

Různé způsoby studia chemické degradace půd v oblasti silně ovlivněné kyselou depozicí

L. PAVLŮ, L. BORŮVKA, R. KODEŠOVÁ, A. NIKODEM and O. DRÁBEK

Katedra pedologie a geologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Česká republika (e-mail: pavlu@af.czu.cz)

Abstract This contribution is focused on the Jizera Mountains; region strongly influenced by man in past. Structure of natural forest was changed. High acidificants concentrations in atmosphere led to decline of planted monoculture forests in the top parts of the mountains and high acidificants deposition harmed soils in the whole region. Soil degradation study by various ways is the aim of this contribution. Soil samples were collected in surviving nature-close beech forest and in production spruce forest, and also in area with dead forest with grass cover of soil.

Basic soil characteristics were measured by commonly used methods (pH, eCEC, contents of available and pseudototal nutrients, and potentially toxic Al forms). Soils of this region are strongly acid with low eCEC. The differences between nature-close, production and dead forest are localized mainly in surface soil horizons. Soil properties of deeper horizons are very similar. Nature-close forest soils represent better conditions as higher pH, higher nutrients content and lower potentially toxic Al forms content than spruce monocultures. Also grass cover in dead forest slightly improves soil conditions in contrast to foregoing production spruce forest. Natural systems have higher resilience and natural mechanisms are able to slightly mitigate soil degradation.

Key words: *forest soils, vegetation cover, soil acidification, soil chemical properties*

Úvod

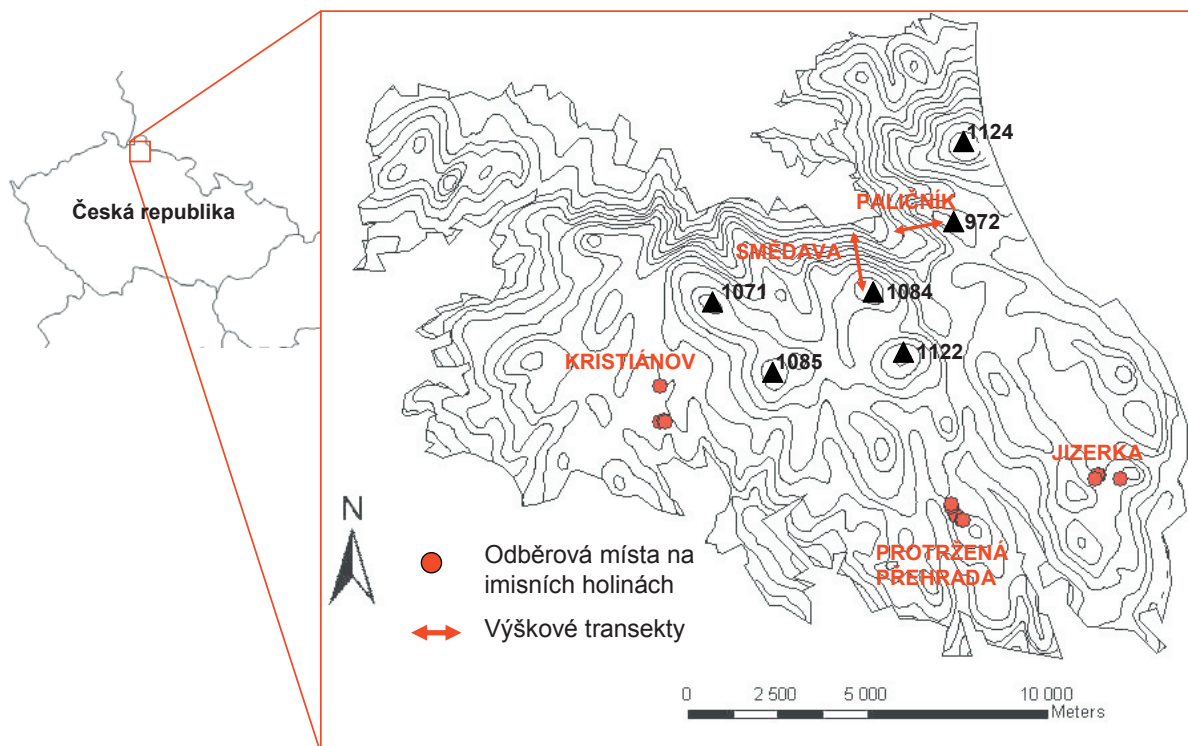
Oblast Jizerských hor byla a je předmětem zájmu celé řady výzkumných projektů. Jedná se o oblast s velice specifickým historickým vývojem úzce spojeným s lidskou činností. První výraznější lidský zásah do této oblasti souvisí s těžbou původních především bukových porostů pro potřeby sklářského průmyslu, k jehož velkému rozmachu došlo na přelomu 16. a 17. století. Následovalo pozvolné nahrazení těchto porostů porosty smrkovými. Přibližně od poloviny 19. století převážilo zastoupení smrku nad ostatními dřevinami a od té doby se stal smrk nejrozšířenější dřevinou Jizerských hor. Další výrazný zásah člověka do této oblasti následoval v období 70.–80. let dvacátého století. Obrovská množství emitovaných acidifikantů byla v podobě depozice příčinou ekologické katastrofy v této oblasti spojené s odumřením smrkových porostů a odlesněním vrcholových partií hor. Na odlesněném

náhorním platu velice rychle expandovaly porosty trav a vznikly charakteristické imisní holiny. Tyto holiny jsou opět postupně zalesňovány, což je ovšem velice ztíženo silným poškozením půd acidifikací. V oblasti bylo na různých místech a s různou intenzitou použito vápnění jako opatření ke snížení acidity půd a zvýšení zásoby živin. Detailnější informace o stavu půd a porostů této oblasti v širším měřítku, než které je předmětem tohoto příspěvku, jsou uvedeny například v publikacích: Vacek, 2003, Borůvka et al., 2005a, Mládková et al., 2005, Slodičák et al., 2005 a Mládková et al., 2006.

Cílem tohoto příspěvku je zhodnocení současného stavu půd na lokalitách pro Jizerské hory typických svým porostem či managementem a jejich vzájemné porovnání. Dalším cílem je pak posouzení úrovně degradace půd a jejich případné regenerace.

Materiál a metody

Jizerské hory se nacházejí v severní části České republiky při hranicích s Polskou republikou (obr.1). Studium půdních vlastností je v této oblasti zjednodušeno poměrně uniformním geologickým podložím. Převážná část území je tvořena variskými granitoidními horninami krkonoško-jizerského žulového masívu. V oblasti Jizerských hor v současnosti pracuje naše katedra na dvou projektech. První je zaměřen na posouzení změn půdních vlastností podél výškových transektů. Současně jsou porovnávány vlastnosti půd v oblastech se zachovalým přírodě blízkým bukovým (*Fagus sylvatica*) porostem (Národní přírodní rezervace Jizerskohorské bučiny) a ve smrkových (*Picea abies*) monokulturách. Druhý projekt je zaměřen na hodnocení vlivu vápnění a expanze porostů trav (*Calamagrostis villosa*, *Deschampsia flexuosa*) na imisních holinách.



Obrázek 1. Lokalizace odběrových míst v Jizerských horách (výškové transekty na Smědavské hoře a Paličnicku a odběrová místa na imisních holinách v blízkosti osad Kristiánov a Jizerka a nedaleko Protržené přehrady)

Výškový transekt

Celý projekt se zabývá dvěma výškovými transekty v severovýchodní části Jizerských hor (Pavlů et al., 2007). Pro tento příspěvek jsou použita pouze data z transektu na Paličnicku, který slouží pro porovnání půd pod smrkovými a bukovými porosty. Tento transekt představuje rozmezí nadmořských výšek 600 – 950 m n. m. Jedná se o západní svah Klínového vrchu. Půdní vzorky byly odebrány z deseti sond. Pět sond se nacházelo v dospělém bukovém porostu v minulosti charakteristickém pro většinu území Jizerských hor. Další pět sond se nacházelo v různě starých smrkových porostech v těsné blízkosti bukových ploch. Půdní typ se měnil s nadmořskou výškou od nejvýše položených podzolů přes kryptopodzoly do dystrických kambizemí v nejnižších polohách.

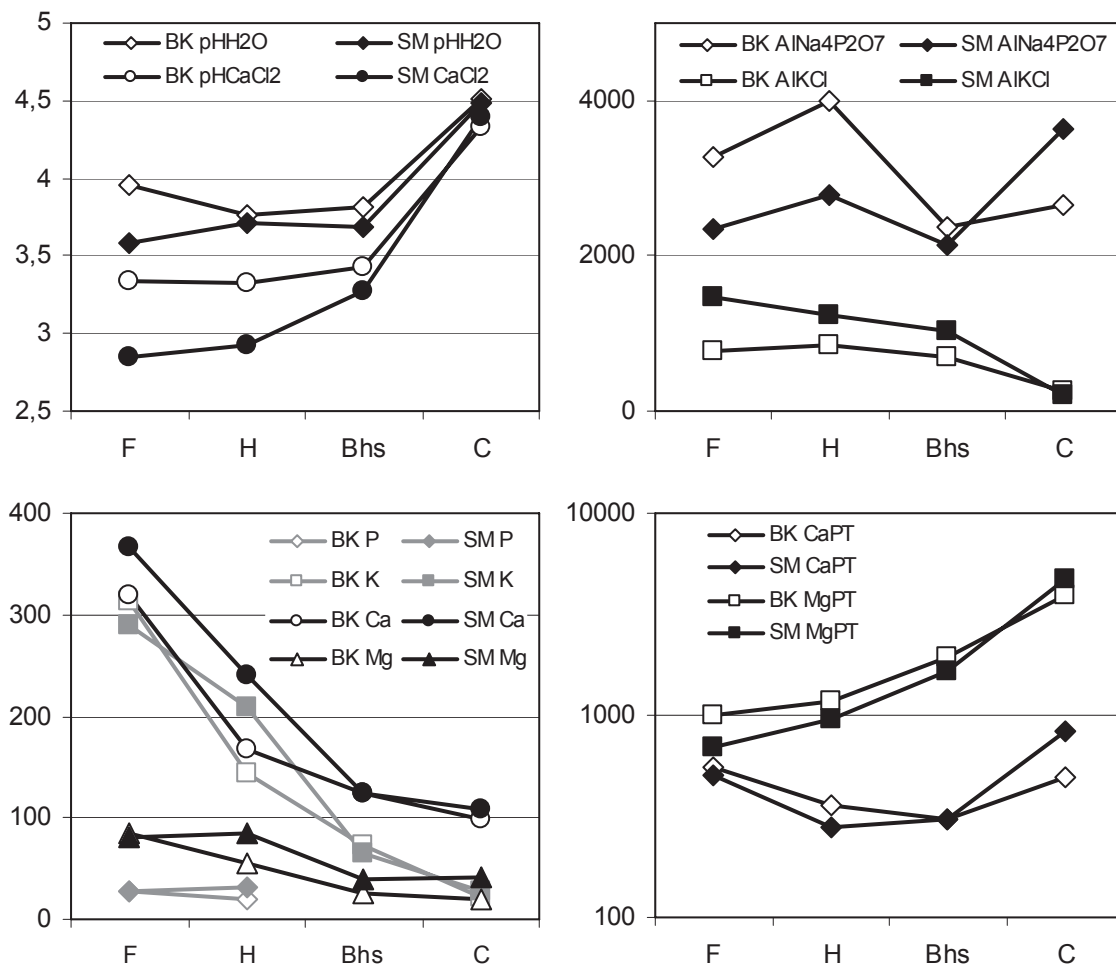
Imisní holiny

Pro tuto studii byly vybrány tři ze čtrnácti dlouhodobě sledovaných lokalit (např. Podrázský, 1989, Borůvka et al., 2005c). Jedná se o lokalitu v blízkosti Kristiánova, Protržené přehrady a osady Jizerka. Dlouhodobé sledování se týká vždy dvojice kontrolní a vápněné plochy. Vápnění proběhlo v letech 1981-1983 v období výsadby porostu dávkou 2-2,5 t.ha⁻¹ dolomitického vápence aplikovanou plošně. V současné době se jedná o přibližně dvacetileté nezapojené porosty s vysokou pokryvností travních společenstev. K těmto plochám byly v roce 2005 na každé lokalitě přiřazeny dvě další plochy se zapojeným smrkovým porostem starším než 40 let, jedna bez přízemní vegetace a jedna s travním podrostem. Plochy se nacházejí v nadmořských výškách 770 až 910 m n. m. Na každé ploše byly vykopány dvě půdní sondy. U všech sond byl určen jako půdní typ podzol. Byly odebrány půdní vzorky z dostatečně mocných diagnostických horizontů. Z vybraných sond byly rovněž odebrány neporušené několikacentimetrové agregáty. Po jejich vysušení z nich byly zhotoveny výbrusy pro mikromorfologické analýzy.

Půdní analýzy

Vzorky byly usušeny a přesáty přes síto o průměru ok 2 mm. Potenciometricky byly zjištěny hodnoty pH_{H2O} a pH_{CaCl2}. Dále byly stanoveny obsahy přístupných živin (P_M, K_M, Ca_M, Mg_M) v extrakčním roztoku podle Mehlicha III (Zbiral, 2002) Konečné stanovení fosforu ve výluhu bylo provedeno spektrofotometricky, draslík byl stanoven pomocí AES a Ca a Mg pomocí AAS. Tato stanovení spolu se stanovením hodnot pH_{CaCl2} byla provedena v laboratoři Ekoakva společnosti Agro CS, a.s., Česká Skalice. Pseudototální obsahy Ca_{PT} a Mg_{PT} byly stanoveny po rozkladu půdy lučavkou královskou dle ČSN 46 5735 (Zbiral, 1996). Rovněž byly pomocí ICP-OES (Varian Vista Pro, VARIAN, Austrálie) stanoveny obsahy tří odlišných forem hliníku extrahovatelných 0,5 M KCl (Al_{KCl}), 0,3 M CuCl₂ (Al_{CuCl2}) a 0,05 M Na₄P₂O₇ (Al_{Na4P2O7}) podle Drábka et al. (2003). V případě výškových transektů byla rovněž stanovena efektivní kationtová výměnná kapacita (eKVK) podle Mehlicha. Statistické hodnocení výsledků bylo provedeno pomocí programu Statgraphics Plus 4.0 pro Windows (Manugistics, 1997).

Výsledky



Hodnoty na osách Y jsou uvedeny v jednotkách pH a mg.kg⁻¹

Obrázek 2. Porovnání studovaných půdních charakteristik v bukovém (BK) a smrkovém (SM) porostu po jednotlivých horizontech.

Výškový transekt

Grafy na obrázku 2 představují jednak rozložení studovaných půdních charakteristik ve vybraných horizontech půdního profilu odděleně pro bukové a smrkové porosty a zároveň dokumentují vlastní hodnoty studovaných veličin. Obecně lze konstatovat, že půdy patří do kategorie silně kyselých. Hodnota pH mírně vzrůstá s hloubkou. Rozdíly jsou výraznější v případě pH_{CaCl2}. Obsah hliníku extrahovatelného KCl úzce souvisí s pH. Tuto skutečnost dokumentují i grafy na obrázku 2, z nichž je patrné, že v horizontu C, kde je nejvyšší pH, je nejméně Al_{KCl}. Hodnoty obsahu Al_{Na4P2O7} v půdním profilu značně kolísají.

Zásoba přístupných živin s hloubkou prudce klesá. Tato situace pravděpodobně souvisí s velkým množstvím sorpčních míst půdní organické hmoty více zastoupené v nadložních horizontech. Toto dokumentují i poměrně vysoké korelační koeficienty závislosti eKVK s K_M ($r = 0,813$), Ca_M ($r = 0,709$), respektive Mg_M ($r = 0,696$), všechny průkazné na hladině významnosti 0,001. Obsah P_M byl v minerálních horizontech pod mezí detekce, proto není korelační koeficient vypočten. Kationtová výměnná kapacita není na grafech zdokumentována. V nadložních organických horizontech se pohybuje v rozmezí hodnot 15 - 25 cmol.kg⁻¹, což odpovídá střední až vysoké úrovni KVK. V minerálních horizontech se pohybuje nejčastěji v rozmezí 5 - 12 cmol.kg⁻¹, tedy v úrovních velmi nízkých až nízkých. V substrátu nedosahuje eKVK ani hodnoty 4 cmol.kg⁻¹ a je tedy velmi

nížká. Ve všech horizontech je převažujícím kationtem v sorpčním komplexu hliník. Celkové obsahy Ca a Mg nekorespondují s rozložením jejich přístupných forem v půdním profilu.

Tabulka 1. Hodnoty t-testu popisující rozdíly v jednotlivých půdních charakteristikách mezi bukovým a smrkovým porostem odděleně pro jednotlivé horizonty; kladné hodnoty reprezentují vyšší hodnoty dané charakteristiky v bukovém porostu, záporné hodnoty naopak ve smrkovém porostu; tučně jsou vyznačeny hodnoty průkazné na hladině významnosti 0,05.

Charakteristika	F	H	Bhs	C
pH _{H2O}	1,272	0,155	1,116	0,499
pH _{CaCl2}	6,306	3,017	4,243	-
Al _{KCl}	-2,080	-3,102	-2,820	4,108
Al _{Na4P2O7}	0,940	1,145	1,673	-2,026
P _M	0,017	-1,327	-	-
K _M	0,255	-1,956	1,223	-0,680
Mg _M	0,255	-1,511	-2,280	-1,482
Ca _M	-1,749	-2,040	-0,057	-0,693
Mg _{PT}	1,010	0,434	0,389	-0,478
Ca _{PT}	1,202	1,180	-0,005	-1,213
eKVK	-3,088	-0,834	0,384	0,706

Vlastní rozdíly mezi bukovým a smrkovým porostem dokumentují již grafy na obrázku 2, ale detailněji byly hodnoceny pomocí t-testu (tab.1).

Z tabulky je zřejmé, že se řada rozdílů ocitla pod úrovní průkaznosti. Tato skutečnost je však způsobena především menším počtem hodnot využitých v t-testu. I tak je však patrné, že je většina rozdílů soustředěna do nadložních horizontů. V bukových porostech je průkazně vyšší pH_{CaCl2}, nižší obsah potenciálně toxického Al_{KCl}, což svědčí o příznivějších půdních podmínkách v porovnání se smrkovými porosty. K obdobným výsledkům při použití většího souboru dat došli i Borůvka et al., 2005b, Mládková et al., 2006. Hodnota eKVK je v bukových porostech nižší. Vzhledem k tomu, že v kyselých půdách je vázána především na organickou hmotu, tato situace pravděpodobně souvisí s menším množstvím organických látek než je tomu u porostů smrkových. Z tabulky je dále patrná odlišná distribuce živin v nadložních horizontech obou porostů. V horizontu F je více živin (mimo Ca) v bukovém porostu, zatímco v horizontu H je více živin v porostu smrkovém. Vysvětlení může být v rozdílném rozkladu opadaného materiálu. Bukový opad je bohatší, snadněji se ale rozkládá a živiny se uvolňují. Smrkový opad je chudší, rozkládá se pomalu a živiny se akumulují v horizontu H.

Imisní holiny

Chemické vlastnosti půd

Grafy na obrázku 3 ukazují rozložení studovaných půdních charakteristik v půdním profilu pro jednotlivé varianty a rovněž dokumentují hodnoty studovaných veličin. Stejně jako u předchozí studie lze konstatovat, že půdy patří do kategorie silně kyselé. Hodnota pH rovněž mírně vzrůstá s hloubkou. Zásoba přístupných živin s hloubkou také prudce klesá.

Rozložení pseudototálního obsahu vápníku odpovídá rozložení jeho přístupné formy. Nejvyšší obsahy jsou tedy v nadložních horizontech. Nelze však tvrdit, že toto rozložení je způsobeno povrchovou aplikací vápence na plochách v minulosti vápněných, neboť stejný trend byl v menším měřítku byl zjištěn i u kontrolních ploch (obr. 3). U pseudototálního obsahu hořčíku je situace odlišná. Jeho obsah narozdíl od výměnné formy s hloubkou výrazně vzrůstá. V matečné hornině je obsah Mg velice nízký, dokonce menší než obsah Ca (Chaloupský, 1989). Obohacení minerálních horizontů nelze tedy připsat zvětrávání matečné horniny, ale spíše vyplavení mobilnějšího Mg do hlubších vrstev profilu

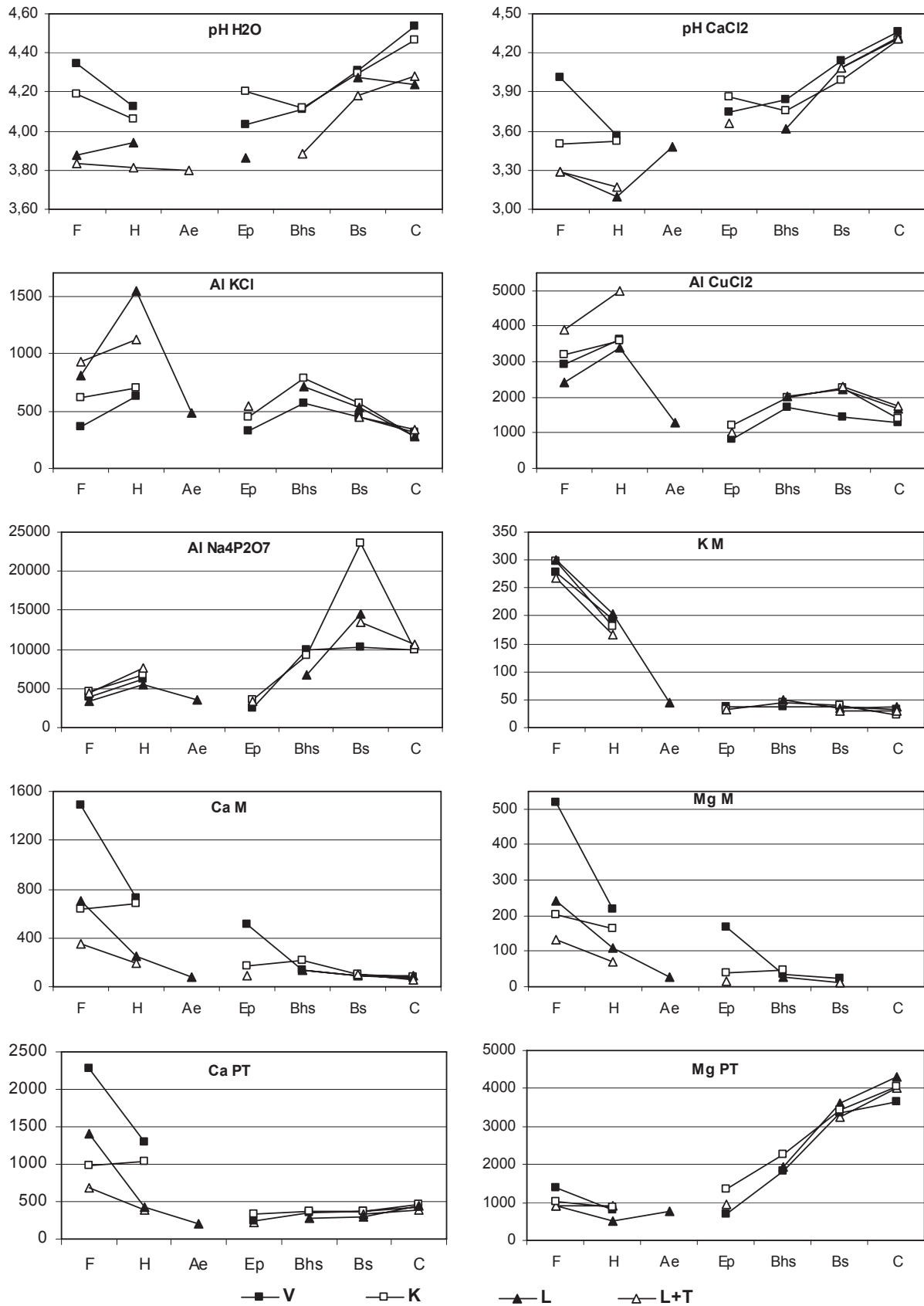
v důsledku silné acidifikace půd. Nebylo zjištěno jakékoli obohacení nadložních horizontů Mg_{PT} 25 let po aplikaci dolomitického vápence.

Rozložení obsahu Al_{KCl} odpovídá již dříve popsanému rozložení v půdách Jizerských hor (Mládková et al., 2005) a zároveň obecně platnému rozložení Al v podzolech. Obdobné je i rozložení Al_{CuCl_2} s výraznějším obohacením horizontu H, což odpovídá charakteru této slabě organicky poutané formy Al. Vzhledem k tomu, že roztok $Na_4P_2O_7$ extrahuje hliník silně organicky poutaný, ale i vázaný ve formě hlinito-železitých komplexů, jsou v jeho rozložení v profilu dvě maxima a to v horizontech organických s vyvinutými humusovými látkami a v horizontech spodických obohacených jak organickou hmotou, tak železem.

Dále byly hodnoceny rozdíly mezi jednotlivými variantami odběrových ploch (tab. 2). Jejich průkaznost byla zhodnocena pomocí analýzy rozptylu. U většiny studovaných charakteristik byly zjištěny průkazné rozdíly mezi variantami pouze v nadložních horizontech, případně v ochuzeném horizontu Ep.

Bylo zjištěno, že na vápněných plochách je oproti ostatním variantám v horizontu F průkazně vyšší obsah Ca_{PT} , Ca_M , Mg_M a je zde vyšší pH_{CaCl_2} a to i 25 let po aplikaci vápence. V horizontu H je však již vyšší pouze obsah Ca_{PT} . Za předpokládaný původ těchto rozdílů je možné považovat i druhotné působení vápnění prostřednictvím zabudování dodaného Ca a Mg do rostlin a následně do rozkládajícího se opadu. Ve větších hloubkách a u ostatních charakteristik již nebyl vliv vápnění patrný. Časový rámeček vlivu vápnění byl zkoumán na 14 dlouhodobě sledovaných lokalitách v Jizerských horách (Podrázský et al., 2001) z nichž tři byly vybrány pro náš projekt, jak bylo popsáno výše. V rozmezí let 1986 – 1999 došlo ke zvýšení pH jak na vápněných, tak na kontrolních plochách. U vápněných ploch bylo zvýšení rychlejší. V roce 1991 činil rozdíl půdní reakce mezi vápněnou a kontrolní plochou přibližně 0,5 stupně pH. V roce 1999, již ale žádný rozdíl zjištěn nebyl (Borůvka et al., 2005c). Podrázský (2006) hodnotil vliv vápnění z časového hlediska na obdobných lokalitách v Orlických horách. Dospěl k závěrům, že maximální efekt vápnění se u půd dostavuje 8 – 10 let po aplikaci u povrchových horizontů a po 10 – 15 letech u organominerálních horizontů.

Zajímavé výsledky poskytlo hodnocení aktivní půdní reakce. Vyšší pH_{H_2O} bylo prokázáno u obou variant mladých nezapojených porostů (vápněné i kontrolní) oproti variantám se zapojeným starším porostem a to v nadložních horizontech i v minerálních horizontech Ep a C. V horizontu H se i hodnoty pH_{CaCl_2} kontrolní a vápněné plochy přibližují a prohlubuje se rozdíl mezi nezapojeným a zapojeným starším porostem. Pravděpodobná je i souvislost s hodnotami Al_{KCl} , u nichž v horizontu H rovněž došlo k eliminaci rozdílu mezi vápněnou a kontrolní variantou a projevil se rozdíl mezi nimi a starším zapojeným porostem. U dalších dvou sledovaných forem Al nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi variantami v žádném horizontu, s výjimkou Al_{CuCl_2} v horizontu F, kde byl prokázán rozdíl mezi lesními plochami bez podrostu trav a s ním.

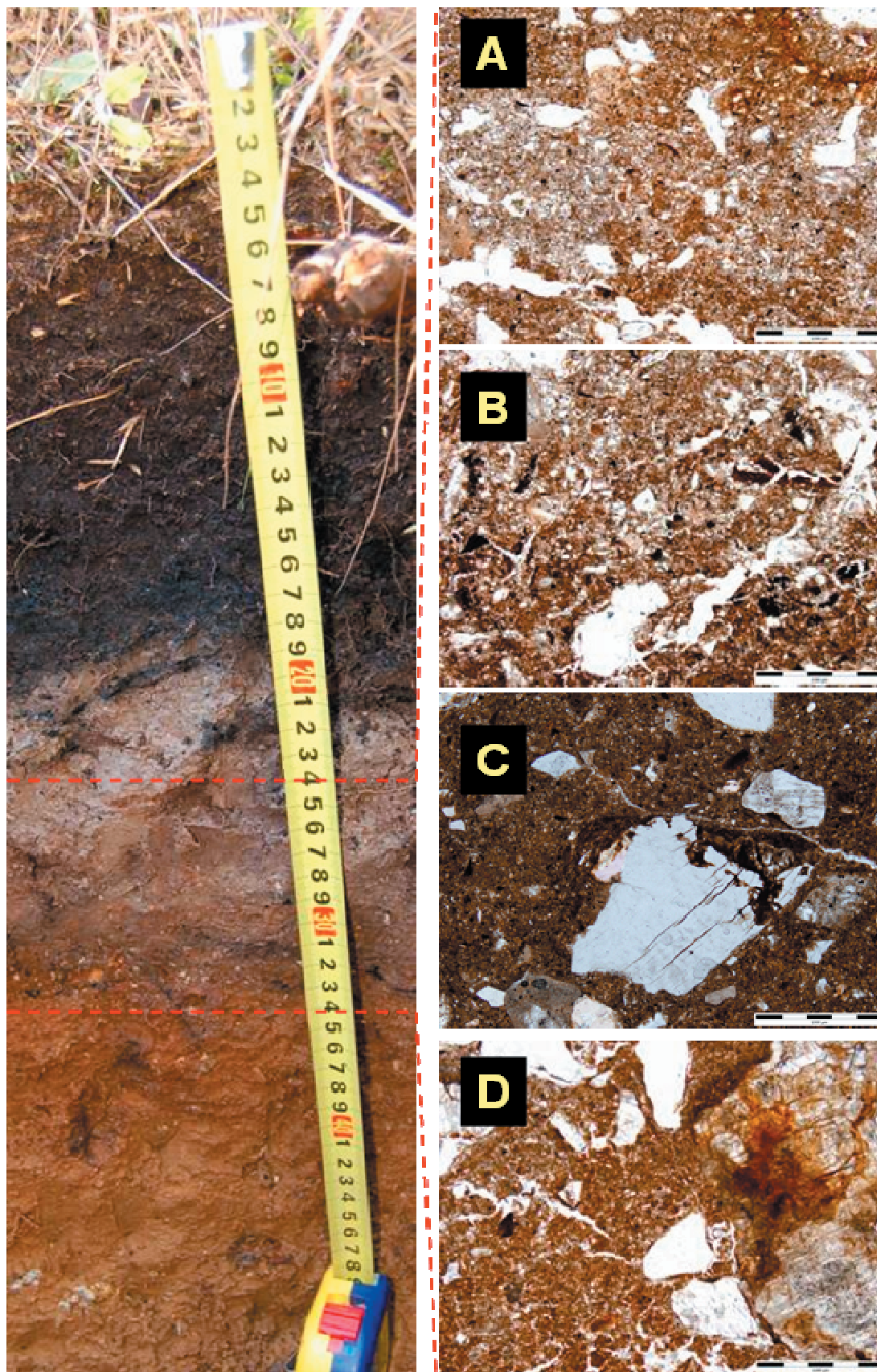


Hodnoty na osách Y jsou uvedeny v jednotkách pH a mg.kg⁻¹

Obr. 3: Porovnání studovaných půdních charakteristik mezi jednotlivými variantami (V-vápněná plocha, K-kontrolní plocha, L-les, L+T-les s podrostem trav) v různých horizontech.

Tabulka 2. Hodnocení rozdílných hodnot studovaných charakteristik v jednotlivých variantách a horizontech pomocí analýzy rozptylu (V-vápněná plocha, K-kontrolní plocha, L-les, L+T-les s podrostem trav). Odlišná písmena ve sloupcích znamenají průkazný rozdíl mezi variantami na hladině významnosti 0,05 (metoda LSD).

charakteristika	varianta	F	H	Ep	Bhs	Bs	C
pH _{H2O}	V	b	b	ab	a	a	b
	K	b	b	b	a	a	b
	L	a	a	a	a	a	a
	L+T	a	ab	a	a	a	a
pH _{CaCl2}	V	b	c	b	a	a	a
	K	a	bc	b	a	a	a
	L	a	ab	b	a	a	a
	L+T	a	a	a	a	a	a
P _M	V	ab					
	K	ab					
	L	b					
	L+T	a					
K _M	V	a	a	a	a	a	ab
	K	a	a	a	a	a	a
	L	a	a	a	a	a	ab
	L+T	a	a	a	a	a	b
Mg _M	V	b	a	a	a	a	
	K	a	a	a	a	a	
	L	a	a	a	a	a	
	L+T	a	a	a	a	a	
Ca _M	V	b	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a
	PF	a	a	a	a	a	a
	L+T	a	a	a	a	a	a
Mg _{PT}	V	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	b	a	a	a
	L	a	a	a	a	a	a
	L+T	a	a	ab	a	a	a
Ca _{PT}	V	b	b	ab	ab	a	a
	K	a	ab	b	b	a	a
	L	ab	a	a	a	a	a
	L+T	a	a	a	ab	a	a
Al _{KCl}	V	a	a	a	a	a	a
	K	ab	a	a	a	a	a
	PF	b	b	a	a	a	a
	L+T	b	ab	a	a	a	a
Al _{CuCl2}	V	ab	a	a	a	a	a
	K	ab	a	a	a	a	a
	L	a	a	a	a	a	a
	L+T	b	a	a	a	a	a
Al _{Na4P2O7}	V	a	a	a	a	a	a
	K	a	a	a	a	a	a
	L	a	a	a	a	a	a
	L+T	a	a	a	a	a	a



Obrázek 4. Půdní profil na vápněné ploše nedaleko osady Jizerka (podzol) a snímky výbrusů z rozmezí hloubek 24 – 34 cm.

Mikromorfologie

Hodnocení mikromorfologie organických horizontů smrkových a travních porostů je předmětem dalšího příspěvku prezentovaného na této konferenci (Kodešová et al., 2007b). Výsledky jsou rovněž přijaty k publikaci (Kodešová et al., 2007a). V tomto příspěvku je jako příklad zdokumentována sonda na vápněné ploše nedaleko osady Jizerka (obr. 4). Vzorky pro zhotovení výbrusů byly odebrány z hloubek 24 – 34 cm a zachycují přechod z horizontu Ep (podzolizací ochuzený) přes horizont Bhs (spodický, humusoseskvioidický) do horizontu Bs (spodický, seskvioidický) (Němeček et al., 2001). Geologickým podložím je v celé oblasti žula. Mikroskelet na snímcích je tedy tvořen především zrny křemene, plagioklasů a méně i draselných žilců.

Ze snímků jsou patrné hlavní rysy procesu podzolizace. Na obrázku A lze dokumentovat uvolňování železa a postupné vybělování horizontu Ep. V levé části obrázku je již vybělení zřetelné, zatímco v ostatních částech jsou patrné i rezavé odstíny uvolněného a postupně migrujícího železa. Obrázek B zachycuje přechod horizontu Ep do horizontu Bhs, což lze dokumentovat rozdílem barev svrchní a spodní části obrázku. Zatímco svrchní část je poměrně světlá, spodní již dosahuje tmavších odstínů hnědé. Je to dáno migrací humusových kyselin tmavé barvy ať již samostatně nebo v podobě organominerálních komplexů, které se právě v horizontu Bhs začínají srážet. Černo hnědé skvrny na tomto obrázku jsou rovněž výsledkem nahromadění humusových kyselin. Obrázek C je celkově tmavší, což je způsobeno jeho odlišným nasvícením a expozicí. I přesto je na něm dobře patrné pronikání humusových kyselin póry, jejich hromadění na horních částech skeletu a pronikání do mikrotrhlin skeletu. Snímek D pak zachycuje přechod horizontů Bhs a Bs. V horní části snímku, jsou ještě zřetelné odstíny tmavě hnědých humusových kyselin či organominerálních komplexů a to opět především na povrchu skeletu, kde jsou nahromaděny. Nižší již převažuje rezavá barva seskvioidů. I zde je patrné pronikání do mikrotrhlin zvětrávajícího skeletu, tentokrát však jasně rezavých seskvioidů.

Detailnější hodnocení intenzity podzolizace a tedy jistým způsobem degradace lesních půd pomocí mikromorfologie však bude předmětem dalších studií.

Závěr

Obecně lze konstatovat, že vliv vegetačního krytu i vápnění je patrný především v nadložních horizontech. V hlubších horizontech jsou si hodnoty půdních charakteristik na studovaných lokalitách velice podobné.

Širším závěrem obou těchto studií je fakt, že příroda sama má schopnost vyrovnat se s negativními vlivy lidské činnosti. Lze spekulovat, zda by původní věkově strukturované bukové porosty imisní kalamitě odolaly lépe, než nepůvodní smrkové monokultury. Touto studií se však prokázalo, že bukové porosty těm původním blízké vykazují schopnost vylepšovat či udržovat půdní podmínky na lepší úrovni, než je tomu u smrkových porostů. Samozřejmě toto tvrzení je použitelné pouze pro oblasti optima bukových porostů. Ve vrcholových partiích, kde je smrk původní dřevinou, je situace odlišná. Tyto oblasti byly kalamitou zasaženy nejvíce. I zde ale příroda nasadila vlastní regenerační mechanismus, kterým byla expanze travních společenstev. Půdy nezapojených lesních porostů s porosty trav vykazují v některých rysech příznivější půdní podmínky než zapojené lesní porosty. Vliv vápnění je ve srovnání s tímto přírodním mechanismem rychlý, účinný, ale pouze krátkodobý.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen grantem č. 1G57073 Národní agentury pro zemědělský výzkum, granty č. 526/05/0613 a č. 103/05/2143 Grantové agentury ČR a výzkumným záměrem č. MSM6046070901 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

Literatura

- Borůvka L., Mládková L., Drábek O. (2005a): Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry* 99: 1796-1806.
- Borůvka L., Mládková L., Drábek O., Vašát R. (2005b): Factors of spatial distribution of forest floor properties in the Jizerské Mountains. *Plants, Soils and Environment* 51: 447-455
- Borůvka L., Podrázský V., Mládková L., Kuneš I., Drábek O. (2005c): Some approaches to the research of forest soils affected by acidification in the Czech Republic. *Soil Science and Plant Nutrition* 51: 745-749.
- Drábek O., Borůvka L., Mládková L., Kočárek M. (2003): Possible method of aluminium speciation in forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry* 97: 8-15.
- Chaloupský J. (1989): *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. ÚÚG, Praha
- Kodešová R., Pavlů L., Kodeš V., Žigová A., Nikodem A. (2007a): Impact of spruce forest and grass vegetation cover on soil micromorphology and hydraulic properties of organic matter horizon. *Biologia* 26: (v tisku)
- Kodešová R., Pavlů L., Žigová A., Kodeš V., Nikodem A. (2007b): Impact of varying soil plant cover on soil micromorphology and hydraulic properties. (this issue)
- Manugistics (1997): *Statgraphics Plus for Windows user manual*. Manugistics, Inc., Rockville, MD
- Mládková L., Borůvka L., Drábek O. (2005): Soil properties and toxic aluminium forms in acid forest soils as influenced by the type of stand factors. *Soil Science and Plant Nutrition* 51: 741-744.
- Mládková L., Borůvka L., Drábek O., Vašát R. (2006): Factors influencing distribution of different Al forms in forest soils of the Jizerské hory Mts. *Journal of Forest Science* 52 (Special Issue): 87-92.
- Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. (2001): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU Praha – VÚMOP Praha
- Pavlů, L., Borůvka, L., Nikodem, A., Rohošková, M., Penížek, V. (2007): Altitude and forest type effects on soils in the Jizera Mountains region. *Soil and Water Research* 2: 35-44
- Podrázský V. (1989): Vliv vápnění na chemické vlastnosti lesních půd Jizerských hor, Orlických hor a Krkonoš. *Práce VÚLHM*, 74: 169-205
- Podrázský V.V. (2006): Effect of controlled liming on the soil chemistry on the immission clear-cut. *Journal of Forest Science* 52 (Special Issue): 28-34
- Podrázský V., Ulbrichová I., Remeš J. (2001): Účinnost provozního vápnění v Jizerských horách (Effectiveness of liming in Jizera Mountains). *Lesnická práce*, 80: 438-440
- Slodičák M. a kol. (2005): *Lesnické hospodaření v Jizerských horách*. VÚLHM, Jiloviště-Strnady
- Vacek S. (2003): *Horské lesy České republiky*. MZe ČR, Praha
- Zbíral J. (1996): *Analýza půd II-jednotné pracovní postupy*. SKZÚZ, Brno.
- Zbíral J. (2002): *Analýzy půd I – Jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ, Brno