

Srovnání chemismu půd v NPR Žofínský prales s přílehlými hospodářskými smrčínami

A comparison of soil conditions in the Žofínský Prales nature reserve with adjacent spruce monocultures

Jeňýk Hofmeister^{1,*} & Jakub Hruška²

¹Areál ČOV, CZ-26801 Hořovice, Česká republika

²Česká geologická služba, Klárov 3/131, CZ-11821 Praha 1, Česká republika

*jenyk.hofmeister@email.cz

Abstract

This study examines the influence of the differences in tree composition and management practices on nutrient status in the forest ecosystems. We compared the soil nutrient contents in 30–90-old spruce (*Picea abies*) managed forest with adjacent old growth beech-dominated (*Fagus sylvatica*) forest (declared from 1838 as a nature reservation) with the same geology and elevation (750–800 m) (Žofín, Novohradské Hory Mts., Czech Republic). We have sampled humus and mineral soil horizon from five points in the both forests and analyzed pH (in 1 M KCl), exchangeable Ca, Mg, K, Na and Al (in 0.1 M BaCl₂), cation exchange capacity (CEC), exchangeable acidity, base saturation, extractable P (in Mehlich III), total C and N. The lowest pH were observed in the 0–5 cm depth of mineral soil in both forests (3.2 in old growth forest, 3.3 in managed forest) and the highest in the 50–60 cm depth of mineral soil (4.2 resp. 4.1). Concentration of Ca²⁺ and Al³⁺ in humus differed significantly (two-sample t-test, $p < 0.01$) between old growth forest and managed forest. Significantly higher concentration of Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺ were observed in the 0–5 cm depth of mineral soils in old growth forest with comparison to managed forest ($p < 0.05$). In old growth forest, mean base saturation was higher in humus ($p < 0.01$) and topsoil ($p < 0.05$) but, on the contrary, lower in bottom soil horizons (15–20 cm and 50–60 cm, $p < 0.05$). Mean soil extractable P content was higher in humus and topsoil ($p < 0.01$) in old growth than managed forest, in bottom soil horizons it was relatively similar. Nearly identical soil C and N content was found in both old growth and managed forests. Overall, soil chemistry differed significantly between old growth beech-dominated and managed spruce forests. Moreover, we identified contrast horizontal distribution of base cations in soil profile between old growth and managed forests. These differences could be explained (i) by promoting soil acidification under spruce, (ii) the removal of stem biomass of spruce in managed forest, and (iii) higher ability of spruce to intercept acid deposition which lead to base cation losses via leaching.

Key words: spruce, beech, managed forest, soil nutrients, forest management

Úvod

Chemismus půd a obsah půdních živin jsou obvykle v poměrně úzkém vztahu s minerálním složením matečné horniny, z níž jsou jejím zvětráváním v průběhu času živiny do půdy uvolňovány. Rychlost zvětrávání matečné horniny a mobilita živin v půdě je ovlivněna klimatem, reliéfem a vegetací i dalšími organismy na ni vázanými (např. THOMAS & PACKHAM 2007). Vztah půdy a vegetace je vzájemně provázaný. Chemismus půd ovlivňuje druhové složení vegetace daného stanoviště a naopak biologická aktivita vegetace i navazujících společenstev organismů nacházejících se na daném stanovišti mění chemické vlastnosti půdního

prostředí, a to v podstatě nezávisle na vlastnostech matečné horniny (VAN BREEMEN & FINZI 1998).

Rozdíly v chemismu lesních půd způsobené různou druhovou skladbou lesa jsou studovány již mnoho desetiletí (FISCHER 1928, WILDE & LEAF 1955, ZINKE 1962) a zejména ve svrchních půdních horizontech mohou být poměrně výrazné (BINKLEY & GIARDINA 1998, VAN BREEMEN & FINZI 1998). V této souvislosti se nabízí otázka, nakolik je druhová skladba dřevin podmíněna půdními podmínkami a nakolik jsou naopak vlastnosti půd odvozeny od druhového složení lesního porostu. WILLIS et al. (1997) ukázali na příkladu vývoje lesa po skončení poslední doby ledové v severovýchodním Maďarsku, že změna jehličnatého lesa na les listnatý pravděpodobně předcházela vlastní přeměně minerálně chudých podzolových půd na živinami bohatší kambizemě. Vliv jednotlivých druhů dřevin na půdy může být velmi variabilní, ale v zásadě platí, že jehličnaté dřeviny (zejména chemické vlastnosti jejich opadu) podporují proces podzolizace půd, zatímco listnaté dřeviny naopak často přispívají k půdotvorným procesům zvyšujícím zásobení půd živinami (MILES 1985, LÜNDSTROM et al. 2000). Významné změny chemismu svrchních půdních horizontů se přitom mohou uskutečnit i za několik málo desítek let (MILES 1985).

Druhové složení lesů střední Evropy je nejméně několik tisíc let více či méně ovlivňováno hospodářskou činností člověka (POTT 2000). Velmi výrazný zásah do druhového složení lesních porostů u nás znamenalo zavedení pěstování monokultur smrku ztepilého (*Picea abies*) na stanoviště s odlišnou přirozenou druhovou skladbou v posledních dvou staletích (MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ 2006). Hospodářská činnost člověka ovšem kromě druhového složení lesa ovlivňuje přímo chemismus půdního prostředí. Všechny živiny vázané v dřevní i jiné organické hmotě vzniklé v lesním ekosystému jsou v podmínkách přírodního člověkem neovlivněného lesa opět rozloženy na minerální živiny pro další generace lesa (GLATZEL 1991). Vytěžení dřevní hmoty (kmenů včetně kůry) představuje v podmínkách horského smrkového lesa ztrátu živin z lesního ekosystému, která je ekvivalentní více než 20 % záso- by výměnných bazických živin (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) v půdě (SVOBODA et al. 2006).

Vlastnosti půd jsou v mnoha lesích do současnosti poznamenány dalšími, v uplynulých staletích běžnými způsoby hospodaření v lese (pastva, travení, polaření, hrabání steliva atd.) (FARRELL et al. 2000, GIMMI & BÜRGI 2007). Ačkoli provedené studie dokládají nezane- dbatelný vliv těchto způsobů hospodaření (GLATZEL 1991, GIMMI et al. 2008, HOFMEISTER et al. 2008), zůstává velkým problémem přesnější časové a prostorové vymezení rozšíření těchto hospodářských aktivit.

Kromě přímých hospodářských zásahů působí na lesní ekosystémy a vlastnosti jejich půd nepřímo také další vlivy lidské činnosti. Rozvoj průmyslové výroby, intenzivních forem zemědělství a spalování fosilních paliv v posledních dvou staletích vedl k zásadním změnám ve složení a objemech látek vstupujících ze zemského povrchu do atmosféry (GALLOWAY 1995, KOPÁČEK & VESELÝ 2005). Tyto látky se po různě dlouhé době setrvání v atmosféře opět vracejí na zemský povrch procesy atmosférické depozice, často ve velké vzdálenosti od místa jejich zdroje (vstupu do atmosféry). Vstup těchto látek do lesních ekosystémů bývá ve srovnání s ostatními ekosystémy podstatně vyšší, a to díky velkému receptorovému povrchu korun stromů, na němž jsou zachycovány látky unášené vzdušným prouděním (WESSELINK et al. 1995, AUGUSTO et al. 2002). V člověkem neovlivněných podmínkách tvoří atmosférická depozice spolu se zvětráváním hlavní mechanismy vstupu minerálních živin do lesních ekosystémů. Atmosférická depozice látek emitovaných do ovzduší činností člověka v průběhu 20. století (zejména sloučenin síry a dusíku, ale i dalších látek) více či méně ovlivnila chemismus lesních půd Evropského kontinentu (HALLBÄCKEN & TAMM 1986, HRUŠKA & CIENCIALA 2001, DE SCHRIJVER et al. 2006). Sloučeniny síry a dusíku způsobují acidifikaci půd, k níž dochází vymýváním bazických živin ze sorpčního komplexu půd do půdního roztoku a

jejich vyplavování vně ekosystému (YANAI et al. 1999, NAVRÁTIL et al. 2007, POREBSKA et al. 2008).

Význam lesního hospodaření v minulosti je pro většinu reálných lesních porostů prakticky nemožné přesněji určit především z důvodu nejasné historie lesního hospodaření (způsobů hospodaření, jejich intenzity a délky trvání). Vliv lesního hospodaření na půdu je navíc obtížně rozlišitelný od vlivu atmosférické depozice látek emitovaných do ovzduší lidskou činností, zvláště tam, kde byla jejich depozice v uplynulém století vysoká. Mezi oblastí s nižší atmosférickou depozicí látek emitovaných do ovzduší lidskou činností patří u nás i Novohradské hory (HRUŠKA & CIENCIALA 2001). Zde se nachází i Národní přírodní rezervace Žofínský prales, která byla lesním hospodařením v minulosti ovlivněna pravděpodobně pouze v malé míře. Smrkové monokultury navazující na rezervaci ze severní strany naproti tomu vhodně reprezentují typický hospodářský les. Tyto těsně sousedící lesní porosty představují vhodný studijní prostor pro srovnání půdního chemismu v lesním hospodařením málo ovlivněném lese s víceméně přirozenou a samovolně se vyvíjející druhovou skladbou dřevin na jedné straně a hospodářské monokulturální smrčíně na straně druhé. Cílem tohoto výzkumu bylo srovnání chemismu půd a stavu půdních živin ve dvou prostorově blízkých lesních porostech lišících se intenzitou lesního hospodaření.

STUDOVANÁ OBLAST

Území, v němž byl výzkum uskutečněn, zahrnuje NPR Žofínský prales a hospodářské smrčiny přiléhající ze severní až severovýchodní strany k hranici rezervace v prostoru mezi Eibenskou a Hřebenovu cestou. Studovaná oblast je geomorfologicky poměrně málo členitá a nachází se v nadmořské výšce 750–800 m n.m. Geologické podloží tvoří biotitická žula. Převažujícím půdním typem v rezervaci je kambizem typická, v části hospodářských lesů pak kambizem podzolovaná. Ve stromovém patře rezervace převažuje buk (*Fagus sylvatica*) (81 %), přimíšen je smrk (*Picea abies*) (14 %) a jedle (*Abies alba*) (4 %) a vzácně další dřeviny. V rezervaci byla v době výzkumu poměrně rovnoměrně zastoupena vývojová stadia dorůstání, optima i rozpadu. Téměř polovina plochy rezervace byla pokryta masivním bukovým zmlazením (ALBRECHT 2003). Stromové patro hospodářských porostů tvoří prakticky výlučně smrk, přičemž většina porostů je věkově a strukturně homogenní.

Podle údajů porostní mapy z roku 1848 uložené ve Státním oblastním archivu v Třeboni byl již v této době v místech studované hospodářské smrčiny kulturní smíšený les smrku a buku nepřevyšující stáří sta let. Na základě těchto údajů lze dovodit, že současný smrkový porost roste v místech, z nichž byla dřevní hmota přinejmenším dvou předchozích generací lesa vytěžena a odvezena vně lesního ekosystému. Ačkoli nechybí údaje dokládající, že i ve vlastním Žofínském pralesu docházelo k jednotlivým těžebním zásahům, lze nepochybně jejich rozsah pokládat za zanedbatelný ve srovnání s okolními hospodářskými lesy.

MATERIÁLY A METODY

V srpnu 2001 bylo v NPR Žofínský prales vykopáno 5 půdních sond do hloubky 60 cm minerální půdy. Jednotlivé půdní sondy byly vykopány v místech vhodně reprezentujících druhovou a strukturní variabilitu stromového patra nacházejícího se ve stadiu optima, přičemž z míst pro lokalizaci půdních sond byla vyloučena část rezervace se sekundárním smrkovým porostem a podmáčená stanoviště. Lokalizace půdní sondy byla v rámci vybraného místa provedena náhodně tak, aby vzájemná vzdálenost půdních sond nebyla menší než 150 m. Dalších 5 půdních sond bylo vykopáno v části studovaného území pokryté hospodářskými lesy, přičemž 4 sondy byly vykopány ve stejnověkových smrkových monokulturách ve stáří

60–90 let a jedna ve smrkovém porostu starém 30–40 let. Z každé půdní sondy byl po odstranění vrstvy nerozloženého opadu odebrán vzorek nadložního organického horizontu a dále vzorky minerální půdy z hloubky 0–5, 10–20 a 50–60 cm profilu minerální půdy. Vzorky půd byly na vzduchu usušeny a přesáty přes síto s velikostí ok 5 mm (nadložní humus) a 2 mm (minerální horizonty).

Ve všech vzorcích humusu i minerálních horizontů byla provedena tato stanovení: relativní vlhkost (% hmotnostní), pH (v KCl) a obsah vyměnitelných kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), celkový dusík (N), celkový uhlík (C) a přístupný fosfor (P_p), celková výměnná acidita (TEA) a dopočítána kationtová výměnná kapacita (CEC) a bazická saturace (BS) vzorků půd. Stanovení půdních vlastností bylo provedeno podle následujících postupů (ZBÍRAL 2002):

Stanovení relativní vlhkosti (půdní sušiny) bylo provedeno sušením vzorků organických horizontů v sušárně při 60°C (24 hodin) a vzorků minerálních horizontů při 105°C (24 hodin).

pH vzorků půd bylo změřeno laboratorním pH-metrem ve směsi 1 dílu na vzduchu vysušeného vzorku půdy a 2,5 dílů 1M KCl.

Koncentrace vyměnitelných kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ a Al^{3+} v půdním výluhu 0,1M BaCl_2 (10 g půdy/100 ml, doba extrakce na horizontální třepačce 2 h) byly stanoveny metodou plamenové AAS.

Stanovení celkového uhlíku – chromatografické stanovení CO_2 po oxidaci vzorku při 1040°C na CN analyzátoru Fisons 1108 (výrobce Carlo Ebba – Thermo).

Stanovení celkového dusíku – chromatografické stanovení N_2 po oxidaci vzorku při 1040°C a opětovné redukci NO_x na N_2 na CN analyzátoru Fisons 1108.

Analýza přístupného fosforu v půdě P_p byla provedena v půdním výluhu (extrakční činidlo Mehlich III, viz MEHLICH 1984) redukcí kyselinou askorbovou probíhající v prostředí H_2SO_4 a $\text{Sb}^{(\text{III})}$ s následným spektrofotometrickým stanovením fosfomolybdénové modři (při 750 nm). Extrakční činidlo Mehlich III se sestává z NH_4NO_3 , NH_4F , EDTA (kyselina etylen-diaminotetraoctová), CH_3COOH a HNO_3 .

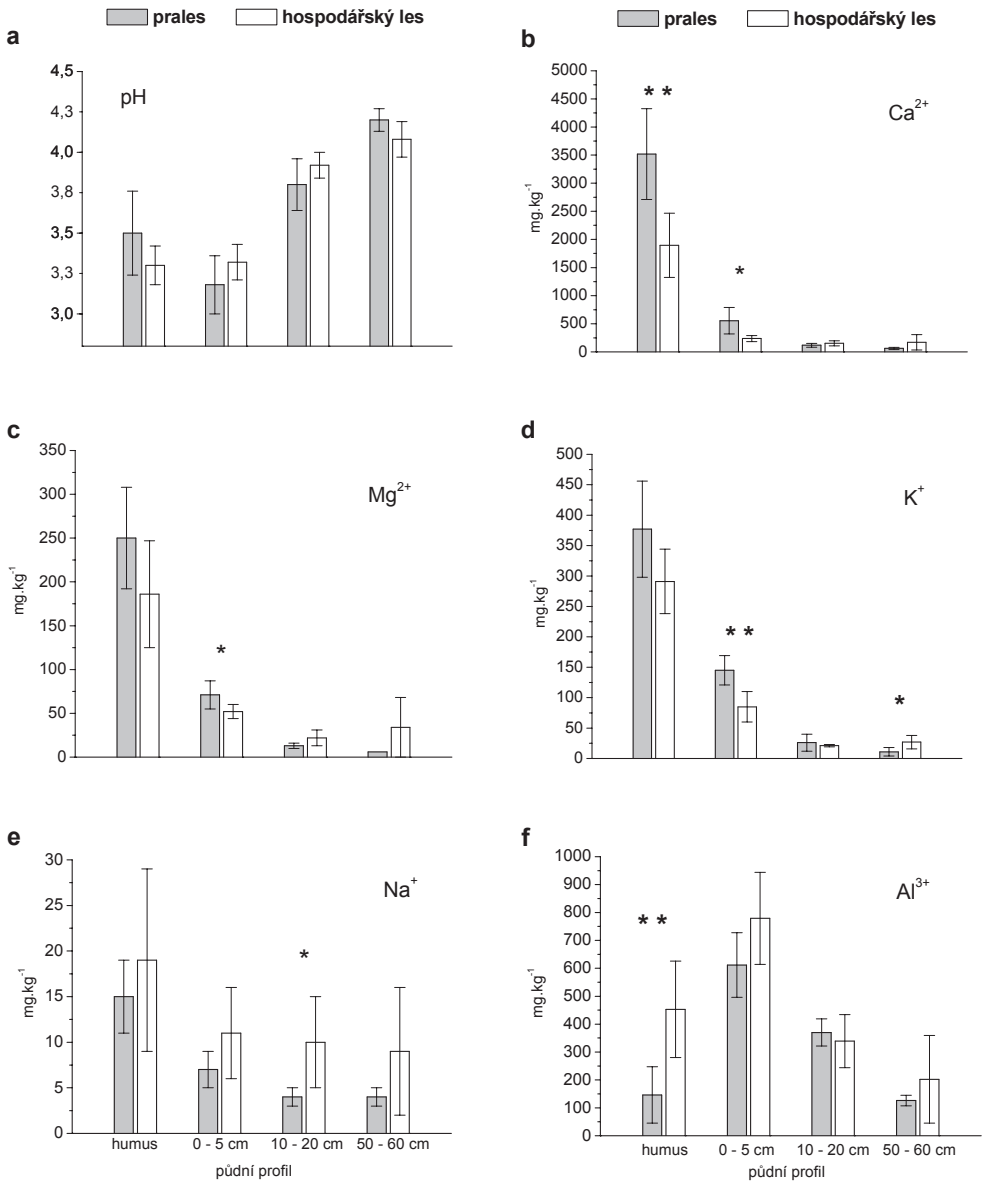
Celková výměnná acidita (TEA) byla stanovena titrací půdního výluhu (0,1 M BaCl_2) zředěným NaOH (0,025 M) do hodnoty pH = 7,8.

Ze získaných výsledků byla dále vypočítána kationtová výměnná kapacita (CEC) a nasycenost sorpčního komplexu bázemi (BS): Kationtová výměnná kapacita (CEC) je dána součtem všech výměnných kationtů: $\text{CEC} (\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{výměnná acidita} (\text{Al}^{3+} + \text{H}^+)$. Bazická saturace (BS) byla vypočtena podle následujícího vzorce: $\text{BS} (\%) = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+) / \text{CEC} * 100$.

Obsahy všech stanovovaných živin jsou ve výsledcích uváděny v přepočtu na hmotnost sušiny daného vzorku půdy. Výsledky chemismu půd z NPR Žofínský prales a hospodářských lesů byly porovnány dvouvýběrovým t-testem ($p < 0,05$).

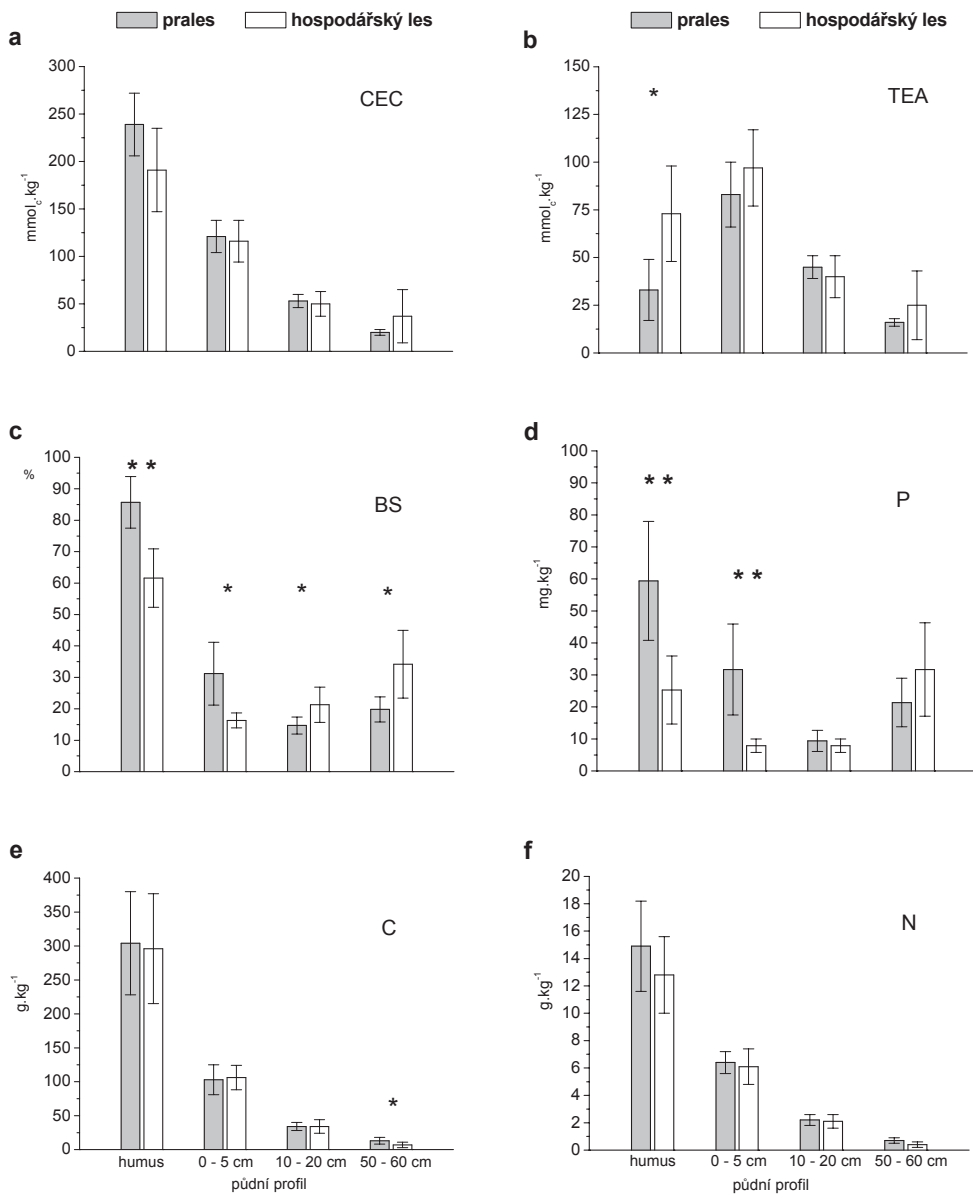
VÝSLEDKY

Výsledky chemických analýz vzorků půd ukázaly statisticky významné rozdíly v chemismu půd mezi NPR Žofínský prales a navazujícími hospodářskými lesy, a to zejména ve svrchních půdních horizontech (Obr. 1 a 2). Půdní reakce v rezervaci byla srovnatelná s půdami v přílehlém hospodářském lese, přičemž nejnižších hodnot dosahovalo pH ve vrstvě 0–5 cm minerální půdy, jak v rezervaci (průměr \pm SD = $3,18 \pm 0,18$), tak v hospodářském lese ($3,32 \pm 0,11$), a nejvyšších v nejhlubší vrstvě půdy ($4,20 \pm 0,07$ vs. $4,07 \pm 0,11$) (Obr. 1a). Srovnatelné byly dále obsahy CEC, C a N ve vzorcích všech analyzovaných půdních vrstev srovnávaných lesů (Obr. 2). Poměr C:N v nadložním organickém horizontu v rezervaci byl méně



Obr. 1. Chemismus vzorků půd (průměr ± směrodatná odchylka) v NPR Žofínský prales a navazujících hospodářských smrkových porostech. Rozdíly s $p < 0,05$ jsou označeny *, $p < 0,01$ **.

Fig. 1. Soil chemistry (mean ± SD) in the Žofínský Prales forest reserve and adjacent managed spruce forests. Differences at significance levels (* $p < 0,05$ and ** $p < 0,01$) are given.



Obr. 2. Chemismus vzorků půd (průměr ± směrodatná odchylka) v NPR Žofínský prales a navazujících hospodářských smrkových porostech. Rozdíly s $p < 0,05$ jsou označeny *, $p < 0,01$ **.

Fig. 2. Soil chemistry (mean ± SD) in the Žofínský Prales forest reserve and adjacent managed spruce forests. Differences at significance levels (* $p < 0,05$ and ** $p < 0,01$) are given.

variabilní a v průměru mírně nižší ve srovnání s hospodářským lesem ($20,5 \pm 1,9$ vs. $22,9 \pm 2,7$), v minerální půdě nepřevyšoval v půdách obou typů lesů hodnotu 20.

Naopak statisticky významné rozdíly byly zjištěny v obsazích Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a přijatelného P ve svrchní minerální půdě (0–5 cm) a v případě Ca^{2+} a P rovněž v nadložním organickém horizontu (Obr. 1a–c, 2d). Průkazně vyšší koncentrace těchto živin byla zjištěna v rezervaci, kde například průměrná koncentrace Ca^{2+} ve svrchní minerální vrstvě byla více než dvakrát vyšší v porovnání s lesem hospodářským (555 mg.kg^{-1} vs. 237 mg.kg^{-1}). Naopak koncentrace Al^{3+} byla vyšší v hospodářském lese (Obr. 1f). Rozdíly v chemismu půdních profilů dobře vystihovala bazická saturace, která byla statisticky významně odlišná ve všech analyzovaných půdních vrstvách (Obr. 2c). V pralese byla ve srovnání s hospodářským lesem vyšší v nadložním organickém horizontu ($85,7 \pm 8,2$ % vs. $61,6 \pm 9,3$ %) a svrchním minerální půdě (0–5 cm) ($31,2 \pm 10,0$ % vs. $16,3 \pm 2,4$ %), ale naopak nižší v hlubších minerálních profilech ($14,7 \pm 2,7$ % a $19,8 \pm 4,0$ % vs. $21,3 \pm 5,6$ a $34,2 \pm 10,8$ %). V souladu s těmito výsledky byla zjištěna výměnná acidita výrazně vyšší v organickém horizontu hospodářského lesa (Obr. 2b).

DISKUSE

Výsledky dokumentují významné rozdíly v chemismu půd mezi NPR Žofínský prales a navazujícími hospodářskými porosty. Nejvýraznější rozdíly byly zjištěny v koncentracích Ca^{2+} a dále Mg^{2+} a K^+ , které v organickém horizontu a svrchní minerální vrstvě půdy (0–5 cm) v rezervaci značně převyšovaly koncentrace v hospodářském lese. Tyto rozdíly lze zčásti vysvětlit vyšší intenzitou vymývání živin ze svrchních do hlubších půdních horizontů v prostředí hospodářské smrčiny ve srovnání s převážně bukovými porosty v rezervaci. AUGUSTO et al. (2002) shrnují příčiny vysokého acidifikačního potenciálu smrkových porostů ve srovnání s porosty buku či jiných listnatých dřevin: (a) vyšší záchyt atmosférické depozice v korunách smrku, (b) nižší kvalita opadu smrku, při jehož rozkladu se uvolňuje větší podíl nízkomolekulárních organických kyselin, (c) méně příznivé půdní mikroklima pro společenstva půdních mikroorganismů. V souladu s tím byla bazická saturace výrazně vyšší v organickém horizontu a svrchní minerální vrstvě půdy (0–5 cm) v rezervaci a naopak nižší v hlubších půdních horizontech ve srovnání s hospodářskými smrčinami. Koncentrace potenciálně toxického Al^{3+} byla v průměru mírně vyšší naopak ve smrkovém hospodářském lese, což odpovídá údajům změřeným ve smrkovém hospodářském a bukovém neobhospodařovaném lese v Krušných horách (OULEHLE & HRUŠKA 2005, OULEHLE et al. 2007). Při uvolnění do půdního roztoku ve vyšších koncentracích působí Al^{3+} toxicky na kořeny rostlin, zejména v podmínkách nízké koncentrace bazických kationtů v půdním roztoku (HRUŠKA et al. 2001).

Nižší obsah živin ve svrchních horizontech hospodářské smrčiny může být i důsledkem exportu živin vázaných v biomase dřeva. Biomasa smrku z hospodářského lesa je odnášena při těžbě, zatímco v pralese se všechny ve dřevě vázané prvky vrací do půdy rozkladem mrtvých, na místě ponechaných stromů. Biomasa kmenů smrku a jehličnatých dřevin vůbec má sice obecně nižší koncentraci živin ve srovnání s listnatými dřevinami rostoucími na stejném stanovišti, ale naproti tomu je jí z ekosystému obvykle vytěženo více za kratší časové období (AUGUSTO et al. 2002, HAGEN-THORN et al. 2004). Ztráta Ca způsobená vytěžením mýtného smrkového lesa činí v závislosti na stanovištních podmínkách a způsobu provedení těžby $55\text{--}507 \text{ kg.ha}^{-1}$, ztráta Mg pak $7\text{--}85 \text{ kg.ha}^{-1}$, ztráta K $58\text{--}226 \text{ kg.ha}^{-1}$, ztráta N $185\text{--}700 \text{ kg.ha}^{-1}$ a ztráta P $4\text{--}82 \text{ kg.ha}^{-1}$ (AUGUSTO et al. 2000, SVOBODA et al. 2006). Tyto ztráty představují nezanedbatelnou část celkové bilance živin v ekosystému (i více než 20 %, viz SVOBODA et al. 2006). Z tohoto důvodu je pěstování monokulturních smrkových lesů pova-

žováno – především v oblastech s vysokou atmosférickou depozicí acidifikujících látek – za dlouhodobě neudržitelné (HRUŠKA & CIENCIALA 2001, AUGUSTO et al. 2002).

Již v úvodu bylo zmíněno, že NPR Žofínský prales a celá oblast Novohradských hor patří pravděpodobně k oblastem se spíše nižší atmosférickou depozicí acidifikujících látek (zejména sloučenin S a N). Vzhledem k výrazně vyššímu receptorovému povrchu smrkového porostu ve srovnání s porostem převážně bukovým (jak ve vegetačním období, tak zvláště v období vegetačního klidu) je nutné počítat s podstatně vyšším vstupem těchto látek do porostů tvořených smrkem (WESSELINK et al. 1995, OULEHLE & HRUŠKA 2005). Vyšší vstup okyselujících látek spolu s přirozeně silným potenciálem smrku k acidifikaci půdního prostředí působí ztrátu živin vyplavováním, která je 2- až 4-násobně vyšší ve srovnání s porosty buku (AUGUSTO et al. 2002, ROTHE et al. 2002). Nižší koncentrace bazických kationtů ve svrchních půdních horizontech hospodářských smrčín navazujících na NPR Žofínský prales může být částečně vysvětlena i vyšším vstupem acidifikujících látek do smrkových hospodářských lesů v průběhu minulého století. Vyšší vstup sloučenin N do ekosystému působí kromě acidifikace zčásti i jako živina, což dále zvyšuje potřebu adekvátního množství ostatních živin a prohlubuje nedostatek Ca a Mg (ABER et al. 1998).

Koncentrace C a N se mezi srovnávanými porosty lišily pouze nevýrazně a C:N poměr ve svrchním organickém horizontu byl v hospodářském smrkovém lese jen mírně vyšší než v NPR Žofínský prales. V některých pracích byly i v případě těchto prvků doloženy významné rozdíly v půdě pod různými druhy dřevin a úzká provázanost s koncentrací bazických kationtů (FINZI et al. 1998a, b, VAN BREEMEN & FINZI 1998, SCHULP et al. 2008), která se v tomto případě nepotvrdila. Nižší koncentrace P v hospodářských smrkových porostech mohou být příčinou nižší dostupnosti P v organické hmotě půd ve smrkových porostech (VESTERDAL 1998).

ZÁVĚRY

Výsledky provedené srovnávací studie dokumentují poměrně výrazné rozdíly v chemismu půdy v relativně přirozeně se vyvíjejícím lese a hospodářském lese ve srovnatelných přírodních podmínkách. Zjištěné rozdíly dokládají nepříznivé působení lesního hospodaření, ale i vliv další hospodářské činnosti člověka (depozice okyselujících látek vypouštěných do ovzduší) na zásobu půdních živin v lesních ekosystémech. Změny chemismu půd v hospodářských smrkových lesích mohou představovat vážné obtíže pro zdárný vývoj dalších generací hospodářského lesa.

Poděkování. Autoři děkují T. Navrátilovi za pomoc při odběru vzorků a laboratořím České geologické služby a Agentury ochrany přírody a krajiny v Brně za provedení analýz půdních vzorků. Příspěvek byl vypracován v rámci projektu VaV MŽP SP 2d1/146/08 Vliv lesního hospodaření na biodiverzitu lesních ekosystémů v kontextu globální klimatické změny a v rámci výzkumného záměru České geologické služby MZP 0002579801.

LITERATURA

- ABER J., McDOWELL W., NADELHOFFER K., MAGILL A., BERNTSON G., KAMAKEA M., McNULTY S., CURRIE W., RUSTAD L. & FERNANDEZ I., 1998: Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *BioScience*, 48: 921–934.
- ALBRECHT J. (ed.), 2003: Českobudějovicko [The České Budějovice region]. In: *Chráněná území ČR, Vol. VIII [Protected areas of the Czech Republic]*, MACKOVČIN P. & SEDLÁČEK M. (eds) Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 808 pp. (in Czech).
- AUGUSTO L., RANGER J., BINKLEY D. & ROTHE A., 2002: Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59: 233–253.
- AUGUSTO L., RANGER J., PONETTE Q. & RAPP M., 2000: Relationships between forest tree species, stand production and stand nutrient amount. *Annals of Forest Science*, 57: 313–324.

- BINKLEY D. & GIARDINA C., 1998: Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree–soil interactions. *Biogeochemistry*, 42: 89–106.
- DE SCHRIJVER A., MERTENS J., GEUDENS G., STAELENS J., CAMPFORTS E., LUYSSAERT S., DE TEMMERMAN L., DE KEERSMAEKER L., DE NEVE S. & VERHEYEN K., 2006: Acidification of forested podzols in North Belgium during the period 1950–2000. *Science of the Total Environment*, 361: 189–195.
- FARRELL E.P., FÜHRER E., RYAN D., ANDERSSON F., HÜTTL R. & PIUSI P., 2000: European forest ecosystems: building the future on the legacy of the past. *Forest Ecology and Management*, 132: 5–20.
- FINZI A.C., VAN BREEMEN N. & CANHAM C.D., 1998a: Canopy tree–soil interactions within temperate forests: species effects on soil carbon and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 440–446.
- FINZI A.C., CANHAM C.D. & VAN BREEMEN N., 1998b: Canopy tree–soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications*, 8: 447–454.
- FISCHER R.T., 1928: Soil changes and silviculture on the Harvard Forest. *Ecology*, 9: 6–11.
- GALLOWAY J.N., 1995: Acid deposition: Perspectives in time and space. *Water, Air & Soil Pollution*, 85: 15–24.
- GIMMI U. & BÜRGI M., 2007: Using oral history and forest management plans to reconstruct traditional non-timber forest uses in the Swiss Rhone valley (Valais) since the late nineteenth century. *Environment and History*, 13: 211–246.
- GIMMI U., BÜRGI M. & STUBER M., 2008: Reconstructing anthropogenic disturbance regimes in forest ecosystems: a case study from the Swiss Rhone Valey. *Ecosystems*, 11: 113–124.
- GLATZEL G., 1991: The impact of historic land use and modern forestry on nutrient relations of Central European forest ecosystems. *Fertilization Research*, 27: 1–8.
- HAGEN-THORN A., ARMOLAITIS K., CALLESEN I. & STJERNQUIST I., 2004: Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites. *Annals of Forest Science*, 61: 489–498.
- HALLBÄCKEN L. & TAMM C.O., 1986: Changes in soil acidity from 1927 to 1982–1984 in a forest area of south-west Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1: 219–232.
- HOFMEISTER J., OULEHLE F., KRÁM P. & HRUŠKA J., 2008: Loss of nutrients due to litter raking compared to the effect of acidic deposition in two spruce stands, Czech Republic. *Biogeochemistry*, 88: 139–151.
- HRUŠKA J. & CIENCIALA E. (eds), 2001: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor současného lesnictví. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 160 pp.
- HRUŠKA J., CUDLÍN P. & KRÁM P., 2001: Relationship between Norway spruce status and soil water base cations: aluminium ratios in the Czech Republic. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130: 1415–1420.
- KOPÁČEK J. & VESELÝ J., 2005: Sulfur and nitrogen emissions in the Czech Republic and Slovakia from 1850 till 2000. *Atmospheric Environment*, 39: 2179–2188.
- MILES J., 1985: The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession. *Journal of Soil Science*, 36: 571–584.
- LÜNDSTROM U.S., VAN BREEMEN N. & BAIN D., 2000: The podzolization process. A review. *Geoderma*, 94: 91–107.
- MEHLICH A., 1984: Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409–1416.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2006. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky. Ministerstvo zemědělství, Praha, 128 pp.
- NAVRÁTIL T., KURZ D., KRÁM P., HOFMEISTER J. & HRUŠKA J., 2007: Acidification and recovery of soil at a heavily impacted forest catchment (Lysina, Czech Republic) – SAFE modeling and field results. *Ecological Modelling*, 205: 410–422.
- OULEHLE F., HOFMEISTER J. & HRUŠKA J., 2007: Modeling of the long-term effect of tree species (Norway spruce and European beech) on soil acidification in the Ore Mountains. *Ecological Modelling*, 204: 359–371.
- OULEHLE F. & HRUŠKA J., 2005: Tree species (*Picea abies* and *Fagus sylvatica*) effects on soil water acidification and aluminium chemistry at site subjected to long-term acidification in the Ore Mts., Czech Republic. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99: 1822–1829.
- POREBSKA G., OSTROWSKA A., BORZYSZKOWSKI J., 2008: Changes in the soil complex of forest soils in Poland over the past 27 years. *Science of the Total Environment*, 399: 105–112.
- POTT R., 2000: Palaeoclimate and vegetation – long-term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. *Phytocoenologia*, 30: 285–333.
- ROTHE A., HUBER C., KREUTZER K. & WEIS W., 2002: Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European beech: results from the Høghwald research in comparison with other European case studies. *Plant and Soil*, 240: 33–45.
- SCHULP C.J.E., NABUURS G.J., VERBURG P.H. & DE WAAL R.W., 2008: Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256: 482–490.
- SVOBODA M., MATĚJKA K., KOPÁČEK J. & ŽALOUDEK J., 2006: Estimation of tree biomass of Norway spruce forest

- in the Plešné Lake catchment, the Bohemian Forest. *Biologia*, 61 (Suppl. 20): S523–S532.
- THOMAS P.A. & PACKHAM J., 2007: *Ecology of woodlands and forests: description, dynamics, and diversity*. Cambridge University Press, 528 pp.
- VAN BREEMEN N. & FINZI A.C., 1998: Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry*, 42: 1–19.
- VESTERDAL L., 1998: Potential microbial nitrogen and phosphorus availability in forest floors. *Soil Biology & Biochemistry*, 30: 2031–2041.
- YANAI R.D., SICCAMA T.G., ARTHUR M.A., FEDERER C.A. & FRIEDLAND A.J., 1999: Accumulation and depletion of base cations in forest floors in the northeastern United States. *Ecology*, 80: 2774–2787.
- WESSELINK L.G., MEIWES K.J., MITZNER E. & STEIN A., 1995: Long-term changes in water and soil chemistry in spruce and beech forest, Solling, Germany. *Environmental Science & Technology*, 29: 51–58.
- WILDE S.A. & LEAF A.L., 1955: The relationship between the degree of soil podzolization and the composition of ground cover vegetation. *Ecology*, 36: 19–22.
- WILLIS K.J., BRAUN M., SÜMEGI P. & TÓTH A., 1997: Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary. *Ecology*, 78: 740–750.
- ZINKE P.J., 1962: The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology*, 43: 130–133.

Received: 19 February 2009

Accepted: 11 May 2009