

Dušan Kacálek - Jiří Novák - Ondřej Špulák - Vladimír Černohous - Jan Bartoš
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

PŘEMĚNA PŮDNÍHO PROSTŘEDÍ ZALESNĚNÝCH ZEMĚDĚLSKÝCH POZEMKŮ NA PŮDNÍ PROSTŘEDÍ LESNÍHO EKOSYSTÉMU - PŘEHLED POZNATKŮ

Conversion of afforested agricultural-land soils towards forest soil conditions restoration – review

Abstract

Under natural conditions of Middle Europe, forests had formed indigenous vegetation cover before agricultural practices shifted a proportion of land use. Consequently, soil properties (especially top-soil horizons) have altered due to tillage and amendment. Nowadays, agricultural land has been converted back to forest land for many reasons. The process of soil restoration towards at least semi-forest soil under close-to-continuous stands seems to be a long-term process. The article is dealing with information gathered from both international and domestic literature; the aim of our study is to find links and consequences concerning afforestation of agricultural land from soil properties point of view.

Klíčová slova: zalesňování, zemědělská půda, lesní půda, půdní vlastnosti, využití půdy
Key words: afforestation, agricultural land, forest land, soil properties, land use

ÚVOD

Půdní vlastnosti závisí v prvé řadě na geologických, geomorfologických, klimatických a hydrických podmínkách konkrétního stanoviště a jejich vývoji. Od těchto vlastností neživého prostředí ekosystémů se pak odvíjí druhová skladba a struktura rostlinných společenstev, v našem případě lesů. Lesní porosty naopak v interakci s abiotickými poměry přispívají k formování půd jako komplexů minerální a organické složky. Nejvýznamnějším faktorem měnícím přirozené půdní prostředí je lidská činnost, respektive zemědělská kultivace (ŠÁLY 1978). To platí i tehdy, když nezahrneme některé negativní vlivy antropizace půd, jako např. zátěžové depozice nebo imisní acidifikaci (BEDRNA 2002). První doložitelné vlivy člověka na půdy jsou datovány již do mladší doby kamenné, kdy začalo osídlování oblastí s nejlepšími půdními bonitami. Tyto polohy byly od příchodu prvních zemědělců trvale obhospodařované (LOŽEK 1999, SCHMITHÜSEN 2003). V rámci naší země však stále zůstávaly rozsáhlé zalesněné, zejména podhorské a horské oblasti, jejichž kolonizace začala asi v druhé polovině 12. století (NOŽIČKA 1957, POLENO 1985, ŠPULÁK 2006). Samozřejmě, že pojmy lesní a zemědělská půda neexistovaly tehdy ve smyslu, jak je chápeme dnes; docházelo ke značným výkyvům v zastoupení zmíněných kategorií buď v důsledku rozmachu společnosti (úbytek lesů) nebo epidemií a válek (zemědělská půda opuštěných sídel obsazená opět lesem). Později byla část zemědělských půd znovu cíleně zalesňována. Podobné příčiny zalesňování zemědělských pozemků existovaly také v jiných zemích Evropy. Například ve Finsku identifikuje SELBY (1980) ve své studii jako hlavní důvody opětovného zalesňování kamenitost, zamokření, nízkou úrodnost, odlehlost pozemků a změny vlastnických poměrů. V našich zemích bylo největšího rozsahu zalesnění dosaženo po 2. světové válce, což představovalo v českých zemích nárůst plochy lesní půdy o ca 200 000 ha (MÍCHAL et al. 1992, ŠPULÁK 2006) a například o více než 1 000 000 ha v Polsku (SIEROTA 1987, SOBCZAK 1998).

Považujeme tak za nutné zdůraznit, že proces antropogenně podmíněné změny půdních poměrů je značně dlouhodobý a komplikovaný. V důsledku toho je dnes obtížné rozlišit původní a druhotné vlastnosti půd. Předkládaný příspěvek shrmažďuje škálu poznatků o zalesňování zemědělských půd a pomocí poznatků z celosvětové literatury komentuje dopady zalesnění na půdní vlastnosti a hodnotí přetrvávající pozůstatky zemědělského hospodaření.

OBNOVA LESNÍHO PROSTŘEDÍ PO ZALESNĚNÍ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY

Předpokládáme, že během zemědělského obhospodařování (pastvení, kosení, orba apod.) byly vlastnosti kultivovaných půd značně odchýleny od potenciálně přírodního stavu. Například diagnostickým rysem orných půd je zformování omičního horizontu, který přetrvává i dlouhou dobu po opětovném zalesnění (SZUJECKI 1996). Zemědělské půdy jsou méně acidifikované než lesní půdy a vykazují rozdílnou distribuci organické hmoty (DOMŻAŁ et al. 1993). Přesto BEDRNA (2002) považuje zemědělsky využívané půdy za nedílnou součást pedosféry zformovanou v důsledku záměrné činnosti člověka označované jako tzv. antropizace půdy. Antropizaci pak dále dělí na pozitivní (meliorace) a negativní (degradace). K melioračním opatřením můžeme řadit orbu nebo umělé dodávání organických látek a minerálních živin, zatímco degradaci půdy v důsledku zemědělského hospodaření je např. zhutnění podorničních vrstev a s tím související snížení objemu makropórů (VOMOCIL, FLOCKER 1961, ALAKUKU 1999) nebo eroze. Opětovným zalesněním dochází ke změně kultury a to se přirozeně odráží také na vlastnostech půd.

Z lesnického hlediska je nejvýraznějším rysem obnovy lesního půdního prostředí zformování horizontů nadložního humusu vzniklého opadem a rozkladem listové biomasy; analogicky je také biomasa kořenů zdrojem organického materiálu pod povrchem půdy. V podmínkách našich smrkových porostů založených na bývalé zemědělské půdě byla například zjištěna akumulace sušiny v humusových horizontech (L + F + H) 80 – 100 t.ha⁻¹ v 39 letech věku (SLODIČÁK et al. 2005) a 124 – 132 t.ha⁻¹ v 66 letech věku (NOVÁK et al. 2007). Tato organická hmota je dále zpracovávána půdními mikroorganismy, které tvoří nedílnou součást půdní bioty (SINGER, MUNNS 1996). Z hlediska zakládání a pěstování lesních porostů na bývalé zemědělské půdě je podstatné, po jakou dobu mohou specifické vlastnosti zemědělských půd získané kultivací přetrvávat a ovlivňovat nově založené lesy, tedy zda dochází k obnově lesního půdního prostředí již během první generace zalesnění nebo až později. Z publikovaných prací vyplývá, že i když některé rysy půd pod porosty první generace lesa svědčí o obnově stavu blízkého lesním půdám, mohou půdní vlastnosti získané kultivací přetrvávat nejméně desítky (SZUJECKI 1996, RITTER et al. 2003, WALL, HYTÖNEN 2005, WALL, WESTMAN 2006), často však i stovky let (KOERNER et al. 1997, DUPOUEY et al.

2002). S postupným odrůstáním kultury dochází k nástupu změn také v bylinném patře. BRÅKENHJELM (1977) uvádí, že významným faktorem pro změnu keřového a bylinného podrostu pod smrkovými porosty je vytvoření porostního zápoje. Druhy podrostu ubývají a dočasně narůstá relativní význam patra mechorostů a lišejníků; i ty jsou pod úplným zápojem zastoupeny velmi řídko. Při dalším postupném předřování porostu se mechy a lišejníky vracejí a nastává kolonizace typicky lesními druhy vegetace. Ze srovnání sousedních ca 20letých porostů břízy a smrku vyplynula ve zmiňované studii vyšší druhová bohatost podrostu pod břízou. Byly provedeny i pokusy s přenosem bylinné vegetace z lesní půdy do porostů na bývalé zemědělské půdě. Konkrétně ve studii KUBÍKOVÉ (1994) byly z dobře zachovalého dubohabrového lesa (*Melampyro-Carpinetum*) přemístěny půdní bloky s bylinnou vegetací do podmínek 70letého dubového porostu na bývalé zemědělské půdě. Většina rostlinných druhů přežila tento přesun, kvetla, produkovala semena a zmlazovala se v podmínkách nového stanoviště. Nicméně, pouze velmi omezený počet druhů (*Pulmonaria obscura*, *Viola reichenbachiana*, *Fragaria vesca*) se šířil i mimo půdní bloky přemístěné z listnatého porostu.

PŮDNÍ CHEMISMUS

Vzhledem k historické volbě dřevin pro zalesnění existuje nejvíce informací o vlivu smrku na půdní prostředí. Předpokládáme, že nejlépe měřitelné změny půdního chemismu vlivem odlišného nadložního humusu na bývalých zemědělských půdách zalesněných různými druhy dřevin se týkají zejména svrchních půdních horizontů. To potvrzují BINKLEY a VALENTINE (1991), kteří našli podstatně kyselejší půdu ve svrchních pěti centimetrech půdy pod smrkem ve srovnání s vejmutovkou a jasanem pensylvánským. Navíc smrkové porosty vykazovaly ve vrstvě do 15 cm poloviční množství bazických kationtů (Ca, Mg, K) ve srovnání s porosty jasanu. Podobné srovnání účinků různých dřevin na svrchní vrstvu minerální půdy uvádějí HAGEN-THORN et al. (2004). Smrk opět nejvíce acidifikoval svrchní vrstvu půdy, která vykazovala nižší saturaci bázemi a vyšší úroveň kationtů hliníku. Z listnatých dřevin byl smrk nejblíže buk a nejdále lípa s významně vyšším pH a saturací bázemi. Nové zalesňování jehličnany ve vyšších polohách Skotska jako hlavní důvod signifikantního poklesu půdního pH, kvality a koloběhu organické hmoty uvádí také GRIEVE (2001). Rovněž ALRIKSSON a OLSSON (1995) hodnotili acidifikaci půdy pod smrkovými porosty první generace různého stáří. Nalezli významně nižší hodnoty pH a saturace bázemi ve svrchní části profilu pod staršími (40 a 55 let) než mladšími (20 let) porosty. RITTER et al. (2003) také konstatovali pokles pH ve svrchních 5 cm půd pod smrkem i dubem různého stáří, ale jako významnější faktor ovlivňující půdu, než jsou dřeviny použité pro zalesnění, stanovili způsob jejího předchozího využití. Smrk se šířil od dubu nepřetržitě se zvyšující akumulací pokravného humusu, zatímco pod dubem se po dvacátém roce věku jeho množství už dále nezvyšovalo. Ve studii bylo konstatováno, že zalesnění významně modifikuje vlastnosti půdy získané kultivací. Také naše výsledky (KACÁLEK et al. 2006) ze srovnatelných profilů krátce zalesněné, dlouhodobě zalesněné a lesní půdy ukázaly relativně nižší aciditu svrchních a středních horizontů nově zalesněných zemědělských půd ve srovnání s desítky let starými nebo vícegeneračními lesními porosty (srovnej WALL, HYTÖNEN 2005).

O vyšší akumulaci pokravného humusu pod jehličnany (smrk i modřín ca 45 t.ha⁻¹) než pod listnáči (dub červený a bříza ca 13 t.ha⁻¹) referovali také PODRÁŽKÝ a ŠTĚPÁNÍK (2002). Ačkoliv efekt snížení pH našli pod všemi porosty, nejvýraznější acidifikace byla konstatována

u modřínu. Pokles pH svrchní části půdního profilu v důsledku zalesnění se týká nejen našich domácích dřevin. Tak například u výsadby borovice montereyské dosahovalo zvýšení kyselosti do hloubky 10 cm (FARLEY, KELLY 2004) a u výsadby eukalyptu byla acidifikace alkalických půd temperátních pamp zjištěna ve vrstvě 5 – 35 cm (JOBÁGY, JACKSON 2003). SZUJECKI (1996) konstatoval nižší pH pokravného humusu o ca 0,25 u zalesněné zemědělské půdy ve srovnání s odpovídající lesní půdou; ve svrchní vrstvě minerální půdy byl tento rozdíl ještě větší (0,5 - 1,0 pH). Při rozsáhlejší zalesňování zemědělských půd může být také postupným zvyšováním acidifikace a nitrifikace pod nově vznikajícími porosty významně ovlivněna kvalita podzemních vod - vyčesáváním atmosférických polutantů a částečně zvýšenou depozicí značně kyselého opadu (ALLEN, CHAPMAN 2001). Vedle acidity a saturace bazickými kationty jsou velmi významnými ukazateli půdních změn koncentrace a kvantita uhlíku a dusíku. Lesní půdy obvykle obsahují více uhlíku a dusíku než srovnatelné nelesní půdy. Stejně tak byla nalezena vyšší koncentrace rozpuštěného organického uhlíku v půdní vodě lesních porostů (WU JIANG GUO, XU DE YING 2005). Celkové obsahy uhlíku a dusíku v půdě jako celku nejsou velké v porovnání s obsahy ve stromech. Akumulace uhlíku a dusíku v biomase zalesněných zemědělských ploch však nepřináší pokles obsahu těchto prvků v půdě (OVINGTON 1956, RITTER et al. 2003).

Společným rysem pro zalesněné dřívě kultivované půdy bylo snížení poměru C : N ve srovnání s odpovídajícími nedotčenými lesními lokalitami (ELLERT, GREGORICH 1996, KOERNER et al. 1997, COMPTON, BOONE 1998) nebo odlesněnými neoranými (PRÉVOSTO et al. 2004) nebo mrvou přihnojovanými (JUSSY et al. 2002) půdami. Některé ukazatele svědčí o zvýšené zásobě dusíku v dřívě kultivovaných půdách (SZUJECKI 1996), která je připisována zejména přihnojování chlévskou mrvou (KOERNER et al. 1997, JUSSY et al. 2002, PRÉVOSTO et al. 2004). Jak uvádí RICHTER et al. (2000), obohacení půdní organické hmoty o dusík přihnojováním při dřívějším zemědělském hospodaření dnes stále významně přispívá do koloběhu dusíku v mnoha lesích na bývalých polích. Navzdory dalšímu příjmu dusíku z atmosférické depozice a pozůstatcích přihnojování však tento autor kvalifikoval 40leté borové porosty na bývalé zemědělské půdě jako akutně deficitní z hlediska zásobení dusíkem. Před zahájením výsadby na opuštěných zemědělských pozemcích je tak vždy nutné přesvědčit se chemickými rozborů o jejich aktuálním stavu (GILMORE, BOGGESS 1963).

Pokud jde o obsah uhlíku ve formě CO₂, BYRNE a FARREL (2005) publikovali studii situovanou do oblasti rašelinných půd v Irsku, kde zjistili, že zalesnění nevede vždy ke zvýšení emise CO₂ v půdě. Naopak bývalé zemědělské půdy určené k zalesnění vykazují vysoký potenciál poutání vzdušného CO₂ na stanovišti pomocí většinou rychlého nárůstu biomasy (např. ERIKSSON, JOHANSSON 2006)

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY

V důsledku zemědělského hospodaření dochází ke snížení objemu velkých vzdušných pórů v půdě (VOMOCIL, FLOCKER 1961). Nízká aerace půdního profilu způsobená přemokřením půdy vede k oglejení a představuje riziko hypoxie pro kořeny dřevin již v hloubkách pod 10 cm (WALL, HEISKANEN 1998, 2003). Trend výskytu vyšší objemové hmotnosti s nižším podílem makropórů u zemědělsky využívaných půd potvrzují také MESSING et al. (1997). Zhutnění je významným procesem degradujícím zemědělské půdy jak v horizontech ornice (DOMZAL et al. 1993), tak i podornici (STANTURF et al. 1998, ALAKUKU 1999) a je častým důsledkem pojezdu mechanizace.

Vzniká tak problém snížené prostupnosti profilu pro kořeny dřevin a to nejen z pohledu mechanické prostupnosti, ale zejména již zmíněného rizika hypoxie. RANEY a EDMINSTER (1961) uvádějí, že kriticky snížená aerace brání pronikání kořenových špiček do půdy více než vlastní kompakce půdy.

Geologické, geomorfologické a pedologické poměry limitující růst dřevin musí být brány v úvahu při výběru dřevin, zejména u těch druhů, které vykazují nejlepší růst v úzkých segmentech edafických gradientů (COGLIASTRO et al. 1997, 2003). Půdní poměry pak významně ovlivňují stav výživy vysázených dřevin (např. HYTÖNEN, EKOLA 1993).

Z hlediska změn fyzikálních a chemických vlastností půd pod nově zalesněnými porosty jsou zajímavé poznatky ze severní Číny (SHIRATO et al. 2004). V této oblasti se k obnově desertifikované půdy využívá dřevinné vegetace (topolové kultury), která po uplynutí 10 – 20 let zajišťuje návrat podmínek (akumulace jemných částic, dostupná půdní vlhkost, množství přístupného dusíku a fosforu a kationtové výměnné kapacity) pro intenzivní zemědělskou produkci.

ZMĚNY MIKROEDAFONU

Na základě výše definovaných změn půdního chemismu a fyzikálních vlastností lze předpokládat také posun ve skladbě společenstev půdních mikroorganismů, půdních hub i změny vegetačních poměrů. Například BUCKLEY a SCHMIDT (2001) hodnotili poměry na stále obhospodařovaných i opuštěných polích ve srovnání s nikdy nekultivovanými půdami. Struktura mikrobiálních společenstev byla velmi podobná na plochách, které byly v minulosti dlouhodobě kultivovány, a to bez ohledu na současná rostlinná společenstva i způsob hospodaření. Navíc na plochách nekultivovaných konstatovali signifikantně vyšší kvantitativní hodnoty mikrobiální RNA než na půdách narušených v minulosti zemědělským hospodařením. Ovšem nejenom kultivace, ale také typ vegetačního krytu je považován za významný faktor ovlivňující mikrobiální poměry v půdě. DILLY et al. (2001) našli vyšší hodnoty mikrobiální kolonizace pod travními společenstvy ve srovnání s bukovým porostem. Podobně SAGGAR et al. (2001) konstatovali pod porosty borovice montereyské méně uhlíku a dusíku mikrobiálního původu než pod travními porosty. Také RICH et al. (2003) našli řádově vyšší hodnoty aktivity denitrifikačních enzymů půdních bakterií v lučních podmínkách ve srovnání se sousedním lesním porostem; jako možnou příčinu uvedli nedostatek dostupných nitrátů v lese.

Stav půdní mikroflóry ve vztahu ke hnojení borových porostů na bývalých zemědělských půdách v Estonsku zjišťovali SEEMEN et al. (1998). Jejich výsledky nepotvrdily názor, že přihnojení může omezit tvorbu půdní mikroflóry. Mikroflóra v přihnojených půdách byla početnější a pro zlepšení půdní úrodnosti vhodnější než na kontrolních nepřihnojených půdách.

Nedílnou součástí půdní bioty jsou také houby. ZELLER et al. (2000) uvedli, že podle kvantitativních parametrů obsahu ergosterolu v půdě, jako zástupného ukazatele biomasy hub, nižší obsahy této látky je možné přičítat intenzitě hospodaření. TURGAY a NONAKA (2002) potvrzují nižší obsah ergosterolu na intenzivně obdělávaných půdách oproti půdám pastvin a lesů. Z tohoto pohledu je důležitým znakem obnovy lesního prostředí tvorba mykorhiz na kořenech lesních dřevin. Obnova mykorhiz je důležitá zejména kvůli ustavení ekotrofní stability lesa (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006). V podstatě se jedná o dlouhodobé udržení vhodného poměru druhů hub ve prospěch ektomy-

korhizních (nad 40 %) proti lignikolním (pod 30 %) makromycetům. PERRY et al. (1987) hovoří o možné redukci tvorby mykorhiz také v podmínkách trvalé lesní půdy na lokalitách (zejména chudší půdy) s nedostatkem rostlin nesoucích stejně mykorhizní houby (mykobionty) jako odpovídající lesní dřeviny v případě opožděné obnovy na holé seči. V případě umělé obnovy sadbovým materiálem ze školek prokázali lepší prosperitu semenáčků dřevin s druhově bohatšími mykorhizami stanovištně odpovídajících hub. Nedostatek vhodných mykobiontů může být řešen i založením porostů přípravných rychle rostoucích dřevin (vrby, topoly), jejichž mykorhizy pomohou později dalším výsadbám dřevin s nízkým potenciálem tvorby ektomykorhizy (KAHLE et al. 2005). Přirozený výskyt druhově specifických hub v určitých oblastech přispívá k obnově mykorhizy původně nelesních půd i v tak stanovištně extrémních podmínkách, jako jsou rekultivované výsypky povrchových dolů, jak na příkladu borových porostů dokládá mj. MÜNZENBERGER et al. (2004).

ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Zalesněním dříve kultivovaných zemědělských pozemků dochází v horizontu desítek let k nástupu obnovy půdních podmínek lesních porostů. Přesto je třeba tento proces považovat za dlouhodobý a pravděpodobně zřídka kdy definitivně ukončený, protože obdělávání půdy a změny v jejím využití činí z naší krajiny poměrně dynamicky se vyvíjející komplex. Zalesňování zemědělské půdy se vzhledem k relativně příznivým terénním poměrům a úrodnosti lokalit převedených na pozemky určené k plnění funkcí lesa stalo dobře technologicky zvládnutým procesem, v jehož důsledku vznikly rozsáhlé věkově a druhově homogenní porosty. Po úspěšném založení kultur a zapojení mlazin se začíná tvořit povrchový humus z opadu asimilačních orgánů, který je vizuálně nejcharakterističtější rysem lesních půd. Pod jehličnatými porosty je jeho akumulace významnější než pod listnáči. Tvorba a akumulace horizontů pokryvného humusu je v přímé souvislosti s acidifikací svrchní vrstvy půdy; jehličnany (zejména smrk a modřín) opět zvyšují aciditu více než listnáče. I přes dobré zkušenosti se zakládáním nových porostů je třeba brát v úvahu, že bez ohledu na použité dřeviny má les v první generaci na zemědělské půdě vždy pionýrský charakter. Takto založené porosty musíme považovat za přechodové stadium zakládání lesa v krajíně nejen z pohledu půdních vlastností, ale také z pohledu plnění funkcí lesa, které se odvíjejí od konkrétních podmínek prostředí a záměru vlastníků nebo lesních hospodářů. Přestože pozůstatky zemědělského hospodaření mohou v půdách přetrvávat i stovky let, kultivací změněné vlastnosti nepředstavují ve většině případů neúměrné riziko pro vývoj založených porostů za předpokladu uvážené volby dřevin.

Poděkování:

Příspěvek byl vypracován na základě podpory poskytnuté v rámci výzkumného projektu NAZV č. QG 50008 „Dynamika přeměny půdního prostředí zalesněných zemědělských pozemků na půdní prostředí lesního ekosystému“. Autoři touto cestou děkují také paní Mirce Valentové za korektury citací literatury a anglického jazyka a paním Jitce Richterové a Aleně Hvězdové za pomoc při zpracování literárních zdrojů.

LITERATURA

- ALAKUKU, L.: Subsoil compaction due to wheel traffic. *Agricultural and food science in Finland*, 8, 1999, s. 333-351.
- ALLEN, A., CHAPMAN, D.: Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal*, 9, 2001, s. 390-400.
- ALRIKSSON, A., OLSSON, M. T.: Soil changes in different age classes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) on afforested farmland. *Plant and Soil*, 168/169, 1995, s. 103-110.
- BEDRNA, Z.: *Environmentálne pôdoznanectvo*. Bratislava, Veda 2002. 352 s.
- BINKLEY, D., VALENTINE, D.: Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management*, 40, 1991, s. 13-25.
- BRÅKENHJELM, S.: Vegetation dynamics of afforested farmland in a district of South-eastern Sweden. In: *Acta Phytogeographica Suecica*, 63. Uppsala, Svenska växtgeografiska sällskapet 1977. 73 s., 33 příl.
- BUCKLEY, D. H., SCHMIDT, T. M.: The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology*, 42, 2001, s. 11-21.
- BYRNE, K. A., FARREL, E. P.: The effect of afforestation on soil carbon dioxide emissions in blanket peatland in Ireland. *Forestry*, 78, 2005, č. 3, s. 217-227.
- COGLIASTRO, A., CAGNON, D., BOUCHARD, A.: Experimental determination of soil characteristics optimal for the growth of ten hardwoods planted on abandoned farmland. *Forest Ecology and Management*, 96, 1997, s. 49-63.
- COGLIASTRO, A., CAGNON, D., DAIGLE, S., BOUCHARD, A.: Improving hardwood afforestation success: an analysis of the effects of soil properties in southwestern Quebec. *Forest Ecology and Management*, 177, 2003, s. 347-359.
- COMPTON, J. E., BOONE, R. D.: Soil carbon and nitrogen in pine-oak sand plain in central Massachusetts: Role of vegetation and land-use history. *Oecologia*, 116, 1998, s. 536-542.
- DILLY, O., WINTER, K., LANG, A., MUNCH, J. C.: Energetic ecophysiology of the soil microbita in two landscapes of southern and northern Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 2001, č. 4, s. 407-413.
- DOMŽAL, H., HODARA, J., SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ, A., TURSKI, R.: The effects of agricultural use on the structure and physical properties of three soil types. *Soil & Tillage Research*, 27, 1993, s. 365-382.
- DUPOUEY, J. L., DAMBRINE, E., LAFFITE, J. D., MOARES, C.: Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology*, 83, 2002, č. 11, s. 2978-2984.
- ELLERT, B. H., GREGORICH, E. G.: Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in cultivated and adjacent forested soils of Ontario. *Soil Science*, 161, 1996, č. 9, s. 587-602.
- ERIKSSON, E., JOHANSSON, T.: Effects of rotation period on biomass production and atmospheric CO₂ emissions from broadleaved stands growing on abandoned farmland. *Silva Fennica*, 40, 2006, č. 4, s. 603-613.
- FARLEY, K. A., KELLY, E. F.: Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management*, 195, 2004, s. 281-290.
- GILMORE, A. R., BOGGESS, W. R.: Effects of past agricultural practices on the survival and growth of planted trees. *Soil Science Society Proceedings*, 1963, s. 98-102.
- GRIEVE, I. C.: Human impacts on soil properties and their implications for the sensitivity of soil systems in Scotland. *Catena*, 42, 2001, s. 361-374.
- HAGEN-THORN, A., CALLESEN, I., ARMOLAITIS, K., NIHLGÅRD, B.: The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest and Ecology Management*, 195, 2004, s. 373-384.
- HYTÖNEN, J., EKOLA, E.: Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. *Folia Forestalia*, 822, 1993, 32 s.
- JOBBÁGY, E. G., JACKSON, R. B.: Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry*, 64, 2003, č. 2, s. 205-229.
- JUSSY, J. H., KOERNER, W., DAMBRINE, É., DUPOUEY, J. L., BENOIT, M.: Influence of former agricultural land use on net nitrate production of forest soils. *European Journal of Forest Science*, 53, 2002, s. 367-374.
- KACÁLEK, D., BARTOŠ, J., ČERNOŠOUS, V.: Půdní poměry zalesněných zemědělských pozemků. In: *Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor*. Sborník z celostátní konference konané 17. 1. 2006 v Kostelci nad Černými lesy. Praha, ČZU; Opočno, VÚLHM-VS 2006, s. 169-177.
- KAHLE, P., BAUM, C., BOELCKE, B.: Effect of afforestation on soil properties and mycorrhizal formation. *Pedosphere*, 15, 2005, č. 6, s. 754-760.
- KOERNER, W., DUPOUEY, J. L., DAMBRINE, E., BENDIT, M.: Influence of past land use on the vegetation and soils of present day forest in the Vosges Mountains, France. *The Journal of Ecology*, 85, 1997, č. 3, s. 351-358.
- KUBÍKOVÁ, J.: Oak-pine afforestation of agricultural land: an attempt to enrich its understory diversity. In: *Novitates Botanicae Universitatis Carolinae*. 8. Praha, Univerzita Karlova 1994, s. 63-73.
- LOŽEK, V.: Zemědělská kolonizace a její dopad. *Ochrana přírody*, 54, 1999, č. 8, s. 227-233.
- MESSING, I., ALRIKSSON, A., JOHANSSON, W.: Soil physical properties of afforested and arable land. *Soil Use and Management*, 13, 1997, s. 209-217.
- MÍČAL, I. et al.: *Obnova ekologické stability lesů*. Praha, Academia 1992. 169 s.
- MÜNZENBERGER, B., GOLLDACK, J., ULRICH, A., SCHMINCKE, B., HÜTTL, R. F.: Abundance, diversity, and vitality of mycorrhizae of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in lignite recultivation sites. *Mycorrhiza*, 14, 2004, č. 3, s. 193-202.
- NOVÁK, J., KACÁLEK, D., PETR, T.: Properties of humus and upper soil horizons under 66-year-old spruce stand on former agricultural land. In: *Saniga, M., Jaloviar, P., Kucbel, S. (eds.): Management of forests in changing environmental conditions*. Zvolen, Technická univerzita, Lesnícka fakulta, Katedra pestovania lesa 2007, s. 90-95.
- NOŽIČKA, J.: *Přehled vývoje našich lesů*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1957. 459 s.
- OVINGTON, J. D.: Studies of the development of woodland conditions under different trees. *Journal of Ecology*, 44, 1956, č. 1, s. 171-179.
- PERRY, D. A., MOLINA, R., AMARANTHUS, M. P.: Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: current knowledge and research needs. *Canadian Journal of Forest Research*, 17, 1987, č. 8, s. 929-940.

- PEŠKOVÁ, V., SOUKUP, F.: Houby v lesních porostech na bývalých zemědělských půdách – metodické přístupy k studiu jejich role. In: Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Sborník z celostátní konference konané 17. 1. 2006 v Kostelci nad Černými lesy. Praha, ČZU; Opočno, VÚLHM-VS 2006, s. 127-132.
- PODRÁZSKÝ, V., ŠTĚPÁNÍK, R.: Vývoj půd na zalesněných zemědělských plochách – oblast LS Český Rudolec. Zprávy lesnického výzkumu, 47, 2002, č. 2, s. 53-56.
- POLENO, Z.: Příměstské lesy. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1985. 176 s.
- PRÉVOSTO, B., CURT, T., DAMBRINE, E., COQUILLARD, P.: Natural tree colonization of former agricultural lands in the French Massif Central: Impact of past land use on stand structure, soil characteristics and understorey vegetation. In: Honnay, O. et al. (eds.): Forest biodiversity: lessons from history for conservation. Wallingford, CABI 2004, s. 41-53.
- RANEY, W. A., EDMINSTER, T. W.: Approaches to soil compaction research. In: Transactions of the ASAE. 1961. Paper no. 60-129. Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Columbus, Ohio, June 1960, s. 246.
- RICH, J. J., HEICHEN, R. S., BOTTOMLEY, P. J., CROMACK, K., MYROLD, D. D.: Community composition and functioning of denitrifying bacteria from adjacent meadow and forest soils. Applied and Environmental Microbiology, 69, 2003, č. 10, s. 5974-5982.
- RICHTER, D. et al.: Legacies of agriculture and forest regrowth in the nitrogen of old-field soils. Forest Ecology and Management, 138, 2000, s. 233-248.
- RITTER, E., VESTERDAL, L., GUNDERSEN, P.: Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. Plant and Soil, 249, 2003, s. 319-330.
- SAGGAR, S., HEDLEY, C. B., SALT, G. J.: Soil microbial biomass, metabolic quotient, and carbon and nitrogen mineralisation in 25-year-old *Pinus radiata* agroforestry regimes. Australian Journal of Soil Research, 39, 2001, č. 3, s. 491-504.
- SEEMEN, H., LAITAMM, H., PIKK, J.: The influence of nutritional conditions on forest-soil microflora. Baltic Forestry, 4, 1998, č. 1, s. 2-7.
- SELBY, J. A.: Field afforestation in Finland and its regional variations. Tiivistelmä: Peltojen metsittäminen alueellinen vaihtelu Suomessa. In: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 99 (1). Helsinki 1980. 126 s.
- SHIRATO, Y., TANIYAMA, I., ZHANG, T. H.: Changes in soil properties after afforestation in Horquin Sandy Land, North China. Soil Science and Plant Nutrition, 50, 2004, č. 4, s. 537-543.
- SCHMITHÜSEN, F.: Prales – a les kulturní. Dějiny a možnosti udržitelného rozvoje. Praha, Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická ve spolupráci s ÚHÚL Brandýs nad Labem 2003. 27 s.
- SIEROTA, Z.: Czynniki sprzyjające występowaniu huby korzeni w drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych. Sylwan, 131, 1987, č. 11-12, s. 69-82.
- SINGER, M. J., MUNNS, D. N.: Soils: an introduction. New Jersey, Prentice Hall 1996. 480 s.
- SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., SKOVSGAARD, J. P.: Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.). Forest Ecology and Management, 209, 2005, s. 157-166.
- SOBCZAK, R.: O niektórych problemach wynikających z dokończonych obecnie w Polsce zalesień gruntów porolnych. In: Kongres leśników polskich. Tom II. 24. – 26. kwietnia 1997. Warszawa, Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk 1998, s. 319-323.
- STANTURF, J. A., SCHWEITZER, C. J., GARDINER, E. S.: Afforestation of marginal agricultural land in the lower Mississippi River Alluvial Valley, U.S.A. Silva Fennica, 32, 1998, č. 3, s. 281-297.
- SZUJECKI, A.: Ekologiczne aspekty odtwarzania lasu na glebach porolnych. Prace IBL, ser. B, č. 27, 1996. s. 47-55.
- ŠÁLY, R.: Pôda základ lesnej produkcie. Bratislava, Príroda 1978. 253 s.
- ŠPULÁK, O.: Příspěvek k historii zalesňování zemědělských půd v České republice. In: Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Sborník referátů z celostátní konference konané 17. 1. 2006 v Kostelci nad Černými lesy. Praha, ČZU; Opočno, VÚLHM-VS 2006, s. 15-23.
- TURGAY, O. C., NONAKA, M.: Effects of land-use and management practices on soil ergosterol content in andosols. Soil Science and Plant Nutrition, 48, 2002, č. 5, s. 693-699.
- VOMOCIL, J. A., FLOCKER, W. J.: Effect of coil compaction on storage and movement of soil air and water. In: Transactions of the ASAE. 1961. Paper No. 60-129. Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Columbus, Ohio, June 1960, s. 242-245.
- WALL, A., HEISKANEN, J.: Physical properties of afforested former agricultural peat soils in western Finland. Suo, 49, 1998, č. 1, s. 1-12.
- WALL, A., HEISKANEN, J.: Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land. Forest Ecology and Management, 186, 2003, s. 21-32.
- WALL, A., HYTÖNEN, J.: Soil fertility of afforested arable land compared to continuously forested sites. Plant and Soil, 275, 2005, s. 247-260.
- WALL, A., WESTMAN, C. J.: Site classification of afforested arable land based on soil properties for forest production. Canadian Journal of Forest Research, 36, 2006, č. 6, s. 1451-1460.
- WU JIANG GUO, XU DE YING: Dissolved organic carbon concentrations in soil under different land uses in the Liupan Mountain Forest Zone. Acta Phytocologica Sinica, 29, 2005, č. 6, s. 945-953.
- ZELLER, V., BAHN, M., AICHNER, M., TAPPEINER, U.: Impact of land-use change on nitrogen mineralization in subalpine grasslands in the Southern Alps. Biol. Fertil. Soils, 31, 2000, s. 441-448.

Conversion of afforested agricultural-land soils towards forest soil conditions restoration – review

Summary

A soil develops from rocks weathered under particular climatic conditions and its properties may be affected due to interaction with living organisms (especially bacteria, fungi, soil animals and plants). The formation of soils under natural conditions leads to creation of soil mosaic in a landscape. Such soil types had developed before agricultural colonization began. Thereafter the soil properties were altered due to deforestation, addition of manure or other fertilization practices and tillage of topsoil horizons. Even though the agricultural practices have altered soil properties, BEDRNA (2002) considers such process as logical continuation of natural development. He classified the process into two groups, positively influenced soils (ameliorative process) and negatively influenced ones (degradation process). The former involves measures as tillage and addition of nutritive elements and the latter is e. g. subsoil compaction as a result of increased bulk density due to wheel traffic (ALAKUKU 1999). Land-use proportion varied in time significantly; along with increased population, forests were converted into agricultural land or if number of inhabitants decreased (e. g. because of war) the forests reclaimed abandoned fields somewhere (NOŽIČKA 1957).

We suppose that almost no indigenous forests were left to remain undisturbed in our country during colonization. Later on, a certain part of agricultural land was meant for artificial afforestation. Perhaps the greatest shift in land use towards increased forested area came due to afforestation after the Second World War, when roughly 200,000 ha of less-productive areas were afforested in the Czech Republic (MÍCHAL et al. 1992, ŠPULÁK 2006). Despite the successful growth of the new stands there are still different soil properties typical of cultivated soils that have endured for a long time.

The article gathers information on the topic of “alteration of soil properties via land-use changes”, especially in terms of change from agricultural to at least semi-forest soil. From the forester’s point of view, forest-floor humus accumulation derived from litter and subsequent decomposition processes are the most visible and easily measurable indicators of forest soil restoration. Also soil properties of mineral-top-soil horizons alter according to different tree-species cover (PODRÁZSKÝ, ŠTĚPÁNIK 2002). BINKLEY and VALENTINE (1991) found substantially more acidic top-five-cm soil layer under spruce in comparison with white pine and green ash. The most acidic topsoil under spruce in comparison with broadleaves reported also HAGEN-THORN et al. (2004). Not only the species, but also the age of the stands plays important role in acidification; e. g. ALRIKSSON and OLSSON (1995) reported significantly more acidic top soil under spruce stands at the age of 40 – 55 years compared to the other ones at the age of 20 years. Concentrations and quantity of both carbon and nitrogen are also important variables to reveal soil changes. For example C : N ratio was found lower in formerly cultivated soils compared to nearly-undisturbed forested sites (see ELLERT, GREGORICH 1996, KOERNER et al. 1997, COMPTON, BOONE 1998).

Besides altered chemical properties, an important change in soil porosity (in terms of air-filled pores volume decrease) occurs on formerly cultivated sites (VOMOCIL, FLOCKER 1961). Low aeration of soil and subsequent water logging may have led to root-cap hypoxia (WALL, HEISKANEN 1998, 2003). Also MESSING et al. (1997) reported trend of increased bulk density in cultivated soils compared to forested ones. Compaction of both arable soil (DOMŽAL et al. (1993) and subsoil (STANTURF et al. 1998, ALAKUKU 1999) is attributed to heavy wheel traffic caused by mechanization. Consequently, tree species roots cannot penetrate soil sufficiently not only in terms of mechanical resistance of compacted layer, but increased risk of hypoxia; RANEY and EDMINSTER (1961) report the critically decreased aeration of soil as more impeding root growth than the soil compaction itself.

Not only both chemical and physical properties of soils are affected via land-use changes. BUCKLEY and SCHMIDT (2001) reported significantly higher quantitative values of microbial RNA in undisturbed soils compared to cultivated ones. In addition to land-use history a vegetation cover seems to influence soil microorganisms. There was found significant evidence of higher colonization or microbial activity under grassland in comparison with tree species stands (DILLY et al. 2001, SAGGAR et al. 2001, RICH et al. 2003).

Fungi as an integral part of soil biota also seem to be negatively affected due to cultivation; contents of ergosterol, reporting quantity of fungus hyphas, were significantly lower in cultivated soils (ZELLER et al. 2000, TURGAY, NONAKA 2002). These results show that increased content of soil fungi is likely to be an important part of soil conditions restoration within abandoned agricultural land or after afforestation. Therefore mycorrhiza is referred to as vital sign of forest soil restoration. It means especially formation of ectomycorrhizal stability (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006) which includes equilibrium between the ectomycorrhizal species and lignivorous ones; there is required proportion over 40% and less than 30% respectively. Even the forest-soil mycorrhizas show a shift in occurrence if clear cuttings are made, reforestation delays and lack of host plants remains within logged area (PERRY et al. 1987). Therefore the pioneer tree species can be used to promote formation of underplanted target species mycorrhiza (KAHLE et al. 2005). Natural occurrence of species-specific fungi in adjacent areas can support mycorrhiza even in disturbed areas such as spoil bank; MÜNZENBERGER et al. (2004) reported restoration of pine mycorrhiza under such conditions.

The agricultural land afforestation leads to beginning of soil properties restoration at least in decades after establishment. Yet, the process of conversion has to be regarded as long-term matter being likely never to finish, because cultivation and shift in land use render landscape dynamically changing. A technology of afforestation seems to be “well-developed” measure to establish forests within abandoned fields; both the soil fertility and terrain accessibility support soil preparation, planting, fencing, care of young plantation and growth of the new stands. Consequently, extensive, nearly even-aged and species-homogeneous stands have been established. Important feature of soil restoration is a forest-floor humus accumulation beginning after canopy closure; the accumulated mass is greater under coniferous species compared to broadleaved ones. Also an acidification of topsoil horizon is reported higher under accumulated coniferous litter.

In spite of experienced success in establishing forest under agricultural-soil conditions, new stands have to be regarded as a “transitive” stage of forest development because of pioneer character of such first-generation forest stands. Even though the legacy of agricultural practices may have endured in soils even for centuries after abandonment and afforestation, cultivation-induced properties do not present an excessive risk for the new forests.

Recenzováno