

CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮD V POROSTECH DOUGLASKY TISOLISTÉ VE ČTYŘECH REGIONECH ČESKÉ REPUBLIKY

FOREST SOIL CHEMICAL PROPERTIES OF DOUGLAS-FIR STANDS IN FOUR DIFFERENT REGIONS OF THE CZECH REPUBLIC

VÍT ŠRÁMEK ✉ - VĚRA FADRHOŇSOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

✉ e-mail: sramek@vulhm.cz

ABSTRACT

Douglas-fir is important introduced tree species, which can be potentially used on sites endangered by the climate change. In total, 12 soil profiles in four different localities of the Czech Republic were sampled and analysed according to the ICP Forests methods. Results show overall strongly acidic soil reaction with pH(KCl) in the range between 4–5; low concentrations of base cations and low base saturation particularly at the soil depth from 10 cm to 40 cm; generally low content of phosphorus ($> 20 \text{ mg.kg}^{-1}$) and sufficient to good content of total nitrogen in the mineral soil. Described chemical properties of forest soils should be still convenient for Douglas-fir on well aerated loamy or loamy-silt sites, which are not influenced by water logging. The Douglas-fir growth can be suppressed on soils with very low base saturation ($BS < 5\%$), which is the reality in Prostějov soil depth from 10 cm to 40 cm. In this case, however, the extension of sorption roots to the deeper, more convenient soil layers can be expected.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: douglaska tisolistá; lesní půdy; chemické vlastnosti; půdní profil; výživa dřevin

Key words: Douglas-fir; forest soils; chemical properties; soil profile; tree nutrition

ÚVOD

Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./Franco) je vedle dubu červeného jednou z nejvýznamnějších introdukovaných dřevin v České republice. Pěstována zde byla pravděpodobně již od počátku 19. století, výrazněji se lokálně uplatňovala na některých lesních majetcích od druhé poloviny 19. století (NOŽIČKA 1961). V současné době je douglaska v České republice (ČR) zastoupena pouze na 0,22 % porostní plochy (PODRÁZSKÝ et al. 2013; KUBEČEK et al. 2014). Předpokládá se, že by její zastoupení mělo postupně vzrůst na 2–4 % porostní plochy, přičemž výrazný potenciál je spatřován v nahrazování smrkových porostů v nižších a středních polohách, zejména v oblasti současného chřadnutí smrku na Moravě a ve Slezsku (SLODIČÁK et al. 2014). Podobné uplatnění douglasky v oblastech ohrožených změnou klimatu se předpokládá i v Rakousku (ENGLISCH 2008) a Německu (KLEINSCHMIT 2000), kde se uvažuje o nárůstu zastoupení douglasky až na 10 % produkční plochy.

Podle MAUERA a PALÁTOVÉ (2012) je douglaska v našich podmínkách perspektivní zejména na středně bohatých stanovištích svěžích habrových doubrav až jedlových bučin. JASSER (2008) ji doporučuje pro

svěží až vysychavá, středně až silně kyselá stanoviště. Někteří autoři upozorňují na rizika poškození jemných kořenů a možnosti vývrátů na silně kyselých půdách (in MAUER, HOUŠKOVÁ 2014), ENGLISCH (2008) naopak upozorňuje na výskyty chlorózy na půdách s vysokým pH a volnými karbonáty. Těžké a podmáčené půdy nejsou pro douglasku vhodné kvůli poškození kořenového systému a jeho častému napadení houbovými patogeny (ENGLISCH 2008; MAUER, HOUŠKOVÁ 2014). Nároky douglasky na půdní prostředí popsal obecně již HOFMAN (1964). V posledním desetiletí vznikla řada prací, které se zabývají vztahem douglasky a půdního prostředí, zejména jejím pozitivním vlivem na stanoviště oproti smrku (např. PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008; MENŠÍK et al. 2009; KACÁLEK et al. 2010 či ULBRICHOVÁ et al. 2014). Tyto studie, souhrnně zpracované PODRÁZSKÝM et al. (2014), jsou však zaměřeny především na chemismus nadložní organické vrstvy (FH) a svrchního, humusem ovlivněného organominerálního horizontu A. Námí předkládané výsledky prezentují kompletní pedochemické analýzy půd do hloubky 80 cm ve čtyřech regionech ČR, kde je douglaska dlouhodobě pěstována. Doufáme, že tím přispějeme k probíhající diskusi o vhodných stanovištních podmínkách pro tuto dřevinu i o jejím působení na půdní prostředí.

MATERIÁL A METODIKA

Pro studii byly vybrány čtyři lokality, kde je douglaska dlouhodobě pěstována, na základě doporučení pracovníků ústavu Biologie a šlechtění lesních dřevin Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., kteří se zabývají problematikou introdukovaných dřevin. Výběr zohledňoval i ochotu konkrétních vlastníků ke spolupráci a k následné destrukční analýze vzorníků douglasky pro hodnocení biomasy. Základní charakteristiky jednotlivých lokalit jsou uvedeny v tab. 1. V každé oblasti byly odebrány půdní vzorky ve třech porostech douglasky ve stadiu tyčkoviny (ca 20–40 let), tyčoviny (ca 40–60 let) a kmenoviny (nad 80 let).

Ve vybraných porostech byly vykopány půdní sondy do hloubky 80 cm, méně pouze v případech, kdy bylo dosaženo podložní horniny. Byly vyhotoveny popisy půdních profilů, fotografická dokumentace a určen půdní typ. Následně byly odebrány vzorky půdy podle metodiky stanovené Manuálem ICP (COOLS, DeVos 2016). Vzorky minerální půdy byly odebírány z konstantních hloubek 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, 40–80 cm. Dále byly odebrány vzorky pro stanovení zásoby opadu (horizont L) a humusové vrstvy FH a jeho zásoby v porostu. Odběr těchto vzorků se provádí na čtyřech ploškách 25 cm × 25 cm pomocí kovového rámečku, ze kterého byl odebrán zvlášť veškerý opad (horizont opadanky L) a zvlášť organický materiál z horizontu FH. Vzorky opadu L a humusu (horizontu FH) byly poté vysušeny, zváženy a byla stanovena zásoba humusových horizontů v porostu (hodnocení zásoby organických horizontů není předmětem této práce). Po zvážení byly vzorky horizontu FH ze čtyř plošek pro každou plochu zhomogenizovány a byl vytvořen směsný vzorek horizontu FH pro chemické analýzy. Vzorky minerální půdy byly rovněž vysušeny, zhomogenizovány a prosátý na sítu o velikosti ok 2 mm. Chemické analýzy prováděla analytická laboratoř VÚLHM, v. v. i. Ve všech vzorcích (organických horizontů i minerálních vrstev půdy) byly stanoveny hodnoty pH(H₂O), pH(KCl) potenciometricky, výměnná acidita titrací výluhu do pH 7,8, dále obsah přístupných prvků (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na) ve výluhu chloridem barnatým metodou AAS, obsah přístupného fosforu spektrometricky, dále celkový obsah C, N, S elementární analýzou a celkový (pseudototální) obsah prvků (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Zn) ve výluhu lučavkou královskou metodou AAS, obsah celkového P a Pb metodou ICP OES. Kationtová výměnná kapacita (CEC) a nasycení sorpčního komplexu bázemi byly vypočteny z obsahu přístupných prvků a pH(KCl). Průměrné hodnoty pro jednotlivé plochy a horizonty byly vypočteny jako aritmetický průměr jednotlivých hodnot obsahu prvků zjištěných ve třech porostech různého věku na každé lokalitě, pro hodnoty pH jako aritmetický průměr koncentrací H⁺ iontů a následně logaritmováním vypočteny průměrné hodnoty pH.

Výpočet kationtové výměnné kapacity (CEC):

$$CEC \text{ (mmol/kg)} = 10^{-\text{pH(KCl)}} \cdot 1000 + \Sigma \text{baz} + \Sigma \text{acid}$$

kde

$$\Sigma \text{baz} = \text{Ca}/20,04 + \text{K}/39,09 + \text{Mg}/12,15 + \text{Na}/23,00 \text{ (mmol/kg)}$$

$$\Sigma \text{acid} = \text{Al}/8,99 + \text{Fe}/18,62 + \text{Mn}/18,31 \text{ (mmol/kg)}$$

kde:

Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na obsah přístupných prvků v mg/kg

Výpočet nasycení sorpčního komplexu bázemi (BS):

$$BS \text{ (%) } = (\Sigma \text{baz} / CEC) \cdot 100$$

VÝSLEDKY

Průměrné hodnoty a rozpětí chemických parametrů jednotlivých horizontů jsou uvedeny v tab. 2 a 3. Z hlediska půdní reakce se půdy řadí mezi silně kyselé, a to jak pro aktivní pH(H₂O) (rozmezí 3,5–4,5), tak pro výměnné pH(KCl) (rozmezí 3,0–4,0). Na většině ploch je pH nadložní organické vrstvy vyšší než u svrchních 10 cm minerální půdy (horizont M01), v hlubších vrstvách půdy pak kyselost postupně klesá (obr. 1). Rozdíly však nejsou příliš výrazné a například v sondách na Písku se projevují pouze u aktivního pH(H₂O), nikoliv ve výměnném pH(KCl). Zásoba dusíku v minerálních horizontech je střední (0,06–0,2 %) až dobrá (0,2–0,3 %), s hloubkou typicky klesá, ale v oblasti nízké zásoby (0,03–0,06 %) jsou pouze půdní vrstvy hlubších horizontů na lokalitách Písek a Prostějov. Nejvyšší obsahy N v minerálních horizontech byly zaznamenány na lokalitě Navarov (obr. 1). Obsahy dusíku v humusu jsou na všech sledovaných lokalitách poměrně vyrovnané, čemuž odpovídá i poměr C/N, který se v horizontu FH pohybuje od 20,78 na lokalitě Navarov po 22,38 na lokalitě Prostějov. Obsahy fosforu v přístupné i celkové formě vykazují ze všech živin nejvyšší variabilitu. Jednoznačně deficitní (< 20 mg.kg⁻¹) zásoby přístupné formy tohoto prvku byly zjištěny na lokalitách Opočno a Navarov, a to ve všech vzorcích minerální půdy. Lepší situace je na lokalitě Prostějov a především Písek, i zde je však z hlediska minimálních hodnot patrné, že jednotlivé případy výrazného deficitu zde byly také zjištěny, naopak některé sondy jsou na fosfor velmi bohaté.

Co se týká přístupných forem bazických živin, není situace příznivá (obr. 2). U draslíku se přístupné obsahy v minerálních horizontech pohybují v oblasti nízké (30–50 mg.kg⁻¹), na lokalitách Opočno a Navarov převážně v oblasti velmi nízké (< 30 mg.kg⁻¹) zásoby.

Tab. 1.

Charakteristika lokalit s odběry půdních vzorků
Site description of localities with soil sampling

lokality/ locality	převládající SLT/ site index	nadm. výška/ altitude	půdní typ/ soil type	podloží/ mother rock
Písek	3K	450 m	kambizem modální/ Epidystric Cambisol	ruly/ gneiss
Opočno	3H	300 m	kambizem dystrická/ Dystric Cambisol	opuky - sedimenty/ argyllite - sediments
Navarov	5K	370 m	kambizem dystrická/ Dystric Cambisol	fyllity/ phyllite
Prostějov	5K	620 m	kambizem dystrická/ Dystric Cambisol	droby/ greywacke

Tab. 2.

Půdní reakce a obsah přístupných živin a mikroprvků v půdních profilech na studovaných lokalitách
Soil reaction and content of exchangeable nutrients and other elements in soil profiles at studied localities

lokality/ locality	horizont/ horizon	cm	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	P [mg.kg ⁻¹]	K [mg.kg ⁻¹]	Ca [mg.kg ⁻¹]	Mg [mg.kg ⁻¹]	Al [mg.kg ⁻¹]	Fe [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	Na [mg.kg ⁻¹]	CEC [nmol.kg ⁻¹]	BS [%]
Písek	FH		4,84	3,98	108,2	706,4	4271	464,3	68	7,9	1283,1	14,3	325	82,9
			(4,83-5,15)	(3,96-4,39)	(50,8-138,7)	(444,8-889,6)	(4632-4788)	(421,5-494)	(45-114)	(6,7-9,6)	(1138,2-1374,6)	(15,3-16,8)	(333-350)	(83,3-86,6)
	0-10		4,13	3,26	28,7	62,3	316	50,4	534	8,5	33,7	7,1	83	26,1
			(4,04-4,36)	(3,29-3,38)	(1,9-75,9)	(56,3-66,1)	(204-374)	(37-72)	(114-686)	(6,3-11,2)	(29-44,2)	(6,3-10,3)	(66-105)	(23,7-29,5)
	10-20		4,22	3,31	84,2	44,8	81	21,2	380	4,5	26,1	7,8	51	14,3
			(4,06-4,35)	(3,15-3,48)	(1,2-236,8)	(29,1-56,4)	(49-113)	(16-24,4)	(289-464)	(2,7-5,7)	(22,3-49,5)	(4,7-13)	(40-60)	(14,3-16,4)
20-40		4,34	3,25	182,7	44,0	80	74,3	316	2,8	26,2	11,9	49	24,9	
		(4,25-4,55)	(3,19-3,45)	(1,9-522,8)	(43-46,6)	(70-88)	(23,2-97,4)	(191-465)	(1,8-4,4)	(6,4-38)	(3,4-19,5)	(31-66)	(12,3-29,3)	
40-80		4,87	3,21	451,5	77,3	294	397,4	245	2,6	15,2	10,2	78	65,5	
		(4,55-5)	(3,12-3,54)	(2,3-1337,1)	(42,3-84,2)	(82-320)	(90-760,7)	(99-444)	(2-2,9)	(3,9-26,3)	(3,8-12,9)	(43-128)	(19,4-71,6)	
Opočno	FH		4,11	3,17	16,4	303,9	3266	273,0	248	14,1	584,3	15,7	244	75,1
			(3,75-4,73)	(2,77-4)	(7-26,4)	(17,5-539,9)	(31-5983)	(6,7-479,7)	(105-513)	(1,3-30,4)	(10,7-1345,1)	(4,3-24,2)	(36-413)	(7,7-85,3)
	0-10		3,95	3,17	2,1	24,5	102	16,2	357	20,9	7,5	5,5	49	15,0
			(3,72-4,23)	(2,95-3,4)	(1,3-3,2)	(12,7-32,1)	(61-151)	(12,4-18,4)	(125-474)	(10,6-30,4)	(0,3-12)	(4,1-6,4)	(38-62)	(11,5-21,2)
	10-20		4,02	3,34	6,1	16,3	37	7,3	307	9,8	9,4	4,9	39	8,0
			(3,79-4,22)	(3,09-3,67)	(1,8-14,2)	(6,5-22,2)	(27-51)	(5,3-8,9)	(256-351)	(6,9-17,2)	(0,3-15,2)	(3,7-5,9)	(32-43)	(6,8-9,9)
20-40		4,21	3,62	11,2	19,4	44	5,8	254	5,8	12,1	3,9	33	9,7	
		(4-4,54)	(3,43-3,76)	(1,5-22,9)	(1,1-29)	(18-85)	(0,8-10,5)	(184-323)	(1,8-15,1)	(0,3-28,5)	(2,4-4,7)	(23-39)	(4,8-16,8)	
40-80		4,34	3,65	3,1	43,6	219	49,3	456	2,1	9,2	7,7	68	18,9	
		(4,13-4,58)	(3,62-3,72)	(3,5-4,9)	(1,1-68,2)	(9-440)	(1,1-102,1)	(139-667)	(0,6-3,4)	(0,3-17,2)	(3,9-10,7)	(17-96)	(4,4-30,6)	
Navarov	FH		4,24	3,30	35,8	512,8	2957	518,7	367	40,3	392,6	18,6	262	74,8
			(3,9-4,77)	(3,01-4)	(15,2-44,4)	(73,8-645,1)	(320-4577)	(272-750,4)	(192-663)	(2,8-77,7)	(26,3-526,1)	(12,7-23,3)	(64-338)	(54,6-90)
	0-10		3,93	3,03	1,5	46,7	92	32,4	781	46,1	15,7	6,1	100	10,0
			(3,73-4,36)	(2,88-3,47)	(1,1-2,3)	(45,5-53,9)	(53-165)	(16,4-46,3)	(126-928)	(11,3-88,2)	(2,5-38,1)	(5,2-8,2)	(111-117)	(5,1-18,7)
	10-20		4,13	3,35	2,5	28,3	44	15,2	561	11,9	12,4	5,7	68	7,1
			(4,04-4,33)	(3,19-3,6)	(1,6-3,5)	(27,2-39,8)	(18-88)	(8,5-25,3)	(501-680)	(5-25,3)	(4,1-23,6)	(4,1-8,7)	(71-81)	(3,9-13,4)
20-40		4,22	3,54	4,8	20,9	30	12,2	399	8,5	9,9	5,9	49	7,3	
		(4,04-4,57)	(3,28-3,88)	(3,5-6,6)	(16,4-33,6)	(10-58)	(4,5-19,1)	(259-639)	(3,3-19,1)	(4,7-17,4)	(2,9-11,3)	(31-76)	(4,6-12,8)	
40-80		4,37	3,93	10,3	10,6	62	12,6	226	2,7	3,5	7,3	30	14,7	
		(4,2-5,07)	(3,86-4,07)	(6,2-13,5)	(9,7-12,8)	(10-165)	(2,6-29,9)	(204-284)	(2,3-3,1)	(3-4,4)	(2,9-15,1)	(24-34)	(4,5-33,9)	
Prostějov	FH		4,07	3,21	65,0	336,3	3231	308,9	240	46,6	827,8	16,4	256	75,9
			(4,00-4,19)	(3,13-3,39)	(60,2-70,5)	(307,4-381,7)	(2343-3696)	(240-384,4)	(124-400)	(25,7-75,9)	(500-1040,3)	(15,6-17,3)	(213-282)	(68,2-80,4)
	0-10		3,99	3,16	7,8	30,5	73	21,1	896	60,5	21,3	4,6	111	5,7
			(3,88-4,09)	(3,08-3,25)	(3,1-15,4)	(25,5-35,6)	(62-90)	(13,4-30,7)	(777-1021)	(32,6-108,3)	(9,8-37,4)	(4,3-4,9)	(96-129)	(4,8-6,3)
	10-20		4,24	3,53	32,8	21,5	33	6,9	543	10,4	18,6	5,2	65	4,6
			(4,22-4,25)	(3,43-3,64)	(4,9-85,4)	(20,2-22,9)	(28-42)	(4,2-9,9)	(449-605)	(7-13,7)	(9,7-31,5)	(4,4-6,3)	(54-72)	(3,5-5,3)
20-40		4,27	3,66	38,7	22,2	26	7,7	425	6,9	20,2	5,2	51	5,4	
		(4,20-4,37)	(3,54-3,87)	(11,6-85,9)	(19-25)	(21-31)	(6,7-9,3)	(349-503)	(5-10,1)	(11-31)	(4,4-6,3)	(42-60)	(4,1-6,1)	
40-80		4,38	3,62	14,4	33,7	49	13,7	389	2,3	12,8	5,9	49	9,5	
		(4,29-4,52)	(3,48-3,81)	(6-25,3)	(17,5-42,1)	(31-63)	(6,7-18,3)	(288-502)	(1,9-2,8)	(10,7-16,1)	(4,3-7,2)	(36-62)	(7,7-12,1)	

V závorkách jsou udávány minimální a maximální hodnoty/In parentheses minimal and maximal values are given
CEC = kationtová výměnná kapacita/cation exchange capacity; BS = saturace bázemi/base saturation

Tab. 3.

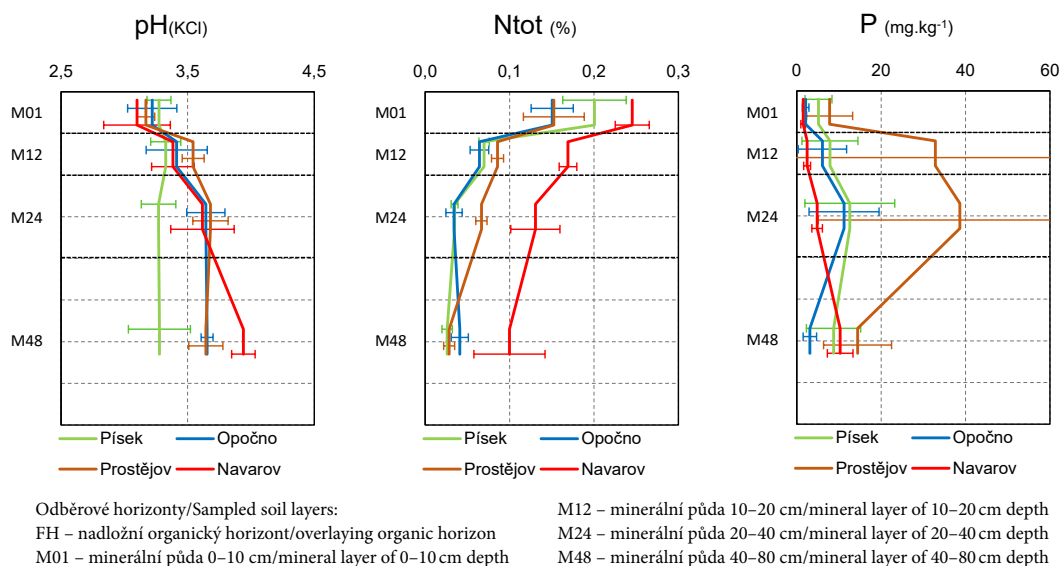
Celkové (tot) a pseudototální obsahy živin a mikroprvků v půdních profilech na studovaných lokalitách
Total (tot) and extractable content of nutrients and other elements in soil profiles at studied localities

lokality/ locality/ horizont/ horizon cm	Ctot [%]	Ntot [%]	C/N	Stot [%]	P [mg.kg ⁻¹]	K [mg.kg ⁻¹]	Ca [mg.kg ⁻¹]	Mg [mg.kg ⁻¹]	Al [mg.kg ⁻¹]	Fe [mg.kg ⁻¹]	Mn [mg.kg ⁻¹]	Pb [mg.kg ⁻¹]	
Písek	FH	32,33 (29,92-34,12)	1,53 (1,41-1,69)	21,2 (21,2-22,9)	1912 (1810-1990)	1308 (970-1559)	3228 (2813-4007)	6978 (7642-7853)	3073 (2365-3429)	12246 (9278-15513)	14036 (9483-18989)	3941 (4349-5058)	51,0 (35-61)
	0-10	4,01 (3,25-5,34)	0,20 (0,16-0,25)	19,8 (18,3-21,2)	303,0 (250-350)	563 (280-947)	4105,0 (2865-4671)	908 (299-1704)	6213,0 (3429-8866)	24580,0 (11948-27635)	28768,0 (13635-32235)	416 (303-636)	27,0 (24-34)
	10-20	1,34 (1,22-1,55)	0,07 (0,07-0,08)	19,2 (18,1-19,8)	163,0 (160-180)	588 (229-1095)	5875 (3485-6502)	639 (187-1396)	8400 (4392-14523)	26941 (20046-33158)	30628 (21884-35954)	533 (308-744)	13,0 (14-15)
	20-40	0,56 (0,45-0,62)	0,03 (0,03-0,04)	16,0 (15-17,6)	127,0 (110-160)	668 (211-1372)	8743 (6502-9556)	1002 (154-2525)	10515 (6223-18131)	29278 (23165-34927)	32594 (27083-35763)	535 (346-912)	9,0 (9-10)
	40-80	0,35 (0,25-0,46)	0,03 (0,02-0,03)	13,5 (13,2-13,6)	90,0 (90-90)	1558 (217-4094)	17068 (9556-25623)	4451 (336-12594)	18171 (8678-36021)	39769 (33408-51935)	42788 (35763-48293)	512 (274-778)	8,0 (8-10)
Opocno	FH	27,48 (0,41-35,34)	1,30 (0,02-1,64)	21,2 (16,8-23,4)	1657 (30-2030)	773 (156-1117)	1199 (434-1706)	4543 (281-8414)	822 (440-1053)	4723 (4149-5708)	5304 (3303-7670)	1578 (26-4061)	46,0 (12-52)
	0-10	3,20 (2,37-4,98)	0,15 (0,12-0,18)	20,7 (18,7-27,3)	158,0 (10-260)	193 (95-251)	820 (301-1161)	225 (122-284)	831 (303-1116)	6063 (2971-8352)	6747 (1513-9568)	109 (7-214)	20,0 (12-28)
	10-20	1,34 (1,44-1,51)	0,06 (0,05-0,07)	21,9 (15,2-31)	93,0 (80-100)	191 (63-333)	864 (300-1182)	186 (99-242)	907 (369-1194)	6467 (3231-9189)	6680 (1229-9483)	188 (5-369)	14,0 (8-20)
	20-40	0,67 (0,68-0,78)	0,03 (0,02-0,05)	21,3 (15,4-30,7)	65,0 (70-70)	170 (46-301)	1256 (199-1960)	209 (152-268)	1203 (329-1726)	7707 (2487-11844)	8060 (1160-11754)	171 (12-277)	9,0 (6-11)
	40-80	0,37 (0,32-0,43)	0,04 (0,03-0,06)	9,5 (5,9-11,6)	70,0 (60-80)	134 (34-207)	2950 (308-4690)	264 (168-401)	2344 (503-3486)	15862 (3109-23169)	13769 (1243-21111)	91 (12-168)	10,0 (3-13)
Navarov	FH	34,65 (0,46-39,54)	1,66 (0,03-1,82)	20,8 (13,5-21,7)	2220 (90-2560)	1304 (362-1389)	1732 (1537-1876)	4735 (423-7039)	1998 (952-3970)	8712 (6221-11940)	17180 (11948-20596)	915 (469-1607)	87,0 (10-94)
	0-10	3,73 (3,19-4,55)	0,25 (0,23-0,27)	15,1 (14,1-16,7)	365,0 (340-395)	669 (568-795)	1829 (1783-2143)	221 (81-485)	4749 (2021-9460)	18938 (11940-26928)	41681 (20596-42734)	415 (145-770)	54,0 (53-55)
	10-20	2,12 (1,65-2,5)	0,17 (0,16-0,18)	12,5 (10,3-13,6)	267,0 (250-290)	648 (550-747)	2052 (1408-2425)	163 (55-369)	5287 (2285-10383)	20700 (15448-28871)	42582 (41218-43567)	410 (184-654)	38,0 (38-42)
	20-40	1,35 (0,88-1,99)	0,13 (0,14-0,16)	10,5 (6,3-12,8)	270,0 (270-300)	657 (579-709)	1965 (1397-2112)	169 (44-394)	5719 (2260-11426)	20385 (14769-28202)	44786 (42961-46383)	366 (239-498)	32,0 (30-40)
	40-80	0,56 (0,55-0,76)	0,10 (0,09-0,13)	6,5 (4,3-9,4)	397,0 (240-570)	779 (558-1014)	2113 (1787-2534)	168 (37-426)	7684 (3696-15103)	22641 (16551-29762)	49483 (43808-52513)	354 (231-432)	26,0 (25-28)
Prostějov	FH	35,63 (29,81-40,79)	1,59 (1,38-1,72)	22,4 (21,6-23,8)	2130 (1810-2330)	1109 (1056-1210)	1579 (1299-1971)	4876 (3698-5526)	1180 (964-1401)	7844 (6534-9267)	9682 (6849-11145)	1389 (795-1877)	104,0 (86-122)
	0-10	3,32 (2,33-4,68)	0,15 (0,11-0,2)	21,5 (20,5-23,3)	227,0 (160-310)	401 (263-578)	2245 (1760-2906)	215 (184-252)	2679 (2136-3113)	17627 (16006-18891)	22014 (20936-24015)	274 (250-304)	35,0 (28-43)
	10-20	1,70 (1,47-1,97)	0,09 (0,08-0,09)	19,8 (19-20,9)	130,0 (110-140)	462 (264-770)	2187 (1415-2673)	173 (149-218)	3003,0 (2096-3606)	18229,0 (15605-20780)	22948,0 (22210-23976)	406 (350-496)	23,0 (19-27)
	20-40	1,26 (1,19-1,4)	0,07 (0,06-0,08)	19,0 (18,4-19,5)	127,0 (120-140)	459 (262-696)	2652 (2080-3116)	205 (158-254)	3625 (2329-4546)	19306 (16475-21466)	24622 (22031-26234)	476 (457-502)	19,0 (14-27)
	40-80	0,35 (0,22-0,42)	0,03 (0,02-0,04)	12,5 (9,5-16,8)	53,0 (30-70)	240 (156-287)	2928 (2343-3268)	205 (159-281)	4270 (3036-5670)	17808 (14376-21692)	25376 (18969-31092)	385 (335-426)	16,0 (12-20)

V závorkách jsou udávány minimální a maximální hodnoty/In parentheses minimal and maximal values are given
CEC = kationtová výměnná kapacita/cation exchange capacity; BS = saturace bázemi/base saturation

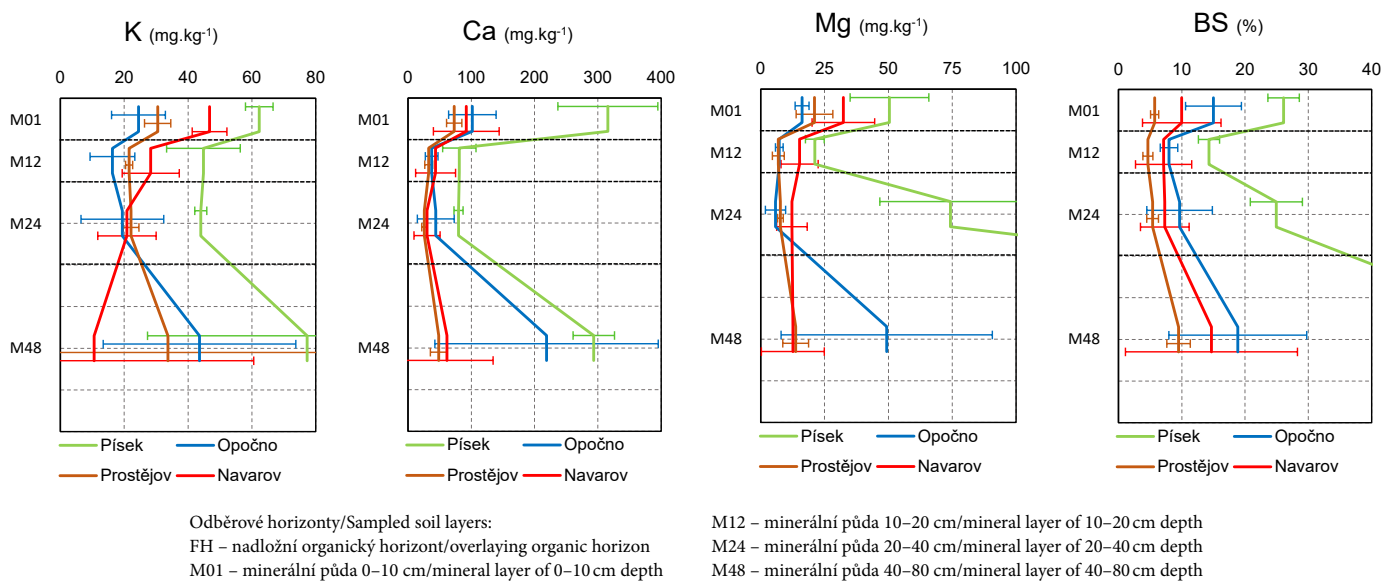
Na Písku je ze všech lokalit situace nejpříznivější, ve svrchní (0–10 cm) a nejspodnější (40–80 cm) analyzované vrstvě minerální půdy jsou obsahy K v oblasti střední zásoby (50–100 mg.kg⁻¹). U vápníku a hořčíku je situace ještě méně příznivá – pro Ca se všechny odebrané vzorky v hloubkách 10–40 cm pohybují pod hranici výrazného deficitu (140 mg.kg⁻¹), u hořčíku, kde je tato hranice 20 mg.kg⁻¹, jsou to všechny vzorky z hloubek 10–40 cm s výjimkou lokality Písek.

Obsahu jednotlivých bazických živin odpovídá i celková saturace sorpčního komplexu bázemi, která dosahuje kriticky nízkých hodnot pod 10 % zejména v hloubce půdy 10–40 cm, nejvýrazněji pak na lokalitě Prostějov, kde je tomu tak prakticky v celém profilu minerální půdy. Srovnáme-li výše uvedené s pseudototálními obsahy K, Ca a Mg (tab. 3), je zřejmé, že v případě K a Mg jsou tyto obsahy řádově vyšší, což umožňuje postupné doplňování těchto prvků do půdy zvě-



Obr. 1. Průběh vybraných parametrů půdního chemismu v půdním profilu na studovaných lokalitách (chybové úsečky znázorňují směrodatnou odchylku)

Fig. 1. Development of soil chemistry parameters in soil profiles at studied localities (standard deviation is marked by the error bars)



Obr. 2. Průběh koncentrací bazických kationtů v půdním profilu na studovaných lokalitách (chybové úsečky znázorňují směrodatnou odchylku; BS = saturace bázemi)

Fig. 2. Development of soil chemistry parameters in soil profiles at studied localities (standard deviation is marked by the error bars; BS = base saturation)

tráváním. Naopak u vápníku představují pseudototální obsahy na lokalitách Opočno, Navarov i Prostějov ani ne dvojnásobek hraniční hodnoty velmi nízkého obsahu Ca ($140 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Doplnění obsahu Ca zvětráváním tedy není pravděpodobné. Lepší je opět situace na lokalitě Písek, zejména v minerální půdě v hloubkách 20–80 cm. Obsahy manganu a železa se v půdních profilech pohybují v přirozených hodnotách, obsahy hliníku jsou zvýšené především na lokalitách Prostějov a Navarov, což odpovídá nízkým obsahům přístupného i celkového Ca.

DISKUSE

Výsledky této studie pochopitelně nepředstavují reprezentativní půdní průzkum v porostech s douglaskou tisolistou v České republice. Jde nicméně o dvanáct půdních sond s komplexními půdními analýzami v „typických“ stanovištních podmínkách pro pěstování douglasky, které poskytují zajímavé, byť nutné dílčí informace. Výsledky je možné hodnotit z několika pohledů – sondy charakterizují různý věk douglaskových porostů, i různé stanovištní podmínky charakterizované SLT. Úvodní analýza dat ovšem ukázala, že nejvýraznější rozdíly jsou právě při srovnávání čtyř odběrových lokalit v různých regionech ČR.

Prvním poznatkem je patrná odlišnost půdních parametrů od typologických kategorií. Nejpriznivější stanovištní podmínky jsou na lokalitě Opočno, kde se dvě sondy nacházejí na SLT 3H a jedna sonda na méně příznivém SLT 1P. Přinejmenším ve dvou sondách by tedy bylo možné očekávat saturaci sorpčního komplexu bazickými prvky ve výši 30–50 % (MIKESKA 2012). Ve skutečnosti se však pohybuje v rozsahu od 5 % do 20 %. Nejpriznivější hodnoty saturace bázemi jsou na plochách Písek, které jsou ve dvou případech na SLT 3K a v jednom případě na SLT 4S, pravděpodobně proto, že jde o region, který byl v minulosti méně postižen spadem kyselých atmosférických depozic (LOCHMAN et al. 2003). Posun trofických vlastností v rámci typologického systému dokládají přesvědčivě rovněž publikované výsledky z rozsáhlého průzkumu lesních půd na plochách mezinárodního monitoringu BioSoil zpracované ŠRÁMKEM et al. (2013). Odpovídají mu i výsledky rozsáhlých půdních průzkumů prováděné Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, které publikoval FIALA et al. (2013).

Z hlediska zastoupení bazických kationtů je rovněž patrné, že jejich obsahy jsou nejnížší – a velmi často i deficitní – v minerálních vrstvách půdy v hloubce 10–40 cm. Zejména na příznivějších lokalitách Opočno a Písek pak v hloubce pod 40 cm opět výrazně narůstají. Obdobný průběh jsme sledovali na příznivějších stanovištích u bukových a smíšených porostů (ŠRÁMEK et al. 2015). Je pravděpodobně způsoben kombinací kyselých atmosférických depozic a intenzivním odběrem živin kořeny stromů z těchto hloubek. Výrazně se tak liší např. od smrku, kde jsou kvůli mělkému prokořenění takto ochuzené především svrchní vrstvy minerální půdy do 20 cm. U douglasky lze do jisté míry předpokládat, že může v případě dramatického nedostatku živin posunout sorpční část kořenového systému ještě do hlubších půdních vrstev. HOFMAN (1964) popisuje intenzivní prokořenění hlubších profilů půdy (pod 60 cm) na plochách s nízkým obsahem bází. MAUER a HOUŠKOVÁ (2014) uvádějí na příznivějších stanovištích hloubku kořenového systému až 1,5 m. Co se týká zásoby bazických prvků v nadložním organickém horizontu FH, je zde situace oproti minerální půdě nepoměrně příznivější a zcela odpovídá publikovaným informacím popisujícím příznivý vliv opadu douglasky na stanoviště (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008; MENŠÍK et al. 2009; KACÁLEK et al. 2010; PRIETZEL, BACHMANN 2012; ULBRICHOVÁ et al. 2014; PODRÁZSKÝ et al. 2014).

Dalším z prvků, který se projevil jako deficitní, je fosfor. V této oblasti výsledky odpovídají řadě prací, které upozorňují na snižující se

dostupnost fosforu ve výživě lesních dřevin (EWALD 2000; LOMSKÝ et al. 2012; TALKNER et al. 2015). U přístupného P se projevila vysoká variabilita na lokalitě Prostějov, kde byly v jedné sondě více než dvojnásobné koncentrace P v půdních vrstvách 10–40 cm ve srovnání s ostatními sondami na této lokalitě. To může souviset s nerovnou distribucí tohoto prvku v důsledku odlišné půdní mikrobiální činnosti (ACHAT et al. 2012) či jiných faktorů ovlivňujících chemické vazby tohoto prvku (HU et al. 2016). Z hlavních živin jsou nejspokojivější zásoby dusíku, a to zejména ve svrchních půdních vrstvách. S hloubkou postupně klesají. Zlepšení dostupnosti tohoto prvku vlivem vysoké antropogenní depozice je obecným jevem v celé střední Evropě (NOVOTNÝ et al. 2017). Přestože dostupnost N přispívá k rychlejšímu růstu dřevin, je tento jev potenciálně rizikový vzhledem k narůstající nerovnováze s ostatními živinami – především P a bazickými kationty.

Obecně lze tedy ve všech případech hodnotit půdy pod douglaskovými porosty jako silně kyselé s nízkou zásobou bazických kationtů a potenciálně fosforu. Přestože HOFMAN (1964) uvádí pro douglasku optimální pH(H_2O) v rozsahu 4,8–5,2, můžeme se držet spíše současných prací, podle kterých by námi zjištěné chemické půdní vlastnosti na půdách s příznivými fyzikálními vlastnostmi měly douglasce vyhovovat. Podle ENGLISCHE (2008) dochází k redukci růstu těchto dřevin až při extrémně nízké saturaci bázemi (< 5 %) a také podle JASSERA (2008) dokáže douglaska obsazovat i silně kyselá stanoviště. Pro zajištění výživy bazickými prvky může být rozhodující schopnost prokořenovat sorpčními kořeny i hluboké horizonty půd, které nejsou na příznivých stanovištích v nižších a středních polohách tolik ovlivněny dlouhodobou acidifikací.

ZÁVĚR

Výsledky chemických analýz půdních profilů v douglaskových porostech z různých částí České republiky ukázaly poměrně uniformní vlastnosti, které lze charakterizovat nízkým pH (pro pH(KCl) v rozsahu 3–4), nedostatečnými obsahy bazických živin v hlavní zóně prokořenění (10–40 cm), nízkým obsahem fosforu a dostatečným obsahem dusíku. Rozdíl mezi zastoupenými typologickými kategoriemi nejsou výrazné, příznivější zastoupení bází v oblasti Písku je spíše způsobeno nižší historickou atmosférickou depozicí oproti ostatním lokalitám. Obecně lze konstatovat, že zjištěné půdní vlastnosti by měly být na dobře provzdušněných půdách pro růst douglasky dostačující, pouze na lokalitě Prostějov se nasycení sorpčního komplexu bázemi v hloubce 10–40 cm pohybuje v rozsahu, který může růst douglasky negativně ovlivňovat. Podle dostupných pramenů by však tato dřevina měla být schopna doplňovat na nepříznivých stanovištích zásobu bází i z hlubších půdních horizontů. Problémy s výživou by se tak mohly projevit spíše až ve vyšších nadmořských výškách (6.–7. LVS), kde jsou půdy obecně spíše mělké a více ovlivněné historickou acidifikací v rámci celého půdního profilu.

Poděkování:

Rádi bychom poděkovali za spolupráci vlastníkům a správcům lesních majetků, na kterých studie probíhala, tedy Lesům města Písku, s. r. o., Správě lesů a majetku Kristiny Colloredo Mansfeldové Opočno, Lesnímu podniku Navarov, s. r. o., a Lesní správě Prostějov Lesů České republiky, s. p. Prezentované výsledky vznikly v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QJ1520299 „Uplatnění douglasky tisolisté v lesním hospodářství ČR.“

LITERATURA

- ACHAT D.L., AUGUSTO L., BAKKER M.R., GALLET-BUDYNEK A., MOREL C. 2012. Microbial processes controlling P availability in forest spodosols as affected by soil depth and soil properties. *Soil Biology & Biochemistry*, 44: 39–48.
- COOLS N., DE VOS B. 2016. Part X: Sampling and Analysis of Soil. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany: 115 s. Dostupné na/Available on: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
- ENGLISCH M. 2008. Die Douglasie – Für und Wider aus standortkundlicher Sicht. *BWF-Praxisinformation*, 16: 6–8.
- EWALD J. 2000. Ist Phosphormangel für die geringe Vitalität von Buchen (*Fagus sylvatica* L.) in den Bayerischen Alpen verantwortlich? *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119: 276–296. DOI: 10.1007/BF02769143
- FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A. 2013. Průzkum výživy lesa na území České republiky, 1996–2011. Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: 149 s.
- HOFMAN J. 1964. Pěstování douglasky. Praha, SZN: 254 s.
- HU B., YANG B., PANG X., BAO W., TIAN G. 2016. Responses of soil phosphorus fractions to gap size in a reforested spruce forest. *Geoderma*, 279: 61–69. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.05.023
- JASSER C. 2008. Douglasie in Oberösterreich: Möglichkeiten und Grenzen. *BWF-Praxisinformation*, 16: 19–20.
- KACÁLEK D., NOVÁK J., BARTOŠ J., SLODIČÁK M., BALCAR V., ČERNOHOŠ V. 2010. Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy ve vztahu k druhům dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55: 19–25.
- KUBEČEK J., ŠTEFANČÍK I., PODRÁZSKÝ V., LONGAUER, R. 2014. Výsledky výzkumu douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) v České republice a na Slovensku – přehled. *Lesnický časopis – Forestry Journal*, 60: 120–129.
- KLEINSCHMIT J. 2000. Mit der Douglasie in die Zukunft. *Forst und Holz*, 55: 713–715.
- LOCHMAN V., BÍBA M., BUCEK J., FADRHOŇSOVÁ V. 2003. Vývoj depozice imisních látek a chemismu půdy v lesních porostech na plochách v okolí Temelína. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48: 30–44.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R. 2012. Changes in the air pollution load in the Jizera Mts.: effects on the health status and mineral nutrition of the young Norway spruce stands. *European Journal of Forest Research*, 131: 757–771. DOI: 10.1007/s10342-011-0549-6
- MAUER O., HOUŠKOVÁ K. 2014. Stav a vývin kořenového systému douglasky tisolisté na lesních půdách. In: Slodičák M. et al. (eds.): Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR: Silvicultural approaches for introduction of Douglas-fir into the forest mixed stands in conditions of the Czech Republic. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 144–167.
- MAUER O., PALÁTOVÁ E. 2012. Root system development in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) on fertile sites. *Journal of Forests 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 Hůrky and the Křtiny Forest Training Enterprise. *Journal of Forest Science*, 55: 345–356.
- MIKESKA M. 2012. Stanovištní kód – kombinace „Zlatníka a Plívy“. In: Rozvoj lesnické typologie a její užití v lesnické praxi. Konference u příležitosti nedožitých devadesátin pana Ing. Karla Plívy. Praha, Česká lesnická společnost: 131–138.
- NOVOTNÝ R., BURIÁNEK V., ŠRÁMEK V., HŮNOVÁ I., SKOŘEPOVÁ I., ZAPLETAL M., LOMSKÝ B. 2017. Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic - change in soil chemistry and ground vegetation. *IForest*, 10: 48–54. DOI: 10.3832/ifor1847-009
- NOŽIČKA J. 1961. Introdukce douglasky v českých zemích. Závěrečná zpráva. Zbraslav-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 55 s.
- PODRÁZSKÝ V., ČERMÁK R., ZAHRADNÍK D., KOUBA J. 2013. Production of Douglas-fir in the Czech Republic based on national forest inventory data. *Journal of Forest Science*, 59: 398–404.
- PODRÁZSKÝ V., KUPKA I., REMEŠ J., KUBEČEK J., PRKNOVÁ H. 2014. Meliorační potenciál douglasky. In: Slodičák M. et al. (eds.): Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR: Silvicultural approaches for introduction of Douglas-fir into the forest mixed stands in conditions of the Czech Republic. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 194–211.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J. 2008. Půdotvorná role významných introdukovaných jehličnanů – douglasky tisolisté, jedle obrovské a vejmutovky. *Zprávy lesnického výzkumu*, 53: 27–34.
- 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. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.12.034
- SLODIČÁK M., BERAN F., NOVÁK J., KACÁLEK D. 2014. Douglaska tisolistá a její místo v lesním hospodářství ČR. In: Slodičák M. et al. (eds.): Pěstební postupy při zavádění douglasky do porostních směsí v podmínkách ČR: Silvicultural approaches for introduction of Douglas-fir into the forest mixed stands in conditions of the Czech Republic. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 8–19.
- ŠRÁMEK V., JURKOVSKÁ L., FADRHOŇSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ NEUDERTOVÁ K. 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektu EU BioSoil. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 314–323.
- ŠRÁMEK V., VEJPUSŤKOVÁ M., ČIHÁK T., FADRHOŇSOVÁ V. 2015. Koloběh živin ve smíšených lesích. Periodická zpráva projektu LD14124. Jíloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 18 s.
- TALKNER U., MEIWES K.J., POTOCIC N., SELETKOVIC I., COOLS N., DE VOS B., RAUTIO P. 2015. Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. *Annals of Forest Science*, 72: 919–928.
- ULBRICHOVÁ I., KUPKA I., PODRÁZSKÝ V., KUBEČEK J., FULÍN M. 2014. Douglaska jako meliorační a zpevňující dřevina. *Zprávy lesnického výzkumu*, 59: 72–78.

FOREST SOIL CHEMICAL PROPERTIES OF DOUGLAS-FIR STANDS IN FOUR DIFFERENT REGIONS OF THE CZECH REPUBLIC

SUMMARY

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./Franco) is one of the most important introduced forest tree species in the Central Europe. Although it is represented just on 0.22% of forested area in the Czech Republic (PODRÁZSKÝ et al. 2013; KUBEČEK et al. 2014) its future perspectives are more extensive mainly in regions where the current Norway spruce populations are endangered by the drought periods, and prospective shift in the climatic conditions (KLEINSCHMIT 2000; ENGLISCH 2008; ŠLODIČÁK et al. 2014). Many recent studies have described positive effects of Douglas-fir on the upper layer of forest soil – FH and A horizons (e.g. PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008; MENŠÍK et al. 2009; KACÁLEK et al. 2010; ULBRICHOVÁ et al. 2014; PODRÁZSKÝ et al. 2014). Our study is focused on the complex chemistry of soil profiles.

Four regions with well-established Douglas-fir stands were selected in the Czech Republic (Tab. 1), three soil profiles in stands of different age were sampled and analysed according to the ICP Forests methods (COOLS, DE VOS 2016). Results describing soil reaction and exchangeable elements concentrations are presented in Tab. 2, total and extractable elements concentrations are presented in Tab. 3. All soil profiles are strongly acid with pH(KCl) in the range between 3–4 (Fig. 1). The overall chemistry does not strictly follow the site index with better base cations supply on the acidic (K) soil category in Písek than on nutrient rich (H) soil category in Opočno. This result corresponds with the shifts in site index categories described e.g. by ŠRÁMEK et al. (2013) and FIALA et al. (2013); differences between these particular sites are probably influenced by lower historical load of acidic deposition in the southern Bohemia region (Písek) (LOCHMAN et al. 2003). Generally, low base cations concentration has been found in the soil layer depth between 10 cm and 40 cm (Fig. 2). The same pattern was found in European beech and European beech/Norway spruce mixed stands on more fertile forest soils (ŠRÁMEK et al. 2015) and can be explained by the combined effect of acidic deposition and intensive uptake of base cation by root system. Also phosphorus concentration lay generally under the deficiency limit (20 mg.kg⁻¹) with the exception of Prostějov locality, where one sampling site contained considerably higher amount of this element (Fig. 1). Close-to limit phosphorus concentrations of European forest soils were reported by several studies (EWALD 2000; LOMSKÝ et al. 2012; TALKNER et al. 2015). Total nitrogen concentration, on the other hand, was sufficient or even increased in upper mineral soil (Fig. 1), which is probably result of N supply by atmospheric deposition (NOVOTNÝ et al. 2017).

Described chemical properties of forest soils should be still convenient for Douglas-fir on well aerated loamy or loamy-silt sites, which are not influenced by water logging (JASSER 2008). The Douglas-fir growth can be suppressed on soils with very low base saturation (BS < 5%) (ENGLISCH 2008), which is the reality in Prostějov soil depth from 10 cm to 40 cm. In this case, however, the extension of sorption roots to the deeper, more convenient soil layers can be expected (HOFMAN 1964).

Zasláno/Received: 12. 10. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 01. 12. 2017