

# ZMĚNY FOREM Fe A Al V RÁMCI PEDOGENEZE VÝVRATIŠŤ V PŘIROZENĚ SE VYVÍJEJÍCÍM JEDLO-BUKOVÉM PRALESE

Changes of Iron and Aluminium forms in naturally developing fir-beech forest in the scope of pedogenic processes

Václav Tejnecký<sup>1</sup>, Pavel Šamonil<sup>2</sup>, Luboš Borůvka<sup>1</sup>, Ondřej Drábek<sup>1</sup>, Barbora Šebková<sup>2</sup>, David Janík<sup>2</sup>, Antonín Nikodem<sup>1</sup>, Ondřej Šebek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravin a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6; e-mail: tejnecky@af.czu.cz

<sup>2</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Oddělení ekologie lesa, Lidická 25/27, 657 20 Brno

<sup>3</sup> Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Laboratoře geologických útvarů, Albertov 6, 128 43 Praha 2

(25–41 Vsetín)

**Key words:** windthrow, iron and aluminium forms, forest soils

## Abstract

The study is focused on changes of Fe and Al behaviour in naturally developing fir-beech forest Razula (Western Carpathians) with respect to time – in the scope of pedogenic processes. Soil samples from 14 different windthrow sites, of known age (19–192 years), were tested. Samples were taken from five depths from three parts of the windthrow – pit, mound and undisturbed part as a control. Exchangeable (“free”), oxalate extractable and dithionate-citrate extractable forms of Al and Fe were measured. It was found that contents of Fe and Al forms significantly differed with respect to age and location (pit, mound and control). Moreover, Fe and Al forms also significantly differed in disturbed and undisturbed parts of the windthrow.

## Úvod

Čas je jedním z faktorů, který se podílí na tvorbě půd a pro určité půdní sledy lze definovat chronosekvence (Bockheim 1980, Schaetz – Anderson 2005). Vývratiště jsou nedílnou součástí lesního ekosystému jako přirozené disturbance, které zvyšují diverzitu lesního prostředí (Ulanova et al. 2000). V případě katastrofické události dochází ke spuštění geneze půdy a k rozvoji nového půdního cyklu (Fisher – Binkley 2000).

Změny v zastoupení forem Fe byly nejčastěji použity pro časové zařazení půd formujících se na říčních terasách. Časový vývoj těchto půd je v rozpětí stovek až tisíců let. Nejčastěji bývá využíván poměr mezi oxalátem a dithioničnanem-citrátem extrahovatelným Fe (Alexander 1974, Alexander – Holowaychuk 1983, Arduino et al. 1984, Arduino et al. 1986). Další využití forem Fe – či poměru forem slouží k zjištění stupně zvětrávání v půdním prostředí (např. Richardson – Hole 1979).

Cílem studie je posoudit změny v množství forem Fe a Al v rámci pedogeneze mikrostanovišť vývratišť (deprese, kupa) v přirozeně se vyvíjejícím jedlo-bukovém pralese.

## Metodika

### Lokalita a odběr vzorků

Půdní vzorky byly odebírány v Národní přírodní rezervaci Razula (Beskydy). Tato lokalita byla vybrána z důvodů přítomnosti přirozeně se vyvíjejícího jedlo-bukového pralesa o velikosti 23,5 ha a geologicky homogenního podloží Magurského příkrovu, přítomny jsou flyšové horniny soláňského souvrství (Menčík – Tyráček 1979). Oblast je geomorfologicky nepřilíš členitá s vysokým podílem vývratů a dlouhodobě je zde studována dynamika lesního prostředí (od roku 1972) (Šamonil et al. 2008). Jako hlavní půdní typ byla diagnostikována kambizemě. Vybrána byla typová vývratiště o stáří 19–192 let, ze kterých

byla vzorkována tři mikrostanoviště vývratu – kupa, deprese a nedisturbovaná kontrola v hloubkách 3, 15, 30, 50 a 100 cm. Stáří vývratů bylo určeno dendrochronologicky a z historických záznamů (Šamonil et al. 2009).

### Extrakce forem Fe a Al

Odebrané půdní vzorky byly sušeny a síťovány na frakci < 0,2 mm, ve které byly stanoveny formy Fe a Al pomocí jednoduchých extrakčních metod. Extrakcí za použití 0,5 M KCl je zjištěno zastoupení labilních forem Fe a Al (Drábek et al. 2003, Drábek et al. 2005), v případě užití štavelanu amonného je stanoven podíl organicky vázaných a amorfních fází Fe a Al ( $Fe_o$  a  $Al_o$ ; McKeague – Day 1966, Courchesne – Turmel 2008), množství organicky vázaných, amorfních a krystalických forem Fe a Al ( $Fe_d$  a  $Al_d$ ) je zjištěno extrakcí dithioničnanem-citrátem (McKeague – Day 1966, McKeague et al. 1971). Rozdíl mezi  $Fe_d$  a  $Fe_o$  ( $Fe_d - Fe_o$ ) vyjadřuje obsah krystalických Fe-oxidů (Schwertmann 1966), obdobně bylo množství krystalických forem spočteno pro Al.

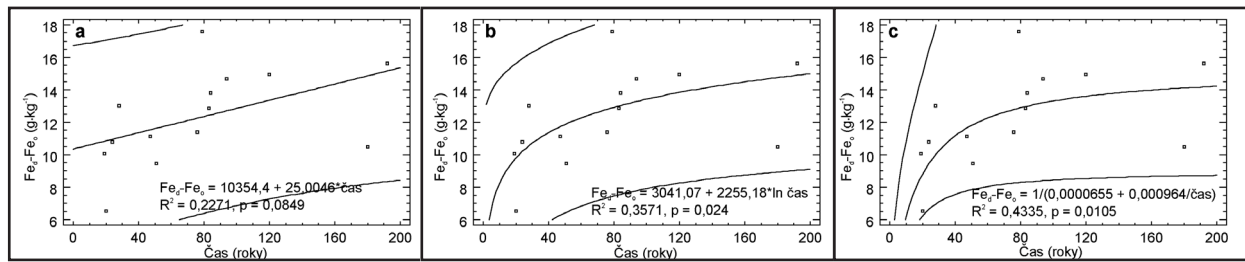
Hodnoty Al a Fe v jednotlivých vyluzích byly měřeny v rozmezí několika dní od extrakce v ředěných (10×) a neředěných vzorcích pomocí ICP-OES (An iCAP 6500 Radial ICP Emission spectrometer, Thermo Scientific, VB) za standardních analytických podmínek. Koncentrace prvků v roztocích byly změřeny při těchto vlnových délkách: Fe – 238,204 nm, Al – 396,152 nm.

### Zpracování dat

Pro statistické testování dat byl využit software Statgraphics Centurion XV.

### Statistické porovnání jednotlivých modelů

Pro stanovení chronosekvencí půd lze použít různé typy modelů (Bockheim 1980, Schaetz et al. 1994, Schaetz



Obr. 1: Srovnání mezi regresními modely užívanými pro zobrazení chronosekvencí: a) lineární, b) logaritmický, c) reciproký. Jedná se o srovnání obsahu krystalických oxidů Fe ( $Fe_d - Fe_o$ ) ve vzorcích odebraných z hloubky 3 cm na kupě vývratu.

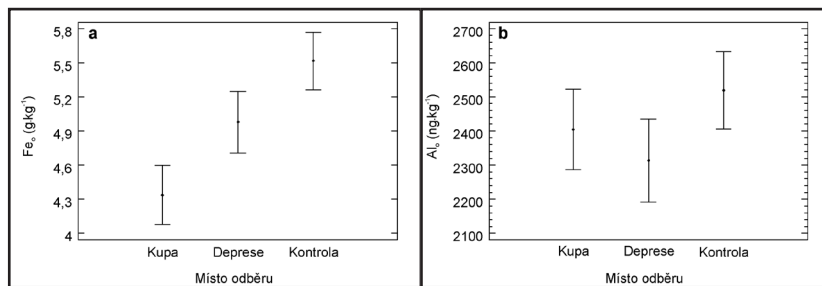
Fig. 1 Comparison between regression models used to display chronofunctions: linear (a), logarithmic (b), and reciprocal (c). Comparison of Fe crystalline oxide content ( $Fe_d - Fe_o$ ) in sampled soils originated from 3 cm depth from mound of windthrow.

– Anderson 2005). Na obr. 1 jsou zobrazeny použitelné možné modely pro závislost obsahu krystalických oxidů Fe: a) lineární ( $y = a + bx$ ;  $R^2 = 0,2271$ ,  $p = 0,0849$ ), b) nelineární logaritmický ( $y = a + b \cdot \ln x$ ;  $R^2 = 0,3571$ ,  $p = 0,024$ ) a c) reciproký (double reciprocal  $y = 1/(a + b/x)$ ;  $R^2 = 0,4335$ ,  $p = 0,0105$ ). Statisticky nejvýznamnější závislost sledované proměnné v čase zobrazuje reciproký model (obr. 1c). Pro zobrazení získaných dat byl použit model, který byl vyhodnocen statisticky jako nejvýznamnější (ve většině případů se jedná o double reciprocal model).

### Výsledky a diskuze

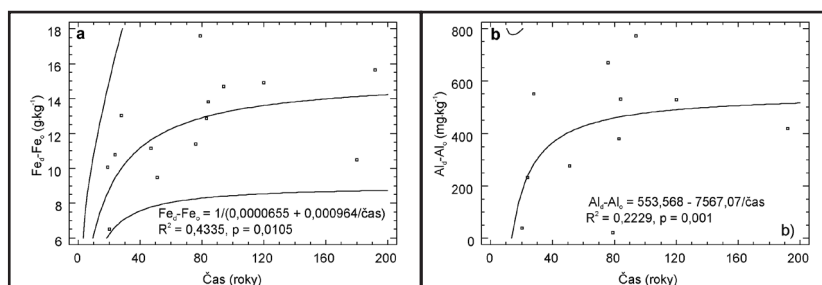
Získaná data byla rozdělena do skupin podle hloubky odebíraných vzorků (3, 15, 30, 50 a 100) a podle pozice, ze které byl vzorek odebírán: deprese vývratu (D), kupa vývratu (Ku) a kontrola (Ko). Jednotlivé parametry pak byly následně statisticky vyhodnoceny pomocí regresních modelů a korelačních tabulek.

Na obr. 2 jsou porovnány průměrné obsahy organických a amorfních fází  $Fe_o$  (obr. 2a) a  $Al_o$  (obr. 2b) odebrané z různých pozic vývratu v hloubce 3 cm. Pomocí



Obr. 2 Průměry a 95% LSD interval obsahu organických a amorfních forem  $Fe_o$  (a) a  $Al_o$  (b) v půdních vzorcích odebraných z hloubky 3 cm z deprese, kupy a kontroly vývratu. Vysvětlivky:  $Fe_o$  ( $Al_o$ ) – množství organicky vázaných a amorfních forem Fe (Al) extrahovaných šťavelanem amonným;  $Fe_d$  ( $Al_d$ ) – množství organicky vázaných amorfních a krystalických forem Fe (Al) extrahovaných dithioničnanem-citrátem;  $Fe_d - Fe_o$  ( $Al_d - Al_o$ ) – množství krystalických forem Fe (Al), rozdíl mezi  $Fe_d - Fe_o$  ( $Al_d - Al_o$ ).

Fig. 2: Mean and 95% LSD intervals of organic and amorphous forms of  $Fe_o$  (a), and  $Al_o$  (b) content in soil samples originated from 3 cm depth from pit, mound and undisturbed control of windthrow. Legends:  $Fe_o$  ( $Al_o$ ) – amount of organically bonded and amorphous forms of Fe (Al) extractable by ammonium oxalate;  $Fe_d$  ( $Al_d$ ) – amount of organically bonded, amorphous and crystalline forms of Fe (Al) extractable by dithionate-citrate;  $Fe_d - Fe_o$  ( $Al_d - Al_o$ ) – amount of crystalline forms of Fe (Al), differences between  $Fe_d - Fe_o$  ( $Al_d - Al_o$ ).



Obr. 3: Závislost krystalických oxidů (a) Fe ( $Fe_d - Fe_o$ ; kupa vývratu – a) a Al ( $Al_d - Al_o$ ; deprese vývratu – b) na čase vývratu.

Fig. 3: Dependence crystalline Fe oxide ( $Fe_d - Fe_o$ ; mound of windthrow – a) and Al oxide ( $Al_d - Al_o$ ; pit of windthrow – b) on age of windthrow.

analýzy rozptylu (F-test = 10,80 při  $p = 0,0002$ ) byl zjištěn statisticky významný rozdíl v distribuci organických a amorfních forem Fe ve sledovaném prostředí vývratů. V depresi bylo akumulováno více  $Fe_o$  forem oproti kupě vývratu (obr. 2a), nejvyšší množství  $Fe_o$  bylo zjištěno v kontrolních vzorcích – nedisturbované půdě. Rozdíl v množství  $Fe_o$  mezi kupou a depresí vývratu vysvětlují Veneman et al. (1984) akumulací seskvioxidů a organické hmoty ve vývratové depresi a to splachem organických komplexotvorných látek do deprese vývratu. Statisticky významný rozdíl v distribuci organických a amorfních forem Al v jednotlivých částech vývratu nebyl zjištěn (obr. 2b).

Pro zobrazení vývoje půdních forem Fe a Al byl použit rozdíl  $Fe_d$  a  $Fe_o$  ( $Al_d$  a  $Al_o$ ), který vyjadřuje krystalické Fe (Al)-oxidy (Schwertmann 1966). Obr. 3 zobrazuje modely použité k naznačení vývoje krystalických forem Fe a Al. Je patrný nárůst krystalických forem v čase. Podobné trendy zjistili i Arduino et al. (1986), kdy množství  $Fe_d$  se zvyšuje se stářím říční terasy, což je způsobeno změnou v zastoupení mezi  $Fe_d$  a  $Fe_o$ . Alexander (1974) sledoval změny v poměru  $Fe_o/Fe_d$  v půdách vyvinutých na osmi stupních říčních teras. Byly zjištěny změny odrážející stáří terasy a docházelo k poklesu poměru  $Fe_o/Fe_d$ .

tzn., že dochází ke zvyšování obsahu krystalických forem. Vlastní půdní formy Fe by potvrdily další analytické metody pracující s půdním vzorkem, jako jsou např. prášková rentgenová difrakce (Schwertmann – Taylor 1977), voltametrie mikročástic či difuzně reflexní spektroskopie (Grygar et al. 2006).

### Závěr

Byl zjištěn patrný rozdíl v množství organicky vázaných a amorfních forem Fe ( $Fe_o$ ) ve sledovaných částech půdního prostředí (kontrola, kupa a deprese vývratu), pro  $Al_o$  nebyl tento rozdíl zjištěn. V depresi vývratu dochází k akumulaci  $Fe_o$  forem, kupa je o ně ochuzena. Krystalické formy Fe a Al jsou proměnlivé v čase a se vzrůstajícím stářím vývratu množství těchto forem narůstá.

### Poděkování

Tato studie vznikla za podpory grantů Ministerstva životního prostředí (projekt č. MSM 6293359101) a Celouniverzitní interní grantové agentury ČZU v Praze (CIGA č. 41200/1313/3180 a č. 21130/1313/3106).

### Literatura

- Alexander, E. B. (1974): Extractable iron in relation to soil age on terraces along the Truckee river, Nevada. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 38, 121–124.
- Alexander, E. B. – Holowaychuk, N. (1983): Soils on terraces along the cauca river, Columbia: 2. The sand and clay fractions. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, pp. 721.
- Arduino, E. – Barberis, E. – Ajmone Marsan, F. – Zanini, E. – Franchini, M. (1986): Iron-oxides and clay-minerals within profiles as indicators of soil age in Northern Italy. – *Geoderma*, 37, 45–55.
- Arduino, E. – Barberis, E. – Carraro, F. – Forno, M. G. (1984): Estimating relative ages from iron-oxide/total-iron ratios of soils in the Western Po Valley, Italy. – *Geoderma*, 33, 39–52.
- Bockheim, J.G. (1980): Solution and use of chronofunctions in studying soil development. – *Geoderma*, 24, 1, 71–85.
- Courchesne, F. – Turmel, M. C. (2008): Extractable Al, Fe, Mn and Si. – In: Carter, M. R., Gregorich, E. G. (eds.): *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, 307–315.
- Drábek, O. – Borůvka, L. – Mládková, L. – Kočárek, M. (2003): Possible method of aluminium speciation in forest soils. – *J. Inorg. Biochem.*, 97, 8–15.
- Drábek, O. – Mládková, L. – Borůvka, L. – Száková, J. – Nikodem, A. – Němeček, K. (2005): Comparison of water-soluble and exchangeable forms of Al in acid forest soils. – *J. Inorg. Biochem.*, 99, 1788–1795.
- Fisher, R. F. – Binkley, D. (2000): *Ecology and management of forest soil*, Third edition. – John Wiley & Sons, New York, pp. 489.
- Grygar, T. – Kadlec, J. – Pruner, P. – Swann, G. – Bezdicka, P. – Hradil, D. – Lang, K. – Novotna, K. – Oberhänsli, H. (2006): Paleoenvironmental record in Lake Baikal sediments: environmental changes in the last 160 ky. – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 237, 240–254.
- McKeague, J. A. – Brydon, J. E. – Miles, N. M. (1971): Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. – *Soil Sci. Soc. Am. J. Proc.*, 35, 33–38.
- McKeague, J. A. – Day, J. H. (1966): Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating variol classes of soil. – *Can. J. Soil Sci.*, 45, 13–22.
- Menčík, E. – Tyráček, J. (eds.) (1979): *Synoptic geological map of the Beskydy Mts. and the Podbeskydská Pahorkatina Upland*, ČGÚ Praha.
- Richardson, J. L. – Hole, F. D. (1979): Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in northwestern Wisconsin. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 552–558.
- Schaetzl, R. J. – Anderson, S. (2005): *Soil Genesis and Geomorphology*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 817.
- Schaetzl, R. J. – Barrett, L.R. – Winkler, J. A. (1994): Choosing models for soil chronofunctions and fitting them to data. – *Eur. J. Soil Sci.*, 45, 2, 219–232.
- Schwertmann, U. (1966): Inhibitory effect of soil organic matter on crystallization of amorphous ferric hydroxide. – *Nature*, 212, 645–646.
- Schwertmann, U. – Taylor, R. M. (1977): Iron oxides. – In: Dixon, J. B., Weed, S. B., Dinauer, R. C. (eds.): *Minerals in soil environments*. Soil Science Society of America, Madison, Wis. USA, 145–180.
- Šamonil, P. – Šebková, B. – Douda, J. – Vrška, T. (2008): Role of position within the windthrow in forest floor chemistry in the flysch zone of the Carpathians. – *Can. J. For. Res.*, 38, 1646–1660.
- Šamonil, P. – Antolík, L. – Svoboda, M. – Adam, D. (2009): Dynamics of windthrow events in a natural fir-beech forest in the Carpathian mountains. – *Forest Ecol. Manage.*, 257, 1148–1156.
- Ulanova, N. (2000): The effects of windthrow on forest at different spatial scales: a review. – *Forest Ecol. Manag.*, 135, 155–167.
- Veneman, P. L. M. – Jacke, P. – Bodine, S. M. (1984): Soil formation as affected by pit and mound microrelief in Massachusetts, USA. – *Geoderma*, 33, 2, 89–99.