

PŮDY A PŮDNÍ PROCESY DLE DOMINANTNÍCH DŘEVIN V KRKONOŠÍCH

Vilém Podrázský – Stanislav Vacek – Karel Matějka

Abstrakt

Podrázský, V., Vacek, S., Matějka, K.: Půdy a půdní procesy dle dominantních dřevin v Krkonoších

Příspěvek pojednává o stavu a vývoji půd v lesních i nelesních ekosystémech Krkonoš v letech 1980–2003. Šetření bylo provedeno na souboru 32 trvalých výzkumných ploch v 5.–8. lesním vegetačním stupni v bukových, smíšených (smrkobukových) a smrkových porostech a na 11 výzkumných plochách v porostech kleče v 9. vegetačním stupni. Na každé ploše byla v jednotlivých obdobích vykopána či obnovena pedologická sonda a byly odebrány a dle standardních metodik analyzovány vzorky z jednotlivých genetických horizontů. Vesměs se jedná o půdy minerálně chudé a relativně kyselé. Současné nepříznivé antropogenní procesy tyto půdy různým způsobem poškozují. Z výsledků je patrné, že hlavní změny proběhly v povrchových půdních horizontech.

Klíčová slova: stav a vývoj půd, pedogeneze, lesní a nelesní ekosystémy, bukové, smíšené (bukosmrkové), smrkové a klečové porosty, Krkonoše

Abstract

Podrázský, V., Vacek, S., Matějka, K.: Soils and Soil Processes According to Dominant Tree species in Giant Mountains

The presentation deals with status and development of soils in forest and non-forest ecosystems of Giant Mountains in the period 1980–2003. There the investigation was made on the set of 32 permanent research plots in 5th–8th forest altitudinal zone in beech, mixed (spruce-beech) and spruce stands and on 11 research plots in mountain pine (*Pinus mugo*) stands in 9th forest altitudinal zone. There were mined or renewed soil pit on particular plots in single all periods of research. Samples of single soil horizons were picked up and analyzed according to standard methods. The soils are mostly mineral-poor and relatively acid. These soils are harmed in different ways by current unfavorable anthropogenic processes. It is perceptible from the results, that main changes passed in surface soil horizons.

Key words: status and development of soils, pedogenesis, forest and non-forest ecosystems, beech, mixed (beech-spruce), spruce and mountain pine (*Pinus mugo*) stands, Giant Mountains

Úvod

Organizmy, zejména dominantní složka vegetace, jsou vedle klimatu a matečné horniny jedním ze tří základních faktorů pedogeneze. Produkují organickou hmotu, podílejí se na biologické migraci a akumulaci, ale i na rozkladu, mineralizaci a transformaci organických látek v půdě (ŠÁLY 1978). Z tohoto důvodu se druhové složení porostu odrazí určujícím způsobem na dynamice půdní organické hmoty a na množství a kvalitě celkového humusu.

Druh dřeviny, formující lesní porost nebo podílející se na jeho výstavbě, podmiňuje akumulaci, transformaci a mineralizaci humusu množstvím opadu, jeho kvalitou, tj. chemickým složením, a obsahem látek inhibujících rozklad. Základní prvky koloběhu organické hmoty v lesních porostech a jejich dopad na stav lesních půd jsou předmětem zájmu lesníků již dlouhou dobu. Výsledky jsou shrnuty do obecných

představ, jak je dokumentují kupříkladu učebnice pedologie a souborné práce (BINKLEY 1986, DU-CHAUFOR 1982, KLIMO 1990, ŠÁLY 1978, 1988 aj.).

Cílem tohoto příspěvku bylo zhodnotit stav a vývoj půd v bukových, smíšených, smrkových a klečových porostech na trvalých výzkumných plochách v Krkonoších v letech 1980 – 2003.

Materiál a metodika

Stav a vývoj lesních půd v 5. – 8. LVS v Krkonoších

Šetření bylo provedeno na souboru 32 trvalých výzkumných ploch, které jsou popsány např. v práci VACEK, MATĚJKA (1999) – tab. 1. Na těchto TVP probíhá intenzivní výzkum dynamiky zdravotního stavu porostů, dendroekologická, fytoecologická a pedologická šetření. Po založení ploch v letech 1976 - 1980 na nich byl na podzim r. 1980 proveden základní pedologický průzkum. Na něj pak bylo navázáno v roce 1993 při rozsáhlém šetření půdních podmínek v souvislosti s výzkumným programem nadace FACE, v r. 1998 v rámci grantů MŽP a v r. 2003 projektu MZe (cf. VACEK, PODRÁZSKÝ 1994, 1995, 1999, PODRÁZSKÝ 1996).

Na každé ploše byla v jednotlivých obdobích vykopána či obnovena pedologická sonda podle standardních zásad a vzorky byly odebrány z jednotlivých genetických horizontů. Byly bezprostředně dopraveny do laboratoře Výzkumné stanice v Opočně a zde byly zpracovány podle standardních metodik (ŠMÍDOVÁ 1991). Bylo stanoveno: pH aktivní i výměnné, charakteristiky půdního sorpčního komplexu podle Kappena (S - obsah výměnných bází, T - kationtová výměnná kapacita, H – hydrolytická acidita a V-nasycení sorpčního komplexu bázemi), dále obsah celkového uhlíku a dusíku metodou Springer - Klee a obsah makroelementů (P, K, Ca, Mg, Fe) ve výluhu 1% kyselinou citrónovou. Dále z nich byl stanoven fosfor spektrofotometricky, draslík plamennou fotometrií, vápník a hořčík pomocí AAS.

Vzorky nadložního humusu byly odebrány pomocí ocelového rámečku 25x25 cm podle jednotlivých vrstev (L, F1, F2, H, Ah). Vzorky minerální zeminy (Ah horizont) nebyly odebrány kvantitativně. V laboratoři VS Opočno bylo u všech vzorků provedeno stanovení hmotnosti sušiny (105 °C), pH aktivního i výměnného (1M KCl), elektrické vodivosti, celkové výměnné acidity a jejich složek, tj. obsahu výměnného vodíku a hliníku. Kromě toho byl stanoven obsah celkového uhlíku (žháním) a dusíku metodou Kjeldahla, pokud to množství vzorku ještě dovozovalo (PODRÁZSKÝ 1996).

Výsledky analýz jsou uváděny pouze u jednoznačně srovnatelných půdních horizontů. Ke zpracování výsledků analýz byl použit balík statistických programů ANOVA a procedury spojené s analýzou variance. Porosty byly rozděleny do 3 skupin: smrkové s výraznou převahou smrku, bukové s výraznou převahou buku a smíšené porosty.

Stav a vývoj lesních půd klečového vegetačního stupně v Krkonoších

Šetření se soustředila jednak do oblasti západních Krkonoš (Harrachov, Labská a Pančavská louka) na území lesních závodů (LZ) Harrachov a Vrchlabí (8 trvalých výzkumných ploch - TVP) a jednak do východních Krkonoš (Modrá stráň, Studniční hora, Stříbrné návrší) na LZ Maršov (3 TVP) – tab. 2. Plochy byly umístěny v porostech kleče (*Pinus mugo* Turra) autochtonního i alochtonního původu, různého stáří (15 - 110 let) a struktury. Jedná se o polohy charakterizované vesměs souborem lesních typů 9Z, lesním typem 9Z2 a 9Z1, hospodářským souborem HS 03 a pásmem ohrožení A. Nadmožská výška sledovaného území se pohybuje mezi 1 340 a 1 480 m n. m. Bližší charakteristiky všech TVP uvádí příloha 2. Na každé ploše byla vykopána půdní sonda podle obecných zásad půdního průzkumu (Šarman 1981). Reprezentativní půdní vzorky byly opakovaně po pěti letech odebrány z jednotlivých pedogenetických horizontů v r. 1996 a v r. 2001.

Analýzy půdních vzorků provedla laboratoř firmy Tomáš se sídlem ve Výzkumné stanici VÚLHM v Opočně podle zde standardních metodik (Šmídová 1991). Byla stanovena: půdní reakce aktivní a výměnná (v KCl), obsah celkového uhlíku (humusu) a dusíku metodou Springer – Klee, obsah celkového dusíku podle metody Kjeldahla, hodnoty sorpčního komplexu metodou Kappena (S - obsah bází, H - hydrolytická acidita, T – kationtová výměnná kapacita a V - nasycení sorpčního komplexu bázemi), dále výměnná acidita, obsah výměnného hliníku a vodíku ve výluhu HCl a obsah makroelementů a sesquioxidů železa ve výluhu 1% kyselinou citrónovou.

Tabulka 1. Přehled základních charakteristik trvalých výzkumných ploch v 5. – 8. LVS v Krkonoších

	Název plochy	Lesní závod	Porost	Dřevina	Věk	Střední výška	Střední tloušťka	Bonita	Zásoba	Nadmoř. výška	Expozice	Sklon	Lesní typ	HS	Přímá ohrožen	Geologický podklad	Půda
1 +	U tunelu	Harrachov	221 A8	SM BK	105 105	23 20	25 20	5 6	390 40	730	JZ	26	6K5	01	C	biot. žula	kambizem
2	Vilémov	Harrachov	415 B16	SM BK	145 145	25 22	30 28	6 6	210 140	600	JZ	22	5Y0	01	C	svor fylit	ranker
3 ++	U Lubošské bystřiny	Harrachov	514 A1	SM	216	22	32	9	185	1150	JZ	22	8Z2	02	A	žula	podzol
4	Pod Voseckou boudou	Harrachov	511 A17	SM	196	18	30	9	250	1180	JZ	12	8T3	02	B	biot. žula	glej
5	Pod Lysou horou	Harrachov	508 B17	SM	216	22	32	9	185	1130	S	17	8T3	02	B	biot. žula	glej
6	V Bažinách 2	Harrachov	311 A17	SM BK	205 205	28 20	48 30	6 8	260 280	1060	V	22	8K3	72	C	rula, fylit	krypto-podzol
7	V Bažinách 1	Harrachov	311 A17	SM BK	205 205	33 26	58 38	5 6	110 420	940	V	24	6S2 (6V2)	54	C	rula	kambizem
8	Nad Benžinou 2	Harrachov	306 C14	SM BK	131 131	24 30	36 20	6 8	20 240	1190	JZ	24	6A6	02	B	biot. žula	kambizem
9	Nad Benžinou 1	Harrachov	306 C17	SM BK	141 141	24 20	36 30	6 8	20 240	1170	JZ	17	6A6	02	B	biot. žula	krypto-podzol
10	Pod Vysokým Kolem	Vrchlabí	103 E17	SM	185	14	30	9	120	1240	J	16	8K2 (8R1)	02	B	biot. žula	podzol
11	Strmá stráň A	Vrchlabí	117 B17	SM	188	18	30	9	170	1220	SV	29	8Z4	02	A	biot. žula	podzol
12	Strmá stráň B	Vrchlabí	117 B17	SM	188	18	30	9	170	1170	SV	26	8Z4	02	A	biot. žula	podzol
13	Strmá stráň C	Vrchlabí	117 C17	SM	186	26	30	9	350	1120	SV	23	8N1	01	B	biot. žula	podzol
14 ++	Strmá stráň D	Vrchlabí	117 C17	SM	186	26	30	9	350	1050	SV	24	8N1	01	B	biot. žula	podzol
15 ++	Strmá stráň E	Vrchlabí	117 C17	SM	186	26	30	9	350	990	SV	22	8N1	01	B	biot. žula	podzol
16 ++	Pod Martinovkou	Vrchlabí	105 D16	SM	145	18	27	9	250	1170	JV	16	8K2	02	B	biot. žula	podzol
17 ++	U Bílého Labe	Vrchlabí	219 A14	SM	122	21	27	9	320	1070	SV	29	7N1 (8N1)	01	A	biot. žula	podzol
18 ++	U Čertovy strouhy	Vrchlabí	213 A17	SM	169	19	30	9	260	1200	JZ	23	8N1	01	A	žula	podzol
19 ++	U Klínové boudy	Vrchlabí	310 A16	SM	141	19	20	8	260	1170	JV	22	8K4 (8Z3)	02	B	svor, fylit	podzol
20	Pod Liščí horou	Vrchlabí	237 A17	SM	144	17	34	9	150	1260	JZ	19	8Z4	02	A	svor, fylit	podzol
21	Modrý důl	Horní Maršov	233 A13	SM	107	13	28	9	160	1230	J	21	8Z4	02	B	svor, fylit	podzol
22	Obrí důl	Horní Maršov	234 B16	SM	122	15	30	9	170	1160	V	32	8Z4 (9K)	02	B	svor, fylit	podzol
23	Václavák	Horní Maršov	101 B17	SM	160	13	29	9	100	1190	SV	4	8R1	02	B	ortorula	organozem
24	Střední hora	Horní Maršov	330 D17	SM	164	21	28	8	360	1250	JV	20	8Z3	02	B	svor, fylit	podzol
25 ++	Pod Koulí	Horní Maršov	331 A17	SM	165	21	28	7	365	1140	SV	28	8K9	01	B	svor, fylit	podzol
26 ++	Lysečinský hřeben	Horní Maršov	303 D1	SM	142	14	18	9	248	1170	Z	3	8Z3	02	A	ortorula	podzol
27	U bukového pralesa A	Horní Maršov	525 C16	BK	147	10	21	9	190	1030	JZ	3	7K2 (7K3)	72	B	fylit	krypto-podzol
28	U bukového pralesa C	Horní Maršov	536 A19	BK	121	21	33	7	280	940	JV	15	6K5	52	C	fylit	krypto-podzol
29	U bukového pralesa B	Horní Maršov	536 A16	SM BK	142 142	25 21	54 41	5 8	59 202	950	JV	16	6S2	54	C	fylit	krypto-podzol
30	U hadí cesty D	Horní Maršov	542 D16	BK	141	27	30	6	140	790	SV	24	6D4	55	C	meta-diabaz	kambizem
31	U hadí cesty F	Horní Maršov	542 C14	SM BK	124 124	24 24	34 39	6 6	20 301	740	SV	23	6B1	54	C	meta-diabaz	kambizem
32	U hadí cesty E	Horní Maršov	542 B13	SM BK	107 107	24 22	25 37	5 6	5 231	760	SV	35	6B9 (6A1)	54	C	meta-diabaz	kambizem

Poznámka: + částečný těžební zásah (TVP 1 v r. 1991)

++ zcela vytěžen (TVP 3 v r. 1983, TVP 14 a 19 v r. 2000, TVP 15 a 16 v r. 1997, TVP17 v r. 1988, TVP 18 a 25 v r. 1998, TVP 26 v r. 1984) a zalesněno smrkem

Cílem zpracování je porovnat vývoj půdních vlastností v období let 1996 a 2001 - v této pětileté periodě byly provedeny odběry z půdních profilů podle jednotlivých půdních horizontů. Vzorky tak nejsou přímo porovnatelné podle hloubky. Jednotlivé horizonty byly rozděleny do skupin, které byly dále přímo srovnávány:

- 2 F, L+F
- 3 H
- 4 Ah, Au, Ah1, Ah2
- 5 Ae, Ahe, Aeg, Aeh
- 7 Bh, Bh1, (B)v1, B, B1
- 8 Bs, Bh2, Bhs, (B)v2, B2(B3)
- 9 B/C
- 10 C, C1, Cn1
- 11 Cn, Cn2

Ke zpracování výsledků analýz byl použit balík statistických programů ANOVA, procedury spojené s analýzou variance a ordinační analýzy.

Tabulka 2. Přehled základních údajů o výzkumných plochách v klečových porostech v Krkonoších

Plocha - název	Labská louka	Náhol- níková plocha	U čtyř pánů	Jestřáb- níková plocha	Harracho- va louka	Vřesová plocha	Koni- klecová plocha	Krkonoš	Modrá stráž	Studniční hora	Stříbrné návrší
Číslo plochy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lesní závod	Harrachov	Vrchlabí	Harrachov	Harrachov	Harrachov	Harrachov	Vrchlabí	Vrchlabí	Maršov	Maršov	Maršov
Lesní správa	Studenov	Labská	Studenov	Rezek	Rezek	Rezek	Labská	Labská	Pec pod Sněžkou	Pec pod Sněžkou	Pec pod Sněžkou
Porost	502B 10V	115A 1V	504B 10V	301A 1V	301A 4V	301A 1V	115C 1V	116B 9V	230A1	231B17V	216A 9V/2V
LT	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Z2	9Y1	9Z2
Hospodář. soubor	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
Pásmo ohrožení	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nadmořs- ká výška	1380	1340	1350	1350	1370	1370	1340	1390	1480	1485	1400
Expozice	JZ	J	SSZ	SSZ	S	SSZ	-	SSV	JV	SZ	JZ
Sklon	2	2	1	6	2	1	-	15	20	10	15
Věk kleče	90	15	90	15	35	15	15	110	15	170	15
Původ kleče	aloch- tonní	autoch- tonní	aloch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní	autoch- tonní
Rok založení	1981	1995	1981	1995	1981	1995	1995	1981	1996	1996	1996

Výsledky

Stav a vývoj lesních půd v 5. – 8. LVS

Hodnocen byl vývoj půd na základě odběrů půdních profilů prováděných v letech 1980, 1993, 1998 a 2003. Důležité je předem upozornit, že na plochách nebyla prováděna analýza ve více vzorcích a přiřazení ke genetickému půdnímu horizontu nebylo vždy přesně shodné. Z druhého důvodu byly

půdní horizonty označeny číselnými indexy: L – 1, F – 2, H – 3, Ah – 4, Ae – 5, E – 6, B – 7 až 9, C – 10 až 14. Jednotlivé vzorky byly porovnávány pomocí těchto indexů.

Pro další podrobné hodnocení je důležité uvažovat zjištěné obecné vztahy jednotlivých charakteristik k obsahu organické hmoty vyjádřené jako obsah celkového uhlíku. Byly zjištěny následující regresní vztahy tvaru $y = a + b \cdot x$, kde x je Ctot (tab. 3). Vztahy se liší podle jednotlivých horizontů. Zahrnuty byly všechny lokality.

Charakter odebíraných půdních vzorků byl hodnocen na základě ordinační metody „standardized principal component analyse“ (použité proměnné byly centrovány a standardizovány na jednotkovou normu v rámci každého zpracovávaného datového souboru, čímž bylo docíleno vyrovnání vlivu všech zahrnutých proměnných, jimiž byly Ctot, Ntot, aktivní pH, výměnné pH, charakteristiky sorpčního komplexu H, S, T, V, přístupné živiny P_2O_5 , K_2O , CaO a MgO).

Hodnoceny byly jednotlivě tři soubory dat - pro smrkové, bukové a smíšené porosty. Použity byly osy 1 až 4. Výsledky jsou velmi podobné pro všechny tři soubory. Poloha vzorku v prostoru první a druhé osy je určena především hloubkou odběru (půdním genetickým horizontem), přičemž největší rozdíly mezi vzorky byly zaznamenány u nejsvrchnějších půdních horizontů L, F a H (obr. 1). Největší rozdíly mezi rozložením průměrných hodnot pro skupiny vzorků byly zaznamenány u horizontů L, F, H v bukových porostech, výrazně menší byly již ve smíšených porostech a relativně nejmenší ve smrkových porostech (obr. 2).

Dále bylo provedeno srovnání jednotlivých odběrových let (postupně jsou uváděny průměrné hodnoty pro roky 1980, 1993, 1998 a 2003 ze všech analyzovaných vzorků příslušné skupiny – tabulka 4) pomocí analýzy variance. Poznámky jsou dále uváděny jen u těch charakteristik, u kterých byly zaznamenány nějaké změny ($a > 5\%$). Celkově nejodlišnější z odběrových let byl rok 1993, kde se na půdním prostředí pravděpodobně nejvýrazněji projevil dopad imisně ekologických kalamit.

Tabulka 3. Regresní vztahy jednotlivých půdních charakteristik k obsahu celkového uhlíku

Horizonty	1 – 3		4 – 6		7 – 9		> 9	
	y	r	y	r	y	r	y	r
N _{tot}	0.8709+0.0166x	0.6195***	0.1457+0.0383x	0.7225***	0.0784+0.03583x	0.6370***	0.0580+0.0267x	0.8263***(3)
akt. pH	2.9810+0.0293x	0.6238***	ns		ns		ns	
vým. pH	2.7529+0.0081x	0.2325*	3.2118-0.0136x	-0.3115***	3.7056-0.0255x	-0.2095** ⁽¹⁾	3.8156-0.0127x	-0.2793**
S	3.5374+0.2618x	0.3181**	1.1921+0.2406x	0.5358***	2.1951+0.2086x	0.3733*** ⁽¹⁾	2.3784+0.0459x	0.2152*
H	15.436+0.5232x	0.4003***	7.8978+0.7503x	0.5845***	7.0932+0.5316x	0.3978***	3.9907+0.6747x	0.8346***
T	+0.6642x	0.3690***	7.0866+1.1250x	0.7222*** ⁽¹⁾	10.374+0.5858x	0.3527***	6.4777+0.7193x	
V	ns		ns		ns		27.454-0.2960x	-0.2151*
P ₂ O ₅	ns		13.862+0.3056x	0.2668**	13.620+0.3191x	0.1748*	11.572+0.5960x	0.4717*** ⁽³⁾
K ₂ O	-35.728+2.1792	0.3346*** ⁽⁶⁾	1.3509+0.4138x	0.6685*** ⁽²⁾	2.5560+0.1384x	0.2117**	1.6026+0.1103x	0.6190*** ⁽³⁾
Fe ₂ O ₃	ns ⁽³⁾		ns		138.12+19.023x	0.3820*** ⁽⁴⁾	ns	
CaO	-117.38+10.221x	0.3111** ⁽⁶⁾	11.685+0.8577x	0.3234***	ns ⁽⁵⁾		ns ⁽⁵⁾	
MgO	-15.903+1.6036x	0.2706** ⁽⁶⁾	2.3003+0.4072x	0.4262***	ns ⁽⁵⁾		2.2595+0.1000x	0.2622** ⁽⁵⁾
N	0.7658+0.0176x	0.4820***						
P	ns							
K	0.4486-0.0050x	-0.4025***						
Ca	ns							
Mg	ns							

Poznámky:

- (1) Tři nejodlehlejší body vyloučeny
 - (2) Pět nejodlehlejších bodů vyloučeno
 - (3) Jeden nejodlehlejší bod vyloučen
 - (4) Přes 40% chybějících údajů
 - (5) Hodnoty jsou shora omezeny klesající křivkou hyperbolického tvaru
 - (6) Hodnoty jsou shora omezeny vzrůstající křivkou exponenciálního tvaru
- ns - statisticky neprůkazný vztah
r - lineární korelační koeficient

Smrkové porosty

Ve svrchních horizontech celkově došlo k vzestupu obsahu uhlíku, nízké hodnoty z roku 1993 jsou výrazně ovlivněny urychlenou mineralizací organické hmoty. Obsah celkového dusíku je relativně vyrovnaný, výjimkou je opět rok 1993. Do r. 1998 docházelo k vzestupu aktivní půdní reakce a v roce 2003 k jejímu poklesu zhruba na úroveň r. 1993. U charakteristik půdního sorpčního komplexu došlo po poklesu v období 1980–1993 k návratu rámcově na výchozí nebo i na mírně vyšší hodnoty. Obsah přístupných živin se v prvním sledovaném období snížil, poté v důsledku urychlené mineralizace přesáhl úvodní hodnoty a v posledním období opět rapidně poklesl.

Ve spodních horizontech po celé období docházelo k nárůstu celkového uhlíku a k poklesu celkového dusíku. Aktivní pH se výrazně zvyšovalo a v posledním sledovaném období opět snížilo zhruba na úroveň r. 1993. Půdní reakce výměnná se výrazněji lišila pouze v r. 1998. Po výrazném poklesu hodnot půdního sorpčního komplexu v r. 1998 došlo opět k jejich nárůstu, a to rámcově na hodnoty z roku 1993. Obsah přístupných živin v posledním období výrazně poklesl, výjimkou je pouze obsah MgO, který se značně zvýšil.

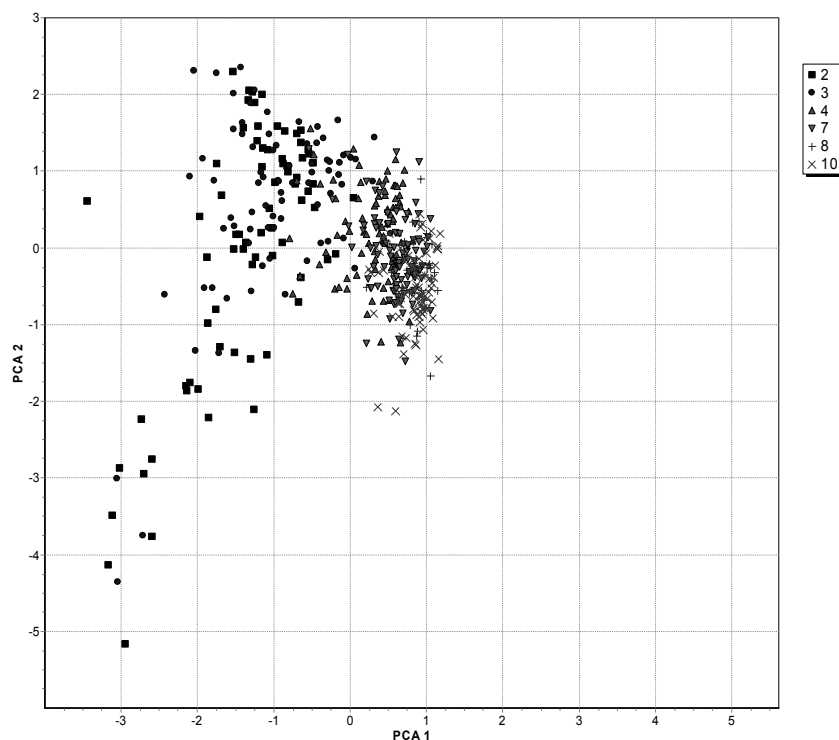
Bukové porosty

Ve svrchních horizontech celkově došlo k výraznému vzestupu obsahu uhlíku, nízké hodnoty z roku 1993 jsou výrazně ovlivněny urychlenou mineralizací organické hmoty. Obsah celkového dusíku se mírně zvýšil, výjimkou je opět r. 1993. Do r. 1998 docházelo k vzestupu aktivní půdní reakce a v r. 2003 k jejímu poklesu přibližně na úroveň r. 1993. Hodnoty charakteristik sorpčního půdního komplexu a převážně i přístupných živin průběžně narůstaly. Výrazně stoupl zejména obsah přístupného fosforu a hořčíku.

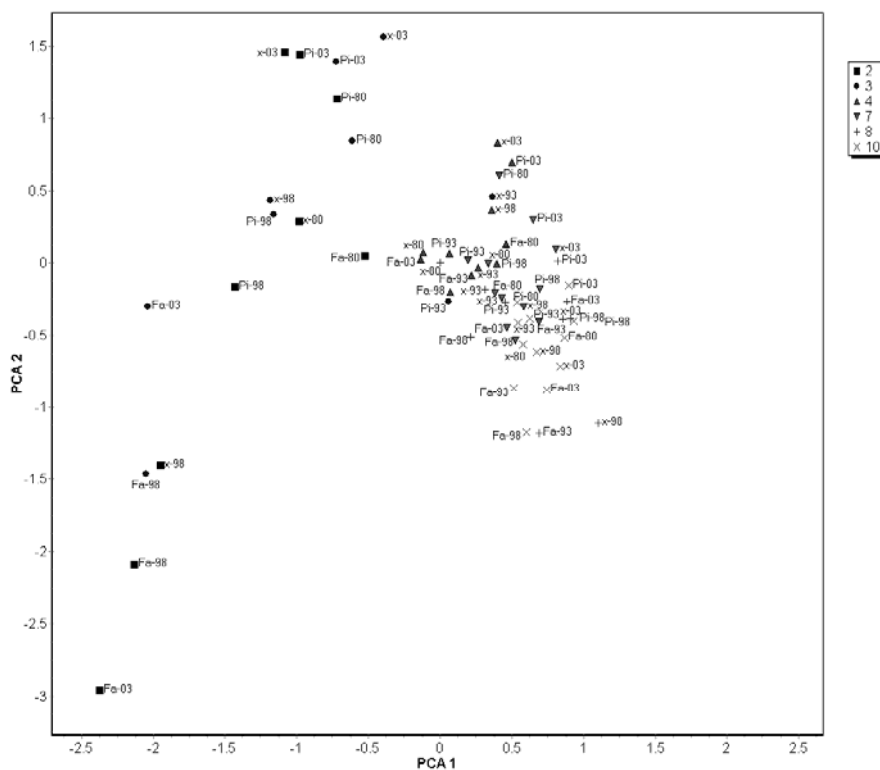
Ve spodních horizontech vzrostl obsah celkového uhlíku a mírně kolísal obsah celkového dusíku. Docházelo k mírnému nárůstu aktivního pH, s výjimkou posledního období, kdy reakce opět poklesla. Hodnoty výměnného pH jsou relativně vyrovnané, výjimkou je pouze výrazně nižší hodnota v r. 1998. Hodnoty sorpčního komplexu jen mírně fluktuují, po mírném nárůstu do r. 1998 nastává mírný pokles. Obsah přístupných živin se celkově mírně zvyšuje. K výraznému nárůstu došlo u obsahu hořčíku a naopak k poklesu u vápníku.

Smišené porosty

Ve svrchních půdních horizontech ve smíšených porostech byla prokázána dynamika blízká porostům smrkovým. Ve spodních horizontech se zvyšoval obsah celkového uhlíku, v posledním období však mírně poklesl. Mírně klesající trend byl zaznamenán u celkového dusíku. Rostlo aktivní pH, s výjimkou r. 2003, kdy byly zaznamenány hodnoty srovnatelné s r. 1980. Reakce výměnná i přes výraznější fluktuaci celkově mírně poklesla. Mírně poklesly i hodnoty sorpčního komplexu. Do r. 1998 mírně narůstal obsah přístupných živin a v posledním období výrazně poklesl. Naproti tomu u hořčíku došlo v posledním období k markantnímu nárůstu.



Obrázek 1. Rozložení jednotlivých vzorků v prostoru prvních dvou ordinačních os (metoda PCA) v bukových, smíšených a smrkových porostech.



Obrázek 2. Rozložení průměrných hodnot pro skupiny vzorků v prostoru prvních dvou ordinačních os (metoda PCA). Skupiny byly definovány číslem horizontu (první číslo v označení), skupinou ploch s porosty bukovými (Fa), smrkovými (Pi) a smíšenými (x) a rokem odběru vzoru (poslední dvojčíslí v označení je posledním dvojčíslím z příslušného roku).

Tabulka 4. Průměrné zjištěné půdně-chemické charakteristiky v jejich časovém vývoji podle skupin ploch s porosty bukovými (Fa), smrkovými (Pi) a smíšenými (x)

Hori- zont	Sku- pina	Rok	TOT C	TOT N	pH H ₂ O	pH KCl	S	H	T	V	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
2-6	Fa	1980	16.23	0.87	3.75	3.06	8.01	16.62	23.81	30.29	20.82	8.97	108.31	39.09	16.35
2-6	Fa	1993	5.77	0.40	4.07	3.22	4.24	17.67	21.90	19.31	21.69	5.01	283.52	32.10	12.36
2-6	Fa	1998	39.43	1.47	4.71	3.30	23.74	32.66	56.40	38.77	36.92	41.14	95.94	613.23	82.25
2-6	Fa	2003	40.59	1.47	4.00	3.17	24.21	33.27	56.04	36.14	52.33	36.72	337.52	49.77	154.30
2-6	Pi	1980	18.83	1.01	3.59	2.95	6.17	27.12	36.75	17.92	19.41	8.37	106.59	15.90	5.13
2-6	Pi	1993	8.88	0.54	3.82	3.15	2.83	14.52	17.17	13.90	18.59	4.66	198.00	12.08	5.53
2-6	Pi	1998	36.08	1.13	4.77	3.02	6.89	30.81	37.70	17.80	25.15	33.71	92.92	89.95	18.70
2-6	Pi	2003	29.61	1.00	3.78	3.10	7.58	36.87	44.45	16.07	2.14	1.53	4.80	1.04	17.45
2-6	x	1980	27.31	1.23	3.60	2.81	15.61	28.06	43.70	32.57	23.95	17.48	87.14	64.40	20.27
2-6	x	1993	5.07	0.34	3.85	3.26	2.79	15.02	18.04	16.54	21.34	6.56	337.13	19.22	6.80
2-6	x	1998	36.60	1.22	4.63	2.92	9.54	35.40	44.91	19.98	25.08	36.22	114.30	411.71	36.38
2-6	x	2003	35.78	1.16	3.47	2.95	7.48	37.63	45.56	16.74	1.79	2.08	8.10	1.48	19.42
7-14	Fa	1980	1.94	0.13	4.39	3.85	3.62	7.55	13.68	33.95	6.94	1.48	63.86	21.09	2.73
7-14	Fa	1993	3.45	0.24	4.51	3.92	3.94	8.91	12.85	31.98	18.18	3.26	130.11	50.67	6.93
7-14	Fa	1998	3.69	0.16	4.53	3.24	5.32	7.37	12.69	44.62	21.19	3.47	109.49	68.37	9.44
7-14	Fa	2003	3.88	0.17	4.31	3.71	4.41	7.40	11.80	35.32	18.29	3.63	27.78	4.82	169.94
7-14	Pi	1980	3.42	0.43	4.17	3.68	3.13	9.07	12.46	25.36	7.07	2.27	142.36	6.27	0.95
7-14	Pi	1993	5.67	0.31	4.27	3.85	3.39	10.69	13.86	22.43	17.04	2.64	295.98	8.86	2.34
7-14	Pi	1998	5.46	0.18	5.04	3.37	1.50	6.14	7.64	16.48	15.60	3.58	125.53	17.67	3.18
7-14	Pi	2003	6.70	0.22	4.28	3.72	3.52	12.02	15.54	20.91	1.69	0.37	1.29	0.35	23.93
7-14	x	1980	3.65	0.23	4.24	3.93	4.99	10.59	15.60	32.19	11.39	3.50	104.31	10.49	1.16
7-14	x	1993	4.03	0.26	4.28	4.05	3.97	10.22	14.18	27.78	19.56	3.04	207.27	12.88	2.01
7-14	x	1998	8.08	0.22	5.15	3.58	3.12	11.13	14.25	24.22	16.69	2.88	136.38	28.61	3.50
7-14	x	2003	5.80	0.19	4.21	3.83	2.93	8.36	12.41	31.17	1.94	0.35	1.73	0.26	10.34

Stav a vývoj lesních půd klečového vegetačního stupně

Na všech sledovaných lokalitách se půda vyznačovala velice blízkými podmínkami pedogeneze, což se odrazilo i v podobném charakteru půd. Ty bylo možno přiřadit jednomu půdnímu typu (humusový podzol /ÚHÚL/ či typický podzol /MKSP/ - Hraško et al. 1987). Pod 7 - 12 cm silnou vrstvou nadložního humusu s velice zřetelným členěním na horizonty L, F a H se nacházely mělké půdy s horizonty zvětralé matečné horniny v hloubce pouhých 37 - 60 cm.

Půdy v západních Krkonoších se převážně vyznačovaly absencí výrazného Ah horizontu (pouze u jedné plochy bylo možno odebrat vzorek z vrstvy 1 cm mocné) a patrným eluviálním horizontem 3-10 cm mocným. Dále byla charakteristická přítomnost horizontů akumulace humusu (Bh) a sesquioxidů (Bs). Mocnost horizontu Bh se pohybovala v rozmezí 5 - 12 cm, mocnost horizontu Bs v rozmezí 4 - 12 cm. Hluběji se nacházel přechodný horizont B/C o mocnosti 8 - 35 cm a dále již zmíněná zvětralina matečné horniny.

Půdní reakce aktivní i výměnná byla v západních Krkonoších značně extrémní, nicméně podstatně vyšší než v níže položených porostech smrkových, bukových i smíšených. Tento jev pravděpodobně souvisí s méně intenzivním biochemickým zvětráváním a acidifikací a s vysokou produkcí bylinného a travinného opadu s výrazně příznivějším složením. S tím souvisí i tendence vyšší zásoby nadložního humusu v mladých porostech kosodřeviny a zároveň i jeho nižší acidita. Opad kleče za přízemní vegetací kvantitativně i kvalitativně značně zaostává. Rovněž obsah humusu a celkového dusíku indikuje nepříznivou humifikaci a tvorbu humusových forem, což je zcela v souladu s extrémním charakterem studovaných stanovišť. Mísení organického a minerálního podílu půd zde probíhá mnohem méně intenzivně ve srovnání s půdami porostů v nižších lesních vegetačních stupních (lvs), což odráží obsahy celkového uhlíku (humusu) a dusíku. Ty dokumentují dynamiku typickou pro podzoly, zatímco v porostech v nižších polohách byla sledována tendence typická spíše pro kambizemě. Tytéž trendy byly doloženy i pro charakteristiky půdního sorpčního komplexu: s vyšším lvs klesal obsah bází a nasycení sorpčního komplexu bázemi (kulminace v pásmu kleče). V porostech nižších poloh byly

výrazně vyšší hodnoty ukazatelů výměnné acidity. Opět se tak projeví značně odlišné podmínky pedogeneze v 9. lvs.

Významnou roli může hrát relativní stadiální mládí těchto půd. Obsah přístupných živin byl sice velmi nízký, ovšem vesměs vyšší ve srovnání s nižšími polohami Krkonoš (Podrázský 1996), což opět dokládá nižší stupeň vývoje půd, menší ztráty živin z ekosystému vyplavením a nižší acidifikaci v porostech kleče.

Lokality ve východní části Krkonoš se vyznačovaly poněkud vyšší nadmořskou výškou a sklonem ploch. To se odráží v mírně slabší vrstvě nadložního humusu, tj. nižší akumulaci, popř. produkci. Ta je ovlivňována i odnosem povrchové organické hmoty. Rovněž další projevy pedogeneze, zejména podzolizace, byly méně výrazné, což souvisí s extremitou stanovišť a slabší intenzitou pedochemických (na rozdíl od fyzikálních) procesů. Výjimkou byla TVP Stříbrné návrší.

V hodnotách půdní reakce, aktivní i výměnné, se hodnoty ve východní části pohoří na rozdíl od západní mírně lišily. Předně se jevila tendence nižší půdní kyselosti. Třebaže se hodnoty pH v eluviálních horizontech dosti podobaly, ve svrchních, ale i ve spodních půdních vrstvách byly na všech třech plochách na LZ Maršov registrovány hodnoty poněkud vyšší. Až delší sledování by však mohlo prokázat, zda je daný jev způsoben jinou terénní a výškovou polohou, odlišným geologickým podkladem, nižším spadem ve východní části Krkonoš či odlišným charakterem vegetace nebo jen výkyvem v charakteru půd v rámci dlouhodobého vývoje.

Mladší porosty kleče se vyznačovaly podobným nebo vyšším obsahem humusu ve svrchních horizontech a podstatně nižší úrovní obsahu v půdních spodinách. Naopak starší porost kleče obsahoval v minerálních horizontech mnohem více uhlíku (humusu). Byla doložena silná vazba celkového dusíku na organickou hmotu a tato živina jevila stejnou tendenci jako obsah humusu.

Obsah bází byl obecně extrémně nízký, větší výšková exponovanost se projevila i většími rozdíly v poutání výměnných bází. Půdy ve východní části Krkonoš jeví tendenci poněkud vyššího obsahu bází ve svrchních půdních horizontech a trend nižšího obsahu v půdních spodinách. To rovněž vypovídá o extremitě lokalit a významu vegetace pro pedogenezi v daných podmínkách. Uvedené dynamice odpovídají i nižší hodnoty nasycení sorpčního komplexu bázemi – opět s výjimkou staršího porostu kleče na lokalitě Studniční hora.

Až na výjimky v případě některých půdních horizontů vykazovaly plochy ve východní části Krkonoš podstatně nižší obsah fosforu, draslíku, vápníku i hořčíku. Studniční hora se tomuto trendu opět poněkud vymykala. Nižší byl i obsah sesquioxidů železa.

Půdy ve východní části Krkonoš tak jeví výrazně vyšší extremitu co do obsahu látek a prvků podmiňujících tzv. půdní úrodnost. Vyvíjejí se evidentně v méně příznivých podmínkách, daných vyšší nadmořskou výškou a exponovaností terénu.

Statisticky prokazatelné změny průměrů sledovaných proměnných u analyzovaných půd mezi lety 1996 a 2001 dle horizontů jsou uvedeny v tabulce 5. Z tabulky vyplývá, že v horizontech L, F, H došlo k poklesu obsahu celkového uhlíku a v horizontech L a F celkového dusíku, v horizontu H a v eluviálních horizontech A a v horizontech B se zvýšila hodnota aktivního pH a ve spodní části horizontu B výměnného pH. V horizontech L a F došlo ke zvýšení hodnoty V (nasycení sorpčního komplexu báze-mi). V horizontech H, A, B i B/C se zvýšil obsah K₂O. Ve spodní části horizontů B došlo k nárůstu obsahů CaO a MgO. Ve většině horizontů mírně poklesl obsah výměnného vodíku. Obsah výměnného hliníku se zvýšil v horizontech A a poklesl v horizontech L, F, H a B (cf. PAŠŤALKOVÁ, PODRÁZSKÝ, VACEK. 2001).

Tabulce 5. Souhrn prokazatelných změn průměrů proměnných mezi lety 1996 a 2001 (zvýšení hodnoty na hladině významnosti 5 % +, na hladině 1 % ++, na hladině 0,1 % +++, obdobně značen pokles hodnoty)

Horizont	TOT C	TOT N	pH H ₂ O	pH KCl	H	V	K ₂ O	CaO	MgO	AVAIL H	AVAIL AL	PCA3
2	---	--				+				---	-	
3	---		+++				+			---	-	--
4							+				+	
5			++				+			---	+	-
7			++				+		+	---		--
8							+++	++		---		
10					+					---		
11			++	++						---	-	-

Pro mnohorozměrnou statistickou analýzu dat prováděnou metodou hlavních komponent (PCA) bylo vybráno dvanáct základních půdně-chemických charakteristik, které byly stanoveny u většiny vzorků (tab. 6 A, B).

Tabulka 6 A. Hodnocení dat pomocí ordinační analýzy metodou PCA. Vlastní čísla korelační matice a procenta vysvětlené variance

PCA	Vlastní číslo	% celkové variance	Součet vlastních čísel	Součet variance. %
1	5.711812	47.59843	5.71181	47.59843
2	1.779196	14.82664	7.49101	62.42507
3	1.174017	9.78347	8.66502	72.20854
4	1.072780	8.93983	9.73780	81.14837
5	.768178	6.40148	10.50598	87.54985

Již prvá ordinační osa vystihuje skoro polovinu celkové variability dat, druhá osa pak dalších 15 %. Prvá osa je silně korelována s obsahem organické hmoty (celkovým uhlíkem a dusíkem) a rovněž s kationtovou výměnnou kapacitou půdy (T).

Tabulka 6 B. Ordinační skóre sledovaných půdně-chemických proměnných pro prvních pět nejvýznamnějších os

Půdně chemické charakteristiky	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5
TOT_C	.936403	-.109494	.048454	.081505	-.070284
TOT_N	.936057	-.150639	.019852	.103409	.005495
pH_H ₂ O	-.556769	.338551	-.555177	-.030432	-.193637
pH_KCl	-.670540	.361866	-.449724	-.015225	-.072758
S	.628429	.042283	-.640158	-.020918	.084559
H	.899632	-.022918	-.031372	-.227196	.044710
T	.912302	.014758	-.286005	-.165654	.058969
P ₂ O ₅	.310821	.793916	.229698	-.209646	.281979
K ₂ O	.835516	-.098815	-.236346	.143651	-.025460
Fe ₂ O ₃	.380340	.837632	.152226	-.006856	.096428
CaO	.467906	.341176	.186999	.115538	-.765155
MgO	-.065554	-.195772	.038117	-.946998	-.181303

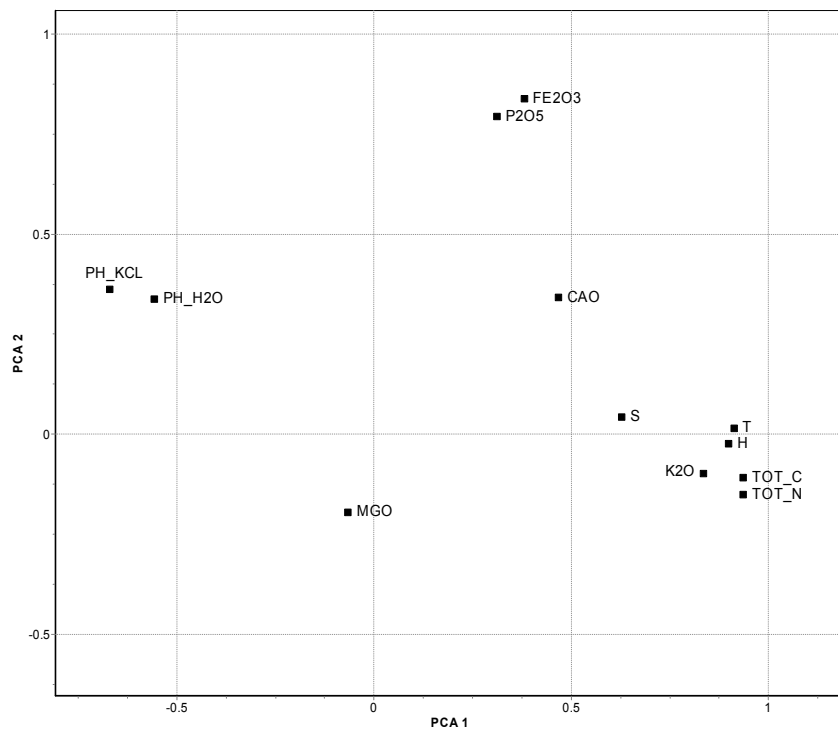
Statisticky průkazné charakteristiky jsou zvýrazněny

Zjednodušeně lze tedy říci, že vystihuje hloubkovou pozici vzorku (horizontu) v půdním profilu. Druhá osa je pak silně závislá na obsahu přístupného fosforu a železa. Třetí ordinační osa souvisí nejúžeji s acidobazickými poměry půdy (obr. 3, 4).

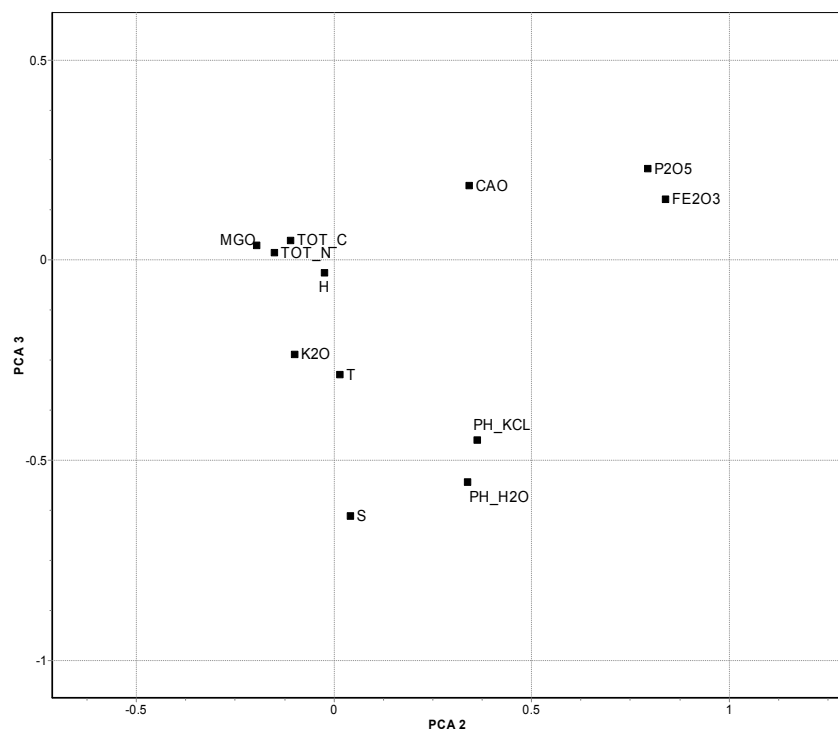
Z výsledků ordinačních analýz je patrné, že hlavní změny proběhly v povrchových půdních horizontech, přičemž charakter změn je na většině ploch obdobný, pouze plochy 9 a 11 se zřetelně odlišují.

Závěr

Z výsledků šetření dle dominantních dřevin v Krkonoších vyplývá, že se převážně jedná o půdy silně kyselé, na živiny chudé a sorpčně nenasycené. Relativně nejprůzračnější půdní poměry byly zjištěny v bukových porostech, méně příznivé byly již ve smíšených a smrkových porostech a nejméně příznivé v klečových porostech. Hlavní změny v jednotlivých porostech a diferencovaně dle jednotlivých dřevin proběhly v povrchových půdních horizontech, přičemž charakter změn byl závislý na konkrétních stanovištních a porostních podmínkách. Celkově však narůstaly se stoupajícími lesními vegetačními stupni. V roce 1993 lze konstatovat nejprokazatelnější dopad imisně ekologické kalamity. Fyzikálně chemické vlastnosti nevykazují v globále od roku 1980 do současnosti, přes jistou rozkolísanost, významnější rozdíl. Obsah přístupných živin se však průkazně snížil, rostoucí obsah přístupných živin se objevil jen pod listnatými porosty.



Obrázek 3. Prvé dvě ordinační osy (metoda PCA) - poloha půdně-chemických charakteristik v klečových porostech



Obrázek 4. Prostor druhé a třetí ordinační osy (metoda PCA) - poloha půdně-chemických charakteristik v klečových porostech

Poznámka

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu VaV – SM/2/28/04 – **Zvýšení podílu přírodě blízké porostní složky ekosystému lesa velkoplošných chráněných území.**

Literatura

- BINKLEY, D. (1986): *Forest nutrition management*. New York, J. Wiley. 289 s.
- DUCHAUFOR, P. (1982): *Pedology. Pedogenesis and classification*. 1. ed. London, G. Allen and Unwin. 448 s.
- KLIMO, E. (1990): *Lesnická pedologie*. Brno, VŠZ. 256 s.
- PAŠTÁLKOVÁ, H. – PODRÁZSKÝ, V. – VACEK, S. (2001): Půdy klečového vegetačního stupně v Krkonoších. *Opera Corcontica* 38: 207 -217.
- PODRÁZSKÝ, V. (1996): Vývoj půdního chemismu v bukových, smíšených a smrkových porostech Krkonoš. *Lesnictví - Forestry* 42, 2: 92 - 99.
- PODRÁZSKÝ V. - VACEK, S. (1994): Půdy ochranných lesů Krkonoš. *Opera Corcontica* 31: 5 - 21.
- ŠÁLY, R. (1978): *Pôda, základ lesnej produkcie*. Bratislava, *Príroda*. 235 s.
- ŠÁLY, R. (1988): *Pedológia a mikrobiológia*. Zvolen, VŠLD. 378 s. ŠARMAN, J.: Vliv pěstebního zásahu na stav povrchového humusu v jedlovém porostu. *Lesnictví*, 25, 1979, č. 7, s. 595 - 604.
- ŠMÍDOVÁ, V. (1991): *Metodiky používané při rozbořech na VÚLHM VS Opočno*. Opočno, Výzkumná stanice Opočno. Nestr., *Strojopis*.
- VACEK, S. - PODRÁZSKÝ, V. (1994): Změny chemismu v lesních půdách Krkonoš. *Zprávy lesnického výzkumu*, 39, č. 4, s. 51- 52.
- VACEK, S. – PODRÁZSKÝ, V.: Development trends in forests of the Krkonoše Mts under emission load. In: *Mountain National Parks and Biosphere Reserves: Monitoring and Management. Proceedings of International Conference*. Špindlerův Mlýn, Krkonoše National Park, 20. – 23. September 1993. Eds. J. Flousek, G. C. S. Roberts, Vrchlabí, Krkonoše National Park Administration 1995, s. 69 – 74.
- VACEK, S. – MATĚJKA, K.: The state of forest stands on permanent research plots in the Krkonoše Mts in years 1976 – 1997. *Journal of Forest Science*, 45, 1999, č. 7, s. 291 – 315.
- VACEK, S. – PODRÁZSKÝ, V.: Soil chemistry changes in the Krkonoše Mts during the last decade. In: *Effect of global climate change on boreal and temperate forests*. Eds. K. Vančura, V. Šrámek, Praha, *Forestry and Game Management Research Institute, Jíloviště – Strnady, Praha* 1999, s. 85 – 88.
- VACEK, S. – PODRÁZSKÝ, V. – MATĚJKA, K.(2000): Stav a vývoj lesních půd na TVP v Krkonoších v letech 1980 – 1998. *Opera Corcontica*, 37, s. 150 – 155.

Kontakt

Prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

podrazsky@fle.czu.cz

Doc. RNDr. Stanislav Vacek, DrSc.

vacekstanislav@fle.czu.cz

Katedra pěstování lesů

Fakulta lesnická a environmentální České zemědělské univerzity v Praze

Kamýcká 1176

165 21 PRAHA 6 – SUCHDOL

Ing. Karel Matějka, CSc.

ids@infodatasys.cz

IDS

Na Komořsku 2175/2A

143 00 PRAHA 4