 50 (1): 46–48.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J. 2008. Půdotvorná role významných introdukovaných jehličnanů – douglasky tisolisté, jedle obrovské a borovice vejmutovky. *Zprávy lesnického výzkumu*, 53: 27–34.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., HART V., MOSER W.K. 2009. Production and humus form development in forest stands established on agricultural lands – Kostelec nad Černými lesy region. *Journal of Forest Science*, 55: 299–305.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., TAUCHMAN P., HART V. 2010. Douglaska tisolistá a její funkční účinky na zalesněných zemědělských půdách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55 (1): 12–17.
- PODRÁZSKÝ V., VIEWEGH J., MATĚJKA K. 2011. Vliv douglasky na rostlinná společenstva lesů ve srovnání s jinými dřevinami. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56 (Special): 44–51.
- PODRÁZSKÝ V., KOUBA J., ZAHRADNÍK D., ŠTEFANČÍK I. 2013. Změny v druhové skladbě českých lesů – výzva pro lesnický i dřevozpracující sektor. In: *Dřevostavby 2013. Volyně 27. – 28.3.2013. Volyně, VOŠ; SPŠ: 3 – 7.*
- PONETTE Q., RANGER J., OTTORINI J.M., ULRICH E. 2001. Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir stands in France. *Forest Ecology and Management*, 142 (1–3): 109–127.
- PRIETZEL J., BACHMANN S. 2012. Changes in soil organic C and N stocks after forest transformation from Norway spruce and Scots pine into Douglas fir, Douglas fir/spruce, or European beech stands at different sites in Southern Germany. *Forest Ecology and Management*, 269: 134–148.
- REMEŠ J., PULKRAB K., TAUCHMANN P. 2010. Produkční a ekonomický potenciál douglasky tisolisté na vybrané lokalitě ŠLP Kostelec nad Černými lesy. In: *Aktuality v pěstování introdukovaných dřevin. Sborník z konference. Kostelec nad Černými lesy, 21. října 2010. Praha, ČZU v Praze: 68–69.*
- SVERDRUP H., THELIN G., ROBLES M., STJERNQUIST I., SØRENSEN J. 2006. Assessing nutrient sustainability of forest production for different tree species considering Ca, Mg, K, N and P at Björnstorp Estate, Sweden. *Biogeochemistry*, 81: 219–23.
- SYCHRA D., MAUER O. 2013. Prosperity of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb./ Franco) plantations in relation to the shelter. *Journal of Forest Science*, 59 (9): 352–358.
- ŠIKA A. 1977. Růst douglasky tisolisté v ČSR. *Lesnická práce*, 66: 14–16.
- ŠIKA A. 1985. Reprodukční možnosti douglasky tisolisté v ČSR z domácích zdrojů. *Práce VÚLHM*, 67: 41–62.
- ŠIKA A., PÁV B. 1990. Výškový růst douglasky na provenienčních plochách ČR v různých fázích vývoje. *Lesnictví*, 36 (5): 367–380.
- ŠINDELÁŘ J. 2003. Aktuální problémy a možnosti pěstování douglasky tisolisté. *Lesnická práce*, 82 (3): 14–16.
- TAKAHASHI M. 1997. Comparison of nutrient concentrations in organic layers between broad-leaved and coniferous forests. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43: 541–550.
- TURPAULT M.P., UTÉRANO C., BOUDOT J.P., RANGER J. 2005. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. *Plant and Soil*, 275: 327–336.
- TURPAULT M.P., GOBRAN G.R., BONNAUD P. 2007. Temporal variations of rhizosphere and bulk soil chemistry in a Douglas fir stand. *Geoderma*, 137 (3–4): 490–496.
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 85–93.

DOUGLAS-FIR AS A SOIL IMPROVING SPECIES

SUMMARY

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) belongs to the most important introduced coniferous species in Europe due to its high productivity and physiological adaptability. Its cultivation has relatively long tradition in Europe – it was introduced before 1880 into Germany (FINCH, SZUMELDA 2007), in 1880 into the Czech Republic (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008) and in 1950 into France (PONETTE et al. 2001). Its importance has especially increased during the last decades. Douglas-fir stands in the Czech Republic actually cover 5,600 ha, sharing 0.2% of the total forest area (REMEŠ et al. 2010).

Surface humus (L+F1, F2+H) and soil (Ah) samples were collected in three Douglas-fir and three Norway spruce monoculture stand groups. Humus horizons (L+F1, F2+H, Ah) were taken in the autumn 2011, quantitatively using steel frame 25 cm × 25 cm. Upper mineral horizon (Ah) was taken only qualitatively. Samples processing and chemical analyses were done at the laboratory of Forest and Game Management Research Institute in Opočno.

In the organic horizons F+H actual and potential soil acidity (Tab. 1) are significantly different (0.75 pH), whereas in the Ah horizon the difference is less pronounced and not significant. Other soil characteristics related to the acidity – exchangeable H⁺ ions and exchangeable Al³⁺ ions – have similar trends: titration acidity and exchangeable H⁺ ions content are 3 times lower in the upper organic horizon and 4 times lower in the Ah horizon under Douglas-fir. Also exchangeable aluminum has two times lower content in both evaluated horizons in the Douglas-fir group compared with the spruce group.

There are no clear differences in the total dry mass of organic horizons, humus and carbon contents, and total dry mass of organic horizons ranges between 380 and 450 g.m⁻².

Soil sorption properties (Tab. 1) show significant differences between both species in almost all indicators. Cation exchangeable capacity was by 25% higher in the spruce group (probably as a result of higher amount of humus total dry mass – even if not significant) compared to the Douglas-fir group. Nevertheless, the base saturation and total base content were approximately two times higher in both organic horizons under Douglas-fir.

Total nutrients content in the soil organic horizons (Tab. 2) (extracted by strong acid solution) did not differ with the exception of calcium. The upper horizons were by one third higher, and the Ah horizons two times higher in Calcium under Douglas-fir. Available nutrients content differences were more significant, not only for calcium and magnesium, but also for potassium and phosphorus in the upper organic horizons.

Soil acidity varied between 4.5 and 3.75 in holorganic horizons, which corresponds with nutrients-poor coniferous stands on the granite parent rock. Although higher acidity under spruce compared to grassland or deciduous trees cover has been frequently reported (ALFREDSSON et al. 1998; MALCHAIR, CARNOL 2009; FINCH, SZUMELDA 2007; PRIEZZEL 2012) being attributed to the influence of spruce (and generally) coniferous litter, there are also differences in coniferous forest floors since spruce cultivation leads to stronger acidification than Douglas-fir cultivation (PODRÁZSKÝ et al. 2010; PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005, 2008). The exchangeable acidity and exchangeable aluminum have also been much higher under spruce stand. These results are in correspondence with other authors (TURPAULT et al. 2007; ALFREDSSON et al. 1998).

Douglas-fir is the promising species in terms of volume production as well as positive influence on soil. The species is allowed to be planted as the soil- and stability-improving species on acid sites at lower and middle altitudes. Our results suggest that it could and should be even considered as a suitable species on more fertile sites where the other introduced species such as *Abies grandis* L. is expected to improve soil and forest floor properties.