

množství uhlíků, které by se dalo připsat cyklickému vypalování. Nadto podle některých badatelů byla tato suchá část Poohří v době prvních zemědělců pokryta stepí – prostředím pro opakované vypalování lesního porostu nevhodným.

V době, kdy M. Rösch uvažuje o počátcích zemědělství na chudých půdách, se u nás osídlení naopak stahovalo do zemědělsky ještě výhodnějších nížinných poloh; k masivnějšímu zavedení žďáření tak zřejmě nevznikla příčina. Jedinou výjimku by mohla tvořit chamská kultura středního eneolitu, rozšířená téměř výhradně v západních Čechách; jako jediná ze všech archeologických období nezasahuje do oblastí hnědozemí a černozemí (mapu jejího rozšíření vzhledem k typům půd uvádíme na webu Živy). Ani zde však složení plodin nepodporuje myšlenku žárového zemědělství a při obecně malém počtu známých lokalit a neexistenci pylových profilů v nižších částech západních Čech nemáme pro danou spekulaci žádné podklady.

Podle všeobecného mínění se žárový způsob zemědělství po skončení neolitu/eneolitu již nepraktikoval a na počátku doby bronzové zanikl (pokud byl vůbec

někdy uplatňován). Hospodaření ohněm v malém měřítku se v různých podobách dodnes zachovalo.

Jak je to nyní

Dnes se žárové zemědělství stále udržuje v Jižní Americe nebo jihovýchodní Asii. Oheň však spíše slouží k trvalému odlesnění obrovských ploch v tropických deštivých pralesích Amazonie, ale i ploch tropických suchých lesů, kde období sucha umožňuje lepší vypalování. Následky této činnosti se podílejí i na globálním nárůstu obsahu oxidu uhličitého v atmosféře, a tudíž na současném globálním oteplování.

V Evropě bylo hospodaření s ohněm až na řídké výjimky (např. na severu Finska) ukončeno zhruba v polovině 20. století. V některých zemích, jako jsou Velká Británie, Nizozemsko, Portugalsko nebo Estonsko, je povoleno řízené vypalování travních porostů, vřesovišť, vrchovišť i vybraných částí lesa pro regeneraci porostu nebo vytvoření podmínek k druhotnému zalesnění, obnovení dynamiky lesa, zlepšení jeho prostorové a druhové skladby a vytváření nových biotopů. Tento způsob managementu bývá vesměs kladně hodnocen.

U nás je jakákoli manipulace s ohněm při vypalování trávy, slámy nebo křovinové vegetace zakázána zákonem o požární ochraně bez možnosti udělení výjimky. Snahy Agentury ochrany přírody a krajiny ČR o zavedení legislativní úpravy v podobě novely zákona o ochraně přírody a krajiny (ZOPK), která by řízené vypalování v důvodných případech umožňovala, se úspěšně promítly do novely ZOPK v souvislosti s implementací předpisů Evropské unie v oblasti invazních nepůvodních druhů. Tu přijal Parlament České republiky v září 2021 a následně začala AOPK ČR ve spolupráci s Hasičským záchranným sborem ČR zpracovávat podrobnou metodiku pro realizaci řízeného vypalování. Dokončení metodiky se očekává v r. 2024; do té doby se vypalování nedoporučuje. Co se týče lesní vegetace, Zákon o lesích 289/1995 Sb. zakazuje rozdělovat nebo udržovat otevřené ohně, a to až do vzdálenosti 50 m od okraje lesa. Zákaz se nevztahuje na činnosti, které jsou prováděny při hospodaření v lese. Vlastník může také povolit výjimku ze zákazů tohoto zákona.

Použitá literatura uvedena na webu Živy.

Luděk Šefrna a kolektiv autorů

Milířiště. Stopy výroby dřevěného uhlí v krajině a jejich význam v současnosti

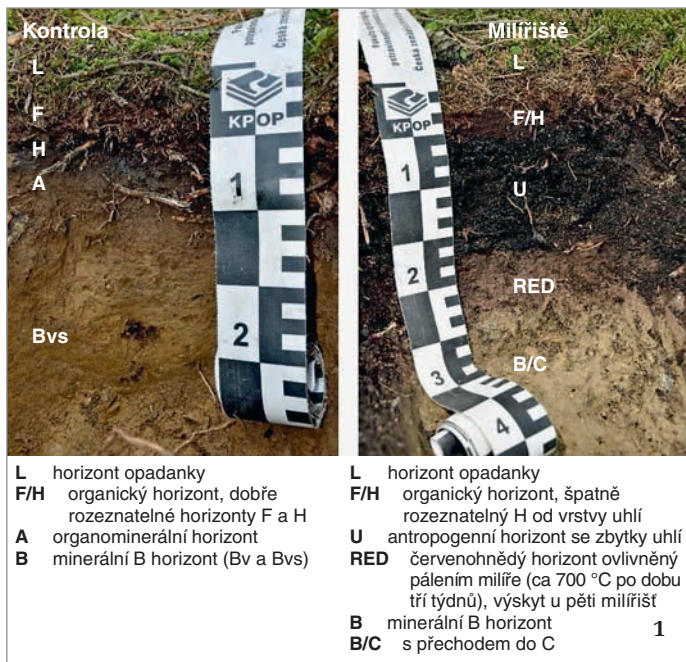
Místa původní výroby dřevěného uhlí v milířích jsou v našich lesích stále patrná, i když již uplynulo mnoho let od ukončení výroby. Studium role velkého obsahu dřevěného uhlí (biochar, charcoal, biouhel) v půdě není pouze v zájmu pedologů. Půda je základní součástí celých ekosystémů a její složení ovlivňuje i další složky biosféry a jejich fungování. Už někteří antičtí učenci, např. Columella a Plinius mladší, poukazovali na blahodárný vliv této uhlíkaté substance na úrodnost půd, ale až nedávný výzkum černých půd amazonských tropických pralesů, nazývaných terra preta, nastartoval detailnější zájem o tento jev. Ukazuje se, že příměs dřevěného uhlí skutečně vylepšuje vlastnosti půdy, zvyšuje její odolnost i úrodnost. To podmiňuje i ekologické funkce půdy v krajině a větší pestrost bioty. Vyřazení části oxidu uhličitého z atmosférického zásobníku může zpomalit nárůst skleníkového efektu a jeho přesun do půdního rezervoáru může být dlouhodobý a efektivní, s bonusem vylepšení parametrů lesních půd. V tomto článku vás seznámíme s podstatnými výsledky přírodovědné části naší studie, která mezi lety 2019–21 probíhala v pěti různých typech lesní krajiny České republiky.

Když Prometheus ukradl na Olympu bohům oheň a dal ho k dispozici lidem, předznamenal jeden z nejdůležitějších civilizačních skoků. My dnes nevíme přesně, kde a kdy se člověk naučil oheň rozdělat a udržovat, ale jeho služby zvýšily schopnost lidí obstát v boji o přežití a přinesly

mnoho výhod, např. možnost získat vydatnější stravu a osídlit i ta místa na Zemi, která se svým chladem hodně lišila od kolébky *Homo sapiens* v africké savaně. Technický pokrok v mnoha materiálních oblastech závisel na vyšších teplotách, než dosahuje prosté hoření dřeva. Dřevěné uhlí je tako-

vý malý zázrak, který umožnil tyto teploty překročit až třikrát. Zahřátí dřeva nebo hoření za omezeného přístupu vzduchu, pyrolýza nebo také suchá destilace dřeva, přemění dřevo na černou, porézní, lehkou a křehkou uhlíkatou hmotu s obsahem až 90 % uhlíku. Při následném pálení (oxidaci) v peci, ohništi či výhni za dostatečného přístupu vzduchu podporovaného dmýcháním vyvine dostatečnou teplotu i na vypálení keramiky, vytavení kovů z rudy a roztavení křemičitanů na sklo. U nás je sice grilování s pomocí dřevěného uhlí považováno za zbytečnost, které se oddáváme pro zábavu, ale v mnoha zemích hlavně subtropů a tropů se bez tohoto černého „zlata“ neobejde běžné vaření, kovářství, šperkařství a řada dalších řemesel. Neměli bychom zapomenout ani na umění, vždyť jeskynní malby uhlem a rituální líčení těla našich prehistorických předků jsou jedny z prvních výhonků kultury, odlišujících nás od ostatních homininů.

Jedno z méně okázalých a dlouho skrytých použití dřevěného uhlí je v zemědělství tropů. Polaření v lůně tropických lesů má limity v kyselosti a nízkém obsahu živin v půdě, kterou zde reprezentuje většinou ferralsol – půda tropického pásu s typickou barvou oxidovaných forem železa, např. okrovou, červenou nebo oranžovou. Při místních vysokých teplotách a srážkách jsou organické látky rychle mineralizovány, důležité biogenní prvky z půd vyluhovány a v sorpčním komplexu nahrazeny ionty železa a hliníku. Zapravení dřevěného uhlí do povrchového horizontu půdy mění její kvalitativní parametry. O těchto půdách v Amazonii jsme se dozvěděli poměrně nedávno díky pedologickému zkoumání tmavých, pro dané oblasti netypických půd, připomínajících černozemě. Protože to bylo v Brazílii, začalo se jim portugalsky říkat terra preta – černá zem. Předpokládá se, že může být jakýmsi modelem dlouhodobě udržitelných postu-



L horizont opadanky
F/H organický horizont, dobře rozeznatelné horizonty F a H
A organominerální horizont
B minerální B horizont (Bv a Bvs)

L horizont opadanky
F/H organický horizont, špatně rozeznatelný H od vrstvy uhlí
U antropogenní horizont se zbytky uhlí
RED červenohnědý horizont ovlivněný pálením milíře (ca 700 °C po dobu tří týdnů), výskyt u pěti milíříst
B minerální B horizont
B/C s přechodem do C

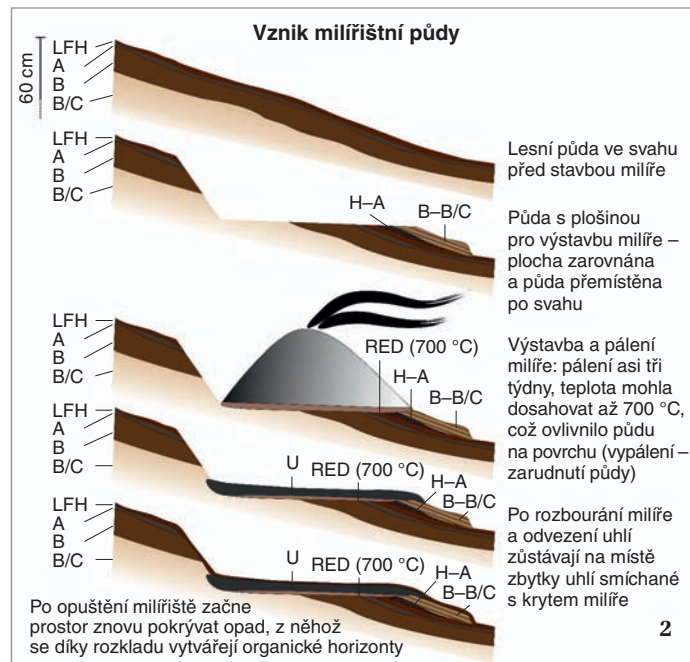
1 Porovnání půdního profilu milířístě (vpravo) a běžné lesní půdy kontrolního stanoviště (vlevo) v bezprostřední blízkosti s vyznačenými horizonty a jejich popisem. Blíže v textu
 2 Schéma vzniku milířistní půdy neboli pretické antropozemě. Označení horizontů odpovídá obr. 1. Foto a orig. V. Tejnecký (obr. 1 a 2)

pů v zemědělství vlhkých tropů. Je také příkladem dlouhodobé sekvence (uložení) CO₂ do půdy s dalšími pozitivními účinky na ekosystém. Má tak potenciál v boji proti klimatickým změnám, jejichž příčina je podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) spatřována mimo jiné v růstu koncentrace tohoto skleníkového plynu v atmosféře. Některé vědecké zdroje udávají, že půdy typu terra preta pokrývají až 10 % plochy Amazonie. Určitou paralelu najdeme i v Evropě. Již zmínění antičtí klasici popisují praktiky na zvýšení úrodnosti půd jejich obohacováním různými látkami včetně dřevěného uhlí. Také poslední výzkumy složené a geneze černozemí ve střední Evropě poukazují na vysoký podíl uhlíků po spalování organické hmoty. Přirozený výskyt černozemí v biomu temperátních lesů střední Evropy je totiž málo pravděpodobný bez vlivu lidské činnosti. Čechám nejbliže jsou půdy podobného typu (anthropogenic dark earth) na slovanských sídlištích v severním Německu (Brünkendorf, na hranicích Braniborska a Dolního Saska, při Labi) z 9. až 11. století, které vznikly rovněž mělkým zapravením odpadních zbytků včetně lidských a zvířecích exkrementů spolu s pyrolyzovaným organickým materiálem. Předpokládá se, že byly důležitou součástí zemědělství tehdejší doby a mohly mít velký vliv i na rozvoj vikingského impéria v 9. a 10. století.

Jeden z autorů tohoto článku vzpomíná na své pedologické začátky, kdy občas při sondování půd v lesích Křivoklátska s kolegy narazili na výrazně černé a hluboké humusové horizonty, zcela odlišné od okolí. Brzy podle množství drobných uhlíků zjistili, že náhodně umístili sondu do

místa původní výroby dřevěného uhlí. Považovali to jen za plošně omezenou anomálii, kterou bychom mohli zachytit v půdní mapě maximálně jako doprovodnou jednotku v rámci mapovací jednotky uvedené v legendě. Pro tuto situaci neexistovala v klasifikaci půd adekvátní typologická jednotka ani na nižší hierarchické úrovni, obdobně jako pro další anomálie a disturbance, jako jsou vývraty, mraveniště, nory lesních zvířat, rytí divokých prasat nebo drobný sesuv. Milířisté tak tvoří elementární půdní areály s plochou stovek metrů čtverečních, ale přestože jsou špatně zachytitelná v mapě, jejich role nemusí být zanedbatelná z pohledu ochrany půd, krajiny i kulturního dědictví. Navíc jsou na rozdíl od uvedených půdních disturbance dlouhodobé, protože dřevěné uhlí se v půdě rozkládá pomale. Poslední verze mezinárodní klasifikace půd WRB (World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Řím, 2015), již se také inspiruje Taxonomický klasifikační systém půd ČR (2011), zavedla pretický horizont jako antropogenní, díky vysokému množství uhlíků černý povrchový horizont s chemickými vlastnostmi blízkými černickému (typickému pro černozemě), případně hortickému (tmavému, intenzivně hnojenému zahradnímu, bázemi nasycenému) nebo plagickému horizontu (tmavému, organickou hmotou bohatému, ale bázemi nenasycenému). Podle naší půdní klasifikace je logické označení půd milíříst jako antropozem pretická, přičemž subtypové označení si vypůjčujeme z citované mezinárodní klasifikace.

Dřevěné uhlí se zpočátku vyrábělo v jámách, až ve středověku se přešlo k nadzemním milířům. To zvýšilo produkci odpovídající poptávce, přičemž podstata zuhelnatění se zachovávala. Uhlířské řemeslo bylo velmi rozšířené a respektované. Celková produkce vrcholila na začátku průmyslové revoluce v polovině 19. století. Důvodem postupného úpadku se stal přechod na využívání fosilního uhlí či koksů ve všech hlavních odvětvích průmyslu jako hutnictví, kovářství, sklářství a hrnčičství. V ČR máme několik chráněných technických památek na dřevouhelné



Po opuštění milířistě začne prostor znovu pokrývat opad, z něhož se díky rozkladu vytvářejí organické horizonty

pece, např. vysokou pec Barbora v Jincích, v jejímž okolí zůstalo mnoho stop po milířích. Stará milířistě byla postupně opouštěna a pohltit je les. Chybějí přesné záznamy o jejich poloze, prozrazuje je pouze již zmíněný černý uhlíkový půdní horizont a zarovnaná plošina obklopená více či méně výrazným valem nebo zářezem ve svahu. A svědectví o rozkvětu uhlířství vydávají také místní jména (toponyma) – Uhlířské Janovice, Uhelná Příbram, Uhlířský vrch, Milíře, Mourový potok a řada dalších.

Pro věrohodné statistické vyhodnocení vlivu dřevěného uhlí na lesní půdy, rozmanitost bylinného patra, bezobratlých a půdních mikrobiálních společenstev musíme prostudovat dostatečně velký soubor vzorků. Náhodné nálezy milíříst v terénu to nemožno zajistit. Proto jsme na vybraných lokalitách v různých částech ČR provedli lidarové letecké snímky. Tato metoda umožňuje na základě měření laserových impulzů zjišťovat vertikální rozdíly povrchu s centimetrovou přesností a následně parametrizovat software pro automatickou identifikaci specifických eliptických terénních tvarů, typických pro milířistě. Z našich zkušeností při ověřování efektivnosti algoritmu vyplývá, že bez dalšího plně automatizovaného zpracování dat je úspěšnost detekce milíříst ověřených v terénu asi 60 %. Úspěšnost lze zvýšit parametrizací vstupních veličin podle konkrétních podmínek, jelikož tvary a velikost milíříst se mohou na různých lokalitách dosti lišit podle reliéfu terénu a technologie výroby. Největší milířistě byla zachycena v Jeseníkách a Brdech, nejmenší v Moravském krasu a na Křivoklátsku, což je pravděpodobně dáno především sklonem terénu (největší v Moravském krasu) a také použitou technologií výpalu a dostupností terénu. Algoritmus počítá i konvexnost/konkávnost půdorysu milíříst. Mají většinou již zmíněný eliptický tvar s osami 15–21 m (x) a 7–12 m (y) a jsou lépe identifikovatelné na svazích než na rovině.

Celkem bylo pedologicky, botanicky i archeologicky prozkoumáno 95 milíříst a stejné množství kontrolních míst ve vzdálenosti 25–50 m na přibližně stejné

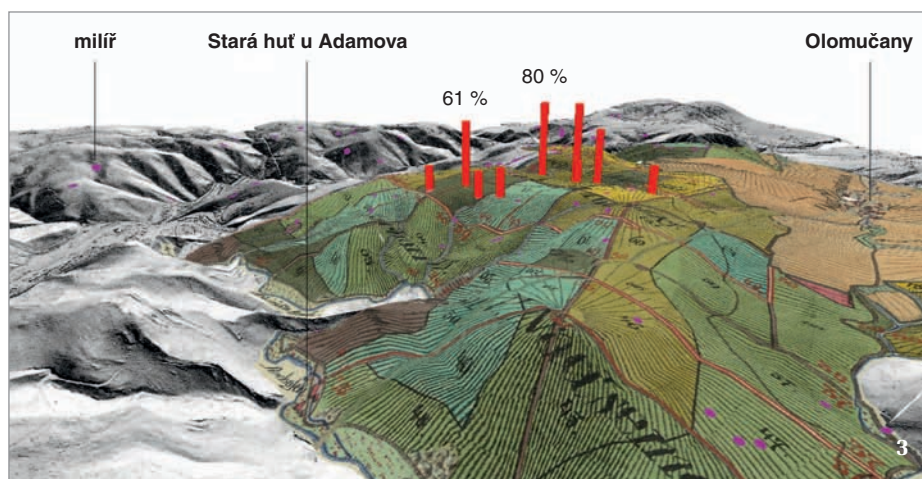
vrstevnici. Půdní kopané sondy sloužily mimo morfologický popis k odběru povrchových půdních vzorků z organického (F/H) a organominerálního (A nebo AU) horizontu s přimíseným dřevěným uhlím, a dále z níže ležících minerálních horizontů, jako je E (eluvialní světlý, ochuzený) nebo B (Bhs – podzoly, Bv – kambizemě a Bt – luvizemě) diagnostický horizont pro chemické, fyzikální i biologické analýzy. Někdy je také popisován RED horizont, vzniklý vysokou teplotou v podloží milíře. Půdní profil milířiště a kontrolního stanoviště srovnává obr. 1, obr. 2 pak nastiňuje vznik milířištní půdy v kontextu s výstavbou a zánikem milíře na svahu.

Jak vypadal les v době rozkvětu uhlířství od počátku novověku?

Antrakologická analýza zuhelnatělého dřeva z reliktní milíře se využívá k rekonstrukci historického druhového složení lesa. Je založena na určení taxonomické příslušnosti drobných uhlíků podle anatomických znaků dřeva. Jeho stavba není procesem pyrolýzy, tedy vysokými teplotami v průběhu nedokonalého spalování, ovlivněna a vzniklý zuhelnatělý materiál je vysoce odolný vůči rozkladným procesům. Uhlíky uchovávají informaci o výchozí dřevině po dlouhá období a díky odolnosti nevyžadují specifické fosilizační prostředí. Běžné je tak nacházíme v půdách.

Rekonstrukci druhového složení lesa na základě uhlíkových spekter z reliktní milíře je však potřeba interpretovat s určitou dávkou obezřetnosti. Mezi zjištěné procentní zastoupení dřevin v uhlíkovém vzorku a skladbu tehdejšího lesa v daném místě nelze klást automaticky rovnítko. Samotný uhlíkový záznam je z podstaty výsledkem cílené lidské činnosti – uhlířství, které bylo řízeno především ekonomickými vlivy. To, jaké dřevo bylo použito k produkci uhlí, nezáviselo výlučně na charakteru dostupné dřevní hmoty v konkrétním místě, ale roli jistě hrály i faktory ryze ekonomické povahy, jako byla poptávka nebo řízení výroby ze strany vlastníka lesa. Preferenci určitých druhů dřevin tak lze předpokládat. Tuto tendenci však vyznačuje skutečnost, že upravené místo milíře posloužilo k více cyklům výpalu. Většina dostupného dřeva v okolí tak byla nakonec použita a uhlíky se promísily do podoby jedné vrstvy. Uhlíková spektra tedy vypovídají hlavně o zastoupení dominantních druhů, které tvořily základní strukturu tehdejšího lesa.

Podle složení většího souboru uhlíkových spekter je můžeme přiřadit ke konkrétnímu známému typu lesní vegetace. Jako příklad uvedme situaci na lokalitě Hvězda v Jeseníkách, kde byl téměř ve všech vzorcích podobný podíl buku lesního (*Fagus sylvatica*) a jedle bělokoré (*Abies alba*) v množství dosahujícím 30–50 % pro každou z dřevin. Pokud zohledníme nadmořskou výšku a horský charakter území, zjištěná spektra s velkou mírou pravděpodobnosti patří k vegetaci horských buko-jedlových lesů svazu *Luzulo-Fagion sylvaticae*. Výsledky analýz ukazují, že lesy zkoumaných území byly v první polovině 19. století již značně ovlivněné člověkem. Dlouhodobý vliv uhlířství se do jejich podoby jistě silně otiskl. Nacházíme také pře-



kvapivé rozdíly oproti dnešnímu stavu – např. v křivoklátských lesích byla velmi hojná jedle, která v mnoha vzorcích dosahuje podílu okolo 50 %. Pozoruhodné je, že vytvářela hlavně smíšené porosty s dubem (*Quercus* sp.). Pohrobky dubo-jedlových lesů zde dodnes vidíme, ale jedle se v nich vyskytuje už jen vzácně. Nejpestřejší dřevinnou skladbu jsme odhalili v Moravském krasu (obr. 3), kde sice dominuje jedle, ale silně se uplatňuje i dub, buk, bříza bělokorá (*Betula pendula*), topol osika (*Populus tremula*), habr obecný (*Carpinus betulus*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Naopak na lokalitě v Českém lese byl zachycen jen převažující smrk ztepilý (*Picea abies*), doprovázený méně hojnou jedlí. Po bukových lesích, které by bylo možné v tomto území přirozeně očekávat, jsme nenašli ani památku. Vytěžené dřevo původního lesa tedy neskončilo v milířích a zachycené uhlířské aktivity se odehrávaly již v druhotném lese, v němž převažoval smrk.

Obecně je při porovnání rekonstruovaného druhového složení lesa s jeho potenciálním přirozeným stavem vidět jasný posun ve prospěch smrku a jedle. Ve vyšších polohách proběhla změna zřejmě už v době předcházející rozmachu uhlířství v 18. a 19. století. V Moravském krasu a na Křivoklátsku je současné složení stromového patra podobné tomu zjištěnému z uhlíků, jen pionýrské dřeviny jako bříza bělokorá nebo topol osika se v nyníjších porostech téměř nevyskytují, což je způsobeno změnami lesnického hospodaření. Charakteristickým rysem dřívějších lesů bylo vysoké zastoupení jedle, v době aktivní uhlířské výroby šlo o jednu z nejběžnějších dřevin.

Jak ovlivňuje dřevěné uhlí lesní půdy a půdní mozaiku?

V rámci ČR byla sledována milířiště v pěti lokalitách s odlišným půdotvorným substrátem a rozdílným vegetačním pokryvem ve stromovém patře. To se projevilo i v různém zastoupení půdních typů. Nejčastěji byly kontrolní půdy kambizemě modální, rankerové a dystrické. V Českém lese a Brdech se dále vyskytovaly půdní typy podzol a kryptopodzol, v Moravském krasu byly popsány pseudoglej a luvizem. Lokalita v Brdech měla díky poměrně různorodému reliéfu nejvyšší půdní variabilitu.

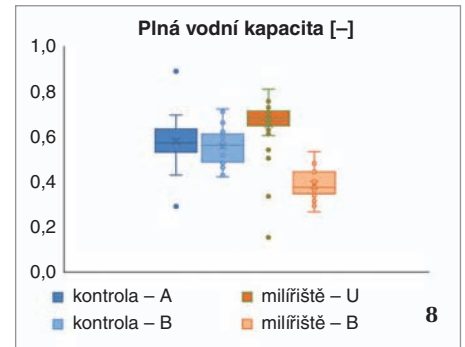
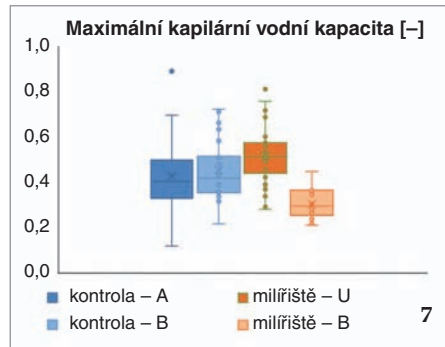
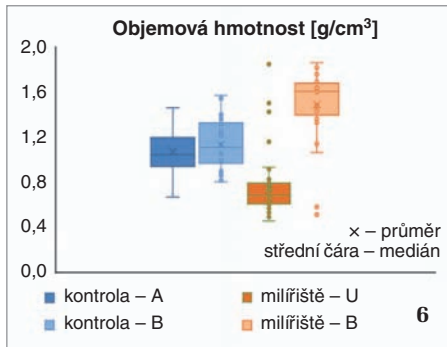
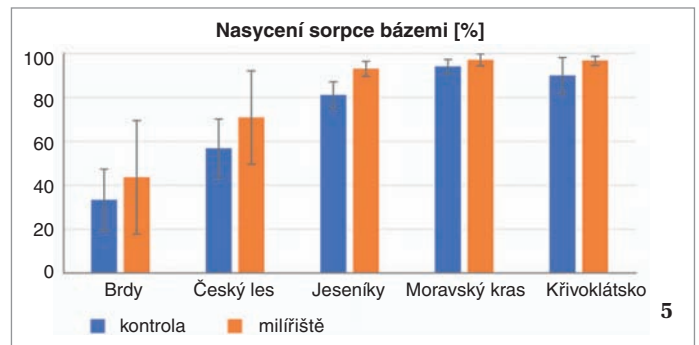
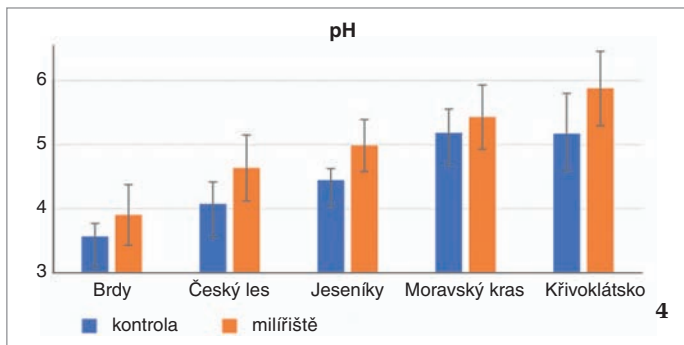
Z pohledu půdní chemie dochází u půd milířišť ke změně řady vlastností, které zajišťují podmínky pro růst vegetace. Půdy

3 Porostní mapa z r. 1840 zachycující stav lesa v okolí Staré huti u Adamova v Moravském krasu. Sloupcové grafy vyjadřují podíl jedle bělokoré (*Abies alba*) v uhlíkových spektrech z milířů. Fialové body označují polohu nalezených milířů. Orig. P. Bobek

zkoumaných milířišť měly všeobecně vyšší pH v porovnání s kontrolními, což odpovídá i výsledkům ze zahraničních studií (např. Glaser 2007 a Hirsch a kol. 2017). Zvýšení pH je následkem neutrálního až zásaditého charakteru biouhlu vznikajícího z většiny dřevin, a jeho účinek se tak výrazněji projevuje primárně v kyselých půdách (obr. 4). Pozorovali jsme také nárůst kationtové výměnné kapacity (KVK, obr. 5) – k tomu dochází nejen díky vyššímu pH, ale zejména kvůli vysokému specifickému povrchu biouhlu. Vývoj KVK na milířištích je časově závislý – čerstvý biouhel může snižovat dostupnost některých prvků (draslíku, fosforu), avšak se stabilizací v půdním prostředí dochází k opětovnému nárůstu těchto živin dostupných pro rostliny a k překonání hodnot naměřených na kontrolních půdách.

Některé další vlastnosti potvrzují vyšší kvalitu půd milířišť. Např. půdní mikromorfologie a infračervená spektroskopie ukazují, že milířiště představují místa s rychlejší dekompozicí opadu a vyšší biologickou aktivitou. Důkazem jsou nižší průměrné mocnosti organických horizontů F/H v prostoru milířiště (2,5 cm) oproti kontrole (3,8 cm). Detailní studium půdní organické hmoty pomocí infračervené spektroskopie dokládá obohacování půd v prostoru milířišť o organický uhlík a vyšší poměr aromatických organických látek k alifatickým, a tudíž i větší stabilitu organické hmoty oproti kontrolním půdám.

Pro zjištění fyzikálních charakteristik byly na studovaných lokalitách odebrány neporušené půdní vzorky pomocí Kopecského válečku (100 cm³) v místě kopané sondy. Laboratorně byly změřeny tři rozhodující veličiny – maximální kapilární vodní kapacita, při níž jsou kapilární póry nasyceny vodou, plná vodní kapacita, se všemi póry (včetně makropórů) nasycenými vodou, a objemová hmotnost jako hmotnost neporušené půdy o objemu válečku. V organominerálních horizontech AU jsou v milířištích plně vodní kapacity a maximální kapilární vodní kapacity vyšší (obr. 7 a 8). Naopak v místě kontrol je vyšší objemová



4 a 5 Porovnání důležitých chemických vlastností lesních půd v milířišťi a na kontrolním stanovišti podle kyselosti (obr. 4) a nasycení sorpce bázemi (5) v jednotlivých studovaných oblastech. Uvedeny jsou průměry a směrodatné odchylky. Obecně platí, že dřevěné uhlí v půdním prostředí milířišť zvyšuje kationtovou výměnnou kapacitu v porovnání s kontrolou, především v povrchových horizontech F/H a A (U), u horizontů minerálních jsou hodnoty srovnatelné. Blíže v textu. Orig. V. Tejnecký 6 až 8 Obdobné porovnání vybraných fyzikálních vlastností lesních půd podle objemové hmotnosti (obr. 6), maximální kapilární vodní kapacity (7) a plné vodní kapacity (8). Půdní horizonty: A – svrchní (A, AB), B – spodní (Bv, Bvs, E, R), U – humusový svrchní horizont v milířišťích. Orig. L. Vlček

hmotnost (obr. 6). Na druhou stranu, v horizontech minerálních (Bv, Bvs, E, RED) se v milířišťích objemová hmotnost zvyšuje. Patrně to souvisí s přeměnami pevné půdní frakce vlivem vysokých teplot těsně pod zónou výpalu, na první pohled patrnými zhuštěním, zkompaktněním a rudým nádechem. Ostatní půdní parametry zůstávají bez jednoznačného trendu. Z výše uvedeného lze vyvodit, že přítomnost biouhlu ovlivňuje fyzikální vlastnosti stanoviště, které díky své hustotě „vylehčuje“. Větší množství nekapilárních pórů také zvyšuje plnou vodní kapacitu. Množství kapilárních pórů nevykazuje v AU horizontech milířišť tak výrazný nárůst, v horizontech minerálních je naopak obecně spíše nižší (obr. 6). Sekvestrace uhlíku v půdách je důležitá z globálního hlediska. Dnešní pozůstatky milířů jsou ve svých počtech ve studovaných oblastech vysoké, řádově nacházíme desítky až nižší stovky milířišť na km², a současná zásoba uhlíku se tak díky milířišťím pohybuje přibližně v rozmezí 0,2–1,0 tun C/ha vyšší oproti stavu bez milířišť. Celkové množství uhlí na místech původního vypalování v milířích se liší,

jde hlavně o jemnozrnné frakce typu mouru, při opětovném vypalování používané na utěsnění tělesa milíře. I přes odvezení většinového materiálu a jeho spotřebování v průmyslových odvětvích a řemeslech tedy zůstala významná část uhlíku uložena v mikrohabitátech milířišť. Tyto naše odhady vzhledem ke způsobu výpočtu považujeme spíše za konzervativní.

Klasické kvalitativní hodnocení lesních půd podle Aloise Zlatníka (1956), které je základem současné lesnické typologie, vychází ze zařazení do trofické (podle množství živin) a hydrické řady (podle nasycení půdy vodou). Půdy milířišť se v tomto směru posouvají k příznivějšímu trofismu i vyšší vlhkosti, než je v půdách bezprostředního okolí. Přirozeně ne o celou kategorii, to pouze jsou-li v hraniční zóně. Z fyzikálně-chemických rozborů půd milířišť a okolních kontrolních půd je patrný mírný posun k půdám méně kyselým, více sorpčně nasyceným, s nižší objemovou hmotností a lepší vodní retencí. Jsou navíc velmi kontrastní vzhledem k mapovací jednotce přirozených okolních půd. Na všech zkoumaných lokalitách se vždy zvýšila pedodiverzita, nejvíce na relativně pedologicky homogenních stanovištích (Český les, Brdy) o více než 5 %.

Jak milířišťe ovlivňují biotu vázanou na půdní prostředí?

Struktura a biodiverzita půdních mikrobiálních společenstev má nejtěsnější vazby na půdní prostředí. Vzorky půdy byly odebrány ze všech identifikovaných půdních horizontů jak na milířišťi, tak na kontrolním stanovišti, podobně jako vzorky na chemické a fyzikální analýzy. Byla extrahována celková půdní DNA, ze které je stanovováno složení prokaryotního společenstva (bakterie a archea) a mikroeukaryotního společenstva (především houby a protista).

Celkově vykazují společenstva mikroorganismů vyšší taxonomickou diverzitu na mikrohabitátech milířišť. Složení prokaryotních společenstev se lišilo na milířišťích oproti kontrolám, a to ve všech odebraných

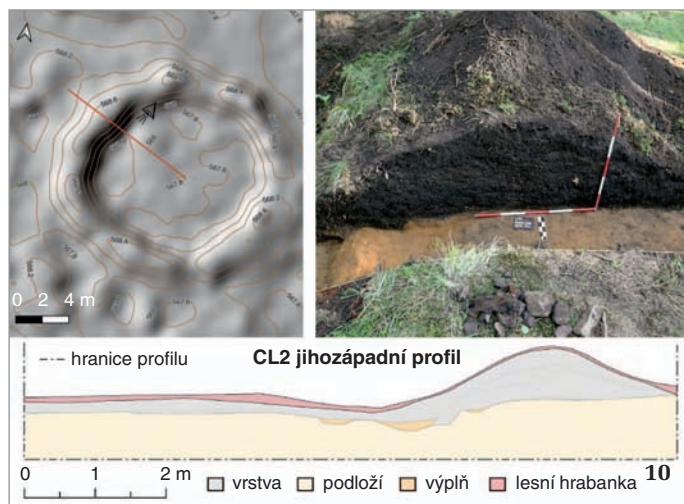
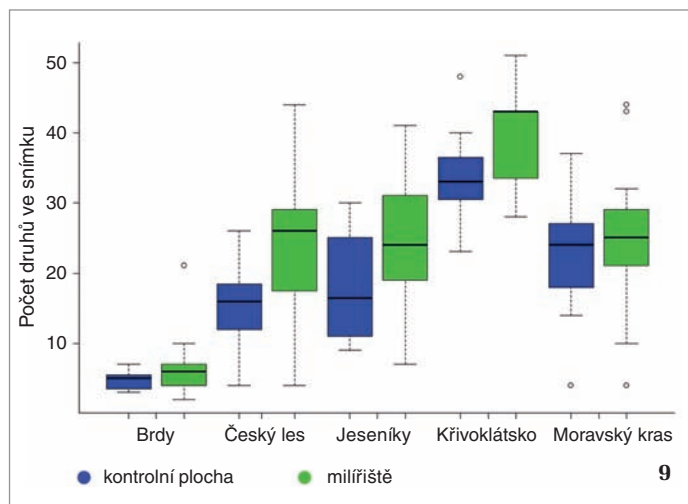
půdních horizontech. Jednotlivé horizonty se také jasně lišily mezi sebou, jak v rámci kontrolních stanovišť, tak i milířišť. Zatímco v Českém lese byla diverzita nejvyšší v milířovém horizontu B, na Křivoklátsku a v Moravském krasu to bylo v milířovém horizontu F/H. Naopak nejnižší diverzita byla v Českém lese v kontrolním horizontu F/H, na Křivoklátsku a v Moravském krasu v kontrolním horizontu B. To je v souladu se závěry podobných studií, které potvrzují, že dřevěné uhlí milířišť poskytuje příznivější podmínky pro půdní mikrobiom, což se projevuje vyšší enzymatickou aktivitou a diverzitou mikroorganismů.

Rozmanitost půdních bezobratlých a jejich preference k typu stanoviště oproti tomu v našem výzkumu neukázaly jednoznačný trend, resp. na některých lokalitách je druhová bohatost vyšší na milířišťích a jinde naopak. Bylo zaznamenáno 13 druhů půdní fauny ze sledovaných skupin – stonožek (Chilopoda), mnohonožek (Diplopoda) a stejnonožců podřádu Oniscidea. Nejvíce druhů se nacházelo v Jeseníkách, k nejchudším patřil Český les a Moravský kras. Lze však konstatovat vyšší počet jedinců těchto živočichů v prostředí milířišť.

Diverzita cévnatých rostlin

Na vnitřní ploše zkoumaného milířišťe byl pořízen kruhový fytoecologický snímek o průměru 10 m, v případě, že byl vnitřní průměr milířišťe menší než 10 m, byl vyhodnocen snímek o průměru 7 m. Byla odhadnuta celková pokryvnost stromového, keřového, bylinného a mechového patra a byly zaznamenány všechny druhy cévnatých rostlin.

Při posuzování diverzity bylinného patra se nejprve zastavíme u současného stavu stromového patra. Na třech lokalitách (Český les, Jeseníky a Brdy) silně převládaly kulturní smrkové porosty, ve zbylých dvou (Moravský kras a Křivoklátsko) listnaté lesy různého stupně přirozenosti. Vegetačně nejméně variabilní byla lokalita v Brdech, kde se velice nízký obsah dostupných živin a extrémní kyselost substrátu



v kombinaci se smrkem a modřínem opadavým (*Larix decidua*) ve stromovém patře projevuje velmi nízkou druhovou bohatostí cévnatých rostlin. Lesy na lokalitě v Moravském krasu tvořily převážně eutrofní dubohabřiny a bučiny s typickými druhy, jako jsou kyčelnice cibulkonosná (*Dentaria bulbifera*), svízel vonný (*Galium odoratum*) a česnáček lékařský (*Alliaria petiolata*). Subxerothermní vegetace lesů na jižně orientovaných svazích na Křivoklátsku byla typická některými světlomilnými druhy, např. třezalkou tečkovanou (*Hypericum perforatum*) či marulkou klinopádem (*Clinopodium vulgare*), a velkou pokryvností trav, nejčastěji třtiny rákosovité (*Calamagrostis arundinacea*), lipnice hajní (*Poa nemoralis*) a válečky lesní (*Brachypodium sylvaticum*). Obzvláště snímky z biologicky velmi cenného starého porostu dubu zimního (*Q. petraea*) s příměsí buku lesního a jeřábu břeku (*Sorbus torminalis*) vynikají biodiverzitou.

Průměrný počet druhů bylinného patra (včetně semenáček dřevin) byl ve snímcích milířišť 23,3, zatímco v těch kontrolních 17,6. Na všech lokalitách byla druhová bohatost vyšší na milířištích než na kontrolních plochách. Stejně tak celková diverzita bylinného patra pro jednotlivé lokality byla vždy vyšší na milířištích (obr. 9).

Ellenbergovy indikační hodnoty (soubor hodnot vypovídajících o nárocích cévnatých rostlin na základní ekologické faktory) pro půdní reakci (pH) a živiny ukazují, že především v Jeseníkách a Českém lese se na milířištích vyskytovaly v průměru náročnější rostliny na živiny a půdní pH než na plochách kontrolních. Mírně náročnější druhy na půdní pH byly zaznamenány i na milířištích v Moravském krasu. V Českém lese na milířištích rostly častěji některé druhy typické spíše pro listnaté háje, jako jsou violka Rivinova (*Viola riviniana*) a lipnice hajní. Rovněž eutrofní byliny zde výrazně upřednostňovaly milířiště – bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*) nebo kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*). Výraznou preferenci milířišť vykazovaly i rozrazil lékařský (*Veronica officinalis*) a starčky ze skupiny starčku hajního (*Senecio nemorensis* agg.). Obdobně v Jeseníkách se na milířištích častěji vyskytovaly druhy spíše listnatých lesů jako violka lesní (*V. reichenbachiana*) a pšeníčko rozkladité (*Milium effusum*). Dále tu byl pitulník žlutý (*Galeobdolon luteum* agg.) či rozrazil lékařský. Na

extrémně chudé lokalitě v Brdech byl vliv milířiště na podobu vegetace malý, na milířištích se častěji nacházely např. semenáčky buku lesního, jeřábu ptačího (*S. aucuparia*) a ostřice kulonosná (*Carex pilulifera*). V Moravském krasu milířiště působilo na složení vegetace poměrně slabě a žádný z druhů ho výrazně nepreferoval oproti kontrolním plochám. Na Křivoklátsku byla situace obdobná, eutrofní rostliny jako kaskadník smrdutý (*Geranium robertianum*) či kopřiva dvoudomá rostly srovnatelně často na milířištích i kontrolách. Častější byl na milířištích výskyt některých světlomilných druhů jako třezalky tečkované nebo hrachoru lučního (*Lathyrus pratensis*). To však může být způsobeno nižším zápojem stromového patra na milířištích na Křivoklátsku v porovnání s kontrolami. Na ostatních lokalitách byla pokryvnost stromového patra na milířištích a kontrolách srovnatelná. Keřové patro bylo přítomno jen vzácně. Pokryvnost bylinného patra pozitivně ovlivňovala přítomnost milířiště pouze v Českém lese, jinde nevznikl mezi milířišti a kontrolami prokazatelný rozdíl.

Potenciál dřevěného uhlí pro současnost

Popsali jsme si vylepšení půd přidáním dřevěného uhlí, a proto se nabízí úvaha o změně přístupu k hospodaření v lese. Současná převládající praxe při obnově lesa vede k oxyselování a debazifikaci v důsledku ztráty důležitých makroprvků odvezením vytěženého dřeva, stále ještě nevhodné dřevinné skladbě lesů a acidifikační roli srážek. Z výsledků fyzikálně-chemických rozborů půd milířišť je patrný posun k půdám méně kyselým, sorpčně nasycenějším, s nižší objemovou hmotností a lepší vodní retencí ve srovnání s okolními kontrolními stanovišti.

Docházíme tak k následujícímu řešení pro budoucí udržitelné hospodaření v lese, které by mělo dvojí pozitivní efekt – zlepšení půd a dlouhodobé uložení uhlíku v půdním rezervoáru. Rozptýlením jemné frakce biouhlu vyrobeného ze zbytků těžby by došlo ke zlepšení půdy z hlediska důležitých parametrů vedoucím k lepší půdní reakci, větší zásobě živin a zadržování vody v lesní půdě. K výrobě biouhlu se mohou využít zbytky dřeva po smýcení. V současné době používaná mobilní konvertorová metoda suché destilace dřeva není náročná energeticky, je relativně levná a šetrná k životnímu prostředí. Při běžném

9 Porovnání druhové pestrosti bylinného patra na milířišti a v jeho okolí ve studovaných oblastech. Orig. J. Vaníček
10 Zobrazení milířiště podle leteckého lidarového (laserového) snímání je velmi detailní (nahore vlevo). Vpravo ukázka průřezu valem jednoho z milířišť v Českém lese. Orig. J. Houška

hospodaření v našich lesích je přibližně 10–15 % (asi 20–25 m³ z 1 ha) dřevní hmoty po těžbě buď na místě spáleno, nebo odvezeno jako štepka či palivové dřevo, tedy uhlík se z něho vrací do ovzduší. Také dřevo, které zůstane na místě, později mineralizuje a uhlík se postupně uvolní jako koncový produkt do ovzduší. Uvedené množství potenciálně použitelného dřeva k přeměně na biouhel má obsah přibližně 6–8 tisíc kg C/ha. To znamená, že v této zatím utopické představě by 1 m² lesní půdy mohl být obohacen až 1 kg dřevěného uhlí jednou za obmýtí, které je 80–100 let (viz obr. na webu Živy). Cena za ukládání uhlíku se odvíjí od ceny emisních povolenek a lze v tomto směru očekávat její růst. Důležitým momentem, který musíme vzít v úvahu, je časové hledisko, neboť vše nasvědčuje tomu, že nelze očekávat výrazný efekt biouhlu po první aplikaci. Naopak, jeho účinky se projeví teprve ve střednědobém až dlouhodobém horizontu. Řada studií zkoumající vliv biouhlu na půdní vlastnosti hodnotí pouze krátký úsek – jednotky/desítky let. Milířiště nám mohou ukázat vývoj půd s aplikovaným biouhlem v daleko delším časovém horizontu.

Článek vznikl podle závěrečné zprávy projektu Technologické agentury ČR (Eta TL02000160) na téma Úloha milířišť z hlediska kulturního dědictví a ochrany krajiny. Dokumentární film, který byl o výsledcích tohoto projektu natočený, dostal čestné uznání festivalu MUSAIONfilm 2023 a je k zhlédnutí na <https://agrofakta.cz/uloha-milirist-z-hlediska-kulturniho-dedictvi-a-ochrany-krajiny/>.

Kolektiv spoluautorů: Jakub Houška, Markéta Marečková, Přemysl Bobek, Jiří Vaníček, Václav Tejnecký, Hana Hurychová a Lukáš Vlček

Seznam použité literatury a doplňující schéma uvádíme na webu Živy. Dále např. Živa 2020, 1–4 a 6; 2021, 1–4 a 6.