SROVNÁNÍ OBSAHŮ A ZÁSOB PRVKŮ V HUMUSOVÉ VRSTVĚ POROSTŮ BUKU LESNÍHO, SMRKU ZTEPILÉHO A VE SMÍŠENÝCH POROSTECH TĚCHTO DŘEVIN V ČESKÉ REPUBLICE

COMPARISON OF NUTRIENT STOCK IN UPPER ORGANIC LAYER OF PURE EUROPEAN BEECH, NORWAY SPRUCE AND MIXED FOREST STANDS OF THESE SPECIES

Vít Šrámek ✉ – Věra Fadrhonsová

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

✉ ***e-mail: sramek@vulhm.cz***

ABSTRACT

Seven triplets of plots were established representing a wide gradient of environmental conditions. Each triplet contained one plot with pure European beech stand; one plot with pure Norway spruce stand and one plot with mixed stand of these species. OL and OFH layer were sampled separately from four pits at each plot. Chemical analyses of pH, total (C, N, S), extractable and exchangeable elements and calculated stock of elements were compared between plots with different tree species composition. The stock of litterfall – OL layer – varied between 0.27 $t.ha^{-1}$ and 1.60 $t.ha^{-1}$ at most of sites. The stock of OFH layer ranges from 12.4 $t.ha^{-1}$ to 186.6 $t.ha^{-1}$ and is systematically decreasing in order N. spruce > mixed stand > E. beech. The difference, however, is not statistically significant. From the whole spectra of chemical properties we found only few significant differences mainly between beech and spruce stands – pH (H_2O) and exchangeable K (both higher in beech stands), although e.g. exchangeable Mg contents were systematically the lowest at spruce plots in individual triplets. On the other hand, differences between humus forms (mor and moder) were highly statistically significant for most of nutrients. When the stock of elements in OFH layer was evaluated, significant differences were found for carbon, nitrogen, sulphur, calcium, phosphorus and lead. They are in general lower in European beech stand comparing to spruce and mixtures, which is partly connected with lower stock of organic matter itself. C/N ratio in OFH horizon varied at our plots in rather narrow range from 17.8 to 25.9. It generally decreased from N. spruce across mixed to E. beech stands. The differences, however, were not significant. More surprisingly, even the differences between mor and moder humus type were not significant, although C/N is expected to be one of the humus types diagnostic criteria. One reason could be probably found in increased nitrogen deposition in the Central Europe, which distinctly influences forest ecosystems, and the other in relatively higher throughfall N deposition under N. spruce stands comparing to E. beech.

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

Klíčová slova: smíšené porosty; obsah živin; zásoba uhlíku; humusová vrstva

Key words: mixed forest stands, nutrient contents; carbon stock; upper organic soil layer

ÚVOD

Smíšené porosty se v posledních desetiletích opět dostávají do popředí zájmu lesnické praxe i lesnického výzkumu (Carnol et al. 2014). Tato zvýšená vlna pozornosti je do značné míry způsobena současnými projevy probíhající změny klimatu. Ta v oblasti střední Evropy ohrožuje především porosty smrku ztepilého jako dřeviny, která byla dlouhodobě preferována pro svoji vysokou produkci i na stanovištích mimo své ekologické optimum (MŽP 2011).

U smíšených porostů byla doložena řada pozitivních jevů ve srovnání s jednodruhovými lesy a monokulturami. Prokázána byla např. zvýšená produkce (Piotto 2007; Perot, Picard 2012), lepší využití vody (Forrester 2015) a s ní spojená menší citlivost proti projevům sucha (Mölder, Leuschner 2014), či lepší využití zásob živin v ekosystému (Nickmans et al. 2015). Uvedené pozitivní efekty ovšem neplatí plošně, nýbrž jsou závislé na konkrétních druzích dřevin, vlastnostech konkrétního stanoviště (Bieliak et al. 2014; Toïgo et al. 2015) i na dalších faktorech (Condés et al. 2013). Obecně lze tento efekt očekávat především ve směsích listnatých dřevin a stálezelených konifer díky komplementární architektuře korunové vrstvy (Dieler, Pretzsch 2012; Pretzsch 2014) s maximálním využitím světla a ve smíšených porostech dřevin s různou hloubkou prokořenění půdních vrstev, a tedy „kompatibilními" nároky na získávání vody a živin z půdního prostředí. Smíšené porosty smrku a buku tak vlastně představují ideální typ směsi, ve které by mělo k pozitivním interakcím dřevin docházet.

Druhové složení lesního porostu výrazně ovlivňuje další, vzájemně provázané faktory ekosystému – mikroklima a vlastnosti lesních půd. Nadložní vrstva organické hmoty (humusová vrstva) sice představuje poměrně malý podíl půdního prostředí (ca 1–12 %), ale má zcela zásadní význam pro jejich chemické a fyzikální vlastnosti a je rozhodující z hlediska biologických procesů, které v půdě probíhají (Fisher, Binkley 2000) a nejdynamičtěji reaguje na změny vegetačního krytu (Podrázský et al. 2009). Dřeviny ji ovlivňují především kvalitou opadu (Hughes, Fathey 1994; Novák et al. 2013), změnou mikroklimatu porostního prostředí (Podrázský et al. 2005), ale i různou mírou zachytávání kyselých depozic z atmosféry (Oulehle et al. 2005). Organická vrstva půdy je významným nositelem sekvestrace uhlíku (Grüneberg et al. 2014), na acidifikovaných lokalitách také hlavní zásobou bazických živin (Šrámek et al. 2011) a významnou roli hraje rovněž v procesu sorpce a přeměny vysokých depozic dusíku. Předkládaná studie prezentuje rozdíly v množství a chemickém složení humusové vrstvy smrkových, bukových a smíšených porostů v různých oblastech České republiky.

MATERIÁL A METODIKA

Výběr ploch

Základem pro výběr ploch byla síť monitoračních ploch I. úrovně programu ICP Forests. Z databáze ploch byly v prvním kroku vybrány plochy se smíšenými porosty smrku a buku. V jejich okolí pak byly vybrány další dvě plochy – nesmíšené, vždy jedna v porostu buku, jedna v porostu smrku. Výběr byl prováděn tak, aby se plochy v jednom tripletu příliš nelišily nadmořskou výškou, typologickým zařazením a geologickým podložím. V některých oblastech nebylo možné využít plochu ICP Forests, protože se příliš lišila pedologickými či typologickými charakteristikami, a proto byly nově založeny všechny tři plochy v rámci jednoho tripletu (Klepačka, Všeteč). Plochy byly vybrány v 7 oblastech – Lužické hory (Chřibská), Šumava (Volary), Písecké hory (Všeteč), Železné hory (Libice nad Doubravou), Jeseníky (Rejvíz), Beskydy (Klepačka), Bílé Karpaty (Sidonie). Nadmořská výška jednotlivých ploch se pohybuje od 480 m n. m. (Libice n. D.) do 1070 m n. m. (Volary), průměrná roční teplota od 3–4 °C na Klepačce po 6–7 °C (Libice n. D., Všeteč, Sidonie) a průměrné roční úhrny srážek od 500–600 mm na ploše Všeteč do více než 1200 mm na ploše Klepačka. Převládajícím půdním typem jsou kambizemě (dystrické až modální), typologicky plochy zahrnují řadu živnou (B), svěží (S) i kyselou (K) (tab. 1).

Odběr vzorků a laboratorní analýzy

Na každé ploše byly pomocí kovového rámečku odebrány vzorky humusu ze čtyř plošek o rozměrech 25 cm × 25 cm. Zvlášť byl odebrán vzorek opadanky (horizont OL) a zvlášť vzorek fermentačního a humusového horizontu OFH. Byla zjištěno mocnost humusových vrstev a stanovena forma humusu podle národní klasifikace (Vokoun et al. 2002; Vokoun, Macků 1993). Jednotlivé vzorky byly vysušeny a zváženy, aby bylo možné stanovit zásobu humusu. Analyzovány byly směsné vzorky OFH vždy ze všech čtyř plošek v rámci jedné plochy. Ve zkušebních laboratořích Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti byly analyzovány následující parametry metodami pro-

Tab. 1.
Základní charakteristiky výzkumných ploch
Basic characteristics of the research plots

plocha – dřevina/ plot – species	sev. šířka/ latitude	vých. délka/ longitude	nadm. výška/ altitude	SLT/ ecosite	půdní typ/soil type	humusová forma/ humus form
Libice n. D. - směs	49°45'15''	15°41'24''	480 m	3S1	kambizem modální/Cme	morový moder/mormoder
Libice n. D. - SM	49°45'20''	15°41'17''	480 m	3S1	kambizem modální/Cme	typický moder/typical moder
Libice n. D. - BK	49°45'19''	15°41'25''	480 m	3S1	kambizem modální/Cme	mulový moder/mullmoder
Všeteč - směs	49°13'27''	14°18'23'''	555 m	4S1	kambizem modální pseudoglejová/CMg	typický moder/typical moder
Všeteč - SM	49°13'24''	14°18'29''	550 m	4S1	kambizem modální pseudoglejová/CMg	typický moder/typical moder
Všeteč - BK	49°13'23''	14°18'20''	550 m	4S1	kambizem modální pseudoglejová/CMg	typický moder/typical moder
Sidonie - směs	49°04'07''	18°05'29''	550 m	4B4	kambizem modální mírně oglejená/CMeg	pravý mul/vermimull
Sidonie - SM	49°03'56''	18°05'09''	555 m	4B4	kambizem modální mírně oglejená/CMeg	typický moder/typical moder
Sidonie - BK	49°03'58''	18°05'20''	560 m	4B4	kambizem modální mírně oglejená/CMeg	pravý mul/vermimull
Chřibská - směs	50°52'02''	14°32'43''	500 m	5K1	kambizem dystrická/CMd	mělový mor/humimor
Chřibská - SM	50°51'33''	14°32'33''	500 m	5K1	kambizem oglejená, podzolovaná/CMgd	drnový mor/hemimor
Chřibská - BK	50°51'33''	14°33'21''	600 m	5K1	kambizem dystrická/CMd	mělový mor/humimor
Klepačka - směs	49°26'43''	18°23'31''	850 m	5S1	kambizem dystrická/CMd	mělový mor/humimor
Klepačka - SM	49°26'38''	18°23'27''	895 m	5S1	kryptopodzol/CMd	mělový mor/humimor
Klepačka - BK	49°26'39''	18°22'59''	890 m	5S1	kryptopodzol mírně oglejený/CMdg	typický moder/typical moder
Rejvíz - směs	50°14'19''	17°16'09''	780 m	6S1	kryptopodzol/CMd	mělový mor/humimor
Rejvíz - SM	50°14'19''	17°16'14''	775 m	6S1	kryptopodzol/CMd	mělový mor/humimor
Rejvíz - BK	50°13'59''	17°15'27''	780 m	6S1	kryptopodzol/CMd	morový moder/mormoder
Volary - směs	48°53'23''	13°56'05''	1020 m	6K1	kambizem dystrická/CMd	mělový mor/humimor
Volary - SM	48°53'23''	13°56'08''	1025 m	6K1	kambizem dystrická/CMd	mělový mor/humimor
Volary - BK	48°56'01''	13°51'42''	1070 m	6S1	kambizem dystrická/CMd	morový moder/mormoder

směs = mixed stand; SM = Norway spruce; BK = European beech; SLT = ecosite

gramu ICP Forests (Cools, de Vos 2013): obsah sušiny, pH(H_2O), pH($CaCl_2$), pH(KCl), přístupné prvky ve výluhu chloridem barnatým (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn), přístupný P, celkový obsah C, N, S, pseudototální obsah prvků ve výluhu lučavkou královskou (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, P, Pb, Zn). Plochy Sidonie směs a Chřibská smrk byly zařazeny do projektu mezinárodního monitoringu půd Biosoil – pro tyto plochy byla tedy využita data z tohoto projektu.

Zpracování dat

Zásoba nadložních a organických vrstev OL a OFH byla vypočítána na základě hmotnosti po vysušení zjištěné, ve vzorcích odebraných ze čtyř rámečků o ploše 0,0625 m^2 (pro každý rámeček zvlášť) a byla vyjádřena v tunách na ha. Chemická analýza, a tedy i výpočet celkové zásoby prvků, byly provedeny pouze pro horizont OFH. Horizont OL analyzován nebyl, neboť jeho vlastnosti jsou v průběhu roku velmi proměnlivé v závislosti na termínu odběru a průběhu meteorologických podmínek. Zásoba prvků byla vypočítána vynásobením zásoby organické hmoty horizontu OFH a celkového obsahu prvku v případě C, N a S a pseudototálního obsahu prvku v případě Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, P a Zn. Základní statistické výpočty byly provedeny v software Unistat 5.1. Pro posouzení odlišnosti střední hodnoty jednotlivých skupiny byl použit t-test a Dunn test na hladině významnosti $p < 0,05$.

VÝSLEDKY

Humusová forma na jednotlivých plochách je prezentována v tab. 1. Informace o celkovém množství opadanky (OL) a svrchní humusové vrstvy (OFH) jsou uvedeny v tab. 2, výsledky chemických analýz shrnují tab. 3 a 4. Množství opadanky (OL) se na jednotlivých plochách pohybuje od 0,27 $t.ha^{-1}$ (smíšená plocha Rejvíz) do 5,44 $t.ha^{-1}$ (smrková plocha Chřibská). Tato nejvyšší hodnota je však v rámci celého souboru odlehlá a je ovlivněna zabuřeněním plochy Chřibská – v těchto podmínkách se do horizontu OL dostává i odumřelá část travního drnu, která celkové množství významně zvyšuje. Pokud tedy tuto hodnotu opomineme, je další maximum horizontu OL 1,60 $t.ha^{-1}$ na smrkové ploše Klepačka. Ve čtyřech případech byla nejvyšší zásoba organické hmoty v horizontu OL zjištěna ve smrkových porostech, ve dvou případech v bukových porostech a v jednom případě ve směsi těchto dřevin. Nejnižší zásoba pak byla zjištěna pětkrát na smíšených plochách a dvakrát na plochách s bukem. Signifikantní rozdíly v zásobě opadanky v porostech jednotlivých dřevin byly zjištěny pouze na tripletech Libice n. D., Sidonie a Rejvíz. Z hlediska průměrných hodnot podle dřevin (obr. 1) byla ve smíšených porostech zjištěna nižší zásoba opadanky oproti čistým porostům buku a smrku – rozdíly však nejsou statisticky signifikantní.

Zásoba organické hmoty fermentačního a humifikačního horizontu (OFH) se pohybuje od 12,4 $t.ha^{-1}$ v bukovém porostu na ploše Sidonie po 186,6 $t.ha^{-1}$ ve smrkovém porostu na smrkové ploše Volary. Podle předpokladů je nejvyšší v případě morových forem humusu ve srovnání s moderem či mulem (obr. 2). V naprosté většině případů je zásoba horizontu OFH v rámci studovaných tripletů nejvyšší ve smrkovém porostu, výjimkou jsou triplety Libice n. D. a Rejvíz, kde je vyšší v porostu smíšeném. Nejnižší zásoby jsou naopak s výjimkou plochy Všeteč v porostu buku. Při souhrnném hodnocení všech sedmi tripletů jsou rozdíly v zásobě horizontu OFH zřetelně sestupné v pořadí ploch: smrk > smíšený porost > buk, vzhledem k vysoké variabilitě však ani v tomto případě nejsou rozdíly signifikantní (obr. 1).

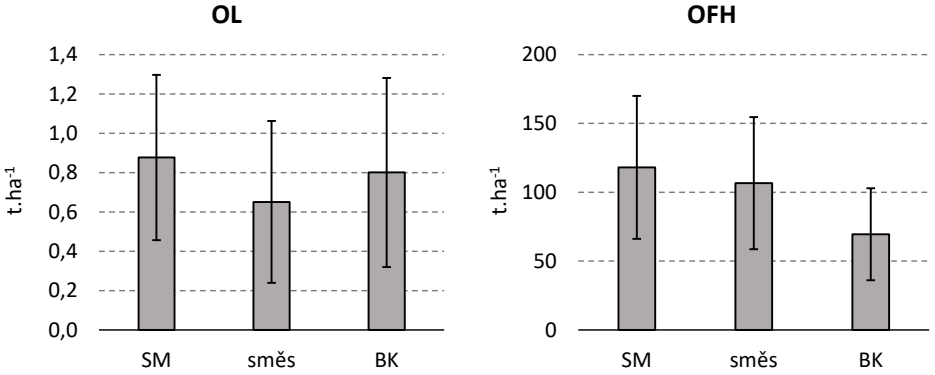
Většinu odebraných vzorků humusové vrstvy OFH lze charakterizovat jako silně kyselé (pH(H_2O) mezi 3,5–4,5; pH($CaCl_2$) mezi 3–4). Méně příznivé hodnoty pH byly zjištěny ve smrkových porostech od pátého vegetačního stupně výše, kde se pohybovaly na úrovni velmi silně kyselé kategorie (pH($CaCl_2$) 2–3). Vzorky na úrovni středně kyselé ka-

Tab. 2.
Zásoba opadu (OL) a humusové vrstvy (OFH) na plochách ve smrkových, smíšených a bukových porostech ($t.ha^{-1}$)
Stock of litterfall (OL) and humus layer (OFH) in the Norway spruce, mixed and European beech stands ($t.ha^{-1}$)

plocha/ plot	horizont/ horizon		Smrk/ Norway spruce	smíšený porost/ mixed stand	Buk/ European beech
Libice n D.	OL	průměr	0,68	0,34	0,67
		smodch	0,16	0,03	0,19
		Dunn	a	b	ab
	OFH	průměr	62,40	110,40	49,60
		smodch	14,01	33,93	13,90
		Dunn	a	b	a
Všeteč	OL	průměr	0,45	0,31	0,51
		smodch	0,19	0,06	0,20
			a	a	a
	OFH	průměr	74,20	60,80	73,40
		smodch	12,64	7,48	28,97
		Dunn	a	a	a
Sidonie	OL	průměr	0,60	1,28	0,46
		smodch	0,21	0,39	0,09
		Dunn	ab	b	a
	OFH	průměr	58,40	14,40	12,40
		smodch	23,03	6,38	1,44
		Dunn	b	a	a
Chřibská	OL	průměr	5,44	1,27	1,74
		smodch	4,09	0,81	0,46
		Dunn	a	a	a
	OFH	průměr	165,28	150,60	122,00
		smodch	61,26	42,17	34,14
		Dunn	a	a	a
Klepačka	OL	průměr	1,60	0,64	0,36
		smodch	0,79	0,04	0,10
		Dunn	a	a	a
	OFH	průměr	174,60	158,60	54,60
		smodch	56,10	87,17	21,09
		Dunn	b	b	a
Rejvíz	OL	průměr	1,30	0,27	0,55
		smodch	1,49	0,05	0,15
		Dunn	ab	b	a
	OFH	průměr	105,20	117,60	71,00
		smodch	16,20	29,05	10,69
		Dunn	b	b	a
Volary	OL	průměr	0,63	0,45	1,31
		smodch	0,12	0,16	0,67
		Dunn	a	a	a
	OFH	průměr	186,60	134,00	103,60
		smodch	23,10	23,63	37,89
		Dunn	b	a	a

Dunn – rozdělení homogenních skupin podle metody mnohonásobného porovnávání Dunn ($\alpha < 0,05$); počet odběrů n = 4 na každé ploše/homogenous groups according to the Dunn multiple comparison ($\alpha < 0.05$); průměr = average; smodch = standard deviation; number of samples n = 4 per plot

tegorie (pH(H_2O) 4,5–5,5; pH($CaCl_2$) 4–5) byly odebrány v bukovém porostu na Všetči a smrkovém porostu na Sidonii, středně kyselá byla vrstva nadložního humusu v bukovém porostu v Libici a nejpříznivější pH v oblasti mírně kyselé bylo zjištěno na Sidonii. Na většině tripletů hodnoty pH narůstaly směrem od smrkového porostu, přes smíšenou plochu k buku. Výjimkou jsou triplety Sidoine a Chřibská, kde bylo nejvyšší pH zjištěno na smíšené ploše. Signifikantní jsou rozdíly pouze mezi smrkovými a bukovými porosty a pouze pro aktivní pH(H_2O). U výměnného pH($CaCl_2$) jsou sice rozdíly patrné, ale nikoli signifikantní (obr. 3). Na druhou stranu, rozdíly v pH mezi moderovými a mulovými formami humusu jsou signifikantní jak pro aktivní, tak pro výměnné pH.



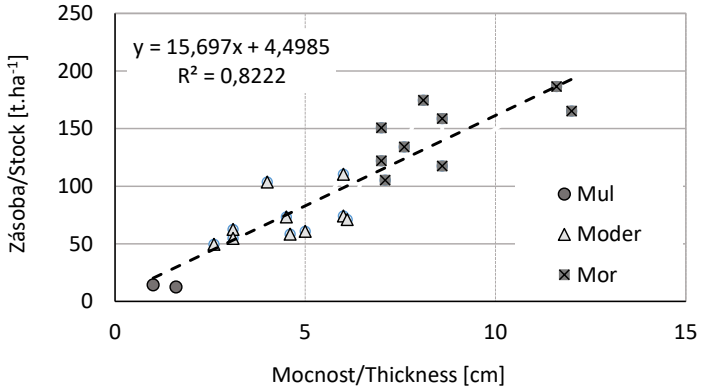
Obr. 1.
Zásoba organické hmoty v humusových horizontech OL a OFH v souboru smrkových, smíšených a bukových porostů; rozdíly mezi jednotlivými typy porostů nejsou signifikantní
Fig. 1.
Dry matter stock in the soil organic layers OL and OFH in the forest stands with dominant Norway spruce („SM"), mixed forests („směs") and stands with dominant European beech („BK"); differences are not significant

Tab. 3.
Hodnoty pH, výměnné acidity (Aexch) a obsahy přístupných živin a mikroprvků v humusové vrstvě (OFH) na plochách se smrkovými, smíšenými a bukovými porosty
pH values, exchange acidity (Aexch and exchangeable contents of nutrients and other elements in the organic (OFH) layer of Norway spruce, European beech and mixed stands

plocha/plot	dřevina/ species	pH(H_2O)	pH($CaCl_2$)	Aexch [mmol.100g^{-1}]	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	Na
					[mg.kg^{-1}]							
Libice n. D.	SM	4,19	3,45	5,15	3338	214,4	171,6	45,8	137,7	4,31	574,5	8,73
	směs	4,20	3,27	8,08	3194	413,6	196,6	26,7	282,3	27,28	193,7	16,46
	BK	4,99	4,08	1,96	2691	436,3	236,4	46,7	81,5	2,60	667,4	19,86
Všeteč	SM	4,22	3,45	5,90	3426	275,7	303,9	42,5	178,4	10,44	493,7	15,03
	směs	4,47	3,50	6,66	3174	515,1	482,3	52,6	165,0	6,09	658,5	25,20
	BK	4,63	3,55	13,52	1957	713,0	427,6	49,6	388,8	23,82	444,4	25,67
Sidonie	SM	4,63	3,93	3,60	4160	235,1	226,2	38,4	198,4	19,55	1070,2	8,86
	směs	5,98	5,38	0,40	6649	604,0	482,4	-	10,3	2,76	558,4	11,43
	BK	5,79	5,23	1,58	8505	692,2	1093,4	51,4	53,2	23,96	415,7	17,92
Chřibská	SM	3,96	2,89	14,68	425	193,0	63,9	-	978,0	145,44	95,0	20,75
	směs	4,13	3,05	16,83	943	292,3	170,6	18,6	1155,7	100,15	46,8	21,32
	BK	4,07	3,15	16,91	1097	374,0	117,9	23,9	1118,1	89,84	112,8	28,08
Klepačka	SM	3,93	2,92	14,14	566	260,8	93,3	20,0	796,3	100,03	48,5	10,59
	směs	4,01	3,00	15,39	973	191,5	656,3	24,1	921,5	25,44	53,5	9,70
	BK	4,24	3,43	8,74	1632	367,3	182,9	64,9	535,3	57,87	283,9	7,49
Rejvíz	SM	3,86	3,02	14,75	1102	290,0	161,5	40,2	771,4	81,19	195,5	18,86
	směs	3,94	3,07	13,61	1310	389,7	239,2	26,7	837,0	145,09	313,8	26,24
	BK	4,51	3,42	10,87	1103	379,2	248,0	15,3	895,5	72,66	179,3	9,29
Volary	SM	3,84	2,88	15,52	1203	215,9	171,0	24,0	469,0	82,59	161,3	24,09
	směs	4,07	3,02	13,53	1042	306,7	180,7	34,7	498,3	68,02	160,0	20,22
	BK	4,29	3,14	19,15	983	515,2	253,0	32,6	692,9	104,13	130,2	20,72

směs = mixed stand; SM = Norway spruce; BK = European beech; počet odběrů n = 4 na každé ploše; number of samples n = 4 per plot

Obsah přístupných živin signifikantě narůstal směrem od smrkového porostu, přes směs k porostu bukovému pouze v případě draslíku (obr. 4), kde byl tento gradient zjištěn ve všech tripletech s výjimkou Klepačky (nejnižší obsah na smíšené ploše) a Rejvízu (nejvyšší obsah na smíšené ploše). Pro hořčík platí, že ve všech případech byly nejnižší obsahy zjištěny ve smrkovém porostu, nejvyšší pak ve třech případech (Všeteč, Chřibská, Klepačka) na smíšených plochách, v ostatních případech v porostech buku. Nejpřekvapivější je situace u vápníku, kde na třech plochách roste obsah přístupného Ca v pořadí smrk – smíšený porost – buk (Sidonie, Chřibská, Klepačka), ve třech případech obráceně (Libice, Všeteč, Volary) a v jednom případě je téměř shodný ve smrku i v buku, ale na smíšené ploše je výrazně vyšší. Rozdíly v obsahu přístupných živin mezi humusovou formou moderem a morem, byly vždy signifikantní. Tato situace (neprůkazný rozdíl mezi plocha-



Obr. 2.
Mocnost a zásoba humusových horizontů OFH podle jednotlivých forem humusu v souboru analyzovaných ploch
Fig. 2.
Thickness and dry matter stock in OFH horizons at studied plots

Tab. 4.
Celkové (tot) a pseudototální obsahy živin a mikroprvků v humusové vrstvě (OFH) na plochách se smrkovými, smíšenými a bukovými porosty
Total (tot) and extractable contents of nutrients and other elements in the organic (OFH) layer of Norway spruce, European beech and mixed stands

plocha/plot	dřevina/ species	Ctot [%]	Ntot [%]	C/N	Stot	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	Zn	Pb
					[mg.kg^{-1}]									
Libice n. D.	SM	29,46	1,24	23,80	1570	4514	2152	915,9	803,2	5943,1	6922,48	1143,0	38,81	40,94
	směs	32,80	1,58	20,70	2020	4278	1667	728,9	777,0	5796,1	6950,69	272,9	43,02	96,11
	BK	20,30	1,14	17,80	1120	4120	1983	1022,0	967,0	4991,7	7484,39	3948,8	50,02	142,18
Všeteč	SM	30,95	1,07	29,00	1450	4425	1222	853,2	776,6	4748,7	6270,03	1442,9	45,91	53,04
	směs	38,16	1,64	23,28	2020	4136	1175	838,4	1079,3	4373,6	4975,61	1283,4	51,64	62,77
	BK	29,11	1,45	20,09	1630	2423	1811	960,4	998,4	6087,3	6317,63	682,7	52,45	49,41
Sidonie	SM	39,70	1,80	22,00	2110	7068	1924	1376,8	1367,4	9533,6	9827,28	3925,5	56,14	81,16
	směs	30,83	1,23	25,00	1140	11258	2176	2342,9	883,6	8095,6	9414,14	1978,4	70,50	23,88
	BK	36,32	1,40	25,92	1250	18204	2454	1994,1	1011,6	5198,7	6762,83	1649,7	62,91	14,03
Chřibská	SM	25,53	1,24	20,62	1830	702	716	851,2	688,2	9840,2	12056,81	195,1	47,33	145,38
	směs	32,83	1,53	21,53	1900	1389	1105	666,4	805,0	8878,9	9341,13	107,9	37,06	149,28
	BK	32,53	1,77	18,38	2380	1672	1236	796,2	1103,3	10101,9	14269,72	206,8	61,39	240,20
Klepačka	SM	27,88	1,33	20,96	1770	712	1876	995,7	1016,4	11263,7	15717,72	154,1	67,17	143,91
	směs	39,20	1,93	20,35	2290	1366	2569	1120,3	1287,0	12366,5	22851,60	180,6	84,85	171,17
	BK	28,28	1,58	17,91	1830	2318	3368	1362,1	1396,9	13287,4	22735,72	476,4	88,35	146,79
Rejvíz	SM	43,20	2,07	20,83	2660	1813	1116	929,0	1258,7	6823,6	12003,67	284,2	66,04	205,37
	směs	37,98	1,85	20,48	2350	2175	1199	1200,0	1251,6	7460,3	13307,59	467,1	85,01	224,82
	BK	24,45	1,36	18,02	1700	1767	3133	4051,3	1126,4	16825,3	31980,87	425,3	105,03	145,45
Volary	SM	38,90	1,65	23,61	2140	1405	1082	567,9	912,5	5814,5	6658,05	206,8	36,95	110,33
	směs	31,53	1,48	21,27	1920	1155	1470	683,8	947,9	6490,0	7670,18	224,5	37,24	75,24
	BK	34,47	1,74	19,79	2000	1138	1541	1054,5	994,0	9111,6	10449,97	196,7	53,74	61,70

směs = mixed stand; SM = Norway spruce; BK = European beech; počet odběrů n = 4 na každé ploše; number of samples n = 4 per plot

mi s různým dřevinným složením, průkazné mezi různými formami humusu) platí i pro ostatní přístupné prvky s výjimkou sodíku, u kterého není signifikantní rozdíl ani mezi moderem a morem.

Také v případě celkových obsahů prvků (tab. 3) nebyly zjištěné signifikantní rozdíly mezi skupinou smrkových, bukových a smíšených porostů. Systematický nárůst či pokles celkového obsahu prvků v gradientu smrk – smíšený porost – buk tu byl ještě méně zřetelný než u přístupných forem. Při posuzování rozdílu mezi skupinou moderu a moru byly zjištěny signifikantní rozdíly pouze v případě bazických živin Ca, K, Mg a manganu, jejichž celkové obsahy byly vyšší v moderové formě humusu, a síry a olova, které byly signifikantně vyšší v moru.

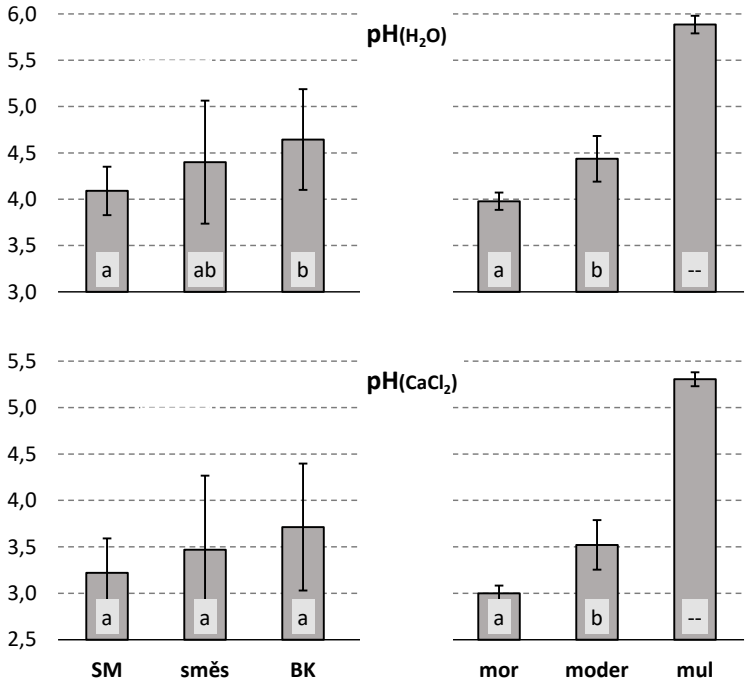
Pro zásobu prvků v nadložních organických vrstvách půdy v horizontu OFH jsou signifikantní rozdíly mezi porosty s rozdílným druhovým složením pouze u šesti prvků – uhlíku, dusíku, síry, vápníku, fosforu a olova (obr. 5 a 6). Nejnižší zásoba těchto prvků v bukových porostech odpovídá i celkově nejnižší zásobě humusové vrstvy (obr. 1). Smíšené porosty se ve většině případů neodlišují od ploch s čistým smrkem, v případě fosforu a olova nevykazují signifikantní rozdíly ani ve srovnání s dalšími variantami – čistým porostem smrku či buku. Tento vztah ovšem není jednotný pro všechny studované triplety. Např. na tripletech Chřibská a Všeteč nebyly pozorovány signifikantní rozdíly v zásobě C, N a S; zásoba Ca je na Chřibské nejnižší ve smrkovém porostu, obsah olova je na tripletu Libice nejnižší ve smrkovém porostu apod. Podstatně jednoznačnější jsou naopak rozdíly zásob jednotlivých prvků mezi jednotlivými formami humusu, respektive mezi moderem a morem. Ty byly s výjimkou vápníku (obr. 6) a manganu signifikantní u všech studovaných prvků.

Kromě výsledků obsahů a zásob živin a mikroprvků můžeme hodnotit na základě získaných dat i další významný parametr – poměr C/N v horizontu OFH. Ten na jednotlivých plochách dosahoval hodnot od 17,8 po 25,9 (tab. 4). Přestože na většině tripletů s výjimkou Sidonie klesal ve směru od smrkové plochy po plochu bukovou, absolutní rozdíly byly malé a nejsou signifikantní. Signifikantní nejsou ani rozdíly pro moder (průměr 21,2) a mor (průměr 20,9).

Tabulka 5 shrnuje signifikantní závislosti celkové zásoby humusové vrstvy na jejích chemických vlastnostech napříč všemi kategoriemi. Rozhodujícími parametry jsou půdní reakce a kationtová výměnná kapacita, z bazických prvků v přístupné i pseudototální formě je významný především obsah vápníku.

DISKUSE

Množství a kvalita nadložních organických vrstev je ovlivněna řadou vzájemně provázaných veličin, jako jsou klimatické faktory, fyzikální, chemické a hydrické vlastnosti půd, zoo- a fytoedafon a v neposlední řadě druh rostlinného pokryvu, který je v případě lesních porostů reprezentován především druhovou skladbou a prostorovou strukturou lesa. Různé druhy dřevin ovlivňují vlastnosti nadložního humusu např. kvalitou opadu (Berg, Laskovski 2006), transportem živin z různých vrstev půdního profilu; ovlivňují mikroklima, vstup látek ve formě atmosférické depozice a v některých případech speciálními vlastnostmi, jako je poutání atmosférického dusíku symbiotickými hlízkovými bakteriemi v případě olší (např. Kacálek et al. 2010). Lesní hospodářství tak může na konkrétním stanovišti ovlivnit dynamiku nadložních humusových vrstev jak úpravami druhové skladby

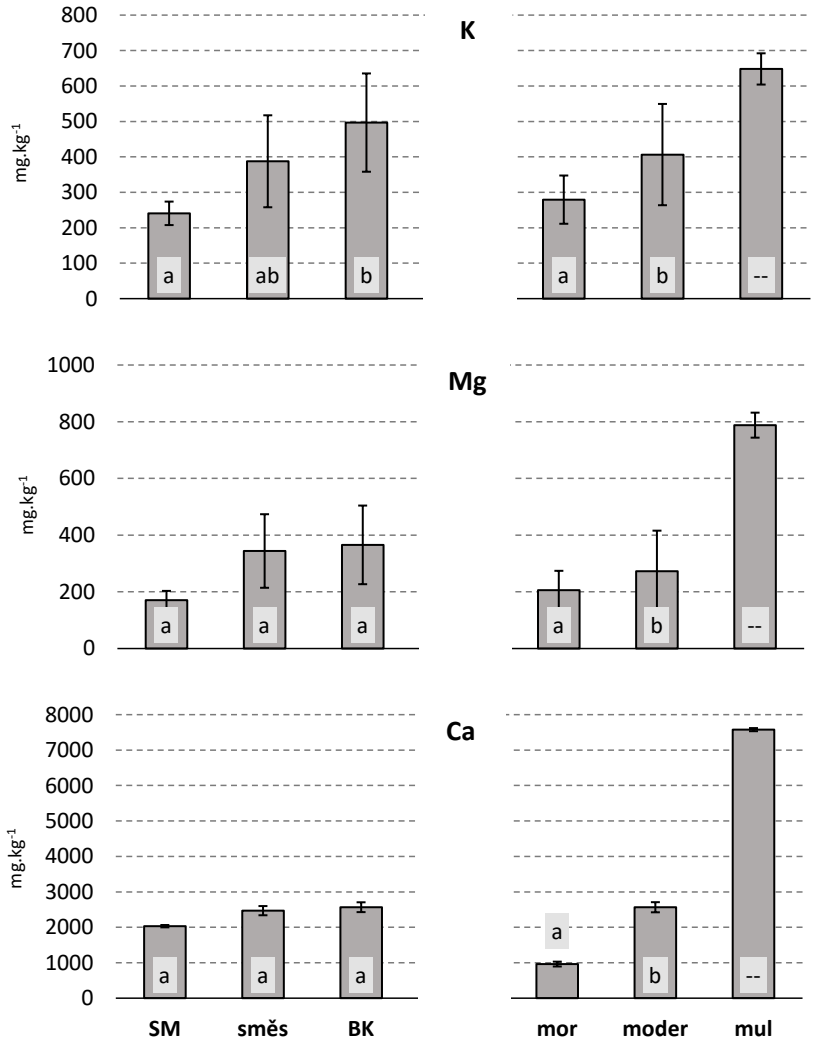


Obr. 3.
Střední hodnoty půdní reakce horizontu OFH na plochách s různou dřevinnou skladbou (vlevo) a s různou formou humusu (vpravo). Uvedené indexy označují homogenní skupiny, pro mul nebyla významnost odlišností počítána, neboť v této kategorii byly pouze dva odběry, počet analýz v jednotlivých kategoriích SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

Fig. 3.
Mean values of pH in OFH horizon on plots with different species composition (left) and different humus forms (right). Indexes indicate homogenous groups. For mull no statistical comparison was provided due to low number of plots (2) with this humus form. SM = N. spruce; směs = mixed fores; BK = E. beech, number of analyses in individual categories: SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

(Podrázský, Remeš 2005; Kacálek et al. 2013; Schua et al. 2015), tak pěstebními zásahy, které mění mikroklimatické poměry uvnitř lesních porostů (Lochman 1976; Šarman 1985). Námi zvolený transekt ploch zahrnuje různá stanoviště ve 3.– 6. LVS, která představují poměrně široký komplex podmínek ovlivňujících tvorbu humusové vrstvy. Na jednu stranu se tak zvyšuje variabilita vstupních dat, na druhou mají ovšem při takto zvoleném schématu zjištěné rozdíly mezi čistými porosty smrku a buku a jejich směsí širší vypovídací schopnost a obecnější platnost pro hlavní typy stanovišť, kde se s jejich smíšenými porosty běžně hospodaří.

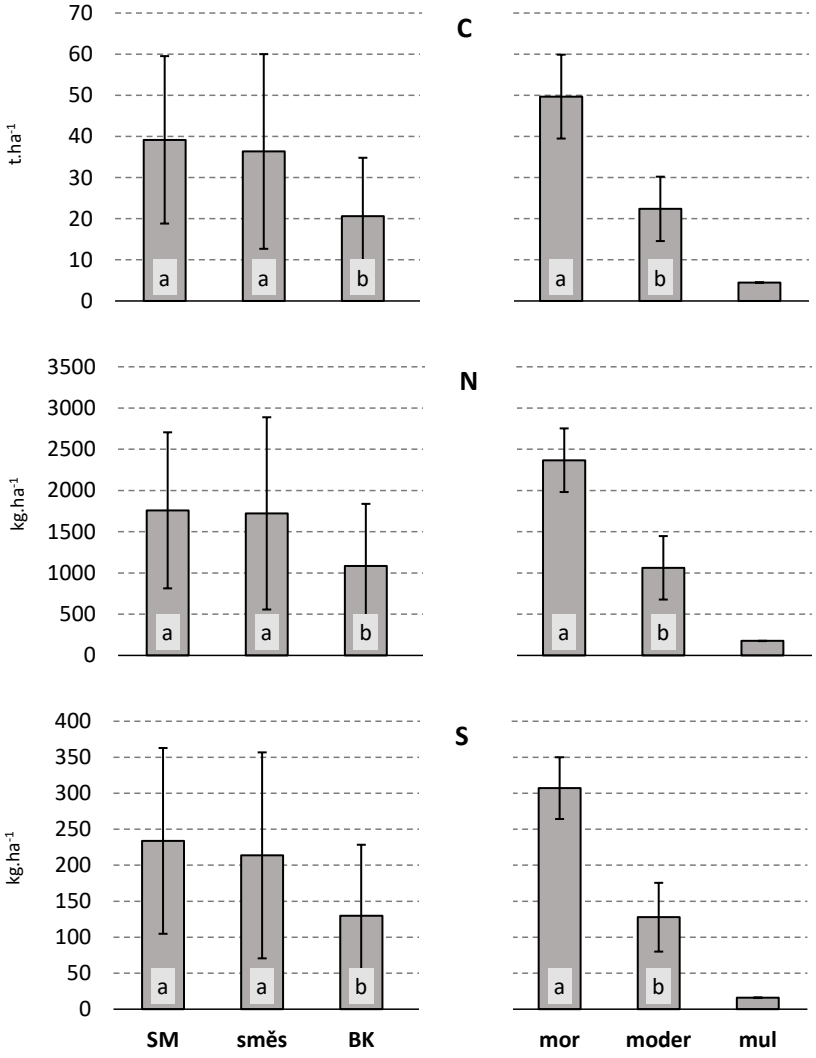
Na námi sledovaných trojicích ploch – tripletech – jsme očekávali klesající množství humusu, a to především v horizontu OFH, který není tak výrazně ovlivněn ročním obdobím jako horizont OL, a stoupající pH a obsahy bazických prvků v pořadí od smrkové plochy přes smíšenou k ploše bukové. Tato tendence se sice projevila v průměrných hodnotách, nicméně signifikantní je pouze pro aktivní pH a přístupný draslík. Obdobný nedostatek průkaznosti se projevuje i v dalších pracích. Menšík et al. (2009) porovnávali vlastnosti humusové vrstvy v mladých (25–40 let) smíšených porostech smrku a buku, modřínu a buku a v čistých porostech buku a smrku v oblasti Drahanské vrchoviny. Zásoba humusu byla signifikantně nejvyšší ve směsi modřínu a buku, nejnižší v čistém porostu buku, nicméně mezi čistým smrkovým porostem a smíšeným porostem smrku a buku se neodlišovala. Mezi čistými porosty buku a smrku byly signifikantní rozdíly v kyselosti v případě aktivního pH(H_2O), nicméně rozdíly ve výměnném pH($CaCl_2$) významné nebyly. Fabiánek et al. (2009) nenašli významné rozdíly mezi hodnotami pH v humusové vrstvě dospělých (110–120 let) porostů buku, smrku a jejich směsi v téže oblasti. Příčin je pravděpodobně několik. První je vysoká variabilita humusové tloušťky a vlastností humusové vrstvy, která je dána proměnlivostí podloží, mikroreliéfu, i lokální strukturou korunové vrstvy porostu (např. Green et al. 1993; Fisher, Binkley 2000). Z tohoto pohledu by byl



Obr. 4.
Střední hodnoty obsahů přístupných bazických živin v horizontu OFH na plochách s různou dřevinnou skladbou (vlevo) a s různou formou humusu (vpravo); uvedené indexy označují homogenní skupiny, pro mul nebyla významnost odlišností počítána, neboť v této kategorii byly pouze dva odběry, počet analýz v jednotlivých kategoriích SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

Fig. 4.
Mean values of exchangeable base cations in OFH horizon on plots with different species composition (left) and different humus forms (right); indexes indicate homogenous groups. For mull no statistical comparison was provided due to low number of plots (2) with this humus form. SM = N. spruce; směs = mixed forest; BK = E. beech, number of analyses in individual categories: SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

vhodný odběr většího množství vzorků – přesto je, vzhledem k vysoké časové a finanční náročnosti odběrů, většina studií zaměřena na odběrech se 3–5 opakováními (Podrázský, Procházka 2009; Kacálek et al. 2010; Podrázský, Remeš 2010; Kupka et al. 2013 a další). Dalším možným faktorem jsou odlišné vlastností fermentačního (OF) a humifikačního (OH) horizontu. Ty byly v naší studii analyzovány dohromady, což odpovídá metodice ICP Forests (Cools, de Vos 2013). U příznivých humusových forem typu pravý mul či mulový moder není navíc oddělená analýza možná. Podrázský, Remeš (2010) ovšem při odběrech ve smrkových, bukových a smíšených porostech na ŠLP Kostelec n. Č. l. zjistili rozdílný obsah Mg, P, K a Ca pouze v horizontu OF, který je více ovlivněn vlastnostmi opadu. Rozdíly v horizontu OH významné nebyly. Podrázský, Procházka (2009) zjistili na zalesněných zemědělských plochách rozdílné pH pod různými typy porostů pouze v horizontu OF. Ke stejným závěrům došli rovněž Schua et al. (2015) na lokalitách v Krušných horách ovlivněných opadem smrku, břízy a směsi těchto dřevin. Podrázský et al. (2009) zjistili rozdíly obsahu draslíku pouze v horizontu OH. Na druhou stranu například rozdíly v obsahu přístupného fosforu pod porosty s odlišnou druhovou skladbou byly prokázány nikoliv v humusové vrstvě, ale až v organominerálním horizontu A (Podrázský et al. 2009; Kacálek et al. 2010). Dalším důvodem neprůkazné odlišnosti v obsazích prvků může být volba námi studovaných dřevin. Jde sice o nejběžnější jehličnatou a listnatou dřevinu v ČR, jejichž smíšení se v hospodářských porostech běžně vyskytuje, na druhou stranu je skutečností, že opad buku není tak příznivý jako u jiných listnáčů a např. jeho meliorační funkce je omezená (Carnol, Bazgir 2013). V případě volby dřevin s kvalitnějšími vlastnostmi opadu jako je lípa, klen (Kacálek et al. 2013), dub, douglaska (Kupka et al. 2013), habr (Nickmans et al. 2015), bříza, jeřáb, vrba (Carnol, Bazgir 2013) nebo olše (Kacálek et al. 2010) by byly rozdíly pravděpodobně výraznější, nebylo by však možné pokrýt tak široké spektrum stanovištních podmínek.



Obr. 5.
Střední hodnoty zásoby biogenních prvků v horizontu OFH na plochách s různou dřevinnou skladbou (vlevo) a s různou formou humusu (vpravo); uvedené indexy označují homogenní skupiny, pro mul nebyla významnost odlišností počítána, neboť v této kategorii byly pouze dva odběry, počet analýz v jednotlivých kategoriích SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

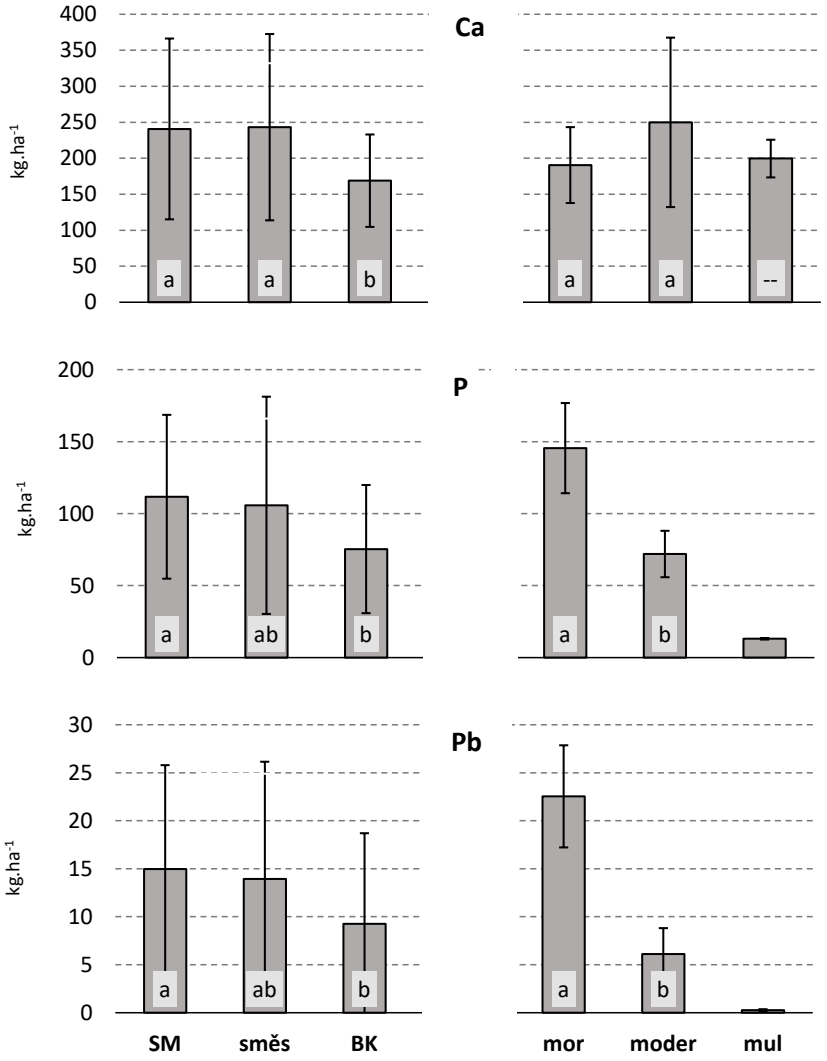
Fig. 5.
Mean values of element stocks in OFH horizon on plots with different species composition (left) and different humus forms (right); indexes indicate homogenous groups, for mull no statistical comparison was provided due to low number of plots (2) with this humus form. SM = N. spruce; směs = mixed forest; BK = E. beech, number of analyses in individual categories: SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

Tab. 5.
Korelační koeficienty závislosti celkového zásoby humusové vrstvy a jejích chemických vlastností – půdní reakce a výměnné acidity (Aexch), přístupných a celkových obsahů živin a mikroprvků na plochách tripletů
Correlation indexes for relation of total stock of organic matter in the OFH horizon and its chemical properties – pH values, exchangeable acidity (Aexch), exchangeable and extractable elements

	R	p
pH ($CaCl_2$)	-0,825	<0,001
Aexch	0,811	<0,001
pH (H_2O)	-0,797	<0,001

	R	p
přístupné/exchangeable		
Ca	-0,770	<0,001
P	-0,735	<0,001
Mn	-0,710	<0,001
Al	0,708	<0,001
Fe	0,668	<0,001
K	-0,633	<0,01
Mg	-0,490	<0,05

	R	p
celkové/extractable		
Ca	-0,717	<0,001
Mn	-0,633	<0,01
S	0,579	<0,01
Pb	0,521	<0,05
K	-0,487	<0,05
Mg	-0,470	<0,05



Obr. 6.
Střední hodnoty zásoby prvků v horizontu OFH na plochách s různou dřevinnou skladbou (vlevo) a s různou formou humusu (vpravo); uvedené indexy označují homogenní skupiny, pro mul nebyla významnost odlišností počítána, neboť v této kategorii byly pouze dva odběry, počet analýz v jednotlivých kategoriích SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2
Fig. 6.
Mean values element stocks in OFH horizon on plots with different species composition (left) and different humus forms (right); indexes indicate homogenous groups, for mull no statistical comparison was provided due to low number of plots (2) with this humus form. SM = N. spruce; směs = mixed forest; BK = E. beech, number of analyses in individual categories: SM, směs, BK n = 7, mor n = 9, moder n = 10, mul n = 2

Zásoby prvků vykazovaly výraznější rozdíly než koncentrace. Ve všech případech odrážely spíše mocnost humusové vrstvy (nejvyšší ve smrku, nejnižší v buku) než koncentrace jednotlivých prvků. Smíšené porosty tvořily v případě uhlíku, dusíku, síry a vápníku homogenní skupinu se smrkem, u fosforu a olova byl pak rozdíl významný pouze mezi smrkovým a bukovým porostem.

Ve všech výše popsaných případech (pH, obsahy prvků i celkové zásoby v humusové vrstvě) byly vždy zjištěny přesvědčivé rozdíly mezi jednotlivými formami humusu. To do značné míry poukazuje na to, že výrazné rozdíly nastávají především v situacích, kdy odlišná dřevinná skladba vede i ke vzniku rozdílných forem humusové vrstvy. Tento jev ovšem nezáleží jen na dřevině samé, ale na celé řadě dalších environmentnálních faktorů (Green et al. 1993; Meier, Leuschner 2014).

Velmi překvapivým faktem je, že ani mezi dřevinami, ani mezi jednotlivými formami humusu nebyly zjištěny signifikantní rozdíly v poměru C/N. Přitom se podle řady klasifikací forem humusu jedná přímo o jeden z diagnostických znaků humusových forem. Např. Green et al. 1993 uvádějí pro mul střední hodnotu C/N 22, pro moder 24,8 a pro mor 38,1. V námi odebraných vzorcích nadložních organických horizontů se hodnoty poměru C/N pohybovaly v rozmezí 17,8–29,0 bez jednoznačné závislosti na druhu dřeviny či formě humusu. Toto zploštění poměru C/N oproti předpokládaným hodnotám pozorujeme v různých odběrových kampaních obecně (Fiala et al. 2013; Šrámek et al. 2013). Pravděpodobným důvodem je historická i současná vysoká depozice dusíku (Hůnová et al. 2017), která významně zvýšila ve střední Evropě dostupnost tohoto prvku v lesních ekosystémech (Novotný et al. 2017). Depozice dusíku pod smrkovými porosty je oproti volné ploše navyšována díky jeho zachytávání v korunové vrstvě (Berger et al. 2008). Naopak buk vykazuje nižší obsah dusíku v opadu než jiné listnaté dřeviny (Carnol, Bazgir 2013).

ZÁVĚR

Dosažené výsledky nepotvrdily jednoznačně příznivější vlastnosti nadložního organického horizontu ve smíšených porostech smrku a buku oproti čistým porostům těchto dřevin. Hodnoty jednotlivých parametrů byly obvykle někde „uprostřed" hodnot pro čistý smrk a čistý buk, signifikantní rozdíly však byly identifikovány pouze u aktivního pH a přístupného draslíku, kde se významně odlišovaly střední hodnoty ve smrkových a v bukových porostech. Při hodnocení zásob prvků v nadložním organickém horizontu byla rozhodující celková zásoba humusu. Obsahy uhlíku, dusíku, síry a vápníku byly ve smrkových a smíšených porostech významně vyšší než v buku. V případě fosforu a olova byly významně vyšší zásoby v humusu ve smrkových porostech než v čistém buku, smíšené porosty byly s oběma skupinami homogenní. Výsledky ukazují, že jednoznačně příznivé ovlivnění humusové vrstvy při změně druhové skladby smrkových porostů ve prospěch buku je pravděpodobné pouze tam, kde lze očekávat i změnu humusové formy. Lze předpokládat, že smíšené porosty s jinými druhy listnáčů, případně douglasky, by vykazovaly příznivější vlastnosti nadložních organických vrstev.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy COST CZ LD14124 „Koloběh živin ve smíšených lesích" a je součástí řešení mezinárodní akce COST FP 1206 European mixed forests – Integrating Scientific Knowledge in Sustainable Forest Management (EuMIXFOR).

LITERATURA

Berg B., Laskowski R. 2006. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Amsterdam, Elsevier: 428 s. Advances in Ecological Research, 38.

Berger T., Untersteiner H., Schume H., Jost G. 2008. Throughfall fluxes in a secondary spruce (*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce-beech stand. Forest Ecology and Management, 255: 605–618. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.09.030

Bieliak K., Dudzińska M., Pretzsch H. 2014. Przyrost miąższości drzewostanów mieszanych i litych: wyniki z wybranych stałych powierzchni badawczych w Europie Środkowej. Sylwan, 158: 22–35.

Carnol M., Baeten L., Branquart E., Grégoire J-C., Heughebaer A., Muys B., Ponette Q., Verheyen K. 2014. Ecosystem services of mixed species forest stands and monocultures: comparing practitioners' and scientists' perceptions with formal scientific knowledge. Forestry, 87: 639–653.

Carnol M., Bazgir M. 2013. Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest tree species after conversion from Norway spruce. Forest Ecology and Management, 309: 66–75. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.04.008

Condés S., Del Río M., Sterba H. 2013. Mixing effect on volume growth of *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* is modulated by stand density. Forest Ecology and Management, 292: 86–95. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.12.013

Cools N., de Vos B. 2013. Forest soil: characterization, sampling, physical and chemical analyses. In: Ferretti M., Fischer R. (eds): Forest monitoring. Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. Amsterdam, Elsevier: 267–300.

Dieler J., Pretzsch H. 2012. Plastizität von Baumkronen: Strukturmerkmale von Fichten und Buchen im Rein- und Michbestand. Allgemeine Forst- und Jagtzeitung, 184: 247–262.

Fabiánek T., Menšík L., Tomášková I., Kulhavý J. 2009. Effects of spruce, beech and mixed commercial stand on humus conditions of forest soils. Journal of Forest Science, 55: 119–126.

Fiala P., Reininger D., Samek T., Němec P., Sušil P. 2013. Průzkum výživy lesa na území České republiky 1996–2011. Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: 148 s.

Fisher R.F., Binkley D. 2000. Ecology and management of forest soils. New York, John Wiley: 489 s.

Forrester D. 2015. Transpiration and water-use efficiency in mixed-species forests versus monocultures: effects of tree size, stand density and season. Tree Physiology, 35: 289–304.

Green R.N., Trowbridge R.L., Klinka K. 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. Bethesda, Society of American Foresters: 49 s. Forest Science Monograph, 29.

Grüneberg E., Ziche D., Wellbrock N. 2014. Organic carbon stock and sequestration rates of forest soils in Germany. Global Change Biology, 20: 2644–2662. DOI: 10.1111/gcb.12558

Hughes J.W., Fahey T.J. 1994. Litterfall dynamics and ecosystem recovery during forest development. Forest Ecology and Management, 63: 181–198. DOI: 10.1016/0378-1127(94)90110-4

Hůnová I., Kurfürst P., Stráník V., Modlík M. 2017. Nitrogen deposition to forest ecosystems with focus on its different forms. Science of the Total Environment, 575: 791–798.

Kacálek D., Novák J., Černohous V., Slodičák M., Bartoš J., Balcar V. 2010. 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.

Kupka I., Podrázský V., Kubeček J. 2013. Soil-forming effect of Douglas fir at lower altitudes – a case study. Journal of Forest Science, 59: 345–351.

Lochman V. 1976. Vliv pěstebných zásahů na chemické vlastnosti humusu a jeho dynamiku v půdách smrkových porostů v objektu Želivka. Lesnictví, 22: 861–880.

Meier I.C., Leuschner C. 2014. Nutrient dynamics along a precipitation gradient in European beech forests. Biogeochemistry, 120: 51–69. DOI: 10.1007/s10533-014-9981-2

Menšík L., Fabiánek T., Tesař V., Kulhavý J. 2009. Humus conditions and stand characteristics of artificially established young stands in the process of the transformation of spruce monocultures. Journal of Forest Science, 55: 215–223.

Mölder I., Leuschner C. 2014. European beech grows better and is less drought sensitive in mixed than in pure stands: tree neighborouhood effects on radial increment. Trees, 28: 777–792.

MŽP. 2011. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí výsledků projektu VaV SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011. Praha, Český hydrometeorologický ústav: 67 s.

Nickmans H., Verheyen K., Guiz J., Jonard M., Ponette Q. 2015. Effects of neighbourhood identity and diversity on the foliar nutrition of sessile oak and beech. Forest Ecology and Management, 335: 108–117. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.09.025

Novák J., Slodičák M., Dušek D., Kacálek D. 2013. Norway spruce litterfall and forest floor in the IUFRO thinning experiment CZ 13 – Vítkov. Journal of Forest Science, 59: 107–116.

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

Oulehle F., Hruška J. Exley C. 2005. Tree species (*Picea abies* and *Fagus sylvatica*) effects on soil water acidification and aluminium chemistry at sites subjected to long-term acidification in the Ore Mts., Czech Republic. Journal of Inorganic Biochemistry, 99: 1822–1829. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2005.06.008

Perot T., Picard N. 2012. Mixture enhances productivity in a two-species forest: evidence from a modeling approach. Ecological Research, 27: 83–94.

Piotto D. 2007. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. Forest Ecology and Management, 255: 781–786.

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.

Podrázský V., Novák J., Moser W. K. 2005. Vliv výchovných zásahů na množství a charakter nadložního humusu v horském smrkovém porostu. Zprávy lesnického výzkumu, 50: 9–12.

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., Procházka J. 2009. Zalesnění zemědělských půd v oblasti Českomoravské vysočiny a obnova vrstvy nadložního humusu. Zprávy lesnického výzkumu, 54: 79–84.

Podrázský V., Remeš J. 2010. Vliv druhové skladby lesních porostů na stav humusových forem na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy. Zprávy lesnického výzkumu, 55: 71–77.

Pretzsch H. 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. Forest Ecology and Management, 327: 251–264. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.04.027

Schua K., Wende S., Wagner S., Feger K-H. 2015. Soil chemical and microbial properties in a mixed stand of spruce and birch in the Ore Mountains (Germany) – a case study. Forests, 6: 1949–1965. DOI: 10.3390/f6061949

Šarman J. 1985. Vliv probírky na humusový profil v bukovém porostu. Lesnictví, 31: 341–349.

Šrámek V., Vortelová L., Fadrhonsová V., Hellebrandová K. 2011. Výsledky výzkumu lesních půd v rámci programu Biosoil v České republice – zajištění výživy dřevin základními živinami. In: Sobocká J.: Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd. Bratislava, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Societas pedologica slovaca: 182–190.

Šrámek V., Jurkovská L., Fadrhonsová V., Hellebrandová-Neudertová K. 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektur EU «BioSoil». Zprávy lesnického výzkumu, 58: 314–323

Toïgo M., Vallet P., Perot T., Bontemps J-D., Piedallu C., Courbaud B. 2015. Overyielding in mixed forests decreases with site productivity. Journal of Ecology, 103: 502–512. DOI: 10.1111/1365-2745.12353

Vokoun J. et al. 2002. Příručka pro průzkum lesních půd. Taxonomický klasifikační systém půd ČR (Jan Němeček a kol.) v lesnické praxi. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 44 s. Dostupé na/Available on: http://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp-files/attachment/prirucka_pro_puzkum_lesnich_pud.pdf

Vokoun J., Macků J. 1993. Klasifikační systém lesních půd uplatňující Morfogenetický klasifikační systém půd (1991). Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 54 s.

COMPARISON OF NUTRIENT STOCK IN UPPER ORGANIC LAYER OF PURE EUROPEAN BEECH, NORWAY SPRUCE AND MIXED FOREST STANDS OF THESE SPECIES

SUMMARY

Mixed forest stands are recently considered as an important tool for forest practise (Carnol et al. 2014) to tackle the risks of global change due to several positive effects as increased or secured production (Piotto 2007; Perot, Picard 2012), efficient water use, increased drought adaptability (Forrester 2015; Mölder, Leuschner 2014) and better utilisation of available nutrients in the ecosystem (Nickmans et al. 2015). Upper organic layer of forest soils represents just a minor part (1–12 %) of the whole soil body (Fisher, Binkley 2000), which is, however, utterly important for biological processes influencing physical and chemical properties of mineral soil and nutrition of forests stands (Hughes, Fahey 1994; Podrázský et al. 2009; Šrámek et al. 2011; Grüneberg et al. 2014).

The article is focused on the comparison of upper organic layer of stands with different tree species composition. In seven localities of the Czech Republic, there were established triplets consisting of (i) plot with pure European beech stand, (ii) plot with pure Norway spruce stand, and (iii) plot with mixed stand of these species (Tab. 1). Plots represent a wide gradient of environmental conditions with average year temperature ranging from 3 °C to 7 °C and yearly sum of precipitation between 500–1200 mm. We sampled OL and OFH layer separately from four defined (25 cm × 25 cm) pits at each plot. Humus type was described according to national classification (Vokoun, Macků 1993; Vokoun et al. 2002), chemical analyses were done using methods of ICP Forest monitoring programme (Cools, de Vos 2013). Total stock of elements was calculated from organic layer bulk density, volume and extractable concentration of individual elements.

The stock of litterfall – OL layer – varied between 0.27 $t.ha^{-1}$ and 1.60 $t.ha^{-1}$ at most of sites. Excessive value of 5.44 $t.ha^{-1}$ at N. spruce plot Chřibská is influenced by dense growth of sedge grass (Tab. 2). Although there is on average higher stock of litterfall in pure stands comparing the mixture (Fig. 1), the difference is neither systematic for each triplet, nor significant. The stock of OFH layer ranges from 12.4 $t.ha^{-1}$ (E. beech, Sidonie) to 186.6 $t.ha^{-1}$ (N. Spruce, Volary) (Tab. 2). The stock of OFH layer is systematically decreasing in order N. spruce > mixed stand > E. beech (Fig. 2) but this difference is not significant due to high variability within individual sites. Chemical properties of OFH layer are presented in Tab. 3 (pH, Aexch, exchangeable elements) and Tab. 4 (total and extractable elements). pH increases from N. spruce stands through mixtures towards pure E. beech stands (Fig. 3). The difference is significant between pure spruce and pure beech and only for $pH(H_2O)$. This is in consistence with findings e.g. of Menšík et al. (2009) or Fabiánek et al. (2009). Concerning exchangeable concentrations of base cations, the only significant differences were found for potassium, which was at E beech stand significantly higher than in pure N. spruce forest (Fig. 4). The lowest magnesium concentration was in every triplet found in N. spruce stand, differences were not significant. The variance of calcium concentration between plots with different tree species composition were even less distinctive. On the other hand, when we compared differences between various humus forms, they were significant for all mentioned base cations between mor and moder; mull was not statistically evaluated, because we have only two samples of this humus form. For the content of total and extractable elements no significant difference between spruce, beech and mixed stands was found.

The lack of statistical difference in chemical composition of OFH layer can be explained by (i) relatively low number of samples per plot (4), which is, however, quite common in similar studies (e.g. Podrázský, Procházka 2009; Kacálek et al. 2010; Podrázský, Remeš 2010; Kupka et al. 2013) due to financial reasons; (ii) pooling samples of OF and OH horizon – in many cases the differences in some chemical composition under different tree species was found only in OH or OF horizon individualy (e.g. Podrázský, Procházka 2009; Podrázský, Remeš 2010 or Schua et al. 2015); (iii) E. beech is the most common broadleaved species in the Czech Republic, but it seems to have less nutrient rich litterfall than other deciduous species as lime, maple (Kacálek et al. 2013), oak (Kupka et al. 2013), hornbeam (Nickmans et al. 2015), birch, ash, willow (Carnol, Bazgir 2013) or alder (Kacálek et al. 2010).

When the stock of elements in OFH layer was evaluated, significant differences were found for carbon, nitrogen, sulphur, calcium, phosphorus and lead (Fig. 5 and 6). They are in general lower in European beech stand comparing to Norway spruce and mixtures, which is partly connected with lower stock of organic matter itself. Differences of stocks between mor and moder humus types was significant for all elements with the exception of calcium and manganese.

C/N ratio in OFH horizon varied at our plots in rather narrow range from 17.8 to 25.9 (Tab. 4). It generally decreased from N. spruce across mixed to E. beech stands; differences, however, were not significant. Even more surprising is that even differences between mor and moder humus type were not significant, although C/N is expected to be one of the humus types diagnostic criteria (Green et al. 1993). This "unification" of C/N ratio across different forest sites was documented in several soil surveys in the Czech Republic (Šrámek et al. 2013; Fiala et al. 2013). One of reason could be found in increased nitrogen deposition in the Central Europe (Hůnová et al. 2017), which distinctly influences forest ecosystems (Novotný et al. 2017), and the other in relatively higher throughfall N deposition under N. spruce stands comparing to E. beech (Berger et al. 2008).

Zasláno/Received: 18. 04. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 22. 10. 2017