PÔDA A DISTURBANCIE V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH

Autor: prof. Ing. Erika Gömöryová, PhD.

Disturbancie lesných ekosystémov, ktoré môžu byť prírodného i antropogénneho pôvodu, môžu významnou mierou ovplyvňovať pôdu a jej vlastnosti, či už ide o fyzikálno-chemické, biologické vlastnosti, ale napr. aj hrúbku a uloženie horizontov (napr. pri vývratoch). Z ***prírodných*** disturbancií, ovplyvňujúcich pôdne vlastnosti, je to najmä vietor, požiar, sucho, záplavy, ktoré vedú následne k zmenám v pôdnej vlhkosti a teploty, a v dôsledku sukcesie bylinných a trávnych druhov s rozdielnou kvantitou a kvalitou opadu i k zmenám chemických a biologických vlastností pôdy. ***Antropogénne*** faktory zahŕňajú najmä odlesnenie a vplyv rozdielneho obhospodarovania lesných porastov. Aj keď obhospodarovanie lesov je vo všeobecnosti menej intenzívne ako obhospodarovanie poľnohospodárskych pôd, je niekoľko spôsobov, ktoré môžu ovplyvniť vlastnosti pôd v lese

Niektoré faktory vyvolajú zmeny pôdnych vlastností v krátkom časovom období (rádovo v rokoch, napr. vlhkosť a teplota pôdy, hrúbka pokrývkového humusu), u iných sa zmeny rátajú v horizonte desiatok rokov (napr. zmeny chemizmu) alebo až stoviek rokov (preklopenie horizontov). Mnohé procesy alebo zásahy človeka sa prejavia na pôdnych vlastnostiach až s určitým oneskorením.

Aj keď ako bolo spomenuté, disturbancie môžu ovplyvňovať široké spektrum pôdnych vlastností, v súčasnosti sa výskum zameriava najmä na sledovanie ich vplyvu na pôdnu organickú hmotu (humus) a to najmä v súvislosti s klimatickou zmenou a jej dopadmi na sekvestráciu uhlíka v pôde. Zároveň sa však pôdna organická hmota (POH) podieľa na udržiavaní priaznivého fyzikálneho stavu pôdy (štruktúry pôdy a následne lepšej infiltračnej schopnosti a vododržnosti pôdy), vyššej tlmivej schopnosti pôdy a významnú úlohu zohráva aj v spojitosti s pôdnym mikrobiálnym spoločenstvom ako kľúčovým prvkom v kolobehu látok a energie.

Prírodné disturbancie

Vietor a požiar patria medzi tie prírodné škodlivé činitele, ktorých pôsobenie môže viesť k poškodeniu ako jednotlivého stromu, skupín stromov, tak i k poškodeniu porastov na rozsiahlych plochách (kalamity). V dôsledku náhleho otvorenia (zaniknutia) korunového zápoja následkom silného vetra dochádza k zmenám niektorých stanovištných faktorov. Menia sa najmä mikroklimatické podmienky – k pôde sa dostáva viac zrážok, slnečného žiarenia, tepla, prebieha intenzívnejšia výmena vzduchu i prísun organickej hmoty k pôdnemu povrchu. Zmenené podmienky majú za následok aj zmenu v druhovom zložení a pokryvnosti vegetačného krytu a následne aj pôdnych vlastností. Mení sa mikrotopografia plochy, vznikajú vyvýšeniny a terénne depresie, v ktorých sa môže akumulovať organický materiál, voda a pod. Vývraty stromov následkom silného vetra vedú k zintenzívneniu procesov premeny organického materiálu a k premiešaniu pôdnych horizontov. Otvorenie plochy odstránením porastu má za následok zmeny pôdnych vlastností už v prvom roku, pričom dĺžka a intenzita vplyvu závisí od vlastností pôdy.

Kým na vetrom narušených plochách sa tieto zmeny vyskytujú mozaikovite, lesný požiar zasahuje plochu celoplošne a môže ovplyvniť rôzne fyzikálne, fyzikálno-chemické či biologické vlastnosti pôd, vrátane množstva a kvality organického materiálu. Každý požiar je spojený so stratou organickej hmoty v priebehu horenia. V závislosti od intenzity a dĺžky trvania požiaru dochádza k čiastočnej alebo až k úplnej redukcii pokrývkového humusu, pričom dôjde k mineralizácii a uvoľneniu živín z popola, ktoré môžu mať stimulačný vplyv na dekompozíciu v požiarom neovplyvnených nižšie ležiacich pôdnych vrstvách. Obnova POH po

požiari začína prirodzeným rozvojom alebo umelým vysadením vegetácie a je pomerne rýchla vďaka vysokej čistej primárnej produkcii v priebehu sekundárnej sukcesie. Niektoré štúdie uvádzajú pozitívny vplyv lesných požiarov na obsah pôdneho organického uhlíka, ktorý sa začína prejavovať v A-horizonte ale až po približne 10-tich rokoch. Tento nárast súvisí s postupnou inkorporáciou nespálených zvyškov do minerálnej pôdy, kde sú následne viac chránené pred dekompozíciou, s transformáciou čerstvého organického materiálu do stabilnejších foriem, s častejším nástupom N-asimilujúcich organizmov na spáleniskách, ktoré sú schopné významnou mierou zvýšiť sekvestráciu uhlíka. Požiar ovplyvňuje aj kvalitu POH. Kým nízke teploty (okolo 150°C) neovplyvňujú kvalitu POH vôbec, a pri vysokých teplotách (nad 490°C) naopak dochádza k jej úplnému spáleniu, teploty okolo 220 až 350°C vedú k značným štrukturálnym zmenám, pričom humusové frakcie sú ovplyvnené menej ako nehumusové.

Konverzia lesných a poľnohospodársky využívaných pôd

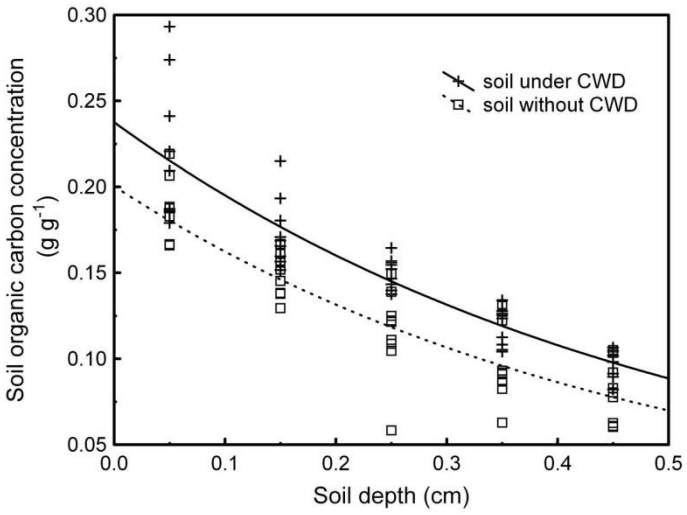
Ešte približne pred 6-7 tisíc rokmi bola prevažná časť pôd na území Slovenska pôdami lesnými (asi 90 %). Činnosťou človeka sa vegetačný kryt postupne zmenil, pričom väčšia časť územia bola odlesnená a následne poľnohospodársky využívaná. Odlesnenie, konverzia lesnej pôdy na poľnohospodársku, urbánnu alebo pôdu s iným využitím, vedie k zvýšenému výdaju CO_2, porovnateľnému s množstvom uvoľneným pri spaľovaný fosílnych palív (World Resources Institute, 1992). Najväčší výdaj CO_2 sa zaznamenáva v oblasti tropických lesov, ktoré sú v posledných rokoch stále viac exploatované. Konverzia lesných ekosystémov na poľnohospodárske ovplyvňuje mnohé pôdne vlastnosti, najviac však koncentráciu a zásoby pôdneho organického uhlíka, pričom sa pozoroval pokles jeho zásob o 20-50 %.

Odlesnené plochy, vrátane lúk a pasienkov, sú závislé od nepretržitej ľudskej činnosti. V okamihu, keď sa tieto plochy prestanú poľnohospodársky využívať, nastupuje sekundárna sukcesia spojená s kolonizáciou týchto plôch drevinami a s tým súvisiacou zmenou bylinnej vegetácie. Na mieste pôvodných relatívne homogénnych trávnych porastov sa v priebehu niekoľkých desaťročí utvára mozaika rôznych typov vegetácie v dôsledku variability vplyvov prostredia (napr. radiácie, teplotných a vlhkostných pomerov, kolobehu živín, kompetičných vzťahov). V súvislosti so sekundárnou sukcesiou na odlesnených plochách, opustených lúkach a pasienkoch ostáva mnoho aspektov tohto procesu ešte neobjasnených, okrem iných aj zmeny pôdnych vlastností, vrátane zásob POH. Zalesnenie poľnohospodárskych pôd vedie k nárastu uhlíka v nadzemnej biomase a vstupov organickej hmoty na pôdu, k zmene teplotných a vlhkostných pomerov, atď. Tieto zmeny sa odrážajú v náraste zásob POH, v zlepšení pôdnej štruktúry a znížení objemovej hmotnosti pôdy a lepších vodno-vzdušných pomerov. Po zalesnení poľnohospodárskej pôdy postupne narastá množstvo uhlíka v pokrývkovom a pôdnom humuse. Iniciálna akumulácia začína v pokrývkovom humuse. Jeho hrúbka a chemické zloženie kolíše v závislosti od druhu dreviny a veku porastu. V počiatočných fázach po zalesnení môžu dokonca prevažovať straty uhlíka nad príjmami, v súvislosti s prípravou stanovišťa pri zalesnení a mechanickej likvidácii buriny, pričom tieto straty nie sú výsledkom malého množstva opadu. Pokrývkový humus akumuluje uhlík rýchlo a často vyrovnáva dočasné straty v minerálnej pôde; väčšina uhlíka v pokrývkovom humuse je v však labilnej forme a nesprávnym obhospodarovaním plôch môže dôjsť k jeho strate. Akumulácia POH trvá niekoľko desaťročí a trvá až do doby, kým stromy nedosiahnu rubnú zrelosť a pôda rovnovážny stav medzi vstupmi (opad a rizodepozícia) a výstupmi uhlíka (respirácia a vymývanie). Podľa Jandl et al. (2007) vedie zalesnenie k nárastu celkových zásob pôdneho uhlíka v priemere o 18 % oproti jeho zásobám pred zalesnením.

Prírodný a hospodársky les

Prírodný les, príp. prales, sa vyvíja podľa vlastných prírodných zákonitostí bez vonkajšieho vplyvu, ktorý nie je koordinovaný prírodnými zákonitosťami. Štruktúra prírodných lesných porastov je odrazom jednak vývojových procesov (regenerácie, konkurenčných vzťahov, následného prerieďovania) a tiež rôznych disturbancií. Jedným zo znakov prírodného lesa je jeho rôznovekosť podmienená diferencovaným prirodzeným dožívaním stromov a dlhším trvaním obnovy. Od druhového zloženia a vekového rôznenia v značnej miere závisí aj výstavba prírodného lesa. Vo všeobecnosti sú prírodné lesy štruktúrovanejšie, s vyššou diverzitou ako porasty obhospodarované. Pozoruje sa v nich spravidla väčšia variabilita pôdnych vlastností a výraznejšia priestorová diferenciácia pôd ako v hospodárskych lesoch. Horizontálne a vertikálne usporiadanie asimilačného aparátu a drevnej hmoty určuje následne priestorové rozdelenie mikroklimatických podmienok pod korunovým priestorom i príchod organickej hmoty k pôde. Častejšie sa tu vyskytujú aj disturbancie po vývratoch či miesta s padnutými odumretými stromami a ich časťami v rôznom štádiu dekompozície, ktoré sú príčinou špecifickej variability na takýchto lokalitách. V ***hospodárskych lesoch*** je štruktúra lesných porastov významnou mierou ovplyvňovaná pestovnými zásahmi ako sú prerezávky, prebierky za cieľom zvýšenia kvality drevnej hmoty. Vo väčšine prípadov ide o porasty rovnoveké a často nezmiešané, tvorené len jedným druhom dreviny. Avšak aj samotné zakladanie porastov, či následná ťažba, môžu zanechať svoje stopy na pôdnej pokrývke. V hospodárskych (obhospodarovaných) lesoch vedú veľkoplošné a časté disturbancie tiež k určitým zmenám; napr. pohyb lesných mechanizačných prostriedkov má za následok lokálne zmeny v objemovej hmotnosti a pórovitosti, a následne aj ďalších vlastností pôd v miestach prejazdu (koľaje), napr. rýchlosti infiltrácie vody do pôdy.

Konverzia prírodného lesa na les hospodársky vedie k významnej redukcii zásob uhlíka v živej aj mŕtvej nadzemnej biomase. V závislosti od spôsobu obhospodarovania, rubnej doby a ďalších faktorov, priemerná nadzemná biomasa hospodárskych lesov dosahuje len 20 – 55 % biomasy prírodných lesov. Kým napríklad sušina biomasy mŕtveho dreva v prírodných lesoch predstavuje 30 – 500 $t.ha^{-1}$, v hospodárskych lesoch je to len 2 – 40 $t.ha^{-1}$. Mŕtve drevo zohráva významnú úlohu v lesných ekosystémoch nielen z hľadiska zachovania biodiverzity, ale napríklad aj jeho príspevku k tvorbe POH. Výsledky analýzy koncentrácie pôdneho organického uhlíka na andozemi modálnej v prírodnom bukovom pralese dokumentujú významné rozdiely v jeho koncentrácii priamo pod mŕtvym drevom a mimo neho (obr. 1).



Obr. 1 Koncentrácia pôdneho organického uhlíka pod (under CWD) a mimo mŕtveho dreva (without CWD) pozdĺž profilu andozeme v prírodnom bukovom lese (Pichler et al., 2013)

Pokiaľ však ide o celkové zásoby pôdneho organického uhlíka, údaje sa rôznia. Kým konverzia prírodného listnatého lesa na hospodársky listnatý les má len nepatrný dopad na jeho celkové zásoby, nahradenie prírodného lesa ihličnatým hospodárskym lesom vedie k redukcii POH (týka sa to oblastí s vysokým úhrnom zrážok). Z doterajších skromných informácií vyplýva, že prírodný les s vysokými zásobami pôdneho organického uhlíka je náchylnejší na straty uhlíka v minerálnej pôde pri konverzii na les hospodársky ako porast s nízkymi zásobami.

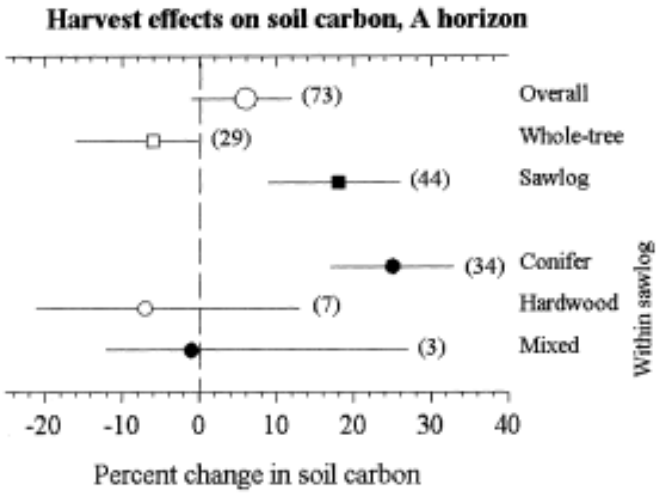
Ťažba dreva

V súvislosti s ťažbou dreva v lesných porastoch prichádzajú do úvahy dva rozdielne aspekty jej vplyvu na POH. Na jednej strane ide o vplyv lesných ciest a zvážnic, slúžiacich pre odvoz drevnej hmoty, na strane druhej, je to vplyv samotnej ťažby drevnej hmoty na určitej ploche a stupeň využitia drevnej hmoty. V závislosti od hustoty a umiestnenia ciest, zvážnic a lanových dráh, ktoré závisia od predpokladaného objemu vyťaženej drevnej hmoty, spôsobu odvozu a topografie, dochádza k zhutňovaniu pôdy, erózii, zmene pohybu vody a v prísune organickej hmoty, čo následne vedie aj ku zmenám v POH; pritom ku zmenám dochádza nielen priamo na cestách, ale aj v ich širšom okolí.

Vplyv samotnej ťažby na POH vo veľkej miere závisí od hospodárskeho spôsobu (holorubný, podrastový, výberkový, účelový) a ťažbovej metódy rozhodujúcej o tom, ktorá časť biomasy sa z porastu vyťaží – či len kmene alebo celé stromy, vrátane konárov a asimilačných orgánov. Bezprostredne po zásahu sa na povrch pôdy dostávajú zvyšky po ťažbe – drevnatý materiál a lístie (ihličie) a do pôdy biomasa odumretých koreňov. Toto množstvo narastá s intenzitou ťažby a klesá s využitím biomasy. Dekompozícia zvyškov po ťažbe narastá s teplotou a vlhkosťou pôdy na ťažených plochách. Teplota pôdy na veľkých holorubných plochách narastá viac ako na maloplošných holorubných pásoch, ktoré sú čiastočne tienené okolitým stojacim porastom. Pri ostatných spôsoboch ťažby sú zmeny teploty minimálne. Na holorubných plochách zvyčajne narastá aj vlhkosť pôdy v dôsledku zredukovanej transpirácie stromov. Tradičná (kmeňová) ťažba vedie k poklesu pôdneho organického uhlíka v pokrývkovom humuse. Táto strata je dlhodobá a zreteľná ešte aj desať rokov po ťažbe. Môže trvať viac ako polstoročie, kým sa strata eliminuje. V prvých 10-tich rokoch sú na holorubných plochách vyššie straty pôdneho organického uhlíka ako na ostatných plochách, potom sú zmeny malé. Ak je minerálna časť pôdy pokrytá hrubou vrstvou pokrývkového humusu, straty uhlíka sú z nej po ťažbe vysoké (zvýšená dekompozícia a vymývanie rozpustného organického uhlíka), avšak vstupy uhlíka do minerálnej pôdy môžu byť relatívne vysoké. Pozitívny vplyv zvyškov ponechaných po ťažbe na mieste a inkorporovaných do pôdy, trvá len niekoľko rokov až dekád, kým sa materiál nerozloží. K takýmto situáciám dochádza najmä v ihličnatých porastoch v horských polohách. Listnaté porasty, pokiaľ sa vyskytujú na piesčitých pôdach v teplejších oblastiach, sú náchylné na straty pôdneho organického uhlíka pre vysoký podiel nechráneného uhlíka v porovnaní s porastmi na hlinitých alebo ílovitých pôdach. Listnaté lesy na ílovitých pôdach a v chladnejších podmienkach sú menej náchylné na straty uhlíka ako ihličnaté porasty, pretože podiel chráneného uhlíka v minerálnej pôde ako i v labilnej organickej vrstve je menší.

Vplyv ťažby na zásoby pôdneho organického uhlíka v minerálnej pôde sa líši z miesta na miesto a bol pozorovaný ako jeho pokles, tak i nárast, resp. taktiež žiadne zmeny. Vo väčšine prípadov však platí, že v priemere sú zmeny v pôdnom organickom uhlíku následkom ťažby len malé (do 10 %) alebo žiadne (Bowman a Leemans, 1995). Významné rozdiely však boli zaznamenané medzi rôznymi spôsobmi ťažby. Johnson a Curtis (2001) uvádzajú, že stromová

ťažba viedla v porastoch ihličnatých drevín k zníženiu pôdneho organického uhlíka v A-horizonte v priemere o 6 %, zatiaľ čo kmeňová ťažba mala za následok nárast o 18 %. V porastoch listnatých drevín sa naopak zistil slabý negatívny vplyv a v zmiešaných porastoch žiadny vplyv (obr. 2). Pokiaľ ide o nižšie ležiace horizonty alebo pôdu ako celok, nebol pozorovaný žiaden vplyv samotnej ťažby, doby od vykonania ťažby alebo druhu dreviny na pôdny organický uhlík.



Obr. 2 Vplyv ťažby na pôdny organický uhlík v A-horizonte na základe výsledkov metaanalýzy (v zátvorke je uvedený 99 % interval spoľahlivosti a počet štúdií) (Johnson a Curtis, 2001)

Obnova porastu a pestovné zásahy

Výber dreviny a hustota výsadby pri zalesňovaní môžu tiež ovplyvniť POH. Čím rýchlejší je rast dreviny, tým skôr je plocha pokrytá korunovým zápojom a tým menšia je potreba kontroly konkurenčných druhov bylín a tráv, pomalšia dekompozícia pre vyššiu vlhkosť, horšiu výmenu vzduchu a nižšiu teplotu. Hustota výsadby ovplyvňuje aj množstvo opadu prichádzajúceho na pôdu. Na ochranu výsadby pred konkurenčnou vegetáciou sa zvyčajne používajú herbicídy. V závislosti od druhu herbicídu a intenzity inhibície možno očakávať pokles vstupu organickej hmoty na pôdu a do nej, zníženie zatienenia a tým nárastu teploty pôdy, zníženie transpirácie a nárast intenzity dekompozície.

Lesné hospodárstvo má v rámci európskych krajín dlhodobú tradíciu a lesy sú manažované nielen za účelom maximalizovať produkciu drevnej hmoty, ale aj za účelom zabezpečenia ostatných funkcií lesa. V hospodársky využívaných lesoch sa v priebehu vývoja lesného porastu vykonávajú prerezávky a prebierky, pri ktorých sa redukuje hustota stromov za účelom redukcie kompetíciou spôsobenej mortality stromov a zníženia rizika prírodných disturbancií, ako sú napr. veterné kalamity a biologickí škodcovia. Tieto zásahy nielenže odstraňujú nadzemnú biomasu, ale aj stimulujú mikrobiálne procesy exponovaním pôdneho povrchu solárnej radiácii a vyššiemu prísunu zrážok. Zmeny súvisiace s odstránením určitého počtu stromov v určitých časových intervaloch vedú k periodickému prísunu organickej hmoty na povrch pôdy, ku krátkodobým zmenám v pôdnej vlhkosti, k strate živín; tieto zmeny sú však vo všeobecnosti malé.

Vyhrabávanie opadu

V minulosti sa vyhrabával opad (často sa používal v tejto súvislosti termín *hrabanka*) na veľkej ploche lesných porastov, ktoré boli v blízkosti osád alebo boli ľahko prístupné. Vyhrabávanie v oblasti strednej Európy trvalo približne 200 rokov (od pol. 18. do pol. 20. stor.) a malo za následok zhoršený stav lesných porastov kvôli výraznému zhoršeniu pôdneho prostredia. Vyhrabávaním opadu došlo k narušeniu bilancie organickej hmoty, pričom vážne následky sa prejavili na pôdach chudobných (na bohatších pôdach neboli natoľko zrejmé) a viedli tiež k zhoršeniu fyzikálnych vlastnosti pôdy, poklesu zásob živín, zmenšeniu aktivity mikroorganizmov. Prepočty ukazujú, že niektoré lokality boli ochudobnené o 1100 – 1700 kg N, 200 kg P, 800 – 1000 kg Ca, 200 kg Mg na ploche 1 ha.