

## Changes in humus forms in gaps of the canopy of semi-natural beech stand

V. V. PODRÁZSKÝ, J. REMEŠ

*Faculty of Forestry and Environment, Czech University of Agriculture in Prague, Prague, Czech Republic*

**ABSTRACT:** The article presents original results of research on the humus form dynamics in a semi-natural European beech stand in the National Natural Reserve Voděradské bučiny, in the area of Training Forest Enterprise at Kostelec nad Černými lesy (Czech University of Agriculture in Prague). The accumulation and soil chemical characteristics of particular humus forms were studied: dry matter amount, pH, soil adsorption and exchangeable acidity characteristics as well as plant available and total nutrient contents. The humus form samples were taken in four replications from the particular humus form layers (L, F, H, Ah), and the analyses were performed individually. Samplings were done in the parts of the stand with closed canopy, and they were compared with the state in gaps formed during natural and semi-natural forest regeneration (the stage of stand breaking up left to spontaneous development). The results confirmed marked changes in the quantity and quality of surface humus in the gaps. The amount of dry matter decreased by ca. 25% several years after canopy opening, especially in the H horizon, the pH, base content and base saturation increased, as well as the content of macronutrients (with the exception of total calcium). The results proved considerable changes in the humus forms during the natural and semi-natural forest cycles connected with the stand regeneration.

**Keywords:** humus forms; beech stands; humus accumulation; soil chemistry; beech regeneration; semi-natural forests

Humus forms, i.e. the holorganic and the uppermost mineral, humus-enriched horizon, have a lot of important functions in forest ecosystems (GREEN et al. 1993). Their destruction causes rapid site degradation (ULBRICHOVÁ, PODRÁZSKÝ 2003), and regeneration is a necessary pre-condition for any site restoration and revitalization (REMEŠ, PODRÁZSKÝ 2003).

The dynamics of humus forms is of marginal interest in the forestry of Central Europe at present, only some aspects have been studied until now (ŠARMAN 1982, 1985, 1986; WRIGHT 1957). The evidence was given on negative effects of some silvicultural and site improving treatments (PODRÁZSKÝ, ULBRICHOVÁ 2003).

Among the research activities the humus form dynamics was studied in natural and semi-natural forests; in general, the concept of anthropically caused negative changes in the surface humus de-

velopment after forest operations is assumed to be worked out. Only few research results are available, but they do not confirm any large differences between semi-natural and commercial forests in the humus form dynamics (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005; PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005c).

The aim of the present study was the quantification of changes in humus forms in a semi-natural European beech forest during the regeneration period. The quantity and soil chemistry were studied in parts of the forest ecosystem left to natural development on plots with full canopy, and on plots where regeneration started a few years ago, with the canopy interruption and gap formation.

### MATERIAL AND METHODS

The study was performed in forest stand 417A16a/8a, where the age classes (cohorts) around 155 and

---

Supported by the Ministry of Environment of the Czech Republic, Research Project No. VaV 640/07/03 *Management of Forests in the Prague Capital Area Respecting the Forms of Use of their Function.*

Table 1. Accumulation of organic matter and total nitrogen in particular humus form layers of different stand parts

		Humus (Springel – Klee) (%)	Nitrogen (Kjeldahl) (%)	Dry matter of holorganic layers (g/sample)	Dry matter accumulation (t/ha)
Gaps (1)	L + F1	50.1	1.0	8.9	1.424
	F2	58.5	1.7	55.2	8.832
	H	40.1	1.6	77.2	12.352
	Ah	13.5	0.5	total	22.608
Closed stand	L + F1	50.5	1.0	8.8	1.408
	F2	54.7	1.6	52.1	8.336
	H	37.6	1.4	116.4	18.624
	Ah	13.4	0.5	total	28.368

80 years were represented. The site conditions are characterized by forest site type 4B1, altitude 470 m above sea level, average annual temperature 7.5 to 8.5°C, and mean annual precipitation 650 mm.

Soil samples were taken November 5, 2003 in gaps with beech regeneration and in fully closed parts of the stand without vegetation cover. The regenerated sites corresponded to the initial phases of the breaking up stage of natural forests (PODLASKI 2004). In both cases, 4 replications were taken quantitatively with a steel frame 25 × 25 cm, separately for the horizons: L + F1, F2, H (holorganic), as well as for the uppermost mineral horizon Ah. Individual analyses of particular samples were carried out.

The following chemical analyses were performed:

- dry matter content of holorganic horizons was determined by drying to constant weight at 105°C and calculated per 1-ha area,
- total humus content was determined by Springer-Klee method, total nitrogen content by standard Kjeldahl method,
- soil reaction (in water and in 1N KCl solutions) was determined potentiometrically,
- soil adsorption complex characteristics were determined by Kappen method: S – base content,

T-S (H) – hydrolytical acidity, T (S + H) – cation exchange acidity and V – base saturation,

- plant available nutrients were determined in a 1% solution of citric acid – this method is old, not used in the world literature any more, but it is used in the Czech forestry and it enables to make comparisons with older results. The nutrient contents are given in oxide forms. Phosphorus was determined in the solution spectrophotometrically, potassium colorimetrically and calcium and magnesium by AAS (atomic absorption spectrophotometry),
- parameters of exchange acidity were determined in a KCl solution,
- total nutrient content after mineralization of holorganic horizons using the mixture of sulphuric acid and selenium. The analyses were performed by the commercial laboratory Tomáš in Opočno.

## RESULTS AND DISCUSSION

The surface organic matter was accumulated in significantly higher amounts in the stand parts without gaps (Table 1). The differences reached ca. 25% in favour of open parts with regeneration, they

Table 2. Soil reaction and adsorption complex characteristics in particular humus form layers of different stand parts

		pH/H <sub>2</sub> O	pH/KCl	S (mval/100 g)	T-S (mval/100 g)	T (mval/100 g)	V (%)
Gaps (1)	L + F1	5.3 a	4.8	34.6	12.1	46.7 a	74.1 a
	F2	5.1	4.7 a	74.9 a	24.0	98.8 a	75.8 a
	H	4.4	4.0	37.7	30.4	68.0	55.6
	Ah	3.9	3.4	7.5	10.4	17.9	47.8
Closed stand	L + F1	5.0 b	4.9	38.1	14.8	52.9 b	72.0 b
	F2	4.8	4.4 b	51.6 b	28.1	79.6 b	64.2 b
	H	4.1	3.7	27.2	30.5	57.7	47.3
	Ah	3.8	3.3	6.8	16.4	23.2	28.6

S – base content, T-S – hydrolytical acidity, T – cation exchange acidity, V – base saturation

Table 3. The exchange titration acidity characteristics in particular humus form layers of different stand parts

		Exchange titration acidity (mval/kg)	Exchangeable H <sup>+</sup>	Exchangeable Al <sup>3+</sup>
Gaps (1)	L + F1	39.5	25.0	14.5
	F2	23.2	10.9 a	12.2
	H	20.4	8.8	11.9
	Ah	33.1	0.45	32.6
Closed stand	L + F1	35.5	18.3	19.4
	F2	22.2	5.9 b	16.2
	H	20.7	5.6	15.1
	Ah	39.0	0.12	38.8

were caused by different decomposition intensity of the H-layer especially. The gap formation resulted in increased mineralization of this holorganic layer, storing the humified material, the amounts of less decomposed horizons being comparable. Humus content (carbon content) did not show any visible changes after canopy lowering, total nitrogen content behaved in a similar way (the tendency of higher content in F and H layers of the gaps was not significant). A similar amount of the surface humus accumulation was observed comparing the lower altitudes and other broadleaved as well as coniferous tree species (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005a), the trends did mimic also the tendencies at higher altitudes, despite different levels of accumulation (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005). The changes in the soil cover are only temporary and the size of gaps is very small, so there is not an environmental risk, unlike the large areas of cut or declined forest (SVOBODA, PODRÁZSKÝ 2005).

The pH (H<sub>2</sub>O) was higher in the humus form layers in gaps (Table 2), the differences were statistically significant in the uppermost horizons (L + F1 and F2). This trend was even more pronounced in the case of pH (KCl), except the litter layer. The same trend was observed for the base content (S-value) and even more for the base saturation (V-values).

These trends indicate a considerably higher mineralization activity in gaps followed by consequent enrichment of the surface horizons with bases (relative enrichment). As a consequence of these changes, the cation exchange acidity (T-values) was higher in the substrates sampled in gaps, in the hydrolytical acidity (T-S values) there were no differences. Similar differences, of a smaller extent, were documented in thinning experiments on variants with lower canopy (HAGER 1988; NAUMANN 1987; PODRÁZSKÝ, MOSER 2003; ŠARMAN 1985), resulting in higher surface humus decomposition. The chemical shifts were comparable also to the changes during natural development cycles in other semi-natural forests (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005).

The exchange titration acidity was almost the same in both studied profiles, but the proportion of exchangeable hydrogen (H<sup>+</sup>) was significantly increased in the gaps whereas in the parts of closed stand the dominance of exchangeable aluminium was more prominent (Table 3).

The dynamics of the plant available nutrients is shown in Table 4. The plant available phosphorus content was significantly higher in the holorganic layers in the gaps, the situation was just opposite in the mineral soil horizon. The translocation by so called biological mobilization is possible, probably

Table 4. Plant available nutrient contents in particular humus form layers of different stand parts

		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	CaO (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/kg)
Gaps (1)	L + F1	1,488	4,427	5,600	1,504	96
	F2	1,064 a	2,080 a	10,133	1,352 a	102
	H	878 a	860 a	5,253	590	440
	Ah	278 a	172	717	106	805
Closed stand	L + F1	1,345	4,320	5,600	1,771	51
	F2	560 b	1,034 b	7,213	834 b	158
	H	559 b	483 b	3,707	352	486
	Ah	414 b	173	692	107	2,541

Table 5. Total nutrient contents in particular humus form layers of different stand parts

		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Gaps (1)	L + F1	1.000	0.10	0.50 a	1.04	0.12
	F2	1.690 a	0.14 a	0.24	0.92	0.11
	H	1.470	0.14	0.26	0.04	0.09
	Ah	–	–	–	–	–
Closed stand	L + F1	1.050	0.10	0.44 b	1.24	0.11
	F2	1.556	0.11 b	0.20	0.43 b	0.08
	H	1.430	0.13	0.26	0.05	0.06
	Ah	–	–	–	–	–

documented also in other cases (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2002). In the humus forms of the gaps, the potassium contents were statistically significantly higher, probably due to the relative enrichment as well as due to the ground vegetation of grass litter, much higher in this nutrient. Similar effects were documented when grass formed the majority of the litter and of humus forms after its transformation (PODRÁZSKÝ, ULBRICHOVÁ 2004; ULBRICHOVÁ et al. 2005). Identical trends (significant in the particular horizons) were confirmed for the bivalent bases, calcium and magnesium.

Total nutrient contents (Table 5) showed very similar trends, with the exception of total calcium content. All the studied macronutrients showed higher contents in the humus forms of the gap parts of the stand. The differences were statistically significant at least in some layers. The opposite trend of calcium needs further explanation, probable mobilization in gaps and consequent leaching or uptake are only assumptions.

The results of the study confirmed relevant changes in the humus forms during the initial stages of canopy breaking up and gap formation, lasting for several years. The more favourable soil chemistry was observed in the gaps, which can support young seedlings and contribute to their growth and survival. On the contrary, the surrounding old trees protect young beeches against the unfavourable microclimate of open plots and increase their growth. The better growth of young beeches and their better quality under partial canopy were confirmed also in other experiments (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005b).

## CONCLUSIONS

Humus forms in the semi-natural beech stand underwent considerable changes in a relatively short time. The gap formation and the beginning of the stand regeneration are also connected with visible and significant changes in the state of surface humus, as well as the uppermost part of the mineral soil body. The changes can be summarized as follows:

- a decrease in the quantity of surface humus by ca. 25%,
- the soil reaction, expressed as pH values, increased significantly in the gaps,
- the same tendency was documented for the base content and base saturation, and the adsorption complex was improved considerably,
- the content of plant available nutrients and total nutrients was higher in the humus layers in gaps,
- we can suppose significant changes in the soil biological activity after gap formation, connected with the relative enrichment of the surface humus layers,
- in the natural and semi-natural forests, the shifts in the soil (humus form) status can be of considerable extent.

## Acknowledgements

The authors thank gratefully to the Training Forest Enterprise in Kostelec nad Černými lesy for their understanding, and to the Slovenian colleagues co-operating in this project.

## References

- GREEN R.N., TROWBRIDGE R.L., KLINKA K., 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. Forest Science, Monograph Nr. 29, Supplement to Nr. 1, 39: 49.
- HAGER H., 1988. Stammzahlreduktion. Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Wien, Universität für Bodenkultur: 189.
- NAUMANN G., 1987. Bodenbeeinflussung durch waldbauliche Massnahmen. Allgemeine Forstzeitschrift, 42: 122–124.
- PODLASKI R., 2004. A development cycle of the forest with fir (*Abies alba* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) in its species composition in the Świątokrzyski National Park. Journal of Forest Science, 50: 55–66.
- PODRÁZSKÝ V.V., MOSER W.K., 2003. Vliv výchovných zásahů na stav humusových forem. In: Vliv hospodářských

- zásahů a spontánní dynamiky porostů na stav lesních ekosystémů. Kostelec nad Černými lesy 20.–21. 11. 2003. Praha, ČZU, FLE: 4.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., 2002. Dopad pěstování stanovištně nepůvodních dřevin na stav humusových forem v nivě Jalového potoka – Černokostecká oblast. Zprávy lesnického výzkumu, 47: 21–24.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., 2005a. Effect of tree species on the humus form state at lower altitudes. Journal of Forest Science, 51: 60–66.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., 2005b. Effects of the canopy environment and of the nutrition improvement on the beech plantation prosperity. Scientia agriculturae bohémica, 36: 108–112.
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., 2005c. Retenční schopnost svrchní vrstvy půd lesních porostů s různým druhovým složením. Zprávy lesnického výzkumu, 50: 46–48.
- PODRÁZSKÝ V., ULBRICHOVÁ I., 2003. Surface liming of immission clear-cuts: benefits and risks. Ekológia, 22: 277–283.
- PODRÁZSKÝ V.V., ULBRICHOVÁ I., 2004. Restoration of forest soils on reforested abandoned agricultural lands. Journal of Forest Science, 50: 249–255.
- PODRÁZSKÝ V.V., VIEWEGH J., 2005. Comparison of humus form state in beech and spruce parts of the Žákova hora National Nature Reserve. Journal of Forest Science, Special Issue, 51: 29–37.
- REMEŠ J., PODRÁZSKÝ V., 2003. Effects of preparatory stands on forest site restoration. Ekológia, 22: 291–293.
- SVOBODA M., PODRÁZSKÝ V.V., 2005. Forest decline and pedobiological characteristics of humus forms in the Šumava National Park. Journal of Forest Science, 51: 141–146.
- ŠARMAN J., 1982. Vliv probírky na povrchový humus ve smrkovém porostu. Lesnictví, 28: 31–42.
- ŠARMAN J., 1985. Vliv probírky na humusový profil v bukovém porostu. Lesnictví, 31: 341–349.
- ŠARMAN J., 1986. Vliv různé intenzity prořezávky v dubové mlazině na některé půdní vlastnosti. Lesnictví, 32: 637–644.
- ULBRICHOVÁ I., PODRÁZSKÝ V., 2003. Mechanised site preparation and restoration of degraded site. Ekológia, Supl. 1, 22: 388–391.
- ULBRICHOVÁ I., PODRÁZSKÝ V., SLODIČÁK M., 2005. Soil forming role of birch in the Ore Mts. Journal of Forest Science, Special Issue, 51: 54–58.
- WRIGHT T.W., 1957. Some effects of thinning on soil of a Norway spruce plantation. Forestry, 30: 123–133.

Received for publication January 12, 2006

Accepted after corrections February 9, 2006

## Změny humusových forem v místech s narušeným zápojem v přirozeném bukovém porostu

V. V. PODRÁZSKÝ, J. REMEŠ

*Fakulta lesnická a environmentální, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, Česká republika*

**ABSTRAKT:** Článek uvádí původní výsledky výzkumu dynamiky humusových forem v polopřírodních (přirozených) porostech buku lesního v Národní přírodní rezervaci Voděradské bučiny na území Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy (ČZU v Praze). Byla sledována akumulace a pedochemické charakteristiky jednotlivých vrstev humusových forem: zásoba sušiny holorganických horizontů, půdní reakce, charakteristiky půdního sorpčního komplexu a výměnné acidity a obsah přístupných i celkových živin. Vzorky byly odebírány ve čtyřech opakováních podle jednotlivých vrstev humusových forem (L, F, H, Ah), analýzy byly prováděny individuálně. Odběry byly prováděny v porostních částech s plným zápojem, stav byl srovnáván s podmínkami v částech s prolomeným zápojem několik let po vzniku. Zde rovněž docházelo k masivnímu zmlazování buku (simulace stadia rozpadu v částech lesa ponechaných přírodnímu vývoji). Výsledky potvrdily výrazné změny v kvalitě i kvantitě v humusových vrstvách po rozvolnění zápoje. Zásoba sušiny holorganických horizontů klesla zhruba o 25 % zejména ve vrstvě H, půdní reakce vzrostla stejně jako obsah bází a nasycení sorpčního komplexu bázemi a obsah přístupných i celkových živin (s výjimkou celkového vápníku). Výsledky doložily význačné změny stavu humusových forem během přirozeného cyklu vývoje lesa spojeného s jeho obnovou.

**Klíčová slova:** humusové formy; bučiny; akumulace humusu; půdní chemismus; obnova buku; přirozené lesy



Cílem studie bylo doložit vývoj množství a kvality nadložního humusu a humusových forem obecně v polopřírodním (přírozeném) bukovém porostu během počáteční doby obnovy. Šetření byla provedena ve vybraném porostu na území Národní přírodní rezervace Voděradské bučiny, která je součástí Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy. Kvantita a pedochemické vlastnosti jednotlivých holorganických a nejsvrchnějších minerálních horizontů (sušina holorganických vrstev, obsah celkového uhlíku, půdní reakce, charakteristiky sorpčního komplexu, obsah živin celkových i přístupných, výměnná acidita) byly sledovány v porostních částech ponechaných od r. 1955 spontánnímu vývoji, srovnávaly se plně zapojené plochy bez přízemní vegetace s plochami v mezerách zápoje, kde docházelo ke zmlazování. Stanoviště odpovídalo počátečním fázím stadia rozpadu. V obou případech byly kvantitativně odebrány vzorky holorganických vrstev pomocí železného rámečku 25 × 25 cm ve čtyřech opakováních, horizont Ah nebyl odebírán kvantitativně. Byly provedeny individuální analýzy vzorků.

Výsledky analýz prokázaly výrazné rozdíly mezi plně zapojenou částí porostu a částí s prolomeným zápojem. Množství povrchového humusu bylo v mezerách zápoje značně sníženo. Rozdíly dosáhly až 25 % zásoby nadložních humusových horizontů ve prospěch prosvětlených míst se zmlazením. Tento jev byl pravděpodobně způsoben různou intenzitou dekompozice opadu především ve vrstvě H, humifikační. Obsah humusu (celkového uhlíku) nevykazoval patrné změny po snížení zápoje stejně jako obsah celkového dusíku (tendence zvýšeného obsahu ve vrstvách F a H v mezerách není

průkazná). Hodnoty půdní reakce aktivní byly vyšší ve vrstvách nadložního humusu v rozvolněných místech. Rozdíly byly v nejsvrchnějších horizontech statisticky významné. Ještě více byl tento trend patrný v případě pH potenciální (v KCl), s výjimkou vrstvy opadu. Podobná tendence byla doložena pro obsah bází (hodnota S) a ještě výraznější pro nasycení sorpčního komplexu bázemi (hodnota V). Tyto změny indikují výrazně intenzivnější mineralizační aktivity ve světlinách, následně pak obohacení nadložního humusu o báze (relativní – nárůst koncentrací). Jako důsledek tohoto vývoje byla v holorganických vrstvách světlin vyšší i kationtová výměnná kapacita (hodnota T), v hydrolytické aciditě (hodnota T-S nebo H) nebyly pozorovány rozdíly. Výměnná titrační acidita byla velice vyrovnaná v substrátech z obou typů stanoviště, ale v případě mezer v zápoji byl zdůrazněn podíl výměnného vodíku ( $H^+$ ), zatímco v porostních částech s plnou clonou dominoval mnohem výrazněji výměnný hliník. Obsah celkových i přístupných živin vykazoval velmi podobný trend s výjimkou obsahu celkového vápníku. Všechny studované makroelementy byly ve zvýšené míře koncentrovány v substrátech, pocházejících z mezer v zápoji. V řadě případů byly rozdíly dokonce statisticky významné.

Výsledky studie potvrzují, že humusové formy podléhají v přírodních a přírozených bučinách značným změnám v relativně krátkých časových úsecích. Vytváření mezer v zápoji a počátek přírozené obnovy porostu jsou spojeny s patrnými a významnými změnami ve stavu povrchového humusu a nejsvrchnější části minerální půdy.

---

*Corresponding author:*

Prof. Ing. VILÉM V. PODRÁZSKÝ, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a environmentální,  
165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika  
tel.: + 420 224 383 403, fax: + 420 234 381 860, e-mail: podrazsky@fle.czu.cz

---