

## Souhrnná výzkumná zpráva

---

Konečný uživatelé výsledků:

**Agentura ochrany přírody a krajiny**

Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11 - Chodov

**Technické muzeum v Brně**

Purkyňova 105, 612 00 Brno – Královo Pole

**Středočeské muzeum v Rostokách u Prahy**

Zámek 1, 252 63 Rostoky

**Název projektu:** Úloha milířišť z hlediska kulturního dědictví a ochrany krajiny

**Číslo projektu:** TL02000160

**Řešitelé projektu:**

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové náměstí Květnové náměstí 391, 252 43, Průhonice, hlavní řešitel.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půdy, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchbát.

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2.

Botanický ústav AV ČR, v.v.i., Oddělení vegetační ekologie, Zámek 1, 252 43, Průhonice

Archaia Brno, z.ú., Bezručova 15/78, 602 00 Brno

**Doba řešení:** 01/2019 – 12/2021

**Důvěrnost a dostupnost:** S – Úplné a pravdivé údaje o projektu nepodléhající ochraně podle zvláštních právních předpisů.

### **Informace o autorském týmu:**

#### **VÚKOZ, v.v.i.**

Ing. Jakub Houška, Ph.D.

Mgr. Přemysl Bobek, Ph.D.

Ing. Jakub Červenka

Mgr. Marie Vymazalová, Ph.D.

Ing. Jan Trochta, Ph.D.

#### **ČZU v Praze**

RNDr. Václav Tejnecký, Ph.D.

Ing. Hana Johanis

doc. RNDr. Markéta Marečková, Ph.D.

Ing. Jan Kopecký, Ph.D.

doc. Ing. Ondřej Drábek, Ph.D.

#### **UK**

RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

RNDr. Lukáš Vlček, Ph.D.

Mgr. Roman Brejcha

Prof. PhDr. Václav Matoušek, CSc.

PhDr. Jan John, Ph.D.

#### **BÚ AV ČR, v.v.i.**

Mgr. Péter Szabó, Ph.D.

Mgr. Jiří Vaníček

Mgr. Silvie Suchánková

#### **Archaia Brno**

Mgr. Miroslav Dejmal, Ph.D.

Mgr. Lenka Sedláčková, Ph.D.

## Obsah

1	Úvod	10
2	Metodika	12
2.1	Výběr lokalit a experimentální design	12
2.2	LiDAR	12
2.3	Historické rešerše	13
2.4	Archeologický průzkum	14
2.4.1	Magnetometrie	14
2.4.2	Radiokarbonové datování	15
2.5	Přírodovědný průzkum	15
2.5.1	Pedologický průzkum	15
2.5.1.1	Vzorkování půd a milířišť	15
2.5.1.2	Chemické a fyzikální analýzy půd	16
2.5.1.3	Statistická analýza dat	17
2.5.2	Mikrobiologie půd	17
2.5.3	Výzkum bezobratlých	17
2.5.4	Fytocenologie	18
2.5.4.1	Metodika sběru dat	18
2.5.4.2	Statistické zpracování	18
2.5.5	Antrakologie	19
2.6	Experiment aplikace biouhlu do lesních půd	20
2.6.1	Design pokusu	20
2.6.2	Fyzikální a chemické vlastnosti půd	21
2.6.3	Mikrobiální enzymatické aktivity	21
2.6.3.1	Stanovení enzymové aktivity	21
3	Výsledky	22
3.1	Historický vývoj osídlení a jeho vliv na krajinu	22
3.1.1	Brdy	22
3.1.2	Český les	22
3.1.3	Jeseníky	23
3.1.4	Křivoklátsko	24
3.1.5	Moravský kras	24
3.1.6	Uhlířství, milířiště a lesy	25
3.2	Archeologie	28
3.2.1	Dokumentace milířišť, technické řešení	28

3.2.1.1	Magnetometrie	45
3.2.2	Stáří vybraných milířišť	48
3.3	Antrakologie	49
3.3.1	Brdy	49
3.3.2	Český les	50
3.3.3	Jeseníky	51
3.3.4	Křivoklátsko	51
3.3.5	Moravský kras	52
3.4	Půdní vlastnosti, pedodiverzita	52
3.4.1	Chemické půdní vlastnosti	54
3.4.2	Fyzikální půdní vlastnosti	60
3.4.2.1	Milířiště vs kontrola - porovnání půdních horizontů	61
3.4.2.2	Porovnání z pohledu různých lokalit	61
3.5	Pedodiverzita	64
3.6	Potenciál sekvestrace uhlíku	65
3.7	Biodiverzita	68
3.7.1	Biodiverzita bylinného patra	68
3.7.1.1	Vegetační charakteristika:	68
3.7.1.2	Druhová bohatost bylinného patra:	68
3.7.1.3	Druhové složení a ekologie stanoviště:	69
3.7.2	Struktura a biodiverzita bezobratlých	73
3.7.3	Struktura a biodiverzita půdních mikrobiálních společenstev	76
3.8	Software na automatickou detekci milířišť	77
4	Diskuze	79
4.1	Význam milířišť pro ochranu přírody a ekosystémové funkce	79
4.1.1	Rekonstrukce druhové skladby dřevin a porovnání s dnešním stavem	79
4.1.2	Vliv milířišť na diverzitu cévnatých rostlin	80
4.1.3	Půdní vlastnosti, pedodiverzita	80
4.1.4	Sekvestrace uhlíku	82
4.2	Vztah uhlířství, společnosti, lesní krajiny	82
4.2.1	Uhlířství v sociálním kontextu	82
4.2.2	Organizace výroby	83
4.3	Potenciál biouhlu pro současnost	84
5	Závěr	86
6	Literatura	87



7	Přílohy	90
7.1	Příloha č. 1: Přehled zpracovaných archivních zdrojů	90
7.2	Příloha č. 2: Půdní chemismus – krabicové grafy chemických parametrů půdy (kromě obsažených v textové části) dle stanovišť, horizontů a lokalit.	98
7.3	Příloha č. 3: Statistické výsledky pRDA	103
7.4	Příloha č. 4: Souhrnné ordinační PCA diagramy s promítnutými vektory chemických parametrů	106
7.5	Příloha č. 5: Popisná statistika chemických půdních parametrů dle lokalit	107
7.6	Příloha č. 6: Popisná statistika chemických půdních parametrů dle půdních vlastností a stanovišť.	108
7.7	Příloha č. 7: Popisná statistika fyzikálních půdních parametrů dle lokalit	109
7.8	Příloha č. 8: Popisná statistika fyzikálních půdních parametrů dle půdních vlastností a stanovišť.	111
7.9	Příloha č. 9: Synoptická tabulka všech druhů cévnatých rostlin z fytoocenologických snímků pro jednotlivé lokality, E3: stromové patro, E2: keřové patro.	112

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozmístění dílčích fytoocenologických snímků (A-E) uvnitř velkého snímku..	18
Obrázek 2: Schéma zaležení experimentu pro aplikaci biouhlu do půdy v lesním prostředí.	20
Obrázek 3: Schéma vzorkování půdy v čase 1 - počáteční odběr, 2 - 3 měsíce, 3 - 6 měsíců, 4 - 12 měsíců a označení budoucích vzorkovacích míst.	20
Obrázek 4: Detail rejstříku páleného dřeva v polesí Habrůvka na panství Pozořice z r. 1852. Zdroj: MZA Brno, F 30, kniha 15034.	25
Obrázek 5: Množství zuhelnatělého dřeva na panství Pozořice v sázích. Zdroje: MZA Brno, F 30, kniha 15034 - 15039, 15130 a F 82, karton 1100.	26
Obrázek 6: Detail lesní mapy polesí Olomučany na panství Pozořice z r. 1887. Písmeno "d" uprostřed je staré milířiště. Zdroj: Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, mapa 2/3.	27
Obrázek 7: Počet vypálených milířů v každém polesí na panství Pozořice v letech 1852-1855. Zdroje: MZA Brno, F 30, kniha 15034-15037.	28
Obrázek 8: Dokumentace milířiště ČL2 – S-JTSK -877546.25,-1045026.13	29
Obrázek 9: ČL11 – S-JTSK -877080.04,-1044579.86.	30
Obrázek 10: ČL17 – S-JTSK -877347.39,-1045353.12.	31
Obrázek 11: MK13 S-JTSK -592298.97,-1147304.61.	32
Obrázek 12: MK15 S-JTSK -592831.44,-1147961.20.	33
Obrázek 13: MK21 S-JTSK -592645.68,-1147890.74.	34
Obrázek 14: B1 S-JTSK -789716.83,-1076011.20.	35
Obrázek 15: B4 S-JTSK -789844.71,-1076245.03.	36
Obrázek 16: B10 S-JTSK -789552.90,-1075792.56.	37
Obrázek 17: KR7 S-JTSK -85810.01, -49882.85.	38
Obrázek 18: KR32 S-JTSK -86423.14, -49816.71.	39
Obrázek 19: KR34 S-JTSK -86469.89, -49205.60.	40
Obrázek 20: J18 S-JTSK -37661.84, -70294.99.	41
Obrázek 21: J30 S-JTSK -38004.92, -70609.61.	42

Obrázek 22: Standardizované histogramy distribuce milířů na jednotlivých lokalitách ve vztahu ke sklonu svahu, nadmořské výšce, vzdálenosti od zdroje vody a cestní síti. ....	44
Obrázek 23: Český les (Broumov u Zadního Chodova), magnetogramy zkoumaných milířů. ....	46
Obrázek 24: Milířiště ČL2, 3D zobrazení magnetických anomálií, pohled od jihozápadu (vlevo); (vpravo) stejné milířiště na stínovaném modelu reliéfu, vzniklém leteckých laserovým skenováním. ....	46
Obrázek 25: Magnetogram milířiště č. 34. (vlevo) a 3D model hodnot naměřených v oblasti milířiště č. 34. Pohled od severu. (vpravo) .....	47
Obrázek 26: Intervaly kalibrovaného stáří $^{14}\text{C}$ dat pro vzorky zuhelnatělého dřeva ze všech zkoumaných lokalit. Korekce radiokarbonového stáří na kalendářní byla provedena kalibrační křivkou IntCal20 (Reimer et al., 2020) v programu OxCal 4.4 (Ramsey, 2009). ....	48
Obrázek 27: Intervaly kalibrovaného stáří $^{14}\text{C}$ dat pro vzorky zuhelnatělého dřeva z lokality Hvězda v Jeseníkách. Pro dvě zuhelnatělé větve se stanoveným počtem letokruhů byla použita zpřesňující metoda “wiggle matching” (Galimberti et al., 2004). ....	49
Obrázek 28: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů v Brdech. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně. ....	50
Obrázek 29: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů v Českém lese. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně. ....	50
Obrázek 30: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů v Jeseníkách. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně. ....	51
Obrázek 31: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů na Křivoklátsku. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně. ....	51
Obrázek 32: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů v Moravském krasu. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně. ....	52
Obrázek 34: Půdní profil v prostoru milířiště (vpravo) a cca 25 m vzdálená kontrola (vlevo) bez vlivu pálení uhlí z lokality Český les.: U – vrstva uhlí z pálení milíře, R – teplem z pálení milíře ovlivněná vrstva, ostatní označení horizontů ve shodě s TKSP ČR. ....	53
Obrázek 33: Ukázka půdních profilů a půdní variability z lokality Brdy (půdní typy zleva: podzol; antropozem fluvická – sonda v milířišti překrytá říčním sedimentem; kambizem a pseudoglej). ....	53
Obrázek 35: Přejít organických horizontů (opad, drů a měl – L, F, H) a antropogenního uhelného (U) horizontu v procházejícím světle (PPL, uprostřed) a se zkříženými nikoly (XPL, vpravo) na milířišti v Českém lese. ....	54
Obrázek 36: Aktivní pH půdy v organických horizontech FH na kontrole a milířišti (10 opakování pro každou variantu a lokalitu). ....	54
Obrázek 37: Saturace bází (%) půdy v organických horizontech FH na kontrole a milířišti (10 opakování pro každou variantu a lokalitu). ....	55
Obrázek 38: Výměnné kationty a kationtová výměnná kapacita v uhelných horizontech milířišť Brd (BR), Českého lesa (CL), Jeseníků (JE), Křivoklátska (KR) a Moravského krasu (MK) (průměrné hodnoty z 10 opakování na lokalitu), kyselá vlevo, bazická napravo od osy 0. ....	55
Obrázek 39: Infračervená spektra organominerálního A (A Average) a uhelného (U Average) horizontu. Průměry ze všech vzorkovaných lokalit. ....	56
Obrázek 40: Kationtová výměnná kapacita (KVK) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.) ....	57

Obrázek 41: Bazická saturace (BS) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.).....	57
Obrázek 42: Výměnná acidita (EA) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.).....	58
Obrázek 43: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont FH – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště. ....	59
Obrázek 44: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont A (Ah, U) – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště. ....	59
Obrázek 45: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont B (Bv, Bvs, R) – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště. ....	60
Obrázek 46: Porovnání maximální vodní kapilární kapacity MKVK (vlevo) a plné vodní kapacity PVK (vpravo) všech kopaných vzorků rozdělené na sondy v milířišti (M) a na kontrolním stanovišti (K) ze svrchního (A) a spodního (B) horizontu.....	61
Obrázek 47: Porovnání Objemové hmotnosti OH všech kopaných vzorků ze sond v milířišti (M) a na kontrolním stanovišti (K) ze svrchního (A) a spodního (B) horizontu. ....	61
Obrázek 48: Porovnání maximální vodní kapilární kapacity MKVK všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na milířišti (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K). ....	62
Obrázek 49: Porovnání plné vodní kapacity PVK všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na milířišti (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K).....	62
Obrázek 52: Porovnání objemové hmotnosti OH všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na milířišti (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K).....	63
Obrázek 51: Fyzikální vlastnosti půd – ordinační analýza (PCA), Horizont B (Bv, Bvs, R); půdní vlastnosti: PVK...plná vodní kapacita, OOV...okamžitá objemová vlhkost, MKVK... maximální kapilární vodní kapacita, nasáklivost, objemová hmotnost (OH). ....	63
Obrázek 50: Fyzikální vlastnosti půd – ordinační analýza (PCA), Horizont A (U); půdní vlastnosti: PVK...plná vodní kapacita, OOV...okamžitá objemová vlhkost, MKVK... maximální kapilární vodní kapacita, nasáklivost, objemová hmotnost (OH). ....	63
Obrázek 53: pCCA: statistické výsledky pro hor organominerální Ah (nahore) a hor. minerální (B). ...	64
Obrázek 54: Srovnání výpočtu zásob organického C (Corg v kg m <sup>-2</sup> ) spočteného z archeologických sond (Corg Archeo) a pedologických sond (Corg Pedo). ....	66
Obrázek 55: Zásoba organického C (Corg v kg m <sup>-2</sup> ) v uhelných (U) a organominerálních (A) horizontech pro jednotlivé lokality (spočtená z pedologických sond; průměr a směrodatná odchylka).....	66
Obrázek 56: Průměrný index aromaticity pro jednotlivé lokality v uhelných (U) a organominerálních (A) horizontech (průměr a směrodatná odchylka). ....	67
Obrázek 57: Počet druhů bylinného patra ve snímcích podle lokalit; BR: Brdy, CL: Český les, JE: Jeseníky, KR: Křivoklátsko, MK: Moravský kras. ....	69
Obrázek 58: Dominantní dřevina stromového patra ve fytocenologických snímcích podle lokalit. Bílá: bez stromového patra. BK: buk lesní, BR: bříza bělokorá, DBZ: dub zimní, JV: javor mléč, KL: javor klen, MD: modřín opadavý, SM: smrk ztepilý. ....	69

Obrázek 59: Pokryvnost stromového patra [ %] podle lokalit; BR: Brdy, CL: Český les, JE: Jeseníky, KR: Křivoklátsko, MK: Moravský kras. ....	70
Obrázek 60: Krabicové grafy pro druhovou bohatost a počet nepůvodních druhů flóry ČR; písmena A, B značí signifikantní rozdíl neparametrického párového Wilcoxon-Prattova pořadového testu mezi plochami na milířích a příslušnými kontrolními plochami na hladině významnosti $p < 0.001$ . ....	71
Obrázek 61: Krabicové grafy pro Ellenbergovy indikační hodnoty pro obsah půdních živin a půdní reakci (pH). ....	71
Obrázek 62: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace. ....	72
Obrázek 63: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace s pasivně proloženými kontinuálními proměnnými testovanými mnohonásobnou regresí na hladině významnosti $p < 0.001$ (hnědé šipky), Ellenbergovy indikační hodnoty byly navíc testovány modifikovaným permutačním testem, EI <sub>H</sub> pro půdní reakci významná na hladině $p < 0.001$ a EI <sub>H</sub> pro živiny $p < 0.003$ (oranžové šipky tučně), ostatní EI <sub>H</sub> nesignifikantní nebo netestované (viz text); čáry představují spojnice plochy na milířích a příslušné kontrolní plochy. ....	72
Obrázek 64: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace, vykresleny elipsy kolem centroidů. ....	72
Obrázek 65: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace s pasivně proloženou kategoriální proměnnou dominantu porostu testovanou mnohonásobnou regresí na hladině významnosti $p < 0.001$ . ....	73
Obrázek 66: Rozdíly v počtu druhů Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi milíři a kontrolami v jednotlivých lokalitách v ČR. ....	74
Obrázek 67: Rozdíly v počtu jedinců Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi milíři a kontrolami v jednotlivých lokalitách v ČR. ....	75
Obrázek 68: Celkový souhrn rozdílů v počtu druhů a jedinců Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi milíři a kontrolami v ČR. ....	75
Obrázek 69: Neparametrické vícerozměrné rozdělení (NMDS) bakteriálních společenstev. ....	76
Obrázek 70: Rarefakční křivky bakteriálních/prokaryotních společenstev z milířů a kontrol na třech různých stanovištích. ....	77
Obrázek 71: Příklad stínovaného reliéfu terénu s patrnými objekty milířů (vlevo) a vpravo pak vnitřní plochy milířů (bez odvalů a násypů) detekované software. ....	78
Obrázek 72: Schéma toku organického uhlíku při těžbě dřeva při osmdesátiletém obmýtí. Výsledný biochar v množství cca 8 t je možné uložit do lesní půdy. ....	85

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled lokalit a jejich přírodních a geografických charakteristik. ....	12
Tabulka 2: Přehled milířů analyzovaných pomocí magnetometrie. ....	45
Tabulka 3: : Vzorkované lokality, jejich půdotvorný substrát a vegetační pokryv ve stromovém patře. ....	52
Tabulka 4: Shannonův index pro jednotlivé lokality a zlepší při započtení plochy milířů (antropozem). ....	65
Tabulka 5: Celková zásoba uhlíku v milířích jednotlivých lokalit vypočtena jako medián plochy změřených milířů násobeno hodnotou mediánu zásoby uhlíku v kg.m <sup>-2</sup> a průměrným počtem milířů na km <sup>2</sup> . ....	67
Tabulka 6: Počet druhů bylinného patra ve snímku pro jednotlivé lokality. M: průměr pro snímky na milířích, K: průměr pro snímky na kontrolách, p: p hodnota párový T-test (u Brdů Wilcoxon-Pratt	

Signed-Rank, jelikož data nevykazují normální rozdělení). Celkem druhů M a K: celkový počet druhů bylinného patra na milířích a kontrolách. ....	68
Tabulka 7: Četnost výskytu vybraných druhů ve snímcích na milířích a kontrolách v Českém lese a Jeseníkách.....	70
Tabulka 8: Seznam druhů Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea v pěti studovaných lokalitách v ČR. ....	74
Tabulka 9: Geometrické parametry vnitřních ploch milířů (bez odvalů a násypů) pro jednotlivé lokality. ....	78

## 1 Úvod

Téma tohoto projektu bylo inspirováno informacemi o nálezů netypické půdy Amazonských tropických lesů. Na rozdíl od tamních běžných kyselých a živinami i humusem chudých půd řazených do skupiny železitých *Ferralsols* (z lat. Ferrum = železo), mají černou barvu v hlubokém humusovém horizontu a jsou vysoce úrodné. Jsou tedy svou stavbou a vlastnostmi podobné černozemi, typické pro stepní biomy mírného klimatického pásu. Protože byly popsány v Amazonii, dostaly portugalský název *terra preta (de Índio)* - černá země. Historie jejich vzniku patrně sahá do předkolumbovského období.

Jsou to člověkem ovlivněné půdy obsahující ingredience lidského původu, které byly a stále jsou v půdě metabolizovány mikrobiálními společenstvy a stabilizovány humifikačními procesy (přeměnou rostlinných a živočišných zbytků na humus). Dnes víme, že v tomto procesu hrály velkou roli **houby** v porovnání s **bakteriálními společenstvy** v okolních půdách. Klíčovou roli v tomto procesu má biouhel pro svou chemickou stabilitu, malou rozpustnost ve vodě a velkou zásobu v těchto půdách.

Dnes si *terra preta* získává stále větší pozornost. Předpokládáme totiž, že může být jakýmsi modelem dlouhodobě **udržitelných postupů v zemědělství** vlhkých tropů. Je také příkladem **dlouhodobé sekvestrace (uložení) CO<sub>2</sub>** do suchozemských ekosystémů s dalšími pozitivními účinky na ekosystém. Má tak **potenciál v boji proti klimatickým změnám**, jejichž příčina je především v nadměrném zastoupení tohoto plynu v atmosféře (člověkem zvýšený skleníkový efekt). Některé vědecké zdroje udávají, že půdy typu *terra preta* pokrývají až 10 % plochy Amazonie, což odpovídá zhruba dvojnásobku velikosti Velké Británie (Glaser et al., 2001; Glaser, 2007).

Určitou paralelu najdeme i v Evropě. Antičtí klasici jako např. Columella (*De re rustica*) či Plinius mladší popisují různé praktiky na zvýšení úrodnosti půd včetně jejich obohacování různými látkami včetně popela a uhlí. Také poslední výzkumy složení a geneze černozemí v Evropě poukazují na vysoký podíl uhlíků po spalování. Výskyt černozemí v biomu temperátních lesů Střední Evropy je v přirozeném stavu málo pravděpodobný. Čechám nejbližší jsou půdy podobného typu (Anthropogenic Dark Earth) na slovanských sídlištích v severním Německu (Brünkendorf, na hranicích Braniborska a Dolního Saska, při řece 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 na rozvoj Vikinského impéria v 9. a 10. století (Wiedner et al., 2015).

Pojmy biouhel, biochar – dřevěné uhlí: **biouhel** (anglicky *biochar*) je zuhelnatělá biomasa, vzniklá **pyrolýzou**, tj. procesem přeměny za vysokých teplot (250 až 700 °C) a za nepřístupu vzduchu (nebo velmi omezeného). Vlastnosti takto „vyrobeného“ materiálu závisí na charakteru původní biomasy (pouze dřevinná složka, nebo s přísadami např. organických zbytků z kuchyně, jiného rostlinného materiálu apod.) a technologii výroby (především teplota). Dalo by se říci, že **dřevěné uhlí** je také podobným produktem. Biouhel v užším slova smyslu je však drobnozrnnější, proces zuhelnatění není aplikován čistě na kusové dříví a nepoužívá se také primárně jako palivo.

V rámci projektu TL02000160 jsme chtěli analogicky ověřit dlouhodobé působení podobné pyrolyzované substance (v řádu staletí) v půdních podmínkách temperátních lesů, kde bylo historicky provozováno uhlířské řemeslo. Tedy, **zda v místě reliktní milířů můžeme vysledovat podobné pozitivní efekty, jako vykazují jihoamerická terra preta či černá půda v severoněmeckých hradištích**. Pokud ano, vyvodit poté pro účely ochrany přírody a pro odbornou i širokou veřejnost závěry a doporučení ohledně potenciálu využití biouhlu v současné době, jeho přínosů a příp. negativních vlivů v kontextu probíhajících klimatických změn a degračních procesů v krajině.

Naše studie se chtěla také pokusit zodpovědět otázku, zda různé typy krajin lišící se z environmentálně historického hlediska (prošly různým a různě dlouhým vývojem výroby dřevěného uhlí) disponují jinou mírou resilience vůči shora zmiňovaným negativním vlivům.

Pro účely projektu byl sestaven široký tým odborníků s velkým interdisciplinárním propojením humanitních (historie, environmentální historie, archeologie) a přírodovědných disciplín (botanika, fytocenologie, pedologie, mikrobiologie půd, půdní zoologie). Zvláštním metodickým prvkem je detekce geomorfologických tvarů terénu připomínající milířiště pomocí LiDARových dat z leteckého skenování a jeho zpracování v programu 3DForest. Součástí je také polní pokus v lesním prostředí, který má vyvodit závěry ohledně účinků biouhlu na půdní vlastnosti v prvních letech po jeho aplikaci. Monitoring stanoveného pokusu však bude probíhat i po skončení projektu.

V rámci projektu byla vytýčena řada výstupů, které lze dle svého charakteru sloučit do skupin se společným implementačním plánem:

1. Mapové výstupy: obě mapy slouží jako zdroj informací především pro Zprávy CHKO, ale i vzdělávací instituce, muzea apod.
  - Nmap1: *Milířiště v historicko-geografických souvislostech na vybraných územích ČR*;
  - Nmap2: *Milířiště jako archeologicko-environmentální pramen*;
2. Vědecké články v recenzovaných časopisech: shrnující přírodovědné a historické aspekty uhlířství. Využití pro odbornou i širokou veřejnost, aplikační garanty (AOPK, Zprávy CHKO, obě muzea).
  - *Uhlířství a jeho archeologické doklady – historicko-archeologický pohled na provozování řemesla* (recenzovaný časopis Archeologia technica);
  - *An insight into long-term effects of biochar application to forest soils*. (European Journal of Forest Research, IF 2021-2022: 2.617);
3. Software: automatický a poloautomatický algoritmus detekce milířišť na základě LiDARových dat leteckého snímkování. Freeware, 3DForest ([www.3DForest.eu](http://www.3DForest.eu)), verze 0.52.; návod na wiki software: [14. Charcoal sites · VUKOZ-OEL/3DForest Wiki · GitHub](#)
4. Certifikovaná metodika: metodika zapravování biouhlu do lesních a zemědělských půd. Certifikační orgán: ÚKZÚZ.
5. Datové sady a mapový server: databáze výsledky z přírodovědných odborů a její dostupnost na mapovém serveru ([www.milire.cz](http://www.milire.cz)).
6. Osvěta a diseminace výsledků pro širokou veřejnost: 2 výstavy o tématu a prezentující původní výsledky projektu:

VÚKOZ, Technické muzeum v Brně, ČZU, UK, BÚ AV, Archaia Brno. 2021. *Milíře*. Dům přírody Moravského krasu, 23.7.-5.12.2021. Výstava o historii a environmentálních dopadech uhlířství v současné krajině se zaměřením na CHKO Moravský kras - výstup v rámci projektu TAČR éta TL02000160.

VÚKOZ, ČZU, UK, BÚ AV, Archaia Brno. 2021. *Milíře*. Středočeské muzeum v Roztokách u Prahy, 29.9.-5.12.2021. Výstava o historii a environmentálních dopadech uhlířství v současné krajině se zaměřením na CHKO Křivoklátsko a CHKO Brdy - výstup v rámci projektu TAČR éta TL02000160.

Dále film *Milíře - z minulosti do současnosti*. Podobně jako obě expozice popularizuje výsledky projektu. Bude součástí výběru edukačních filmů v Domě přírody Moravského krasu.

7. Souhrnná výzkumná zpráva (Vsouhrn): tato předkládaná souhrnná výzkumná zpráva.

Nad rámec naplánovaných výstupů byly výsledky prezentovány na konferencích a seminářích.

## 2 Metodika

### 2.1 Výběr lokalit a experimentální design

Výběr lokalit byl proveden tak, aby maximálně zohlednil rozdílné přírodní podmínky regionů ČR a také rozdílnost historického vývoje osídlení a historické praxe uhlířství a s ním spjatých řemesel.

Z hlediska geografického a historického leží 2 lokality na Moravě a 4 v Čechách (je tak dodržena proporce územních velikostí těchto historických zemí). 2 lokality leží v Sudetech (Český les a Jeseníky) 2 lokality leží ve vnitrozemí Čech (Křivoklátsko a Brdy) a 1 lokalita v srdci Moravy (Moravský kras). Všechny jmenované regiony se vyznačují odlišným vývojem osídlení a lidské činnosti.

Přehled charakteristik jednotlivých oblastí je uveden v Tabulka 1.

Tabulka 1: Přehled lokalit a jejich přírodních a geografických charakteristik.

lokalita	geologie	půdy	prům. nadm. výška (m)	vegetace	hist. země	geografie
<b>Moravský kras</b>	vápenec, granodiorit,	rendziny, kambizemě	546	majoritně listnaté	Morava	vnitrozemí
<b>Český les</b>	pararula, migmatit	kambizemě dystrické, pseudogleje	789	jehličnaté lesy	Čechy	Sudety
<b>Křivoklátsko</b>	ryolity, andezity	kambizemě až litozemě	613	smíšené, více listnaté	Čechy	vnitrozemí
<b>Brdy</b>	slepence, pískovce	kryptopozdoly až podzoly, kambizemě	860	majoritně jehličnaté	Čechy	vnitrozemí
<b>Jeseníky</b>	krystalické břidlice (fylity, svory, ruly)	kambizemě dystrické, kryptopozdoly	850	majoritně jehličnaté	Morava	Sudety

Výběr páté lokality – Jeseníky byl také s ohledem na možnost spolupráce s kolegy z NPÚ Ostrava, kteří v regionu provádí dlouhodobě výzkumy.

### 2.2 LiDAR

V roce 2019 byly provedeny nálety letadlem ve spolupráci s CzechGlobe nad lokalitami Moravský kras, Český les a Brdy. Jednalo se o jeden let, v jehož rámci byl plánován také nálet Křivoklátska. Letiště Ruzyně však tento let nepovolil. Z finančních důvodů nebylo možné let opakovat a pro analýzu území bylo proto využito zpracování bodových mračen z LiDARových dat ČÚZK, které má VÚKOZ k dispozici. Na rok 2020 byl naplánován nálet Jesenicka a to ve spolupráci s NPÚ Ostrava pro výhodnost spojení finančních zdrojů dvou projektů a v důsledku i pro ekonomičnost využívání státních prostředků. Pro kombinaci faktorů covid-19 + počasí a povětrnostní podmínky však nebylo možno nálet uskutečnit tak, aby byla zastižena vegetace ve vegetativním stavu a zároveň nebyla na terénu sněhová pokrývka. Svoji



roli sehrála i nutnost údržby letadla a lidarového čidla v zimních měsících 2020. Z tohoto důvodu byl let do Jeseníků odložen na jaro 2021.

V průběhu roku 2020 byl vyvinut a v roce 2021 parametrizován software pro automatickou detekci specifických terénních tvarů milířišť. Jednotlivé parametry byly kalibrovány a laděny na základě fotointerpretace LIDARových dat pro jednotlivé lokality.

## 2.3 Historické rešerše

Historická rešerše byla provedena na základě existující literatury a archivních pramenů o uhlířství na vybraných lokalitách. Dosavadní studie, až na několik výjimek (např. Woitsch, 2009), se týkaly výroby dřevěného uhlí spíše jako vedlejší téma v rámci větších prací soustřeďujících na dějiny železářství, včetně na našich lokalitách (např. Kreps, 1970 nebo Hlávka et al., 2010). Proto se přímo o dřevěném uhlí v historickém kontextu ví relativně málo. Tato skutečnost zvýšila význam výzkumu archivních pramenů, kterých je k dispozici nepřeberné množství. Abychom pokryli všech pět lokalit, nejprve jsme na základě inventárních seznamů provedli systematický přehled potenciálních zdrojů informace v následujících archivech: Moravský zemský archiv, Státní oblastní archiv v Praze a Zemský archiv v Opavě (vč. pobočky v Olomouci). Potom jsme při jednotlivých návštěvách prozkoumali a zpracovali nejvíce relevantní prameny.

Dohromady jsme zpracovali několik tisíc folií archivních pramenů hlavně z 18. a 19. století. Přehled všech zpracovaných zdrojů včetně jejich umístění a obsah přináší tabulka v Příloze 1.

Jak vyplývá z tabulky, nejužitečnějšími prameny byly výkazy o výrobě, prodeji a koupě dřevěného uhlí, mzdách uhlířů a také různé instrukce popisující očekávaný postup při výrobě. Lesní hospodářské plány (včetně map) pomáhaly tyto informace interpretovat v rámci tehdejší věkové struktury a druhového složení lesů.

Navíc jsme ve spolupráci s krajinně-ekologickou částí týmu zmapovali a kvantifikovali změny land-use v rámci jednotlivých (historických) panství v historickém kontextu vývoje území. Vývoj land use byl vztažen k hranicím panství, neboť informace z archivů jsou vázány rovněž k jednotlivým panstvím. Mapy využití krajiny byly vytvořeny na základě historických topografických map:

- Druhé rakouské vojenské mapování 1:28 800 (1836-1841), © 2nd Military Survey, Austrian State Archive/Military Archive, Vienna, © Laboratoř geoinformatiky Univerzita J.E. Purkyně, © Ministerstvo životního prostředí ČR
- Třetí rakouské vojenské mapování 1:25 000 (1876), © Mapová sbírka Univerzity Karlovy
- Vojenské topografické mapování Československa 1:25 000 (1953-1954), Mapový podklad © MO ČR
- Vojenské topografické mapování Československa 1:25 000 (1991), Mapový podklad © MO ČR
- Základní mapa České republiky 1:10 000 (2006), © Český úřad zeměměřický a katastrální

V každém chráněném území byla vybrána území jednotlivých panství, která zasahují do CHKO, případně jejich dílčí části, tvořené vybranými katastrálními územími. V případě vymezení panství byly využity dostupné archivní podklady a mapy panství z období kolem roku 1840. Pro každou lokalitu byla vytvořena mapa změn land-use: (i) mezi obdobími 1840 a 1880 – zachycující období největšího rozmachu uhlířství, (ii) 1880 a 1950, (iii) 1950 a 2006 a dále mapu počtu změn využití území v období 1840 – 2006 a v posledku mapa stabilně využívaných ploch během posledních 170 let.

## 2.4 Archeologický průzkum

Archeologický výzkum byl realizován ve vybraných polygonech v rámci všech pěti zkoumaných oblastí, tj. v Českém lese, na Křivoklátsku, v Brdech, Moravském krasu a Jeseníkách. Lze jej rozdělit na dvě fáze. V první fázi byly aplikovány nedestruktivní metody. Jednalo se zejména o terénní rekonstrukci antropogenních reliktů po historickém pálení dřevěného uhlí s využitím interpretačních map vytvořených z dat leteckého laserového skenování, přičemž byly v rámci širších polygonů (zhruba 50 km<sup>2</sup>) v každé oblasti vytipovány konkrétní objekty - milířiště, na kterých bylo posléze uskutečněno pedologické vzorkování a archeologický odkryv. Vybrané reliktory milířišť byly před vlastním odkryvem detailně geodeticky zaměřeny za účelem vytvoření výškopisných modelů, některé objekty pak byly podrobeny detailnímu geofyzikálnímu měření metodou magnetometrie. Po základním vyhodnocení došlo k vlastní destruktivní sondáži na jednotlivých milířištích. Jejich volba vždy spíše vycházela s požadavků přírodovědné části projektu a byla podřízena spíše vegetaci a podloží, které se na jednotlivých stanovištích nacházely. Než z charakteru samotného reliktu. Celkem bylo sondováno čtrnáct milířišť, vždy tři v každé lokalitě, přičemž v Jeseníkách se jednalo pouze o dvě plošiny. Samotná sondáž pokaždé reagovala na místní podmínky v místě milířiště a vždy byla ověřována jak samotná plocha plošiny, tak vnější odval, v případě ve svahu umístěných plošin, ten vedoucí po svahu dolů. Šířka sondy byla standardně 1 m. Sondáž probíhala ručně a za dodržení principů odkryvu po jednotlivých stratigrafických jednotkách. Kresebná, fotografická, písemná a geodetická dokumentace proběhla standardně s využitím totální stanice a GPS-RTK, kdy veškeré informace byly polohopisně a výškopisně zaměřovány. V rámci samotných kopaných sond pak došlo k ověřování postupů výstavby milířišť, případně jejich konstrukce. Snažili jsme se identifikovat i reparace milířů a jejich vícenásobné využívání. Vedle formálních vlastností archeologizovaných reliktů, zkoumajících podobu a variabilitu jednotlivých milířišť, byly sledovány také širší prostorové vztahy jak mezi sebou, tak ve vztahu k vybraným krajinným prvkům jako je vzdálenost těchto objektů od vodních toků a komunikací, či svažitost terénu, na kterém se nacházejí. Během výzkumu byly také odebrány vzorky na stanovení absolutního stáří a vzorky na určení druhové skladby při pálení uhlí používaného dřeva. Všechny tyto informace nám poskytly možnost komplexněji nahlédnout do možnosti archeologického poznání provozování uhlířství na základě výzkumu zaniklých uhlířských pracovišť.

### 2.4.1 Magnetometrie

V rámci projektu byl na několika milířištích dochovaných v zalesněném prostředí cíleně aplikován nedestruktivní magnetometrický průzkum. Pozůstatky milířů byly v Čechách pomocí magnetometrie zatím zkoumány jen ojediněle a náhodně, a to především ve dvou oblastech. První jsou Krušné hory (milířiště v prostoru zaniklé sklárny u Výsluní, okr. Chomutov – *Křivánek 2009* a v předpolí těžebního areálu Kreuziger na k. ú. Černý Potok, okr. Chomutov – *Křivánek 2018*). Druhou oblastí jsou Brdy, kde byly měřeny dva objekty tohoto typu na úpatí Plešivce (k. ú. Rejkovice, okr. Příbram), z toho jeden v prostoru zaniklé středověké vesnice Roudnička (*Křivánek 2005, 2008 a 2011*).

Geofyzikální měření v rámci našeho projektu provedl Jan John pomocí fluxgate gradiometru FM 256 od firmy Geoscan Research. Výhodou tohoto zařízení jsou především kompaktní rozměry, umožňující měření v členitém lesním terénu, v němž se zkoumané objekty nacházejí. Zejména vegetace (stromy, keře) může představovat pro kontinuální měření v pravidelné síti značnou komplikaci. Během měření byly snímány jednotlivé profily vzdálené od sebe 1 m s hustotou měření v rámci profilu 0,25 m. Zpracování dat proběhlo v programech Geoplot (Geoscan Research) a Surfer (Golden Software).

## 2.4.2 Radiokarbonové datování

Uloženiny na místech dřívějších milířů jsou charakteristické vysokým obsahem zuhelnatělých úlomků dřeva a tento původně organický materiál je využitelný pro radiometrické stanovení stáří pomocí izotopu  $^{14}\text{C}$ . Přestože se jedná o standardně využívanou metodu absolutního datování, tak její aplikace v kontextu reliktních milířů je limitována a získání relevantních výsledků vyžaduje cílený přístup při selekci vhodného materiálu. V případě milířů existují tři hlavní zdroje nejistoty, které ztěžují stanovení reálného stáří objektu. V první řadě je to efekt známý jako „inbuilt age“, který vzniká při datování zuhelnatělého dřeva pocházejícího z jádrové části kmene. Vzhledem k tomu, že izotop  $^{14}\text{C}$  je fixován do rostlinných tkání pouze po dobu jejich aktivního metabolismu, tak dřevo z jádra kmene nese izotopický signál starší než z jeho povrchové části. U dlouhověkých druhů dřevin může být tento efekt značný a tím může docházet k systematickému zkreslení směrem k vyššímu stáří vzorku. Další zdroj nejistoty představuje fakt, že proces převodu konvenčního radiouhlíkového stáří na stáří kalendářní je v novověku zatížen značnou nejistotou. Je to způsobeno velmi rozkolísaným průběhem kalibrační křivky v tomto období, což způsobuje široké rozpětí možného reálného stáří, které je navíc často rozděleno na několik dílčích intervalů. Takový charakter výsledků datování pak znemožňuje konstrukci robustních chronologií a propojování s archivními prameny o uhlířství na dané lokalitě. Poslední překážkou přesného datování reliktních milířů jsou technologické a tafonomické procesy, které se podílejí na vzniku vrstev uhlíků v místech dřívějších milířů a jejich těsném okolí.

V rámci našeho výzkumu jsme měli možnost datovat relativně velké množství vzorků. Výchozí strategie datování se proto zaměřovala na určení stáří všech zkoumaných reliktních milířů na dílčí lokalitě. Cíleně jsme se snažili redukovat výše uvedené zdroje nejistoty výsledného data a to kombinací několika přístupů. Jednak jsme vzorky odebírali z vrstvy nacházející se vždy mezi reparacemi plošiny, či z uloženiny, která se zdála být nejméně ohrožena postdepozičními procesy. Všechny vzorky selektované pro radiometrické měření musely také splňovat kritérium jednoznačně definovatelné časové prodlevy mezi dobou smýcení a vznikem daného pletiva. Tím jsme docílili omezení efektu „inbuilt age“. Průběžné výsledky ale ukázaly, že plošná aplikace  $^{14}\text{C}$  datování nepřináší uspokojivé výsledky, přestože analýze byly podrobeny vzorky pocházející z nejmladších částí těl stromů (větvíčky) a tím i omezeného vlivu „inbuilt age“. Interval kalendářního stáří byly značně široké (lokalita Moravský kras, Český les) a nepotvrdil se ani předpoklad možného náhodného zachycení vrcholně středověkého nebo raně novověkého materiálu. Nízká efektivita tohoto přístupu nás přiměla využít nákladnější metodu tzv. „wiggle matching“ (Galimberti et al., 2004), která je prováděna na skupině  $^{14}\text{C}$  dat odebraných z letokruhové sekvence. V tomto případě je známé relativní stáří mezi jednotlivými vzorky a při následném statistickém zpracování lze výrazně redukovat nejistotu spojenou s kalibrací data. Jako optimální počet je udáváno 5-10 vzorků (Galimberti et al., 2004) na jednu výslednou dataci. Nicméně metodu je principiálně možné použít už pro pouhé dva  $^{14}\text{C}$  vzorky.

## 2.5 Přírodovědný průzkum

### 2.5.1 Pedologický průzkum

#### 2.5.1.1 Vzorkování půd a milířišť

Na vybraných milířištích a přilehlých kontrolách (25-50 m vzdálených) byla vykopána půdní sonda. Celkem bylo vzorkováno 10 párů na každé lokalitě. Každá sonda byla popsána, fotograficky zdokumentována a byly odebrány vzorky pro jednotlivé přírodovědné směry (pedologie, archeologie, půdní biodiverzita – environmentální DNA) z přítomných dostatečně mocných horizontů či vrstev. Ve

vybraných sondách byly rovněž vzorkovány neporušené půdní vzorky pro zhotovení výbrusů na mikrostrukturní analýzu pomocí polarizačního mikroskopu.

#### 2.5.1.2 Chemické a fyzikální analýzy půd

Odebrané půdní vzorky byly usušeny a přesáty přes síto s velikostí ok < 2 mm. Na takto předpřipravených půdních vzorcích bylo stanoveno aktivní a v 0,01 M roztoku  $\text{CaCl}_2$  výměnné pH ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  a  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ), dále byla provedena extrakce 0,1 M  $\text{BaCl}_2$  a v tomto extraktu by stanoveny obsahy základních kationtů ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) pomocí ICP-OES (iCAP 7000 ICP Duo, Thermo Scientific) a  $\text{H}^+$  byl stanoven potenciometricky. Spočtena byla kationová výměnná kapacita jako suma stanovených kationtů. Půdní vzorky byly rovněž namlety na analytickou jemnost, následně byl stanoven oxidovatelný uhlík (Cox), celkový obsah N, C, a S pomocí elementární analýzy a ztráta žiháním v muflové peci. Celkové obsahy N, C a S a ztráta žiháním byly provedeny pouze u vybraných vzorků. Pomocí polarizačního mikroskopu DVM6 M (Leica) byly pozorovány výbrusy vybraných neporušených půdních horizontů či jejich přechodů.

Pomocí infračervené spektrometrie (DRIFT Nicolet iS10, Thermo Scientific) bylo možné pozorovat změny aromaticity organických látek a stupeň rozkladu opadu. Index aromaticity (poměr intenzity pásů infračerveného spektra v oblastech  $1620\text{ cm}^{-1}$  a  $2920\text{ cm}^{-1}$ ) demonstruje poměr stabilního organického uhlíku k labilnímu, s jeho nárůstem tedy stoupá stabilita organické hmoty v půdě.

Hodnocení fyzikální vlastnosti půd bylo provedeno v kontextu zejména jejich schopnosti zadržet vodu. Právě tyto vlastnosti výrazně ovlivňují faunu i flóru daného stanoviště. V řešení tématu transformace půdního krytu v místech milířišť bylo hodnocení potenciální změny hydropedologických vlastností půd. Z půdních parametrů se hodnotila objemová hmotnost (OH), maximální kapilární vodní kapacita (MKVK) a plná vodní kapacita (PVK). V rámci laboratorních analýz byla pro možné budoucí potřeby stanovena ještě půdní vlhkost. Protože ale odběry probíhaly v rámci několika málo kampaní a nebylo možné podchytit vodní režim během roku, nebyla půdní vlhkost podrobněji hodnocena. Metoda MKVK poukazuje na zastoupení kapilárních pórů, kde se voda drží dlouhodobě. PVK odhaduje celkový objem půdních pórů, které se mohou účastnit srážko-odtokového procesu. Oproti běžně stanovené pórovitosti půd nezahrnuje uzavřené póry, do kterých voda obvykle nezateká. OH je vhodný a jednoduchý ukazatel pro hodnocení „hustoty“ půdy, která se je ovlivněna minerální skladbou, provzdušněním nebo obsahem organické hmoty.

Na všech zájmových lokalitách byly odebrány neporušené půdní vzorky pomocí Kopeckého válečků ( $100\text{ cm}^3$ ) v místě kopané sondy pro popis půdního profilu a pro odběr porušených půdních vzorků. Jedna sonda byla kopána v místě milířiště, druhá sonda (kontrolní) nedaleko milířiště v místě, kde se vyskytovaly co nejvíce podobné podmínky z hlediska formování půdního krytu. Neporušený vzorek byl odebrán ze svrchní vrstvy (horizont A případně AE) s velkou příměsí uhlíku a z horizontu pod touto vrstvou, který téměř vždy vykazoval znaky původního půdního horizontu B. Z „kontrolní“ sondy se odebral vzorek v horizontu A (popřípadě AB) a vzorek v horizontu B (popřípadě E nebo C). Na každé lokalitě s milířištěm bylo v plánu odebrat 4 vzorky. Řada půdních sond obsahovala velké množství skeletu, který odběr válečků zkomplikoval. Některá místa s milířištěm tak neobsahují kontrolní stanoviště, někde nešly odebrat „B“ horizonty. Nicméně, podařilo se odebrat celkem 176 vzorků (válečků) – z toho 81 na kontrolních a 95 na milířištních stanovištích. Některé vzorky musely být odebrány znovu. Důvodem bylo hlavně množství skeletu v odebraných vzorcích. Výsledky jsou díky zvýšenému obsahu skeletu nepřesné. Drobný skelet v neporušeném půdním vzorku je samozřejmě jeho součástí. U velmi skeletovitých půd jako v lokalitě Jeseníků docházelo k odebrání vzorků, kde skelet zcela převažoval. To se bohužel odhalí až v momentě po ukončení analýz po vysušení, kdy dojde k destrukci vzorku a jeho kontrole zevnitř.

Na vybraných vzorcích ze založeného pokusu Sruby byla stanovena retenční křivka přímo v terénu pomocí kontinuálního měření (mini-tensiometry, vlhkoměrná čidla). Ta pomohla odhalit různé formy zadržené vody – tzv. mobilní nebo imobilní. Metoda je vhodná pro určení menších rozdílů mezi stanovišti v množství vody v půdě a způsobu jejího zadržetí.

#### 2.5.1.3 *Statistická analýza dat*

Data půdního chemismu byla pro účely porovnání nomenklaturně sjednocena na stejnoznačné a porovnatelné horizonty: horizonty nadložního humusu (FH), které jsou stejné pro oba typy stanoviště (milířiště vs kontrola), dále horizonty označené jako A (zahrnující organominerální horizonty lesních půd – Ah u kontrol, vrstvy s biouhlem u milířů „U“) a horizonty označené souborně jako B (všechny minerální horizonty: E, Bv, Bvs, Bs, někdy B/C až C).

Takto strukturovaná data jsou znázorněna v krabicových grafech a v ordinačních diagramech (neomezená PCA s promítnutými vektory půdních proměnných) a testována v Monte Carlo testem při parciální redundanci analýze (pRDA).

U fyzikálních vlastností půd byla stanoviště porovnávána zvláště pro horizonty organominerální (resp. analogie u milířišť) a horizonty minerální. Data jsou znázorněna v grafech a v ordinačních diagramech (PCA s promítnutými vektory jednotlivých fyzikálních vlastností), vliv stanoviště byl statisticky testován pomocí parciální kanonické korespondenční analýzy.

#### 2.5.2 *Mikrobiologie půd*

Vzorky půdy byly odebrány ze všech identifikovaných půdních horizontů jak na milíři, tak na kontrolním stanovišti podobně jako vzorky na chemické analýzy. Byla extrahována celková půdní DNA, ze které je stanovováno složení prokaryotního společenstva (bakterie a archaea) a mikro-eukaryotního společenstva (především houby a protista) pomocí amplifikace primery pro variabilní oblast 16S rRNA genu (pro prokaryota) a 18S rRNA genu (pro eukaryota). Sekvence probíhá systémem Illumina, zpracování sekvencí je prováděno algoritmem Usearch.5 (2010). Výsledky jsou hodnoceny s použitím analýzy rozptylu (ANOVA) v prostředí R. K zobrazení výsledků bylo použito metody nemetrického mnohorozměrného škálování.

Diverzita mezi bakteriálními společenstvy u jednotlivých půdních horizontů (milířiště vs kontroly) byla analyzována pomocí rarefakčních křivek. Vytvoří se tak, že se nechají počítačovým programem náhodně vybírat sekvence ze souboru získaného z příslušného bakteriálního společenstva a podle toho, jak rychle se vybírají zatím nevybrané (tedy počítači neznámé sekvence), křivka narůstá. Čím je neznámých sekvencí více, tím narůstá strměji.

#### 2.5.3 *Výzkum bezobratlých*

Pro sběr dat o půdní fauně Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea byla využita metoda prosevů hrabanky a vrchní půdní vrstvy. Sběry byly provedeny za srovnatelných podmínek počasí – teplota nad 15 °C, bez srážek. Na každé lokalitě (milířiště a kontrola) byl proveden jeden sběr. Pro sběr bylo použito oboustranné kruhové prosívadlo s rozměrem ok mřížky 6 x 6 mm. Prosívadlo je pokryto zeleným voděodolným materiálem. Prosetá půda byla uložena do látkových pytlíků a uzavřena pomocí šňůry. Pytlíky byly označeny kódem a číslem příslušné lokality. Pytlíky byly následně uloženy do auto-chladničky pro uchování v chladu, čímž došlo k utlumení aktivity půdní fauny uvnitř, která ovšem zůstala naživu.

Líhnutí probíhalo v extraktorech v objektu s teplotními podmínkami odpovídajícími venkovnímu prostředí. Extraktory byly založeny na principu, že půdní fauna preferuje vlhké prostředí a přesouvá se

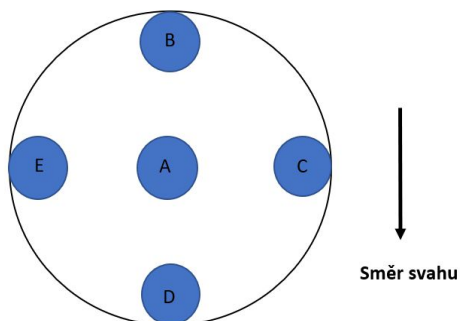
ze suchých částí do vlhkých. Extraktory byly vytvořeny z průhledného plastového materiálu o dvou částech. Vrchní část byla o objemu 1,5 litru s úzkým hrdlem. V hrdle byla umístěna kovová mřížka o rozměru ok 6 x 6 mm, která bránila propadu hrabanky, ale umožňovala propad živočichů. Každý extraktor byl naplněn prosetou hrabankou a označen číslem vzorku. Spodní část extraktoru o objemu 2 litry byla vybavena malým zásobníkem (o průměru 10 cm) pro zachycení živočichů hledajících vlhké prostředí – padají do něho, přičemž se v něm nachází solný roztok (pro konzervování) s malým obsahem detergentu pro redukci napětí vodního povrchu. Přirozené vysychání bylo urychleno narušováním povrchu hrabanky rukavicemi. Po třech týdnech bylo líhnutí každé lokality dokončeno.

Všichni živočišné zachycení ve vnitřních zásobnících byli přemístěni do roztoku octa a 50 % ethanolu v poměru 1:1 a následně uloženi do chladničky. Tento způsob uložení je ideální pro následnou druhovou identifikaci. Všichni vyhlíhlí jedinci byli následně identifikováni do druhové úrovně.

## 2.5.4 Fytocenologie

### 2.5.4.1 Metodika sběru dat

Na vnitřní ploše zkoumaného milířiště, byl pořízen kruhový fytocenologický snímek o průměru 10 m, v případě, že byl vnitřní průměr milířiště menší než 10 m, byl sepsán snímek o průměru 7 m. Ve snímku byla odhadnuta celková pokryvnost stromového, keřového, bylinného a mechového patra. A dále zaznamenány všechny druhy cévnatých rostlin, s přiřazením pokryvnosti podle Braun-Blanquetovy 9členné stupnice. Uvnitř každého snímku bylo sepsáno 5 dílčích kruhových snímků o průměru 2 m, a to uprostřed snímku velkého, a dále na okraji velkého snímku ve čtyřech na sebe kolmých směrech, vždy stejně orientovaných podle svažitosti okolního terénu (obr. 1). V těchto dílčích snímcích byla zaznamenána prezence všech cévnatých rostlin v bylinném patře.



Obrázek 1: Rozmístění dílčích fytocenologických snímků (A-E) uvnitř velkého snímku..

Mimo 10 párů milířišť a kontrolních ploch na kterých byly provedeny rovněž pedologické sondy a odebírány vzorky, byly na každé z lokalit pořízeny fytocenologické snímky dalších milířišť a kontrolních ploch. V roce 2019 bylo pořízeno celkem 44 dvojic fytocenologických snímků, 27 snímků milířišť a 27 snímků kontrolních v Českém lese (CL) a 17dvojic snímků v Moravském krasu (MK). V roce 2020 pak celkem 42 dvojic fytocenologických snímků, 14 dvojic na lokalitě Jeseníky (JE), 11 dvojic na lokalitě Křivoklátsko (KR) a 15 dvojic na lokalitě Brdy (BR).

### 2.5.4.2 Statistické zpracování

Fytocenologické snímky byly zapsány do databázového programu TURBOVEG (Hennekens & Schaminée, 2001) a následně editovány a analyzovány v programech JUICE (Tichý 2002) a R (verze 4.0.5; R Development Core Team 2019, Vienna, AT; <http://www.r-project.org>) s využitím knihoven vegan, coin, tidyverse, ggpubr a rstatix.

Na základě druhového složení byly spočteny průměrné Ellenbergovy indikační hodnoty kalibrované pro Českou republiku pro jednotlivé fytocenologické snímky (zástupná proměnná; Chytrý et al., 2018).

Nepůvodní druhy byly hodnoceny dle Pyšek et al. (2012), ohrožené druhy byly hodnoceny dle Červeného seznamu cévnatých rostlin České republiky (Grulich, 2017) a nomenklatura byla sjednocena dle Seznamu cévnatých rostlin květeny České republiky (Danihelka et al., 2012).



Variabilita vegetace a vztah k jednotlivým proměnným prostředí, zástupným proměnným i charakteristickým skupinám druhů byla analyzována za použití ordinačních technik. Pro korektní zjištění rozdílů mezi fytoocenologickými snímky zapsanými přímo na milířišti a výše popsanými kontrolními plochami byla zvolena distance-based ordinační technika - analýza hlavních koordinát (Principal Coordinates Analysis – PcoA). Nejprve však byla vzhledem k semikvantitativnímu charakteru dat spočtena nepodobnost Bray-Curtis (Bray-Curtis dissimilarity; Legendre & Legendre, 2012) a následně byla data pro vstup do analýzy PCoA standardizována pomocí Hellingerovy standardizace. Vymezení ploch na milířištích vs. kontrolních ploch pro jednotlivé oblasti bylo testováno pomocí analýzy elips (funkce ordiellipse z knihovny cluster), které představují konfidenční intervaly kolem jednotlivých centroidů klastrů/skupin. Pokud se elipsy nepřekrývají, jsou od sebe skupiny dobře odlišené. Pasivně proloženy pak byly pouze statisticky významné proměnné testované permutačním testem mnohonásobné regrese (vztah k 1. a 2. ordinační ose; 999 permutací,  $p < 0.001$ ) a v případě Ellenbergových indikačních hodnot, které byly vypočteny na základě druhového složení jednotlivých snímků a tudíž na sobě nejsou zcela nezávislé, byl vypočten modifikovaný permutační test (Zelený & Schaffers, 2012).

Pro porovnání rozdílů mezi plochami na milířištích a kontrolními plochami v jednotlivých oblastech byly využity krabicové grafy se zobrazením zářezů (notches), které umožňují lépe vizualizovat rozdíly mezi skupinami. Pokud se zářezy nepřekrývají, skupiny se liší. Pro zhodnocení rozdílů druhovové bohatosti pak byl využit párový T-test s výjimkou data pro lokalitu Brdy, kde byl použit párový neparametrický Wilcoxon-Prattův pořadový test (Asymptotic Wilcoxon-Pratt Signed-Rank Test, knihovna coin) pro nesplnění předpokladu normality dat.

#### 2.5.5 Antrakologie

Antrakologická analýza zuhelnatělého dřeva z reliktních milířů je běžně užívanou metodou pro rekonstrukci druhového složení dřevinné složky lesní vegetace. Její použití vychází z možnosti určení taxonomické příslušnosti jednotlivého uhlíku na základě anatomických znaků dřevní tkáně. Většina těchto diferenciačních znaků se zachovává i po působení vysokých teplot v průběhu nedokonalého spalování za nepřístupu vzduchu (pyrolýza) a současně karbonizací dochází ke zvýšení odolnosti vůči biologickým rozkladným procesům. Uhlíky tedy uchovávají taxonomickou informaci o výchozím rostlinném druhu po velmi dlouhá časová období a díky vysoké míře inertnosti nevyžadují specifické fosilizační prostředí. Za účelem zkoumání prostorové distribuce jednotlivých druhů dřevin a jejich vazby na stanovištní podmínky je nezbytné zpracovat dostatečné množství milířů s reprezentativním počtem určených uhlíků.

Strategie odběru vzorku musí brát v úvahu značnou variabilitu postdepozičních procesů na konkrétním milířišti, které formují uložení vrstvy obohacené uhlíky. Ta často pokrývá celou plošinu milíře a dosahuje mocnosti okolo 15 cm. Běžným jevem je však také její absence, nebo nesouvislý charakter. Díky technologickému postupu při výrobě, ale také v důsledku erozních procesů může docházet k druhotné redepozici uhlíků na úpatí spodního odvalu milířiště. Naším cílem bylo odebrat směsný vzorek, reprezentující průměrné složení uhlíkového spektra daného milíře a na základě podobnosti spekter rekonstruovat složení lesa v období vzniku uhlíkového záznamu. Relikty milířů nalezené v průběhu systematického povrchového průzkumu byly ovzorkovány za účelem získání reprezentativního materiálu pro antrakologickou analýzu. Každý nalezený objekt byl nejprve pomocí sondáže zjištěn rozsah vrstvy obohacené o uhlíky. Z pěti dílčích sond rozmístěných rovnoměrně plošně byl odebrán směsný půdní vzorek o objemu cca 1 litr. Celkem bylo tímto způsobem ovzorkováno všech 72 nalezených reliktních. Laboratorní příprava vzorků zahrnovala jejich sušení při 80°C, separaci organického materiálu a uhlíků pomocí flotace a mokré prosívání na sítu s velikostí oka 2 mm. Z takto

získaného materiálu byl náhodně odebrán soubor deseti uhlíků, které byly determinovány za využití mikroskopu JENATECH (50-500x). K taxonomické identifikaci byly použity determinační příručky (Schweingruber, 1990) a srovnávací sbírka zuhelnatělého dřeva.

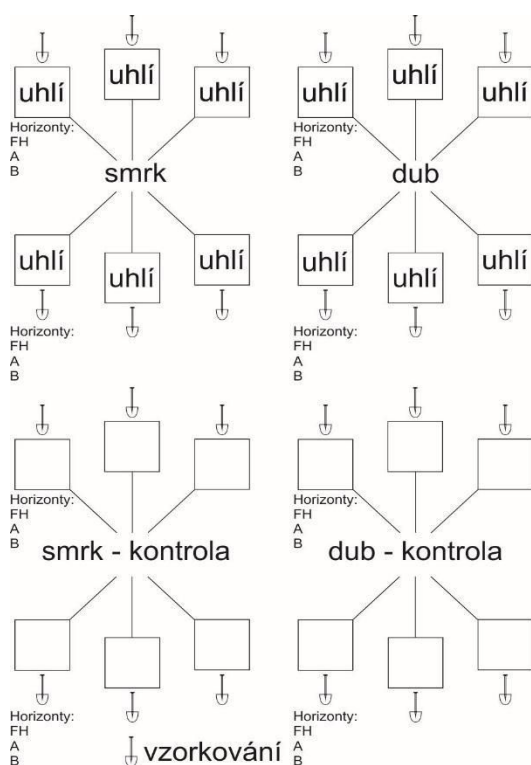
## 2.6 Experiment aplikace biouhlu do lesních půd

### 2.6.1 Design pokusu

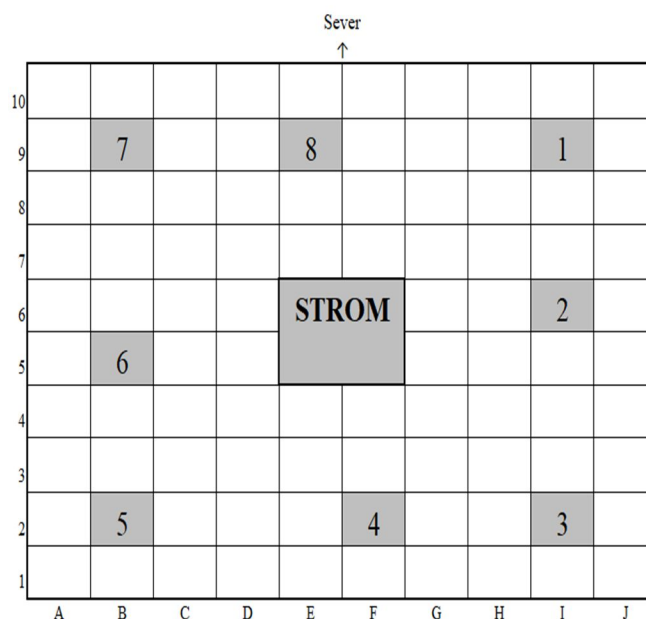
Pokusná lokalita experimentu implementace biouhlu pro zjištění změn půdně-biologických vlastností v čase byla založena jako párová v Diecézních lesích Hradec Králové u obce Sruby (50.0070892N, 16.1720667E). V bukovém a smrkovém hospodářském stejnověkovém porostu bylo zvoleno 12 párových míst o velikosti 10x10 m (pokusná plocha s uhlím a kontrolní stanoviště; obr. 1). Plochy byly vzorkovány před aplikací biouhlu (květen 2020) a následně proběhly odběry po třech, šesti a dvanácti měsících od založení experimentu. Důležité pro metodiku je, že kontrolní a pokusné plochy v páru se výrazně neliší.

Na každém stanovišti podle schématu níže (obr. 2) byly odebrány půdní vzorky z půdní sondy či zákopku a to přítomné horizonty v čase 0 (FH, 0-5 cm, 5-20 cm), +3 (FH, 0-5 cm), +6 (FH, 0-5 cm) a +12 měsíců (FH, 0-5 cm, 5-20 cm). Vrstva 0-5 cm odpovídá většinou A horizontu a 5-20 cm odpovídá B/E

horizontu. Změřeny byly mocnosti horizontů a sondy byly následně popsány.



Obrázek 2: Schéma zaležení experimentu pro aplikaci biouhlu do půdy v lesním prostředí.



Obrázek 3: Schéma vzorkování půdy v čase 1 - počáteční odběr, 2 - 3 měsíce, 3 - 6 měsíců, 4 - 12 měsíců a označení budoucích vzorkovacích míst.



## 2.6.2 Fyzikální a chemické vlastnosti půd

Odebrané půdní vzorky byly usušeny (40 °C) a přesáty přes síto s velikostí ok < 2 mm. Na takto předpřipravených půdních vzorcích bylo stanoveno aktivní a v 0,01 M roztoku  $\text{CaCl}_2$  výměnné pH ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  a  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ), dále byla provedena extrakce 0,1 M  $\text{BaCl}_2$  a v tomto extraktu by stanoveny obsahy základních kationtů ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) pomocí ICP-OES a  $\text{H}^+$  potenciometricky. Spočtena byla kationová výměnná kapacita jako suma stanovených kationtů. Půdní vzorky byly rovněž namlety na analytickou jemnost, následně byl stanoven oxidovatelný uhlík (Cox).

## 2.6.3 Mikrobiální enzymatické aktivity

### 2.6.3.1 Stanovení enzymové aktivity

Aktivita enzymů  $\beta$ -glukosidázy, fosfatázy,  $\beta$ -xylosidázy, chitinázy, celobiohydrolázy,  $\beta$ -galaktosidázy,  $\alpha$ -glukosidázy,  $\beta$ -manosidázy, arylsulfatázy, a lipázy byla stanovena spektrofotometricky s využitím fluorescenčně značených substrátů. Jako fluorescenční molekula byl použit 4-methylumbellyferol (MUF). Jednotlivé substráty MUF, které byly použity pro stanovení aktivit konkrétních enzymů, jsou následující:

$\beta$ -glukosidáza:	2,75 mM 4-methylumbellyferyl- $\beta$ -D- glukopyranosid (MUFG)
kyselá fosfatáza:	2,75 mM 4-methylumbellyferyl-fosfát (MUFP)
$\beta$ -xylosidáza:	2,50 mM 4-methylumbellyferyl- $\beta$ -D-xylopyranosid (MUFX)
chitináza:	1,00 mM 4-methylumbellyferyl-N-acetylglukosaminid (MUFN)
celobiohydroláza:	2,50 mM 4-methylumbellyferyl-N-cellobiopyranosis (MUFC)
$\beta$ -galaktosidáza	2,50 mM 4-methylumbellyferyl-b-D-galaktopyranoside (MUFL)
$\alpha$ -glukosidáza	2,50 mM 4-methylumbellyferyl- $\alpha$ -D-glykosopyranoside (MUFG)
lipáza	2,50 mM 4-methylumbellyferyl-kaprylát (MUFY)

Pro stanovení potenciálních aktivity enzymů byly použity suspenze tvořené 0,25 g lyofilizovaného vzorku v 50 ml 50 mM acetátového pufru s pH 5 (smícháme 2,78g octanu sodného + 1l destilované vody + 938  $\mu\text{l}$  kyseliny octové). Takto připravené vzorky byly po nezbytnou dobu uchovávány při teplotě do 4 °C. Do mikrotitrační destičky byly napipetovány jednotlivé MUF substráty a kalibrační roztoky MUF standardu v předem daném ředění. K substrátům bylo do jamek napipetováno 200  $\mu\text{l}$  homogenizované suspenze vzorku. Do pravé části destičky byly umístěny kalibrační řady, ve kterých postupně vzrůstala koncentrace MUF. Fluorescence byla měřena pomocí mikrodestičkového analyzátoru (Infinite F200, TECAN, Switzerland) s excitací 360 nm a emisí 465 nm (Pavková, 2020).

## 3 Výsledky

### 3.1 Historický vývoj osídlení a jeho vliv na krajinu

(historie, změna land use, prostorová archeologie)

#### 3.1.1 Brdy

Brdská vrchovina je ve středních Čechách ojedinělá díky svému souvislému zalesnění a zároveň opuštěnosti, co se lidských sídel týče. Také vznik vojenského újezdu ve 20. století (1926-2016) zde k většímu osídlení nijak více nepřispěl. Co se týče přirozené skladby lesů, tak právě ta je zde velmi silně pozměněna díky rozmachu železářství v této oblasti. Oblast Brd poskytovala dostatečnou zásobu dřevěného paliva a vysoké pece využívaly okolních lesů k výrobě dřevěného uhlí. První zmínky o hutích se objevují již ve 14. století, kdy se objevuje huť ve Strašicích (1325). V 15. století je zmiňována huť ve Svaté Dobrotivé a Karlova Huť, v 16. století pak huť v Dobřívě. Tyto tři hutě (ve Strašicích, u Svaté Dobrotivé a v Dobřívě) spolu s hutí v Holoubkově tvořily základní čtveřici železných hutí na panství zbírožském, které koncem 16. století (i s Karlovou Hutí) přešly do správy tzv. Komorních železáren. Od 17. století dochází k nárůstu spotřeby dřeva, neboť byla zaváděna výroba ve vysokých pecích. Objevují se zmínky o vysokých pecích u Obecnice, Jinců, zaniklé vsi Padrtě, Svaté Dobrotivé, Dobřívě, v Holoubkově, Staré Huti (u Dobříše) apod. V 17. a 18. století tak dochází k rozmachu těžby lesů nejen v blízkosti okolí jednotlivých hutí, ale také v centru středních Brd, na území tehdejšího panství Zbiroh a Rožmitál, které společně s hořovickým panstvím tvořily lesní celky, jež zásobovaly dřevěným uhlím okolní železářny. Hospodářská krize v 70. letech 19. století urychlila zavádění koksových provozů a dřevouhelné hutě pomalu ukončují svůj provoz. Provoz poslední dřevouhelné pece u nás byl ukončen v Komárově na Hořovicku v roce 1921.

#### 3.1.2 Český les

První písemné zmínky o hamrech a archeologické doklady o výrobě železa na území Českého lesa pochází až ze středověku. Výroba železa a dřevěného uhlí ve větším množství však nastoupila do dějin Českého lesa poměrně pozdě, teprve v druhé polovině 18. století. To pravděpodobně souvisí s pozdní kolonizací území jakoby pomezího prostoru. V 18. a 19. století byly významné železářny s vysokými pecemi například u Jedlové, Broumova, Lučiny, Halže, Železné nebo Srb. Při rozvoji železářství byly založeny nové osady, například v Peci u Trhanova nebo v Jedlové. Osada Nový Haimhausen u Broumova také vyrostla kolem železné hutě po jejím založení ve čtyřicátých letech 18. století. Na začátku tam stálo asi 8 budov – oproti tomu v r. 1890 již 69 budov, ve kterých žilo 513 lidí. Milířování na lokalitě má však starší kořeny: v r. 1715 bylo páleno kolem 4000 sáhu dřeva v místních lesích k huti v dnes již zaniklé vesnici Cech sv. Víta. I když se železářství potkávalo sčetnými problémy již od poloviny 19. století, milíře byly nově zakládány a obnovovány až do začátku sedmdesátých let 19. století, kdy, stejně jako na dalších místech na Tachovsku a obecně v Čechách a na Moravě, ukončily svůj provoz spolu s vysokou pecí. Některá panství a jejich dílčí části v CHKO Český les a přilehlém okolí se vyznačovala historickým kontextu poměrně vysokými podíly stabilně

využívaných ploch lesa -panství Tachov (60,1 %), panství Planá (57,8 %), panství Lesná (55,5 %). Z hlediska procesů změn využití krajiny mezi obdobími 1840 a 1880 souvisejících s lesy patřilo zalesňování trvalých travních porostů, jejichž intenzita byla nejvyšší v panství Chodová Planá a Zahájí. V období mezi roky 1880 a 1950 se v případě lesů více objevují mezi procesy změny zorné půdy do lesů, zároveň jsou zde silné taktéž procesy změn z trvalých travních porostů do lesů. Celkově jsou tyto procesy intenzivnější, ale zároveň v sobě odrážejí i aktuální hybné síly změn využití krajiny spojené s odsunem německého obyvatelstva z pohraničí po druhé světové válce –tedy opouštění orné půdy a trvalých travních porostů. Poslední srovnávací období 1950 a 2006 zachycuje trendy růstu zastavěných ploch v některých bývalých panstvích a především zatravňování na orné půdě, které patří mezi nejintenzivnější procesy ve všech panstvích. Ve vývoji lesa došlo také ještě k některým změnám spojeným s postupným rozšiřováním lesních ploch cílenou výsadbou nebo přirozenou sukcesí.

### 3.1.3 Jeseníky

Oblast Jeseníků byla osídlována intenzivněji a také cíleněji mezi 13. a 14. stoletím v souvislosti s hledáním zlata a dalších drahých kovů, posléze železných rud. Archeologické průzkumy prokázaly osídlení u Malé Morávky přibližně od poloviny 14. století. Oblast Malé Morávky byla součástí bruntálského panství, které bylo od r. 1506 ve vlastnictví pánů z Vrby a od roku 1621 Řádu německých rytířů. V návaznosti na těžbu železných rud, vznikaly v údolí řek hamry a hutě, které zpočátku spotřebovávaly dříví z okolních lesů, posléze došlo k odlesňování horských svahů ve vyšších polohách a zakládání mlýnišť. Tento rozmach v dolování, kácení lesních porostů a následné pálení dřevěného uhlí podnítily k zakládání jednoduchých hornických a dřevorubeckých osad právě ve vyšších horských polohách. V 17. století se objevují první písemné zmínky o dolování v oblasti Malé Morávky a vznikají také hutě a železářny v Ludvíkově, Rudné pod Pradědem či v Janovicích, k nimž se přivážela ruda nejen z místních ložisek, ale také například z Horních Životic a Rudy u Rýmařova. Koncem 17. století byla vybudována v Karlově pod Pradědem pila, k ní časem přibyla i železárenská huť. K rozmachu v oblasti hornictví, hutnictví, železářství i sklářství dochází na přelomu 17. a 18. století v celé oblasti Jeseníků. V 70. letech 19. století dochází k postupnému ukončování výroby ve zdejších železárnách a začátkem 20. století byly železnorudné doly v okolí Malé Morávky opuštěny definitivně. Vybraná oblast tří panství zasahujících do CHKO Jeseníky vykazuje poměrně velké změny využití krajiny. Na území bývalého panství Bruntál –město bylo mezi roky 1840 a 2006 změněno 60,3 % území. Vzhledem k charakteru městského prostředí s obytnými i průmyslovými objekty lze toto očekávat. Poměrně velké změny se ale odehrávaly i na územích dalších panství – Rýmařov (45,0 %), Bruntál (38,6 %). Z prostorového hlediska jsou však největší změny evidovány především mimo hlavní horský masiv v podhůří hor, případně v údolí podél hlavních vodních toků. Z hlediska zájmu o vývoj lesů v kontextu provozování mlýnů lze v prvním sledovaném období pozorovat mírný přírůstek lesů na Bruntálsku, většina procesů je ale vázána na změny mezi trvalými travními porosty a ornou půdou. V dalším porovnávacím období 1880 a 1950 jsou opět nejsilnější procesy zatravňování na orné půdě –Bruntál -město (22 %), Bruntál (10 %) a Rýmařov (7 %). Velmi výrazné jsou ale i procesy vzniku lesů na orné půdě (od 4 % do 8 %) a taktéž zde probíhalo zalesňování ploch trvale travních porostů. Lze tedy částečně zohlednit i dopad na ukončení využívání mlýnů vdaném regionu. Změny využití

krajiny mezi roky 1950 a 2006 jsou opět prezentovány zatravňováním na orné půdě, které na území panství Rýmařov dosahovalo až 20 %. Stablně využívané plochy lesa tvořily v panství Bruntál 49,5 % a v panství Rýmařov 44,1 %.

#### 3.1.4 Křivoklátsko

Hutnictví na Křivoklátsku má stejně jako na panství zbirožském, rožmitálském a hořovickém velmi starou tradici založenou na četných nalezištích železné rudy a obrovských zásobách dřeva na svém území. Středisky železářství křivoklátského panství byla Stará Huť u Hýskova (první zmínka 1386) a Nová Huť u Nižboru (1519), které braly dřevo z křivoklátských lesů. Na konci 17. století se uvádí, že na výrobu železa (téměř 5000 centů) spotřebovávaly tyto hutě ročně téměř 30 000m<sup>3</sup> dřeva pro výrobu dřevěného uhlí. K rozmachu železářství na Křivoklátsku dochází na počátku 19. století, kdy byla vybudována nová železárna v blízkosti ložisek železné rudy na Krušné hoře u Nového Jáchymova a na Berounce v obci Rostoky u Křivokláta. Produkce železáren se enormně zvýšila, což se promítlo v potřebě čím dál většího množství dřevěného uhlí. V 60. letech 19. století byla kapacita křivoklátských železáren rozšířena ještě o Karlovu Huť po zakoupení panství Králův Dvůr (dříve spadala pod správu Komorních železáren). Podle popisu křivoklátského panství z r. 1869 byly v provozu hlavní železnorudné doly na Krušné Hoře, které dodávaly ročně 600 000 centů rudy jednotlivým železárnám. Pro její tavbu bylo v rámci roku spotřebováno v průměru 42 000 sáhů dřeva z křivoklátských lesů, z něhož bylo posléze vyrobeno téměř 480 000 tun dřevěného uhlí. V 70. letech 19. století dochází k hospodářské krizi, křivoklátské železářny zařízené na dřevěné uhlí nestačily požadavkům doby, výroba byla omezena, navíc povodeň v roce 1872 zničila velkou část závodu v Novém Jáchymově a Nižboru a postupně byla jejich činnost ukončena. V této oblasti fungovala de facto už jen železárna v Rostocích u Křivokláta, kterou odkoupila Česká montánní společnost, ale po splynutí s Pražskou železářskou společností byl její provoz v roce 1905 ukončen. VCHKO Křivoklátsko byly v rámci obou panství zasahujících do chráněné oblasti převažující kategorií stablně využívané plochy lesů. V panství Nižbor tvořily okolo 63 % území a v panství Křivoklát okolo 51 % území. V panství Křivoklát bylo změněno mezi obdobími 1840 a 2006 celkem 30,0 % území, v panství Nižbor 28,5 %. V prvním srovnávacím období 1840x1880 probíhaly změny především mezi ornou půdou a trvalými travními porosty (okolo 5 %), silné byly ale i změny z lesů do orné půdy (okolo 4 %). V panství Křivoklát bylo 1 % území změněno zorné půdy na les. V období mezi roky 1880 a 1950 více na významu získaly procesy zalesňování, jak na orné půdě, tak i na trvalých travních porostech. Mezi roky 1950 a 2006 sílily procesy zatravňování na orné půdě, zároveň však ještě dále pokračoval mírný trend zalesňování, který byl zaznamenán v obou panstvích.

#### 3.1.5 Moravský kras

Historie uhlířství v Moravském krasu sahá hluboko do minulosti a je úzce spojena s historií železářství. Již z Halštatského období existují nálezy dokazující výrobu železa na lokalitě a slovanská kolonizace ve středověku mohla souviset shledáním železných rud v okolí. První písemné zprávy o existenci hamrů pochází z 15. století a na začátku 16. století se zmiňuje i dřevěné uhlí, které se již tehdy pravděpodobně vyrábělo klasickým milířováním. Další rozvoj železářství a uhlířství začal v 17. století. Postavily se první dřevouhelné vysoké pece a byl založen Adamov, jedna z mála obcí v České republice, jejíž existence

přímo souvisí se železářstvím. V 18. století byly postaveny další dřevouhelné pece v údolí Křtinského potoka a vyrostla tam osada dělníků, dnešní Josefov. V 18. a 19. století spotřebovaly Adamovské železářny každý rok velké množství (asi 4000 sáhu) dřeva na dřevěné uhlí, které bylo páleno desítkami uhlířů v okolních lesních revírech, např. u Olomučan, Vranova nebo Habrůvek. Vysoká pec u Josefova byla v provozu do počátku sedmdesátých let 19. století, kdy železo vyráběno pomocí dřevěného uhlí přestalo být konkurenceschopným vůči ostatním metodám využívající minerálních paliv. Drasticky klesla výroba dřevěného uhlí a milířiště již nebyla znovu obnovena. Některá panství v Moravském krasu se vyznačovala v historickém kontextu vysokými podíly stabilně využívaných ploch lesa - panství Pozořice (69,5 %), panství Křtiny (65,6 %). Z hlediska procesů změn využití krajiny mezi obdobími 1840 a 1880 patřily mezi významné trendy zalesňování trvalých travních porostů, jejichž intenzita byla nejvyšší v panství Blansko a Rájec-Jestřebí. V období mezi roky 1880 a 1950 se více objevují mezi procesy změny zorné půdy do lesů. Poslední srovnávací období 1950 a 2006 zachycuje trendy růstu zastavěných ploch a zatravňování na orné půdě.

### 3.1.6 Uhlířství, milířiště a lesy

Písemné prameny obsahují také velké množství informací o druhovém složení páleného dřeva. Tato informace pochází především z účetních knih lesních a hutních úřadů. V některých případech jsou takové účty k dispozici již v 18. století, ale ve větším množství je známe až z 19. století. Jelikož byly účty vedeny v relativně standardizované podobě v rámci celého našeho území, nabízí se i možnost regionálního srovnání. Nicméně s tímto typem informací se velmi málo setkáváme v dosavadní literatuře, neboť ta se soustředila především na jednotlivé údaje o množství dřeva (např. Hlávka et al., 2010, 194-202).

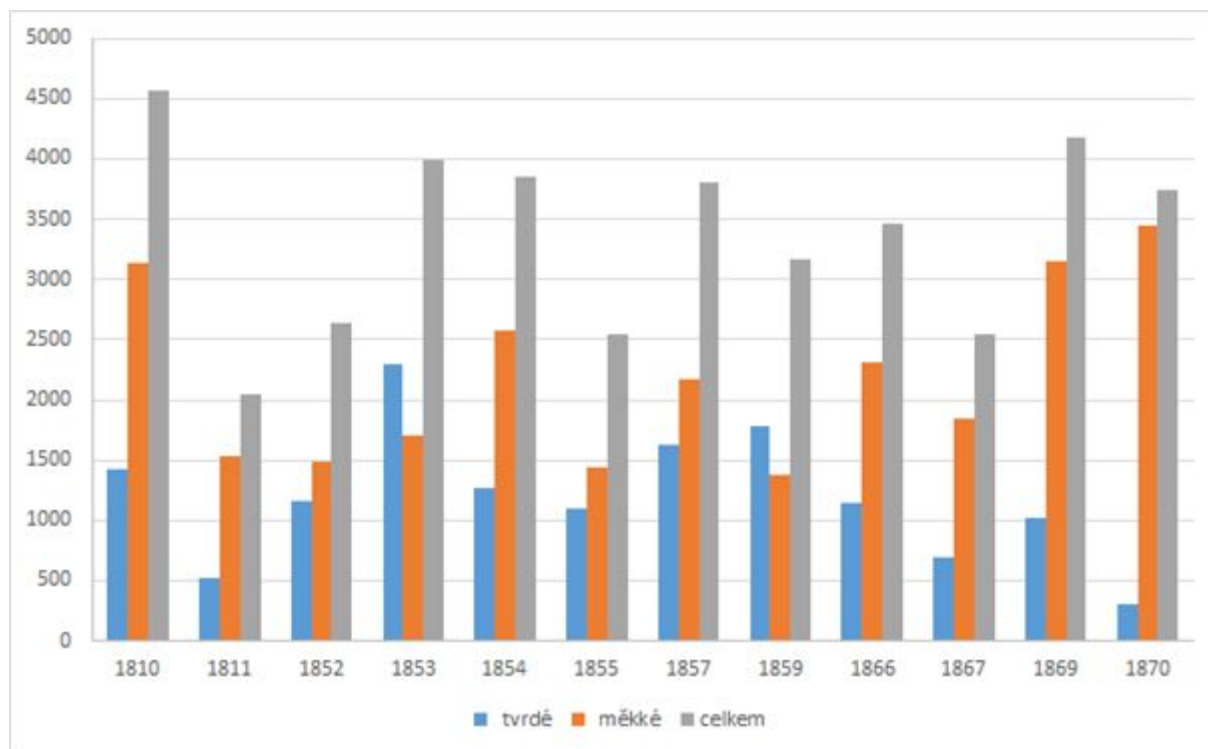
Jako příklad uvádíme výsledky našeho bádání k Adamovským železárnám v Moravském krasu.

Revier	Buchen	Eichen	Alnchen	Tannen	Alpen	Schweh	Stadelholz	Summe
Habrůvka								
1	1. 1/2	1. 1/2						
2	2. 1/2	2. 1/2						
3	3. 1/2	3. 1/2						
4	4. 1/2	4. 1/2						
5	5. 1/2	5. 1/2						
6	6. 1/2	6. 1/2						
7	7. 1/2	7. 1/2						
8	8. 1/2	8. 1/2						
9	9. 1/2	9. 1/2						
10	10. 1/2	10. 1/2						
11	11. 1/2	11. 1/2						
12	12. 1/2	12. 1/2						
13	13. 1/2	13. 1/2						
Summa	1. 1/2	1. 1/2						

Tento rejstřík podrobně zaznamenává, kolik sáhu jednotlivých dřevin bylo zuhelnatěno ve všech šesti polesích tohoto panství. Rozlišuje pět základních druhů dřevin: buk, olše/bříza, dub, jedle/smrk a osika/lípa. Dále uvádí - jen v rozlišení měkké vs. tvrdé dřevo - množství "tenkých větví" (Schwach Ast) a "pařezového dříví" (Stockholz). Již z toho je patrné, že v tomto období bylo použito na výrobu dřevěného uhlí nejen kvalitního dřeva, nýbrž také - a často převážně - vedlejších produktů lesního hospodaření. V případě konkrétně specifikovaných dřevin byly dále rozlišeny: štěpina, větve a zbytek. Hlavně u tvrdých dřevin měly často převahu poslední dvě kategorie. O zuhelnatění větví mluví také Pernštejnské instrukce z r. 1710 (Kreps 1970, 93).

Obrázek 4: Detail rejstříku páleného dřeva v polesí Habrůvka na panství Pozořice z r. 1852. Zdroj: MZA Brno, F 30, kniha 15034.

Obrázek 5 ukazuje množství zuhelnatělého dřeva na panství Pozořice mezi lety 1810 a 1870 v rozlišení tvrdé/měkké dřevo. Výroba uhlí značně kolísala pravděpodobně v souvislosti s aktuálním fungováním železáren. Téměř každý rok dominovaly měkké dřeviny (hlavně jedle), přičemž tvrdé dřeviny (hlavně buk, ale také dub a bříza) hrály menší roli.



Obrázek 5: Množství zuhelnatělého dřeva na panství Pozořice v sázích. Zdroje: MZA Brno, F 30, kniha 15034 - 15039, 15130 a F 82, karton 1100.

Podobné účty jsou k dispozici například na území Brd, Křivoklátska nebo Jeseníků. Převážnou část pak tvoří tabulky z 2. poloviny 19. století, ve kterých se například dozvídáme, kolik jakého dřeva se spotřebovalo na vypálení uhlí v daném měsíci a roce v rámci příslušného panství či daného revíru. Dřevo rozlišovali na měkké a tvrdé (zda se jedná o polena, větve, klacky apod.), případně zmiňovali i jednotlivé druhy (nejčastěji dub, buk, bříza, smrk, jedle, borovice), ze kterých následně pálili uhlí. Najdeme zde i zmínky, kolik se platilo za samotné dřevo, za odvedenou práci a celkový náklad, dále také o množství zuhelnatělého dříví, výnos z uhlí apod. (SOA Praha, VS Zbiroh, inv. č. 3079: Účty dřevěného uhlí - hlavní kniha z r. 1869-1870; ZA Opava, VS Bruntál, inv. č. 563, karton 117, sign. XI15: Výsledky výroby dřevěného uhlí z r. 1826-1853 nebo inv. č. 594, karton 129, sign. XV5: Rejstřík příjmů a vydání dřevěného uhlí a přehled zaplacených mezd dřevorubcům, uhlířům a povozníkům z r. 1785-1849; SOA Praha, VS Hořovice, inv. č. 418, karton 536, sign. VII 4: Uhlířství - provozní nařízení z 19. - 20. století).

Údaje o druhovém složení páleného dřeva lze srovnat s výsledky antrakologického výzkumu a také s celkovým druhovým složením lesa získaným ze soudobých lesních hospodářských plánů a map (např. v Moravském krasu: Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, karton 2-14). Z toho lze potenciálně usoudit, do jaké míry odráží antrakologické výsledky skutečné složení lesa, což může mít značné důsledky v interpretaci uhlíkového záznamu v periodách a místech kde nejsou k dispozici písemné prameny.

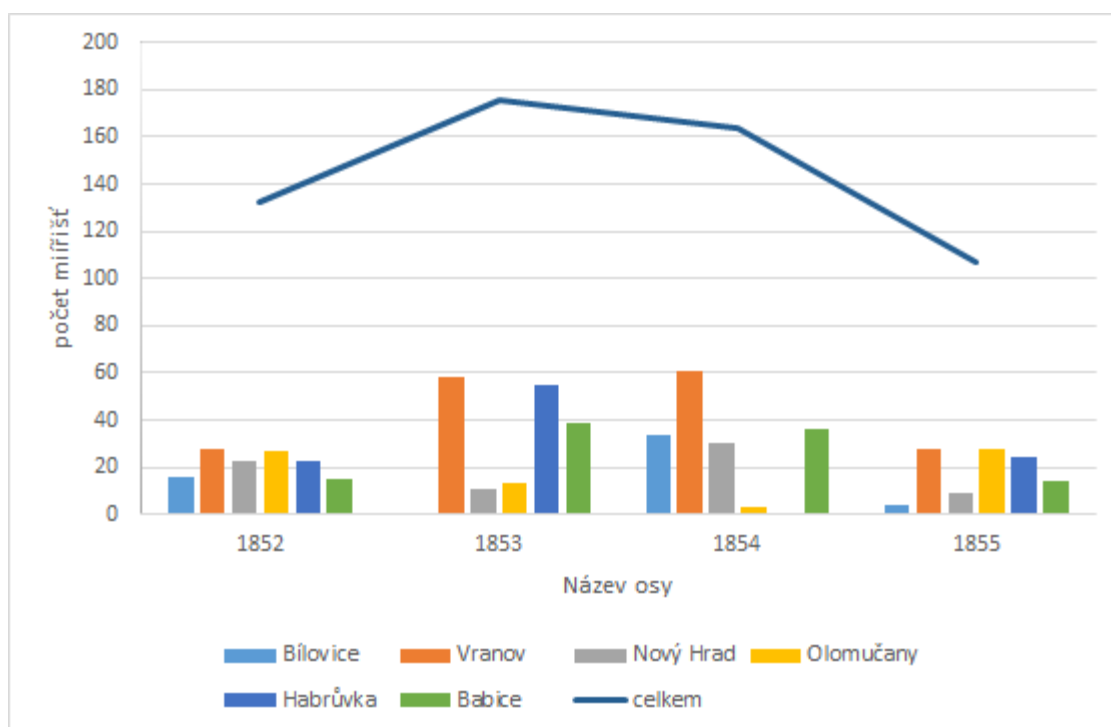


Písenné prameny se dokáží vyjádřit i k samotným milířístím. V existující literatuře lze dohledat například analýzu teoretických prací zabývajících se nejvhodnějším umístěním milíříst v lesích nebo analýzu prostorového rozložení milíříst v krajinném měřítku (Krebs et al., 2017; Schmidt et al., 2016). Písenné prameny obsahují informaci nejen teoretického typu, ale také až překvapivě detailní údaje o jednotlivých milířístích včetně jejich stavby a obnovy. Existuje dokonce i mapa znázorňující umístění milíříst kolem Kadova z r. 1850 (Lopaur, 2011, 164). Podrobný soupis míst pro milířování v oblasti kolem obce Ludvíkov (nedaleko Vrbna pod Pradědem v Jeseníkách) z r. 1861 zachoval jména 16 skupin milíříst včetně přesného popisu umístění 63 milíříst (ZA Opava, VS Bruntál, inv. č. 516, karton 101, sign. II 18: Stavební účty za zřizování milířů i s popisem jejich umístění z r. 1837-1848). Standardní lesní hospodářské plány také mohou obsahovat informaci o umístění milíříst. Například v hospodářském plánu olomučanského polesí u Adamova z r. 1888 lze spatřit krátkou poznámku vysvětlující, že v oddělení VI je holina, která je starým milířístem (alter Meilerplatz) o velikosti 0,08 ha (Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, karton 12). Patříčná mapa (Obrázek 6) ukazuje přesnou pozici opouštěného milířístě. V dnešní době v této lokalitě již žádné milířístě není patrné.



Obrázek 6: Detail lesní mapy polesí Olomučany na panství Pozoříce z r. 1887. Písmeno "d" uprostřed je staré milířístě. Zdroj: Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, mapa 2/3.

Rejstříky zuhelnatění dřeva také uvádí počet vypálených milířů v každém polesí. Protože specifikují potřebné množství dřeva pro jednotlivé milíře, lze odhadnout i průměrnou velikost milířů. Obrázek 7 ukazuje počet vypálených milířů v jednotlivých polesích panství Pozoříce v letech 1852-1855. Je patrné, že systém fungoval jako celek, přičemž počet milířů se v každém polesí mohl v meziročním srovnání značně lišit. Průměrný milíř byl v těchto letech postaven z 20 sáhů dřeva a průměrná hustota byla jeden vypálený milíř na asi 75 hektarů lesa.



Obrázek 7: Počet vypálených milířů v každém polesí na panství Pozořice v letech 1852-1855. Zdroje: MZA Brno, F 30, kniha 15034-15037.

Milířišť v lesích bylo samozřejmě mnohem více než počet aktuálně vypálených. Písemné prameny ve výjimečných případech udávají konkrétní údaje o obnově a stavbě milířišť. Detailní výkazy o zaplacení uhlířů - na základě čehož byly sestaveny rejstříky, které byly běžně skartovány - byly částečně zachovány pro panství Pozořice v letech 1870-1873. V tomto období máme údaje o stavbě 27 a obnově 26 milířišť. Stavba zcela nového milířiště stála dvakrát tolik jako obnova starého milířiště. Právě tyto reparace jsme byli schopni zachytit i při destruktivní sondáži.

## 3.2 Archeologie

### 3.2.1 Dokumentace milířišť, technické řešení

Český les, k.ú. Broumov u Zadního Chodova (okr. Tachov)

Výzkum v Českém lese proběhl po předchozí prospekci v týdnu od 24.-29.6.2019. Přímo na místě došlo k terénní prospekci vybraného polygonu, a po následné diskuzi a výběru vhodných milířišť, započala sondáž. Celkem byly zkoumány tři milíře. Jeden se nacházel v rovinatém terénu při Hamrském potoce, dva pak ve svazích.

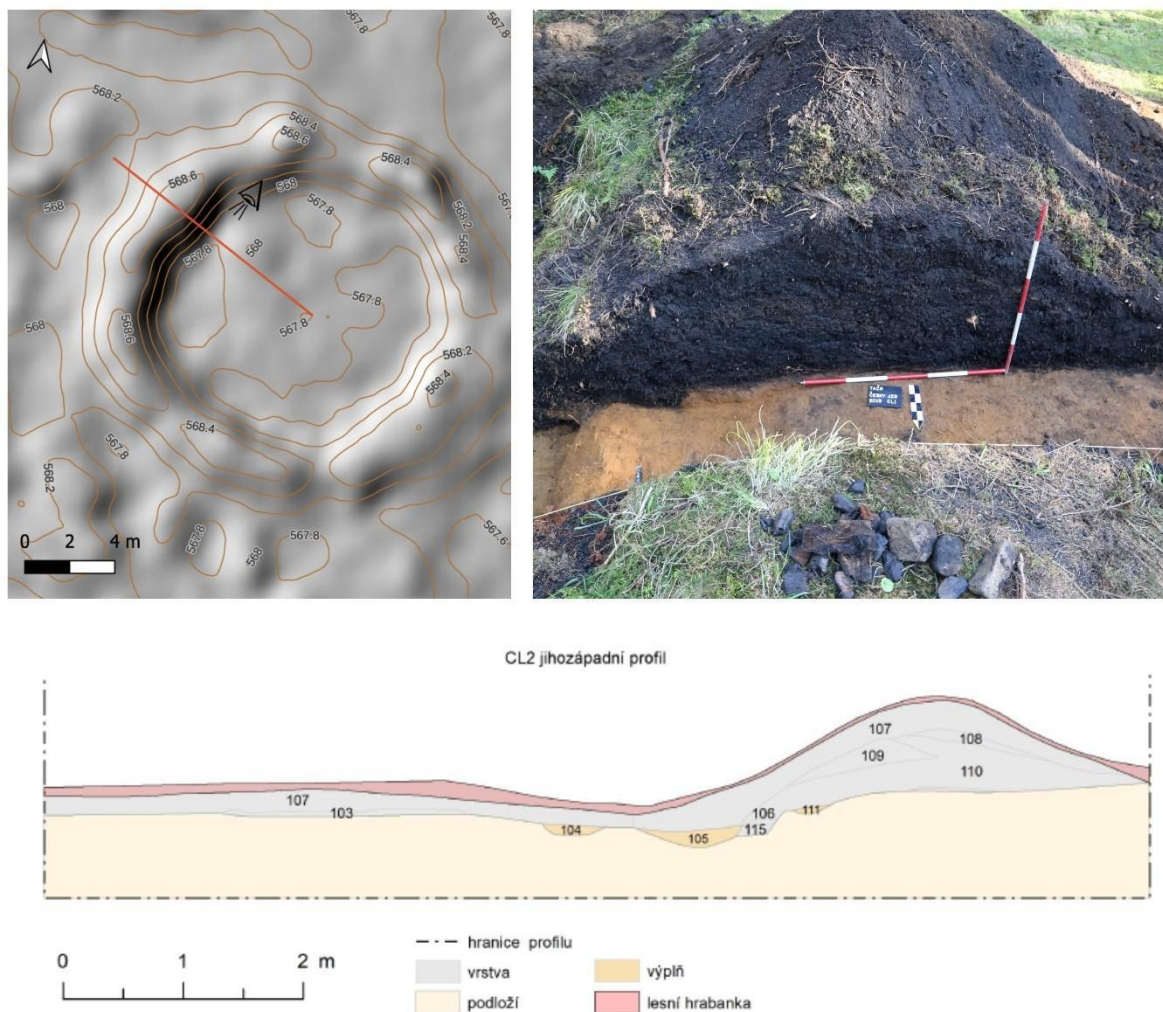
ČL2 – S-JTSK -877546.25,-1045026.13; rozměry 16 x 19 m

Umístění: Rovina; Konstrukce: Ano; Fáze: Ano 2x

Milířiště se nachází v rovinatém terénu u inundace Hamrského potoka. Středová plocha byla bez známek stratifikace. Pouze při styku s podložím se nacházela tvrdá křusta vzniklá patrně při pyrolýze. Při okraji plošiny byly zachyceny dva žlábků v superpozici, které souvisí s milířem. Okolo plošiny se nachází asi 1 m vysoký odval mouru a uhelných zbytků. I v rámci něho byly identifikovány dvě fáze. Na



základě datace  $^{14}\text{C}$  mohla starší fáze vzniknout ve dvou intervalech: 1650-1670 a 1780-1800. Mladší fáze pak ve třech intervalech: 1670-1680; 1730-1780 a 1800-1810. Obě fáze patrně na sebe časově navazovaly a k výpalům asi došlo v druhé polovině 18. století.

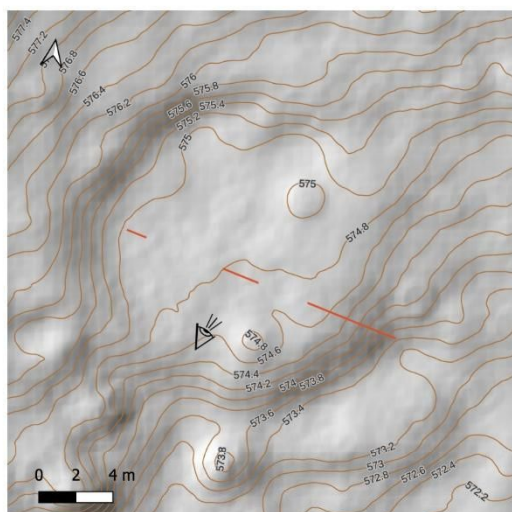


Obrázek 8: Dokumentace milířiště ČL2 – S-JTSK -877546.25,-1045026.13 .

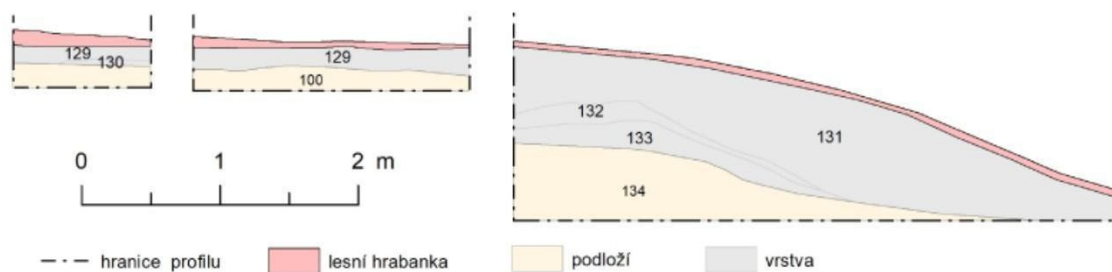
ČL11 – S-JTSK -877080.04,-1044579.86; rozměry 18 x 18 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x

Milířiště se nachází na jižním svahu, kdy na severní straně je do něho zapařené a na jižní se nachází odval. Středová plocha byla bez známek stratifikace. Pouze při styku s podloží se nacházela tvrdá křusta vzniklá patrně při pyrolýze. Na odvalu po svahu dolů byly patrné dvě fáze, přičemž jednou došlo k reparaci plošiny. Datace ze vzorků  $^{14}\text{C}$  nabízejí pro starší fázi intervaly 1690-1730 a 1810-1890. Pro mladší pak 1660-1680, 1730-1780 a 1800-1810. K prvnímu výpalu patrně došlo v prvním intervalu, tedy 1690-1730 a to spíše k jeho konci a výpal tak navazuje na písemné prameny z oblasti. K obnově milíře došlo pak snad někdy v druhé polovině 18. století nebo na přelomu 18. a 19. století.



CL11 severní profil



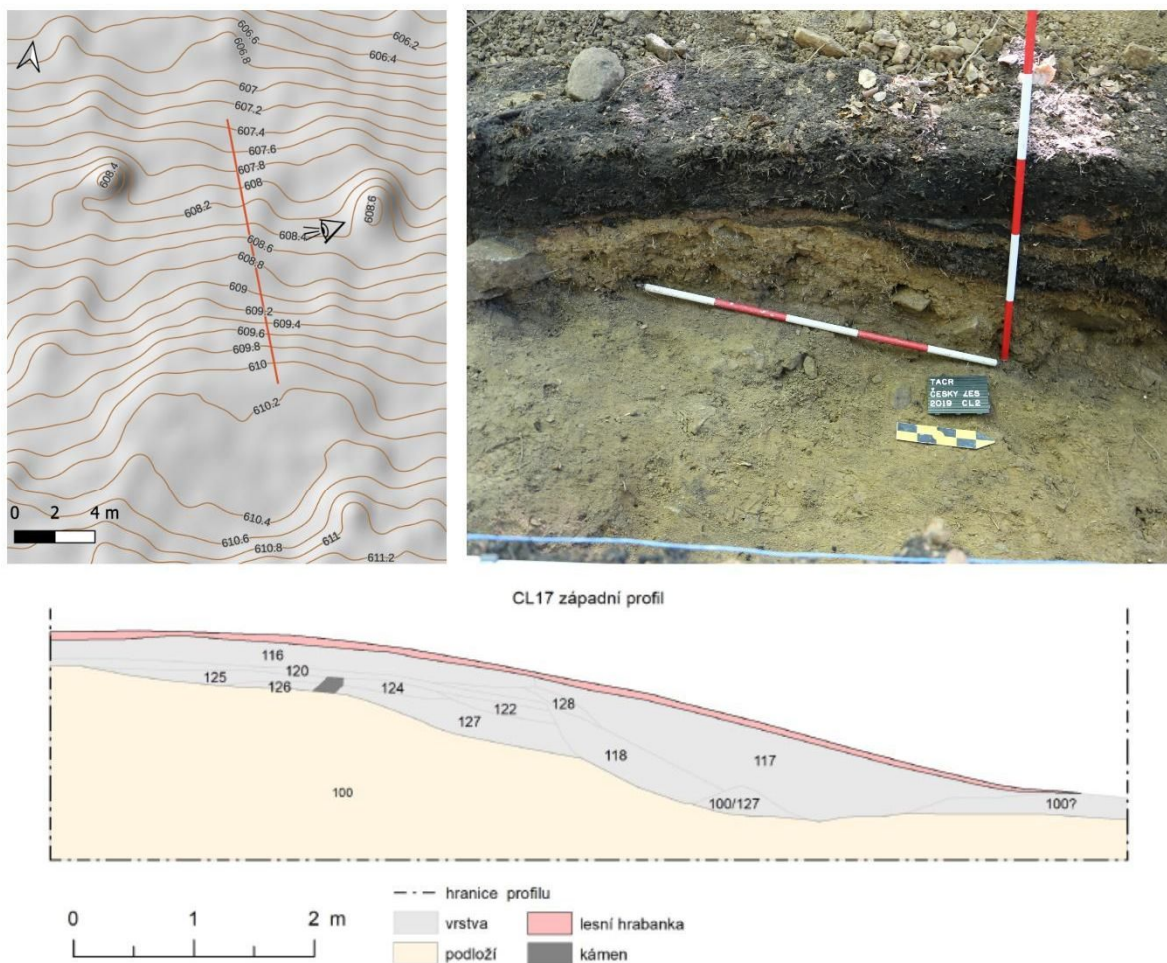
Obrázek 9: ČL11 – S-JTSK -877080.04,-1044579.86.

ČL17 – S-JTSK -877347.39,-1045353.12; rozměry 13 x 13 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 3x

Milířiště se nachází na severním svahu, kdy na jihu je do terénu zapuštěno a na severní straně se nachází odval. Středová plocha bez rozlišitelné stratifikace. Při severní hraně plošiny byly na odvalu identifikovatelné tři fáze milířiště, kdy dvakrát došlo k reparaci plošiny. Datace pomocí  $^{14}\text{C}$  nabízí neinterpretovatelné intervaly. Pro nejstarší fázi intervaly 1680-1690, 1730-1760, 1800-1820, 1830-1870. Pro prostřední fázi intervaly 1710-1720, 1810-1820, 1890-1910. A pro nejmladší intervaly 1650-1670 a 1780-1790. Z nestratifikované části plošiny navíc pochází dendrochronologicky datované neuzavřené nedopálené dřevo smýcené někdy po roce 1836. Snad byla plošina poprvé využita někdy v druhé polovině 18. století. Naposled patrně někdy okolo poloviny 19. století.





Obrázek 10: ČL17 – S-JTSK -877347.39,-1045353.12.

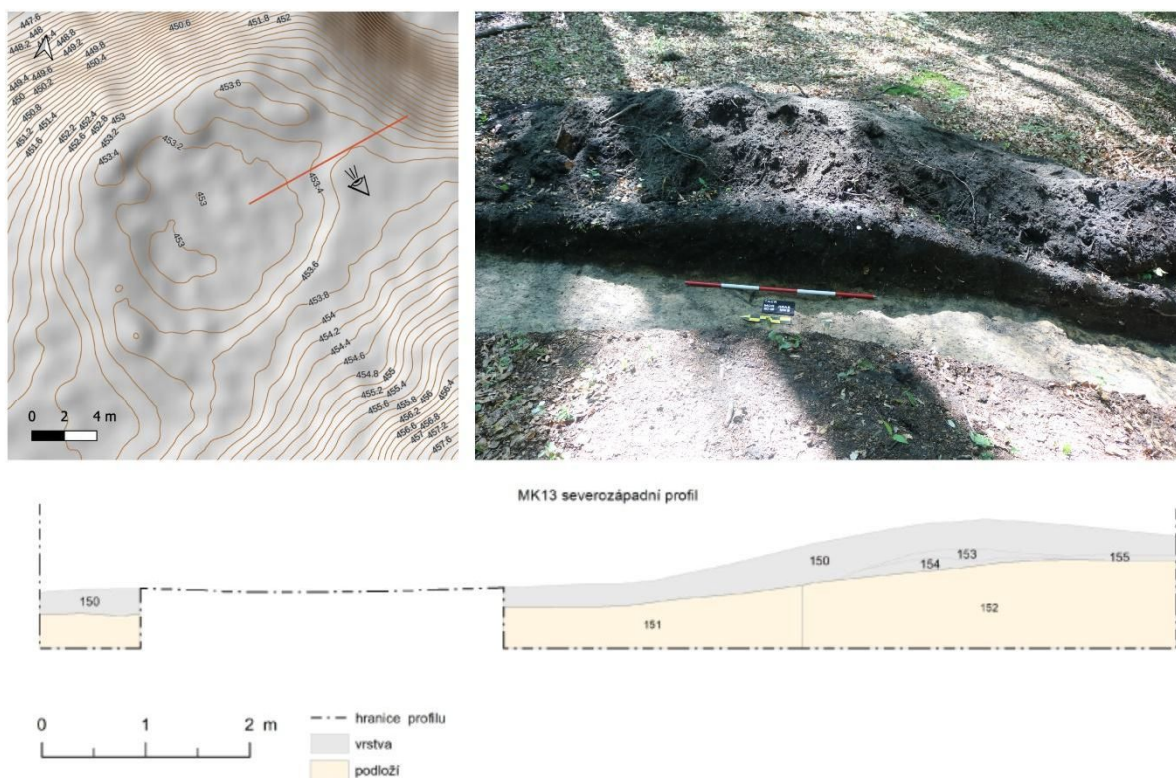
Moravský kras, k. ú. Olomučany (okr. Blansko)

Obdobně práce probíhaly i v Moravském krasu. Zde byl podrobněji zkoumán polygon mezi Adamovem a Olomučany. I zde byly zkoumány tři milířiště. Samotný terénní odkryv probíhal v týdnu od 1. do 5. července.

MK13 S-JTSK -592298.97,-1147304.61, Rozměry 14 x 17 m

Umístění: Rovina; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x

Plošina se nachází v relativní rovině v pramenné pánvi bezejmenného potoka v blízkosti studánky u Kukačky. Milířiště není do terénu zahloubeno, pouze na severní straně se nachází mírný odval mouru. Vnitřní plocha je bez známek stratifikace, jen na rozhraní plošiny a odvalu je patrná reparace. Plošina tedy měla dvě fáze. Ta starší je na základě vzorků <sup>14</sup>C datovatelná do intervalů let 1670-1690, 1730-1770 a okolo roku 1800. Mladší pak do let 1680-1730 a 1810-1880. Milíř tedy patrně vznikl buď v letech 1670-1690 nebo 1730-1770. K jeho reparaci pak došlo v intervalu 1810-1880.

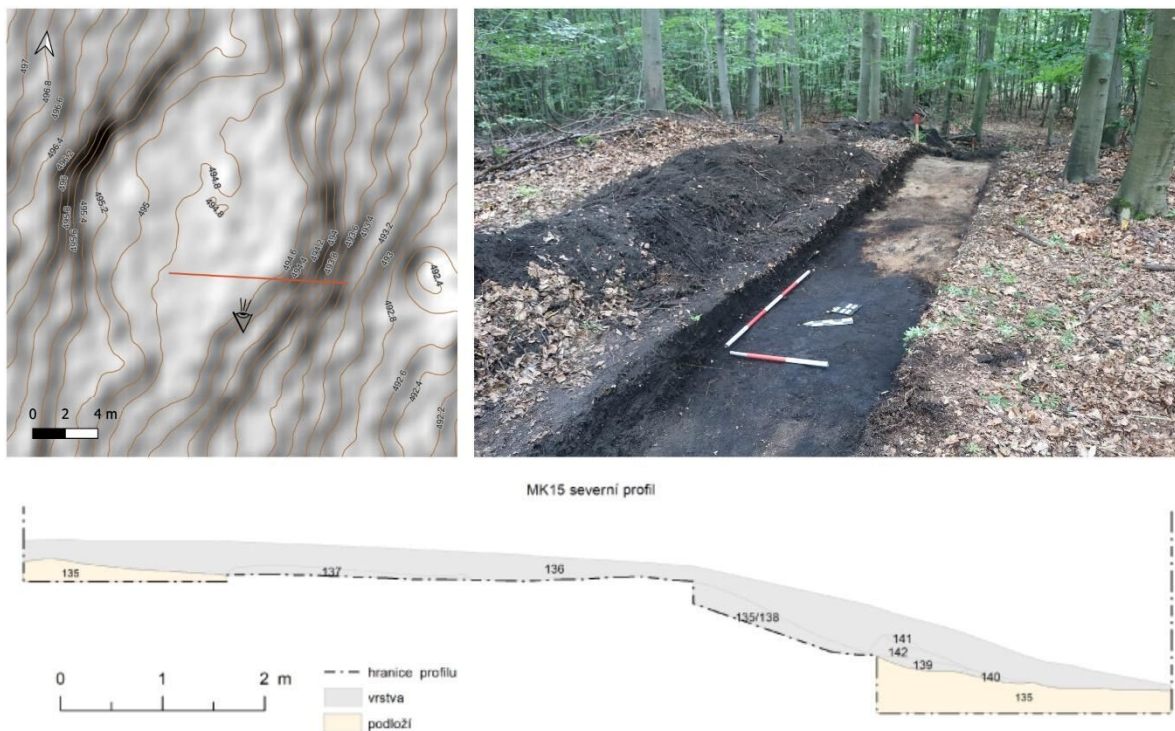


Obrázek 11: MK13 S-JTSK -592298.97,-1147304.61.

MK15 S-JTSK -592831.44,-1147961.20; Rozměry 13,5 x 16 m

Umístění: Velice mírný svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ne

Plošina se nachází ve velice mírném východním svahu. Při západním konci je plošina mírně zaříznuta do svahu. Na východní straně se nachází skoro neznatelný odval. Středová plocha byla bez známek stratifikace. Pouze při styku s podložím se místy nacházela tvrdá krusta vzniklá patrně při pyrolýze. Milířiště mělo jednu rozpoznatelnou fázi. Pod odvalem se podařilo zachytit kumulaci mazanice a uhlíku, kterou doplňoval nález dyzny. Tato kumulace je starší než milíř a patrně souvisí s v bezprostřední blízkosti se nacházející v minulosti zkoumanou raně středověkou hutnickou dílnou (*Souchopová – Stránský 2008, 140*). Datace vzorků  $^{14}\text{C}$  kladou uhlíkové aktivity do let 1640-1660. Samotný vzorek z milířiště lze datovat do intervalů 1670-1690, 1740-1770 a okolo roku 1800. Plošina pak mohla být využívána v intervalu 1740-1770.



Obrázek 12: MK15 S-JTSK -592831.44,-1147961.20.

MK21 S-JTSK -592645.68,-1147890.74; Rozměry: 13,6 x 17,8 m

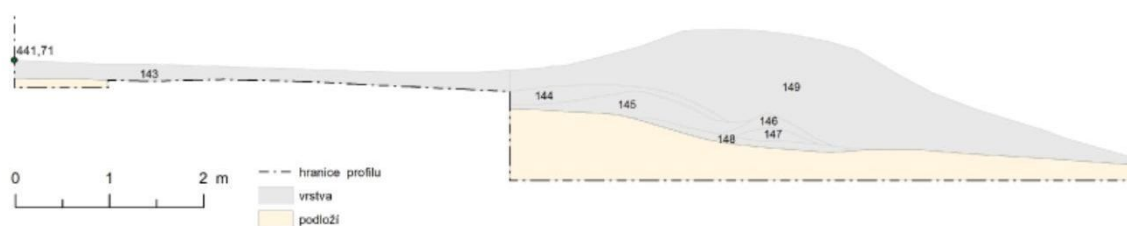
Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x

Plošina se nachází v jižním svahu, přičemž na severní straně je do něho částečně zahloubena. Na jižní straně se nachází výrazný až 1,2 m vysoký odval. Středová plocha byla stratifikovaná. Pod vrstvou mouro se nacházela záměrně deponovaná vrstva nakopané svahoviny – reparační. Pod ní se nacházela starší fáze milířiště. Odval byl již stratifikován jen částečně. Datace vzorků  $^{14}\text{C}$  spadá pro starší fázi do let 1670-1680, 1740-1780 a okolo roku 1800. Pro mladší fázi pak do let 1690-1720 a 1810-1890. V nestratifikované části odvalu pak bylo nalezeno nedopálené uhlí, které bylo na základě dendrochronologické datace smýceno v roce 1681. Plošina tedy mohla být využívána nejspíš v letech 1670-80 a znovu opravena asi 1690-1720.





MK21 severovýchodní profil



Obrázek 13: MK21 S-JTSK -592645.68,-1147890.74.

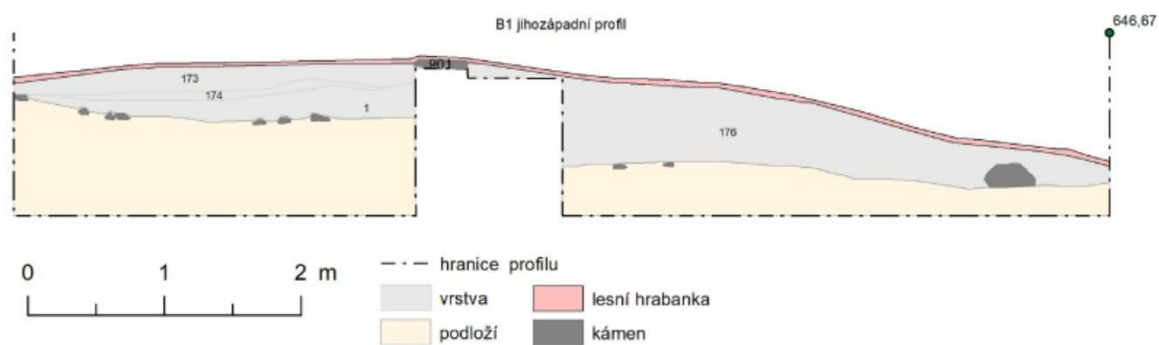
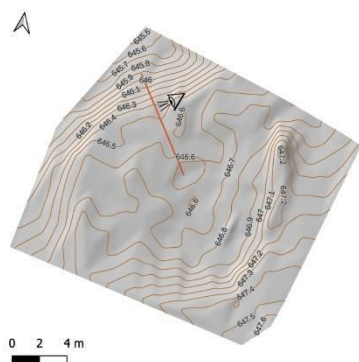
Brdy, k. ú. Zaječov v Brdech (okr. Beroun)

Terénní kampaň v Brdech trvala od 29. 6. – 3. 7. 2021 opět předcházela již dřívější prospekce v terénu. Sondáž byla realizována na milířistích ležících severně od kóty Dlouhý vrch okolo pomístního názvu Obora. Celkem byly opět zkoumány tři milířistě.

B1 S-JTSK -789716.83,-1076011.20, Rozměry 12 x 15 m

Umístění: Mírný svah; Konstrukce: Ano; Fáze: Ano 2x

Plošina leží na velice mírném severozápadním svahu. Samotná plošina byla oproti svahu vyrovnána vrstvou kamenů a hlíny, čímž se odlišovala od ostatních zkoumaných plošin. Samotná vrstva vzniklá provozem ve střední části plošiny nebyla stratifikovaná. Pouze na okraji plošiny po svahu dolů, byl zachycen náznak reparační plošiny. Milířistě tedy patrně mělo minimálně dvě fáze. Po zániku plošiny byla na jejím místě zbudovaná obdélná budova na kamenné podezdívce. Patrně se jednalo o stavbu využívanou v rámci lesního hospodářství. Vzorek  $^{14}\text{C}$  bohužel nepřinesl žádné relevantní informace, jelikož intervaly se pohybovaly mezi léty 1670-1775, 1790-1890 a dokonce i v první polovině 20. století.

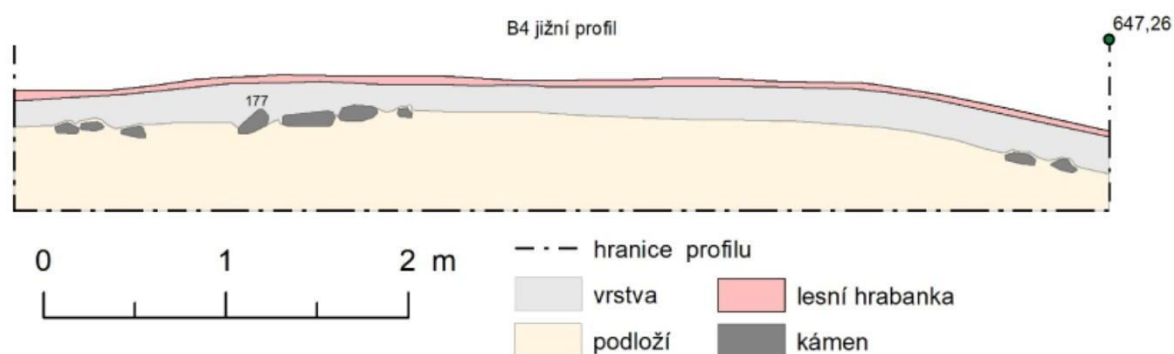
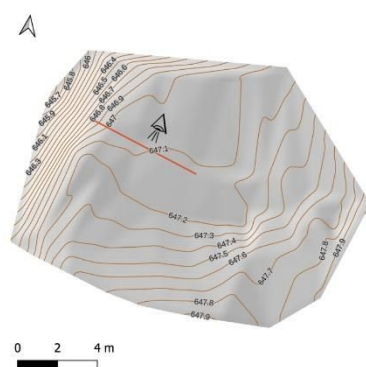


Obrázek 14: B1 S-JTSK -789716.83,-1076011.20.

B4 S-JTSK -789844.71,-1076245.03; Rozměry 9 x 12 m

Umístění: Rovina; Konstrukce: Ano; Fáze: Ne

Milířiště se nachází na relativní rovině bezprostředně v blízkosti Jalového potoka. Střed plošiny nebyl stratifikovaný, ale podařilo se zachytit stopy po vyrovnání plošiny kameny po mírném svahu směrem na západ. Rozlišit se podařilo pouze jednu fázi milířiště.



Obrázek 15: B4 S-JTSK -789844.71,-1076245.03.

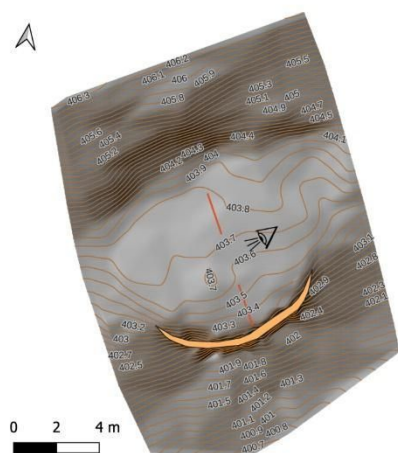
B10 S-JTSK -789552.90,-1075792.56; Rozměry 9 x 12 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ano; Fáze: Ano 2x

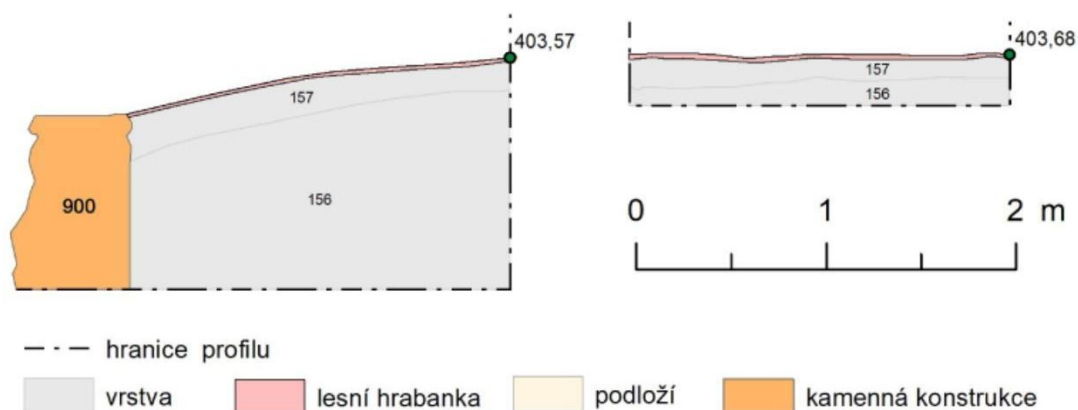
Plošina se nachází na mírném severním svahu, přičemž je do něho pouze minimálně zahloubena. Na severním okraji milířiště směrem po svahu je patrná jedna reparace, vnitřní část plošiny nejevila známky stratifikace. Oproti ostatním dvěma zkoumaným plošinám z oblasti nebyla zachycena vyrovnávka z kamenů. Vzorek  $^{14}\text{C}$  poskytl dva poměrně široké intervaly z let 1680-1735 a 1800-1920.







KR7 západní profil

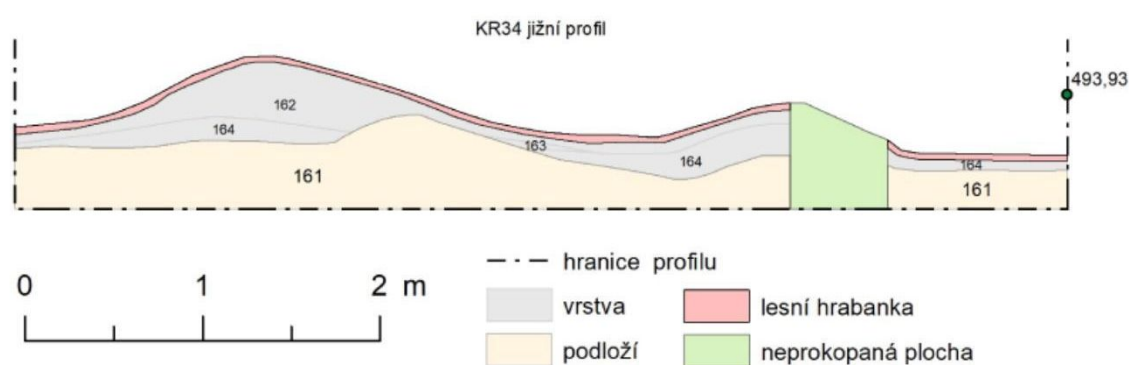


Obrázek 17: KR7 S-JTSK -85810.01, -49882.85.

KR32 S-JTSK -86423.14, -49816.71; Rozměry 10 x 11 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x

Plošina se nachází na jižním svahu. Na jižní straně je slabě patrný rozplavený odval. Sondáž se zaměřila právě na přechod plošiny do odvalu. Byla zde zachycena jedna oprava milířiště, která byla provedena přemístěným podloží. Datace pomocí vzorků  $^{14}\text{C}$  nepřinesla bližší informace. Vzorek vykázal celou řadu intervalů od 1670 do první poloviny 20. století.



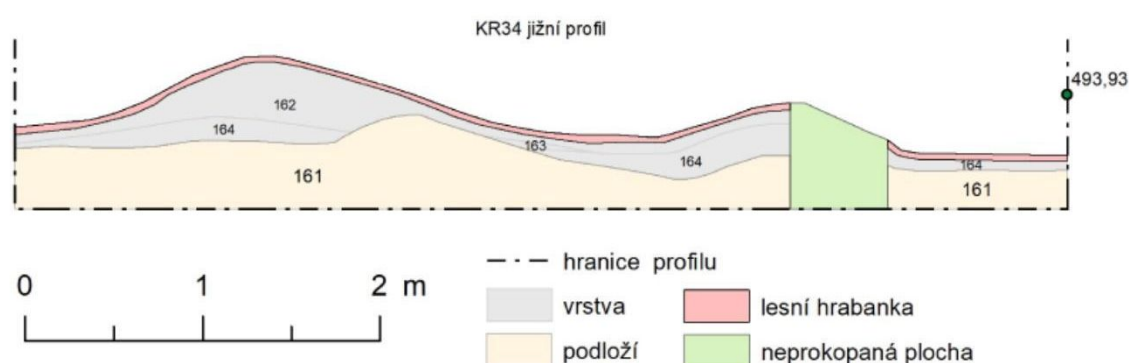
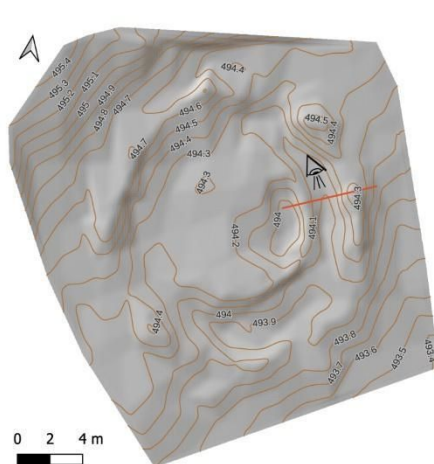
Obrázek 18: KR32 S-JTSK -86423.14, -49816.71.

KR34 S-JTSK -86469.89, -49205.60; Rozměry 13 x 14 m

Umístění: Rovina; Konstrukce: Ano; Fáze: Ne

Objekt se nachází v rovinatém terénu. Pravděpodobně se jedná o superpozici dvou miliříšť, respektive snad jde o dvě fáze jedné plošiny. V terénu je patrný dvěma koncentrickými odvaly a středovou plošinou. Snad ve starší fázi bylo miliříště o přibližně 3 m větší a později došlo k jeho zmenšení a s tím vznikl i nový odval. K starší fázi patrně patří i drobný žlábek, který byl zachycen před odvalem. Vnitřní fáze pak žádný žlábek neměla. Datace pomocí vzorků  $^{14}\text{C}$  nepřinesla bližší informace. Vzorek vykázal celou řadu intervalů od 1680 až po prvou půlku 20. století.





Obrázek 19: KR34 S-JTSK -86469.89, -49205.60.

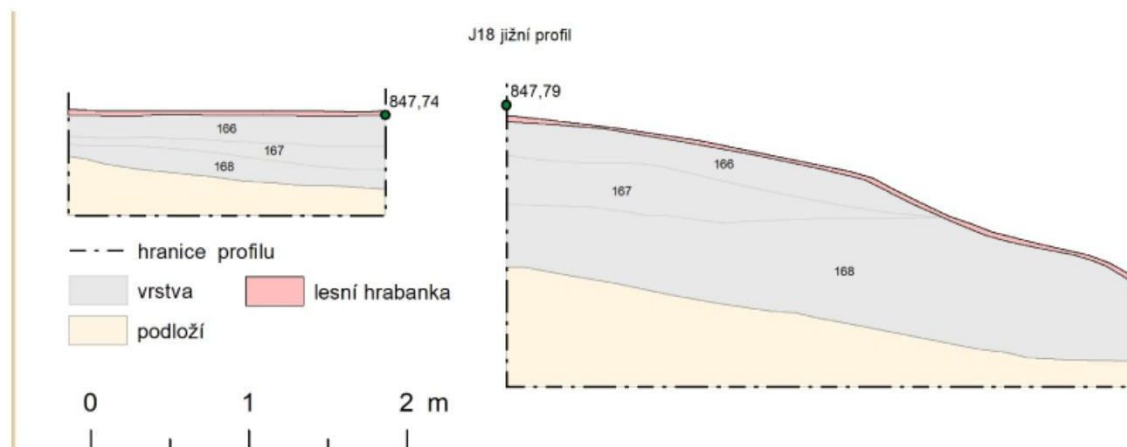
Jeseníky, k. ú. Podlesí pod Pradědem (okr. Bruntál)

Mezi 22. 6. – 26. 6. proběhl sondážní výzkum na milířištích v Jeseníkách. Zkoumána byla dvě milířiště v prostoru jižně od kóty Hvězda. I zde proběhla před samotnou sondáží prospekce, která částečně navazovala na zdejší výzkumy NPÚ ÚOP Ostrava. Milíře se zde nacházejí na mírném, k jihu orientovaném svahu v povodí bezejmenného levobřežního přítoku Bělokamenného potoka.

J18 S-JTSK -37661.84, -70294.99; Rozměry 17 x 16 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x

Milířiště se nachází na mírném západním svahu. Jedná se o střední plošinu v rámci třech na sebe částečně navazujících plošin. Na západní straně, po svahu dolů se nachází patrný odval. Plošina prošla minimálně jednou reparací. Ta byla zachycena v podobě vrstvy nakopaného podloží jak na hraně samotné plošiny a odvalu, tak poněkud netypicky i ve středu milířiště. Při opravě plošiny došlo tedy k jejímu kompletnímu převrstvení novou vrstvou zeminy. Datace starší fáze požívání milířiště podle vzorku  $^{14}\text{C}$  náleží patrně někde okolo roku 1670, kdy se střetávají dva z milířiště odebrané vzorky.

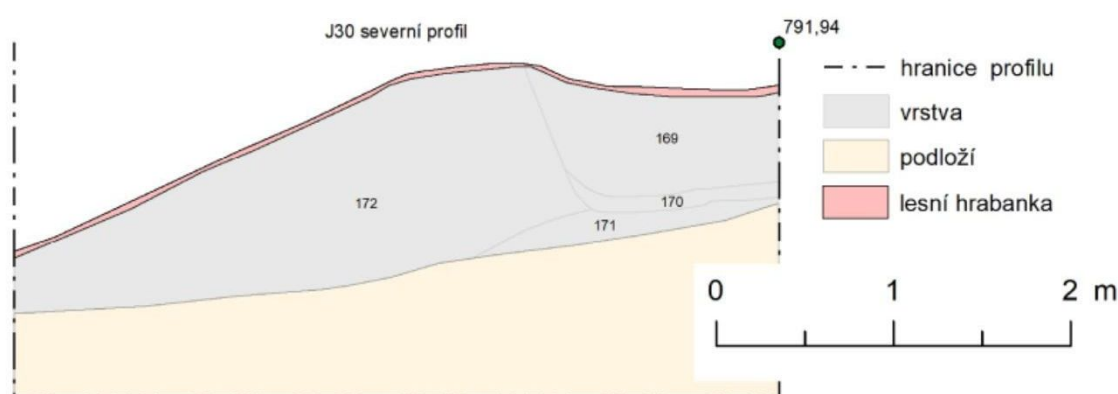


Obrázek 20: J18 S-JTSK -37661.84, -70294.99.

J30 S-JTSK -38004.92, -70609.61; Rozměry 14 x 16 m

Umístění: Svah; Konstrukce: Ne; Fáze: Ano 2x;

Plošina se nachází na mírném západním svahu. Západním směrem se nachází dobře patrný odval, který byl sondován. V sondě se podařilo zachytit jednu opravu plošiny. Původní starší fáze milířiště bylo nepatrně větší západním směrem. Při jeho opravě došlo k částečnému zahloubení nové fáze do staršího odvalu. Větší část odvalu plošiny tedy náleží starší fázi, kdy nové bylo přibližně o 1 m menší. Reparace byla opět provedena přemístěným podložím. Přímo na plošině byla zachycena jen nestratifikovaná uhlíkatá vrstva. Datace vrstvy s.j. 171, tedy starší fáze pod reparací spadá do na základě datování vzorku  $^{14}\text{C}$  do let 1635-1670.



Obrázek 21: J30 S-JTSK -38004.92, -70609.61.

Archeologizované relikty vlastních výrobních objektů - milířů - jsou konstrukčně poměrně jednoduché útvary, které označujeme jako milířiště nebo uhlířské plošiny či placy. V obecném popisu můžeme konstatovat, že většina ve svahu konstruovaných plošin je proti svahu do něho zapuštěna a po svahu dolů je naopak o výkopek rozšířena. Takto vzniklá plošina je pak často po svahu dolů doplněná o odval převážně uhlíkaté vrstvy mouru a odpadu z výroby. Milířiště zbudována v rovinatém terénu jsou pak jen srovnané plošiny, které jsou až během používání doplněné prstencem odvalu. I přesto tuto základní jednoduchost jsme se v některých případech setkali s jistými stopami konstrukčních detailů. Například v Brdech jsme ve dvou případech (B1 a B4) setkali s vyrovnávkami plošiny po svahu dolů pomocí kamenů. Ty netvořily nějaký prstenec, či podobnou strukturu, ale šlo spíše o zpevnění redeponované zeminy v namáhaném místě svahu, kde plošina po svém dokončení mohla proklesávat vlivem sesedání nově navršené zeminy. Dalším sledovaným detailem byla přítomnost žlábků, který se nacházel na okraji plošiny, vždy ještě před samotným odvalem. Takovýto žlábek se podařilo doložit, či nejspíše v náznaku zachytit v celkem čtyřech případech, v jednom případě byly žlábků dokonce dva, přičemž ale asi každý patřil jiné fázi předmětného milířiště. V souvislosti se žlábků lze uvažovat například o jejich odvodňovací funkci, kdy mohly odvádět vodu při náhlých deštích během výpalu. Stejně tak mohly ale i sloužit k oddělení vrstvy mouru a nedopalků od vnější paty milíře, aby ten neprohořival mimo svůj vymezený odvod. Samotný účel těchto mělkých a drobných kanálků mohl být ovšem i jiný. Důležitým konstrukčním prvkem zachyceným v rámci výzkumu jednotlivých milířišť pak byly jejich opravy – reparace. Ty jsme většinou zachytili při vnější hraně plošiny po svahu dolů, kde měly největší šanci se zachovat. Reparace se vždy projevovaly stejně. Šlo vrstvu většinou sterilního přemístěného podloží. Mocnost vrstvy se pohybovala od několika centimetrů až přes 20 cm. Materiál k reparaci byl patrně získán opětovným výkopem do svahu. Ze čtrnácti sondovaných milířišť jich mělo rozpoznatelnou



reparaci celkem devět. Což je poměrně vysoké číslo. Tento fakt nám dokládá opětovné využívání milířišť, přičemž jejich opravy máme doloženy i v písemných pramenech. Pouze jedinkrát jsme se setkali v rámci námi konkrétněji zkoumaných polygonů se složitější konstrukcí samotné plošiny. A to na Křivoklátsku. Zde jsme našli celkem dvě milířišť, které se nacházela ve svahu a jejich po svahu dolů nacházející se hrana byla opatřena na sucho kladenou kamennou tarasní zdí. Jedno takovéto milířišť (K7) jsme i sondovali. Opět se jednalo o stejný princip, jako v ostatních případech. Do svahu zapuštěná část poskytla materiál pro rozšíření plošiny směrem po svahu dolů. Rozdíl byl jen ve využití asi 1 m vysoké tarasní zdi. Zda se v tomto případě jedná o nějakou regionální zvláštnost, či takto upravená plošina náleží jinému období, než zbytek zde dokumentovaných plošin nedokážeme dovodit. Nicméně musíme počítat, že i takto upravené plošiny se mohou vyskytovat, i když se patrně nejednalo o masové řešení.

Námi zkoumaná milířišť, která většinou ve skutečnosti mají spíše tvar oválu, než přesného kruhu, se pohybovala v průměru od 13 do 18 m, přičemž v rámci identifikovaných plošin se vyskytovaly četné výjimky menšího, či většího rozměru. Problém při samotném vyhodnocení velikosti plošin souvisí s několika fakty. Předně nevíme, jak mohly být milíře vysoké. Obecně to sice lze i na základě etnografických a experimentálních paralel odhadnout. Ovšem údaj o velikosti plošiny spíše uvádí, jak objemný milíř mohl být na milířišti pálen. Přičemž skutečná kubatura závisela právě na výšce milíře. Nastat mohla často i varianta, že milíř nemusel zdaleka využít celou plochu plošiny. Zvláště se tak mohlo stát u opakovaně využívaných milířišť, které nebyly budovány za účelem jen jednoho nebo příležitostně provedeného výpalu. V obecných rysech ovšem musíme předpokládat, že volba rozměru plošiny závisela od plánovaného množství páleného dřeva a od tradice jednotlivých uhlířů.

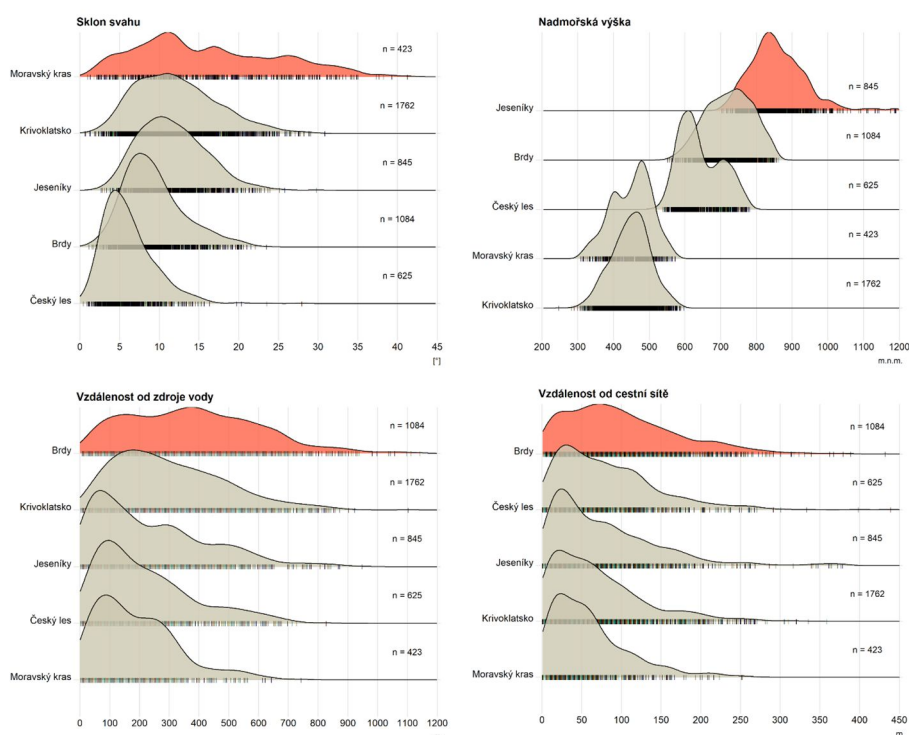
Pokud přistoupíme k milířišti jako k archeologickému prameni, je nutno brát v potaz hlavně depoziční a postdepoziční procesy, ke kterým na něm docházelo a dochází. Samotný milíř po sobě nezanechává v podstatě žádné stopy. Již z podstaty technologie je po výpalu celý rozebrán a zbylý materiál je redeponován. Odpad z výroby je umístěn většinou do odvalu. A vrstva mouru, tedy směsi hlíny uhlíku je posléze znova využita na plášť dalšího připravovaného milíře. Na většině milířišť patrně docházelo k opakovaným výpalům, které stále narušovaly a naopak ukládaly jednotlivé stratigrafické jednotky. Tato skutečnost a také stále redepozice v podstatě stejného materiálu značně znesnadňuje stratigrafické pozorování. Obecně jako nejméně přínosný se jeví výzkum střední části plošiny. Zde dokumentována uhlíkatá vrstva o různé mocnosti nevykazovala většinou žádnou rozpoznatelnou stratifikaci. A pokud ano, nebyli jsme ji schopni sledovat na větším prostoru. Střední část plošiny byla tedy často narušována, a pokud se vrstva na ni ukládala delší dobu, nejsme to schopni rozpoznat. Podobně jsme na tom u uloženin na odvalu. I zde sice občas můžeme sledovat náznaky odlišnosti a tedy i existenci jednotlivých uloženin.

Co se týče samotného umístění jednotlivých milířišť v krajině je již obecně známým faktem, že nejčastěji je nacházíme na svazích. To ovšem nemusí souviset s nějakým záměrem tehdejších uhlířů, ale s faktem, že vzhledem ke své konstrukci se nejviditelněji právě ve svazích projevují a zachovávají. Přesto jsme byli schopni identifikovat i celou řadu plošin, které se nacházely v rovině. Ať již se jednalo o milířišť s dochovaným kruhovým odvalem, či pouze jen nápadně srovnané plošiny bez odvalu. Nelze ovšem vyloučit, že výběr terénu mohl hrát na některých územích a v některých časových úsecích roli. Pouze se můžeme domýšlet, že například hůře dostupné dřevo ze svahů mohlo být určeno k milířování, zatímco lépe transportovatelné dřevo z rovinatých partií lesa mohlo sloužit k jinému zpracování. Pokud opravdu takové preference existovaly, byli jistě časově i regionálně odlišné a v obecném pohledu je nelze generalizovat. Stejně tak neumíme odpovědět na otázku shlukování jednotlivých milířišť. V četných případech jsme našli jednotlivé plošiny i v těsné blízkosti u sebe. Nicméně nedokážeme určit,

zda byla časově současná. Jistým rozdílem byla zkoumaná plocha v Jeseníkách, kde se nápadně projevovala koncentrace plošin po dvou či po třech blízko u sebe.

V rámci umístění jsme se také snažili výběrově sledovat jejich vazbu na lesní komunikace. Tato analýza je ovšem zatížena značným hendikepem, kdy pouze pro malou část zkoumaných území, jsme dokázali disponovat relevantní, alespoň částečně s milířišti současnou podrobnou mapou, či jiným kartografickým pramenem, který by nám doložil tehdy existující cestní síť. Poměrně dobře čitelná situace v Moravském krasu nám sice dokumentuje velký počet plošin budovaných poblíž, či bezprostředně při lesních cestách. Ovšem nezanedbatelný počet se nacházel i mimo ně. Je otázkou zda v tomto případě nehrála důležitost při umísťování milířišť spíše vzdálenost k milířování určeného dřeva, které bylo nepoměrně na transport těžší, než odvoz relativně lehkého a snadno transportovatelného hotového uhlí. Z písemných pramenů víme také o důležitosti povozníků, kteří se výroby často účastnili. Opět ovšem asi musíme konstatovat, že v rámci strategie umístění jednotlivých plošin ve vztahu k cestní síti mohly na různých místech či v různých časech platit různé přístupy, a že tedy nelze toto téma generalizovat, ale spíše řešit lokálně a pokud možno pro jeden časový úsek.

Další obecně vzpomínaným možným kritériem pro umísťování milířišť je jejich vazba na vodní toky a zdroje vody. I v tomto případě platí výše vzpomínané. Mnoho plošin opravdu nacházíme v blízkosti vody. Záleží ovšem i na reliéfu krajiny. V mnohých případech se sice milířiště nachází v nevelké vzdálenosti od vody, reliéf je ale natolik členitý, že praktický přístup k vodě by byl jen velice obtížný. V těchto případech si lze klást oprávněně otázku, zda uhlíři vždy ke své práci vodu opravdu potřebovali a případně kolik. Pokud by byli na ni natolik závislí mohli, by si často plošiny postavit právě blíže vodě. V podstatě ve všech zkoumaných oblastech evidujeme i velké počet milířišť v poměrně velké vzdálenosti od vody. Vše se dalo samozřejmě řešit dovozem, či donáškou.



Obrázek 22: Standardizované histogramy distribuce milířišť na jednotlivých lokalitách ve vztahu ke sklonu svahu, nadmořské výšce, vzdálenosti od zdroje vody a cestní sítě.



### 3.2.1.1 Magnetometrie

V této kapitole chceme popsat základní výsledky a závěry získané z magnetometrických šetření milířišť. Jedná se o průzkum ve dvou lokalitách – Český les a Křivoklátsko.

#### Český les

V červnu 2019 bylo pomocí magnetometrie zkoumáno pět milířišť v oblasti Českého lesa, přičemž zkoumané objekty byly vytipovány na základě dat leteckého laserového skenování. Na třech z nich následně proběhl i výzkum odkryvem (viz Tabulka 2).

Tabulka 2: Přehled milířišť analyzovaných pomocí magnetometrie.

Označení milířišť	Měřená plocha	Orientace profilů	Popis	Archeologická sondáž	Datum
CL2 (88)	30 x 30 m	S - J	Milířišť s odvaly v rovném terénu	ano	24. 6. 2019
CL17 (17)	20 x 20 m	V - Z	Milířišť ve svahu	ano	25. 6. 2019
CL11 (11)	20 x 20 m	S - J	Milířišť v mírném svahu	ano	25. 6. 2019
12	30 x 30 m	S - J	Milířišť s odvaly v rovném terénu	ne	26. 6. 2019
14	30 x 30 m	S - J	Milířišť s odvaly v nivě	ne	26. 6. 2019

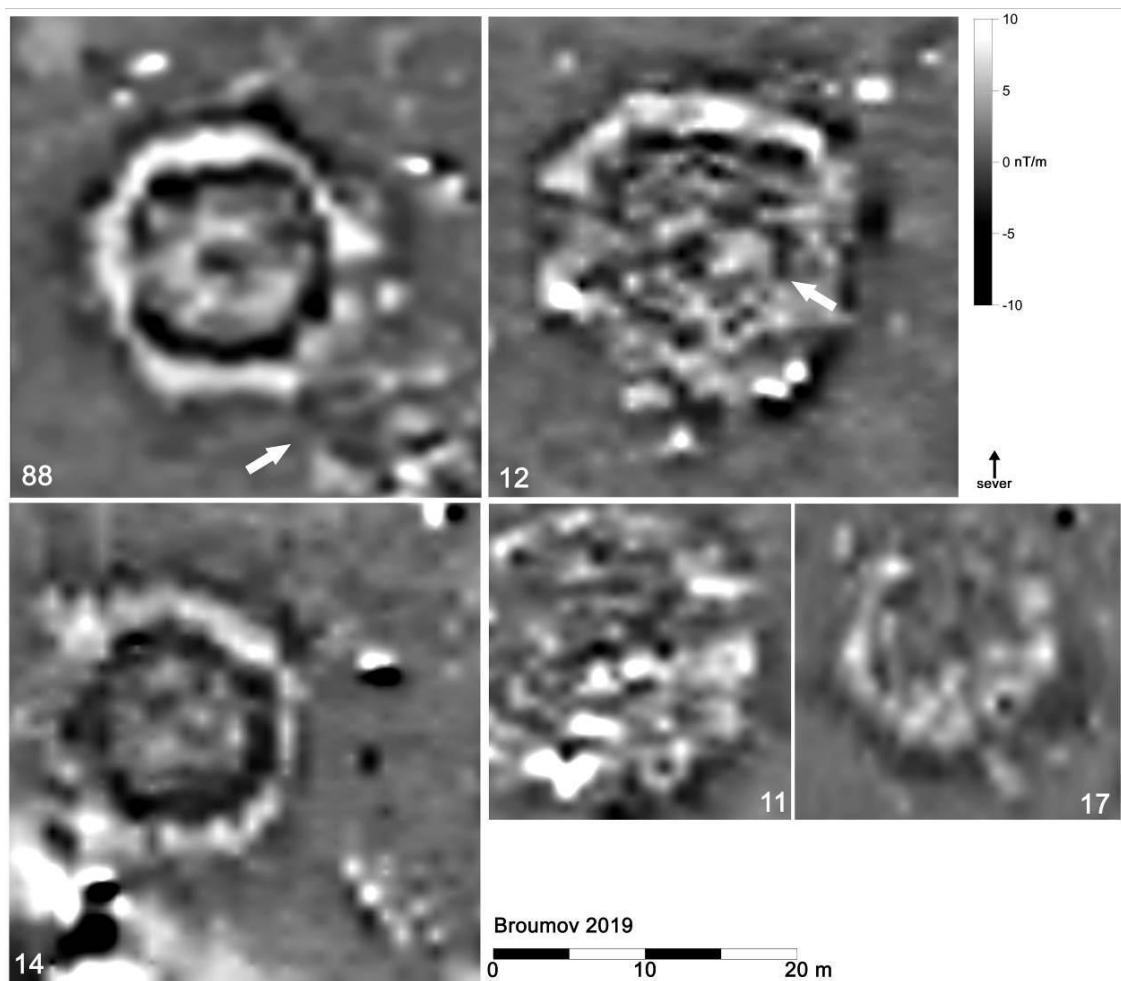
č. 88 (**ČL 2**) JTSK: -1045025/-877547 – kruhové milířišť v rovném terénu s výrazným obvodovým valem. Kromě valu a středové anomálie se ve výsledku měření překvapivě projevil pozůstatek dalšího milíře v JV části měřené plochy (Obrázek 24 vlevo). Tento objekt nebyl v datech leteckého skenování ani při povrchovém průzkumu zaznamenán (Obrázek 24 vpravo), jeho existenci se však následně podařilo po interpretaci výsledků magnetometrie ověřit pomocí mikrovrypů. Zároveň byly z obou milířišť odebrány vzorky uhlíků pro radiokarbonové datování, za účelem zjištění jejich případně rozdílné datace. Menší bipolární anomálie v severní části plochy lze spojit s kovovými artefakty, poztrácenými na cestě vedoucí kolem milířišť.

č. 17 (**ČL 17**) JTSK: -1045353/-877348 – plošina zapuštěná do svahu, zbytky milíře se projeví anomálií ve tvaru podkovy, otevřené směrem dolů po svahu (směr rozebírání milíře a následné eroze).

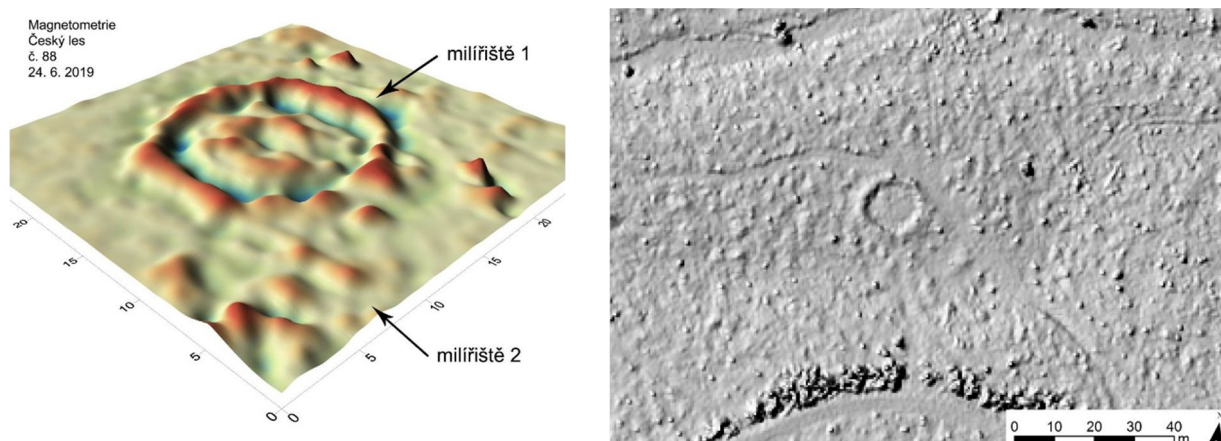
č. 11 (**ČL 11**) JTSK: -1044580/-877080 – plošina zapuštěná do svahu, objekt se projevuje nehomogenní plošnou anomálií.

č. 12 JTSK: -1044673/-877022 – plošina zapuštěná do mírného svahu, po jejím obvodu jsou na povrchu dochovány nízké valy. Kromě středové anomálie je na výsledku měření patrná přibližně kruhová struktura o průměru cca 10 m. Může být pozůstatkem obvodového žlábků a nejspíše signalizuje původní průměr milíře. Plocha vymezená zbytky rozebírání milíře je oproti tomu zhruba dvojnásobná.

č. 14 JTSK: -1044918/-877130 – kruhové milířišť v rovném terénu v nivě potoka. Dochované valy jsou na magnetogramu jasně patrné, žádné další vnitřní struktury se však neprojevily. Původ lineární anomálie JV od milířišť není jasný, objekt nebyl blíže zkoumán.



Obrázek 23: Český les (Broumov u Zadního Chodova), magnetogramy zkoumaných milířišť.



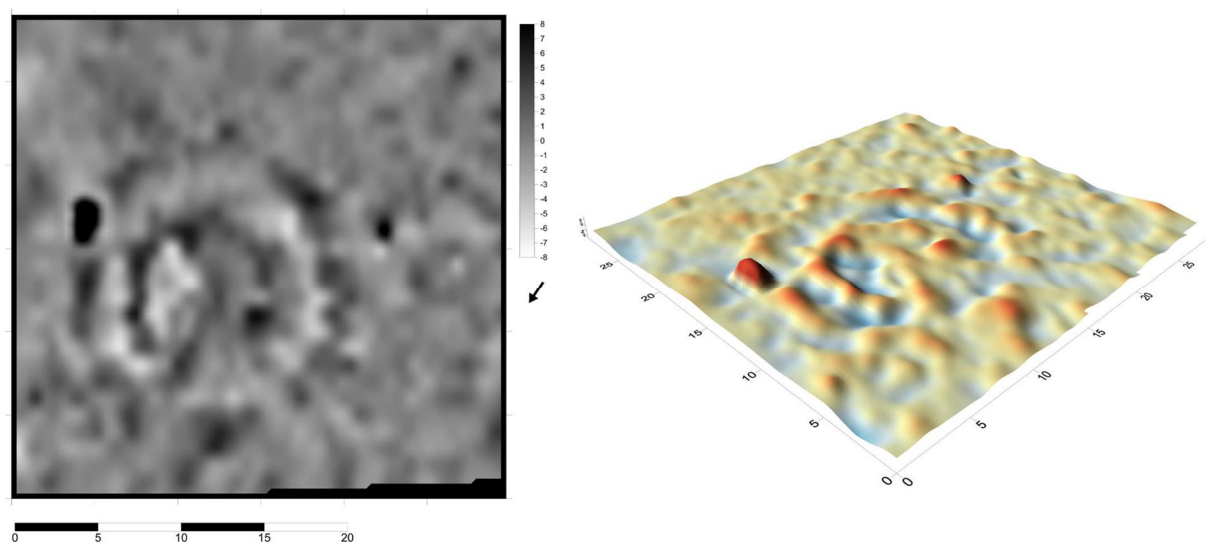
Obrázek 24: Milířišť ČL2, 3D zobrazení magnetických anomálií, pohled od jihozápadu (vlevo); (vpravo) stejné milířišť na stínovaném modelu reliéfu, vzniklém leteckých laserovým skenováním.

## Křivoklátsko

Jedno z milířišť, zkoumaných v oblasti Křivoklátska, bylo kromě sondáže podrobeno rovněž magnetometrickému měření. Konkrétně se jedná o objekt označený číslem 34. Magnetometrické měření provedl Jan John dne 16. 6. 2020 stejným postupem, jako v případě lokalit v Českém lese. Proměřena byla plocha 30 x 30 m, výsledek je zobrazen v barevné škále  $\pm 8$  nT (Obrázek 25).

Výstupy měření potvrdily předchozí zjištění, založené na pozorování terénních relikťů milíře v podobě dvou soustředných „valů“ přibližně kruhového půdorysu. Rovněž z magnetogramu lze vyčíst zvýšené hodnoty magnetické susceptibility ve dvou koncentrických, ne zcela pravidelných, kružnicích od průměru cca 9 a 18 m. Ty jsou způsobeny kumulací organického materiálu (dřevěných uhlíků). Množství zuhelnatělého materiálu bylo následně ověřeno sondáží.

Situaci lze nejpravděpodobněji interpretovat jako opakovaně využívaný plac pro výrobu dřevěného uhlí (menší milíř postavený na místě rozebraného většího milíře).

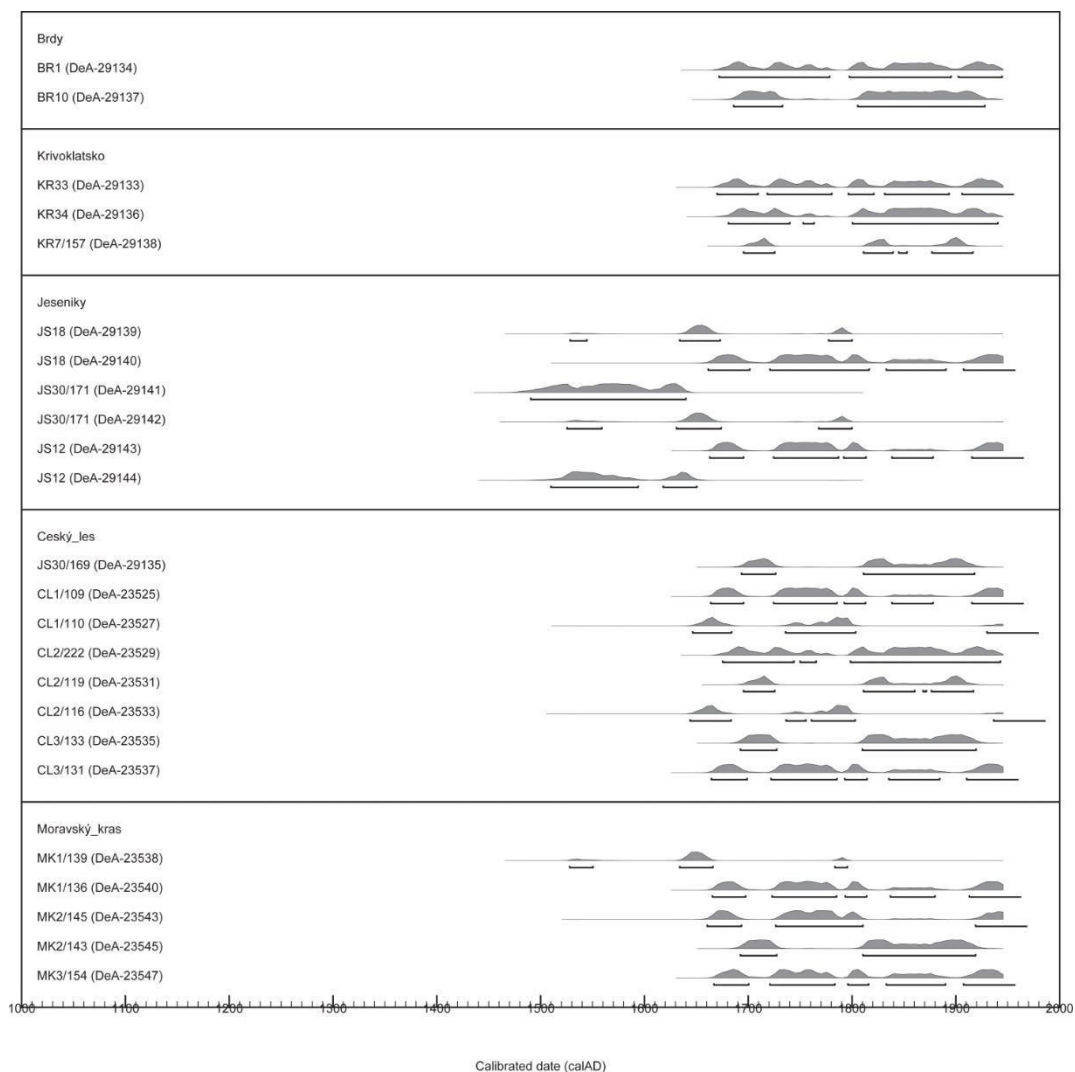


Obrázek 25: Magnetogram milířišť č. 34. (vlevo) a 3D model hodnot naměřených v oblasti milířišť č. 34. Pohled od severu. (vpravo)

Z hlediska geofyzikálního měření (konkrétně magnetometrie) jsou pozůstatky milířů dobře zachytitelnými objekty, které se projevují výraznými plošnými anomáliemi, zpravidla kruhového či oválného tvaru. Jedním z důvodů proč tyto anomálie vznikají, může být propálení plochy pod milířem během jeho používání. Není to ale nejspíše příčina hlavní. Je třeba si uvědomit, že během karbonizace dřeva v milíři vznikají výrazně nižší teploty než v otevřeném ohni, či pyrotechnologických zařízeních typu pecí. Rovněž experimentálně bylo ověřeno, že příčinou magnetické anomálie na místě výpalu milíře mohou být spíše zbytky jeho pláště, než propálení plochy pod milířem (Powell – Wheeler – Batt 2012). Svou roli pravděpodobně sehrávají i kumulace dřevěného uhlí a popele, promíchané právě se zbytky pláště milíře, které na místě zůstaly po jeho rozebrání.

Na základě vyhodnocení výsledků lze konstatovat, že magnetometrie má potenciál přinést relevantní informace o podpovrchové struktuře sledovaných objektů, spojených s produkcí dřevěného uhlí. Může kupříkladu pomoci určit původní velikost milíře, dnes transformovanou jeho rozebráním (Český les - č. 12). Důležitým přínosem magnetometrie je také identifikace milířišť, která nejsou na povrchu zřetelná (Český les - č. 88). Poměrně častý výskyt anomálie uprostřed milířišť zatím nebyl plně objasněn, mohl by souviset s jeho středovým kanálem, jedná se však pouze o pracovní hypotézu.

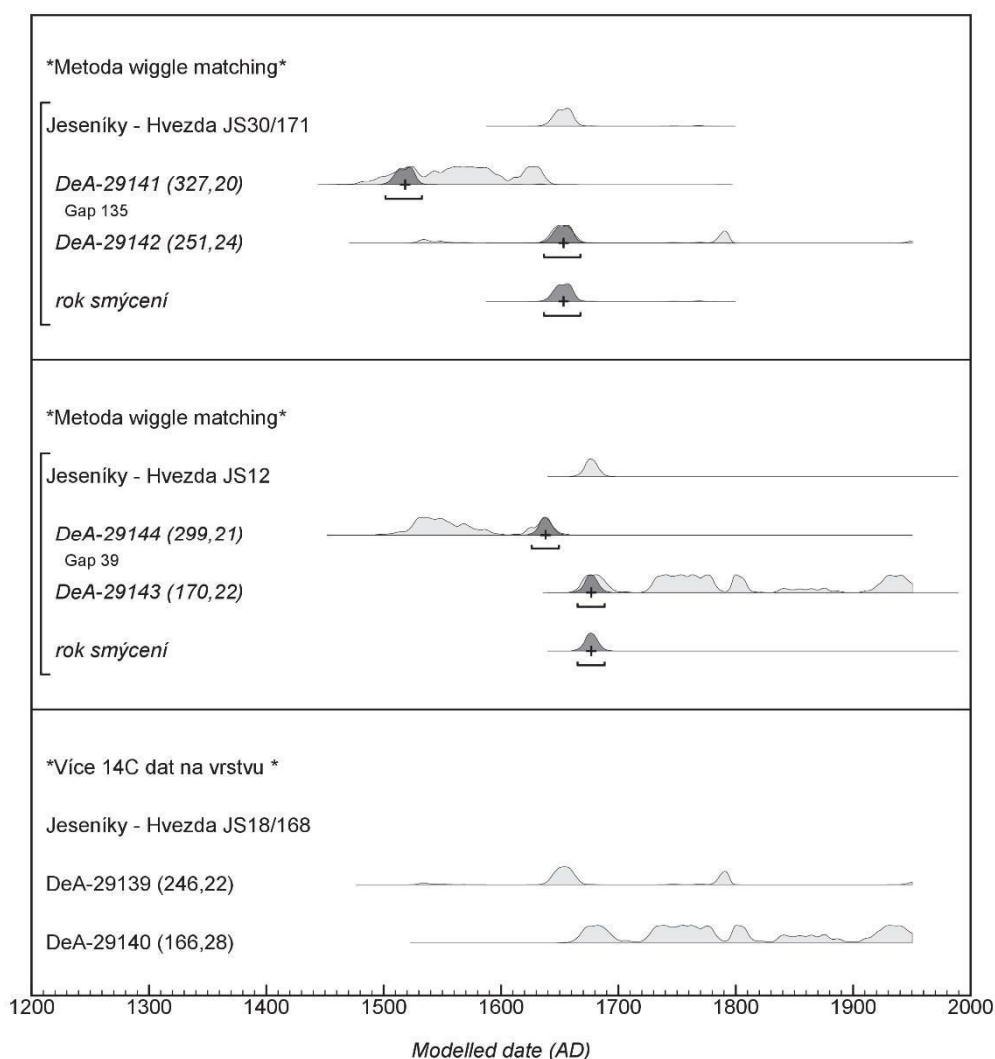
### 3.2.2 Stáří vybraných milířů



Obrázek 26: Intervaly kalibrovaného stáří  $^{14}\text{C}$  dat pro vzorky zuhelnatělého dřeva ze všech zkoumaných lokalit. Korekce radiokarbonového stáří na kalendářní byla provedena kalibrační křivkou IntCal20 (Reimer et al., 2020) v programu OxCal 4.4 (Ramsey, 2009).

Na lokalitě Hvězda v Jeseníkách přistoupili k cílenému vyhledávání vhodného materiálu, kterým jsou fragmenty zuhelnatělého dřeva s co možná největším počtem letokruhů a přítomným podkorním letokruhem. Perspektivní kusy byly přímo v terénu ručně separovány z uhlíkaté vrstvy milířiště na základě vizuálního odhadu počtu letokruhů. Frekvence vhodných kusů byla na této lokalitě překvapivě častá a je pravděpodobné, že při cíleném hledání by se obdobně příznivá situace vyskytla i v dalších oblastech. Ze získaných souborů uhlíků byly poté za pomoci stereomikroskopu vyselektovány silnější větve jedle (*Abies alba*) a buku (*Fagus sylvatica*), které byly pokryté borkou a obsahovaly vysoký počet letokruhů (135 a 39). Samotný vzorek pro  $^{14}\text{C}$  datování byl získán vypreparováním prvního podkorního letokruhu a známého počtu sousedících letokruhů (<5) v jádrové části tak, aby bylo zajištěno dostatečné množství materiálu. Mezi oběma vzorky z jedné sekvence byl stanoven počet letokruhů. Z Obrázek 26 a Obrázek 27 (Korekce radiokarbonového stáří na kalendářní byla provedena kalibrační křivkou IntCal20 (Reimer et al., 2020) v programu OxCal 4.4 (Ramsey, 2009). Skutečné kalendářní stáří leží v intervalu  $2\sigma$ , který je označen úsečkou ležící pod křivkou hustoty pravděpodobnosti.) je jasné patrné, že jinak poměrně hodně nepřesnou dataci lze touto metodou významně zpřesnit skutečné

kalendářní stáří. V případě milířiště JS30 došlo ke zúžení modelovaného roku smýcení na interval mezi léty 1635-1670 a v případě JS12 dokonce na poměrně krátký úsek mezi roky 1660-1690. Pro srovnání efektivy metody uvádíme výsledek radiometrického stanovení stáří vzorků odebraných z dvou uhlíkatých vrstev dvoufázového milíře JS18/168. Přestože zde byly archeologicky zdokumentované dvě fáze používání milíře, nelze je prostým datováním dvou nezávislých vzorků jednoznačně potvrdit, protože intervaly kalibrovaného stáří se překrývají.



Obrázek 27: Intervaly kalibrovaného stáří  $^{14}\text{C}$  dat pro vzorky zuhelnatělého dřeva z lokality Hvězda v Jesenících. Pro dvě zuhelnatělé větve se stanoveným počtem letokruhů byla použita zpřesňující metoda "wiggle matching" (Galimberti et al., 2004).

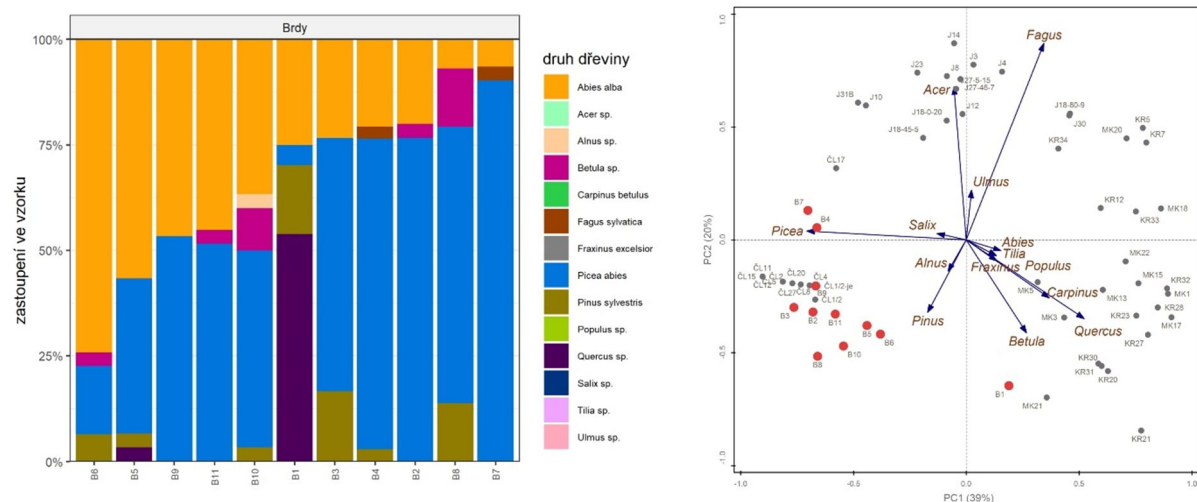
### 3.3 Antrakologie

#### 3.3.1 Brdy

Uhlíková spektra dokládají výskyt jehličnatých lesů složených převážně ze smrku (*Picea abies*), který hojně doprovázela jedle (*Abies alba*). Další dřeviny byly již spíše minoritní složkou porostů a jednalo se



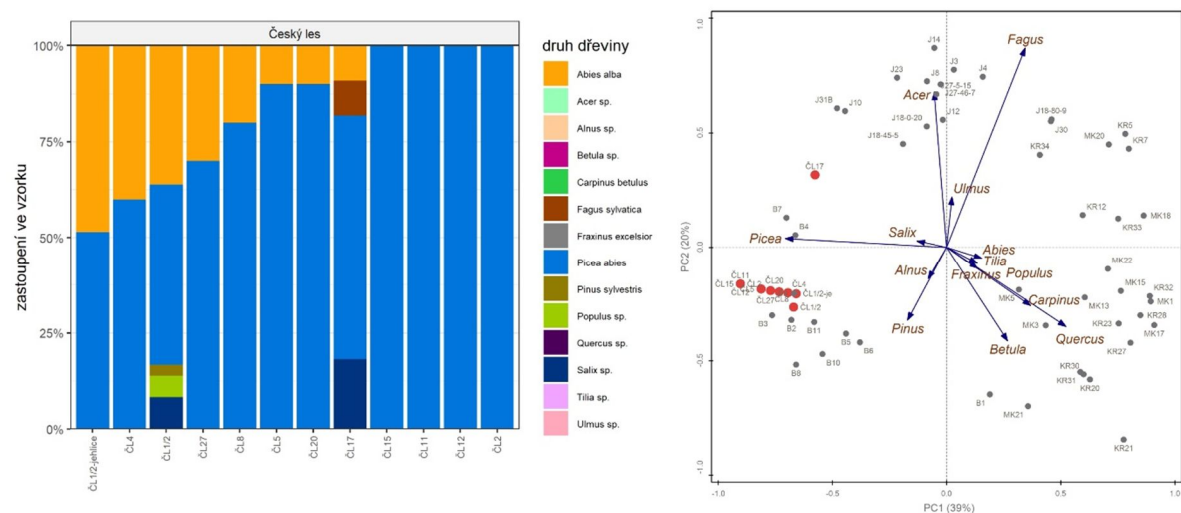
především o břízu (*Betula* sp.), borovici (*Pinus sylvestris*). Na stanovištích s mělkými kamenitými půdami byl více zastoupen dub (*Quercus* sp.).



Obrázek 28: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z relikťů milířů v Brdech. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně.

### 3.3.2 Český les

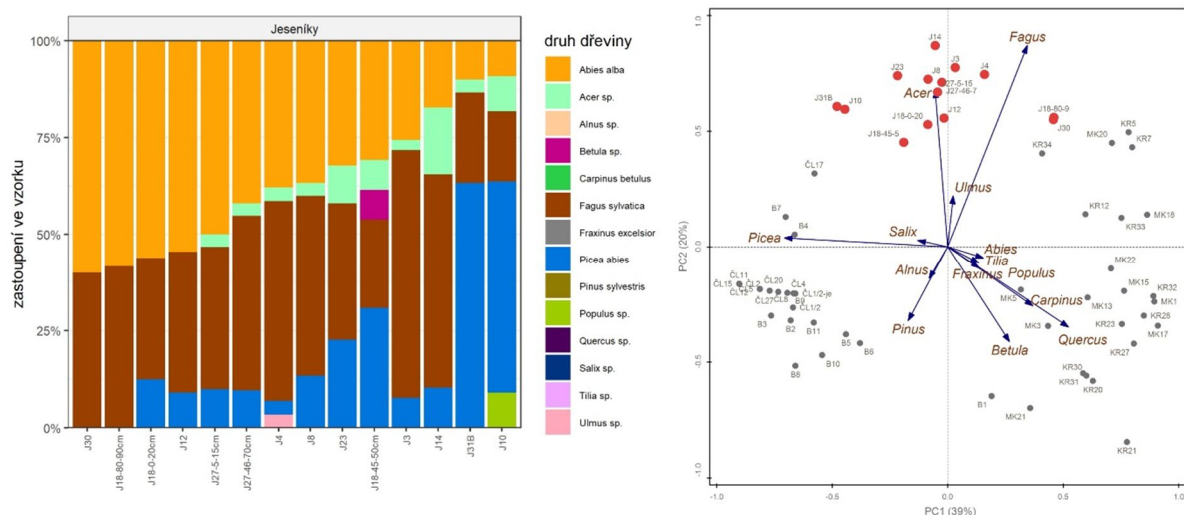
Druhové složení uhlíkových spekter je výrazně uniformní a ve velké části vzorků byl identifikován pouze smrk (*Picea abies*). Častější příměsí je pouze jedle (*Abies alba*), která byla doložena také ve formě zuhelnatělých jehlic. Zásadní je téměř úplná absence buku, což naznačuje, že se jednalo o les s výrazně pozměněnou druhovou skladbou v důsledku antropogenní činnosti.



Obrázek 29: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z relikťů milířů v Českém lese. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně.

### 3.3.3 Jeseníky

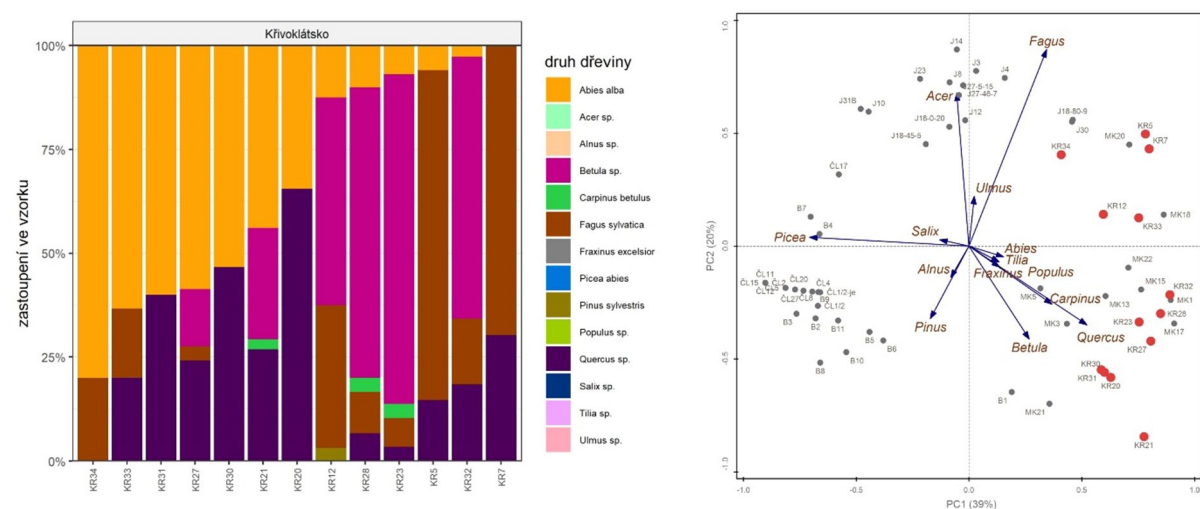
Druhová spektra uhlíků vykazují poměrně nízkou míru variability a zjištěná kombinace druhů ukazuje na přítomnost horského smíšeného lesa. Hlavní podíl zaujímá buk (*Fagus sylvatica*) a jedle (*Abies alba*), které dosahují vyrovnaného zastoupení 30-50 %. Stabilně je přimíšený smrk (*Picea abies*) a javor (*Acer sp.*), pionýrské druhy se naopak vyskytují pouze sporadicky.



Obrázek 30: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktní milíř v Jeseníkách. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně.

### 3.3.4 Křivoklátsko

Zjištěná uhlíková spektra můžeme rozdělit na dva typy, která pravděpodobně reflektují odlišné složení lesa v závislosti na stanovištních podmínkách. První typ se vyznačuje kombinací jedle (*Abies alba*) a dubu (*Quercus sp.*), přičemž jedle má mírnou převahu. U druhého typu uhlíkového spektra výrazně převládá buk (*Fagus sylvatica*) a bříza (*Betula sp.*), jedle s dubem zde dosahují pouze nízkých hodnot

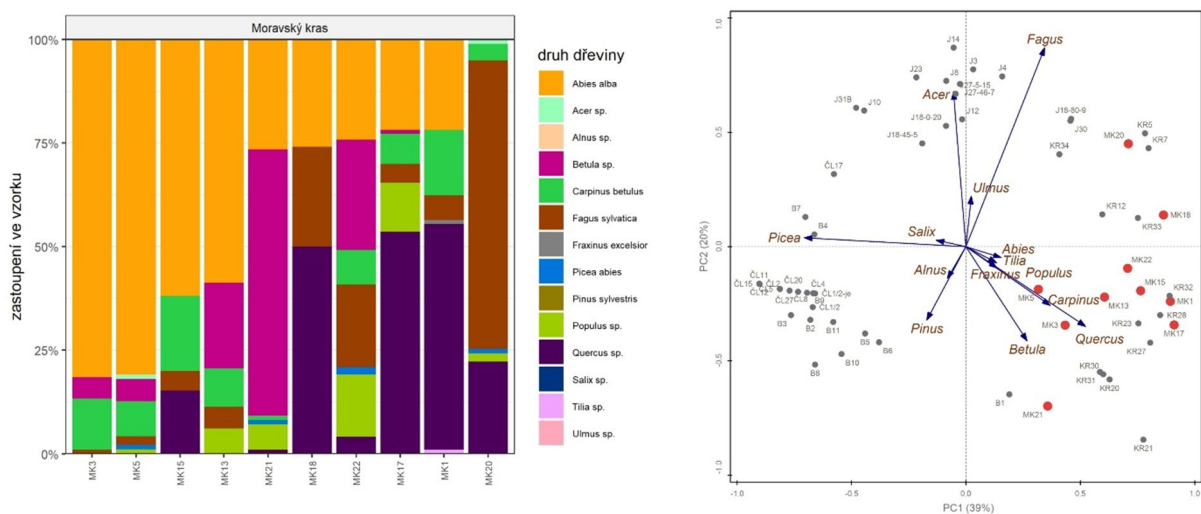


Obrázek 31: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktní milíř na Křivoklátsku. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně.

okolo 15 %. Velké množství břízy v některých uhlíkových spektrech naznačuje, že porosty prošly procesem spontánní obnovy. Tyto porosty jsou lokalizovány převážně v prudkých partiích údolí nad Švecovou cest

### 3.3.5 Moravský kras

Uhlíková spektra dokládají pestrou skladbu dřevin tehdejšího lesa. Nejhojnějším druhem je jedle bělokorá (*Abies alba*) se stabilním podílem přesahujícím 25 % v téměř všech vzorcích. Většího zastoupení dosahuje také dub (*Quercus* sp.) a v menší míře také buk lesní (*Fagus sylvatica*). Spontánní regeneraci lesa po narušení/vytěžení dokládají četné vzorky s množstvím pionýrských druhů jako je bříza (*Betula* sp.), osika (*Populus* sp.), javor (*Acer* sp.).



Obrázek 32: Graf procentického zastoupení dřevin (vlevo) ve vzorcích uhlíků odebraných z reliktních milířů v Moravském krasu. Ordinační diagram PCA (vpravo) zobrazující podobnost druhového složení vzorků uhlíků napříč všemi zkoumanými lokalitami. Dílčí oblast červeně.

## 3.4 Půdní vlastnosti, pedodiverzita

V rámci ČR byla sledována milířiště v pěti lokalitách s odlišným půdotvorným substrátem a s rozdílným vegetačním pokryvem ve stromovém patře (Tabulka 3). Toto se projevovalo i v rozdílných půdních typech. Nejčastěji byly kontrolní půdy kambizemě modální, rankerové a dystrické. Dále se vyskytovaly půdní typy podzol a kryptopodzol (Český les, Brdy). Půdní typy pseudogleje a luvizemě byly nalezeny v Moravském krasu. Lokalita v Brdech se nacházela na paleozoických slepencích a pískovcích a díky poměrně různorodému reliéfu byla zjištěna vysoká půdní variabilita. Diagnostikovány zde byly podzoly, fluvizemě, kambizemě a pseudogleje (Obrázek 33).

Tabulka 3: : Vzorkované lokality, jejich půdotvorný substrát a vegetační pokryv ve stromovém patře.

Lokalita	Geologie	Půdní typ	Vegetační pokryv
Český les	Pararula, migmatit	Kambizemě - kryptopodzoly	Smrková monokultura
Moravský kras	Granodiorit	Pseudogleje až luvizemě	Bučina
Křivoklátsko	Ryolit	Rankery kambické až kambizemě rankerové	Dub-buk, rozvolněný les
Brdy	Křem. pískovce až slepence	Kambizemě, podzoly, rankery	Smrk a modřín
Jeseníky	Fylity až svory	Kambizemě	Smrk





Obrázek 34: Ukázka půdních profilů a půdní variability z lokality Brdy (půdní typy zleva: podzol; antropozem fluvická – sonda v milířišti překrytá říčním sedimentem; kambizem a pseudoglej).



Obrázek 33: Půdní profil v prostoru milířiště (vpravo) a cca 25 m vzdálená kontrola (vlevo) bez vlivu pálení uhlí z lokality Český les.: U – vrstva uhlí z pálení milíře, R – teplem z pálení milíře ovlivněná vrstva, ostatní označení horizontů ve shodě s TKSP ČR.

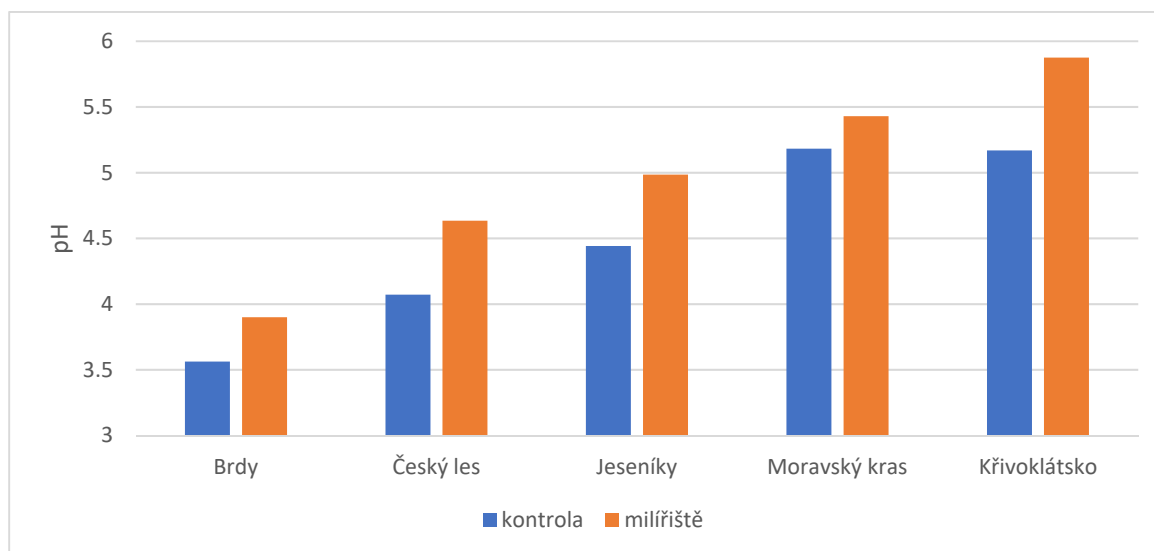
Milířiště se vyznačovala černou vrstvou se zbytky uhlí (označení U), kterou téměř nelze odlišit od organického H horizontu uloženého nad ní, avšak o jejím původu svědčí až centimetrové kousky dřevěného uhlí. Tato vrstva byla od 1,5 do 37 cm ( $16,2 \pm 6,8$  cm; průměr a směr. odchylka) mocná. Načervenalá vrstva R je ukazatelem vlivu pálení uhlí na půdu, kde teploty mohly dosahovat až 700 °C (Obrázek 34). Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zobrazen přechod organických horizontů (opad, drt a měl – L, F, H) a antropogenního uhelného horizontu ze vzorku odebraného na milířišti v Českém lese. Jsou zde patrné uhlíky jehličnanů (ve spodní části) a různé velikostní frakce uhlíků, v uhelném horizontu jsou rovněž patrná zrna minerálů (křemen) a úlomky hornin. V horizontech F a H jsou viditelné kořeny a v horizontu L jehlice smrku a pletiva mechů.



Obrázek 35: Přechod organických horizontů (opad, drť a měl – L, F, H) a antropogenního uhlénoho (U) horizontu v procházejícím světle (PPL, uprostřed) a se zkříženými nikoly (XPL, vpravo) na milířišti v Českém lese.

### 3.4.1 Chemické půdní vlastnosti

Při porovnání směsi organických F a H horizontů na kontrolním stanovišti a milířišti vidíme nižší pH pro kontroly a vyšší pH v případě milířišť. Silně kyselé pH bylo zjištěno v Brdech, kde je dominantní porost v podobě smrků a modřínů, a nejvyšší pH bylo naopak na Křivoklátsku a v Moravském Krasu, kde je listnatý porost (Obrázek 36) a chemicky intermediální geologické podloží.

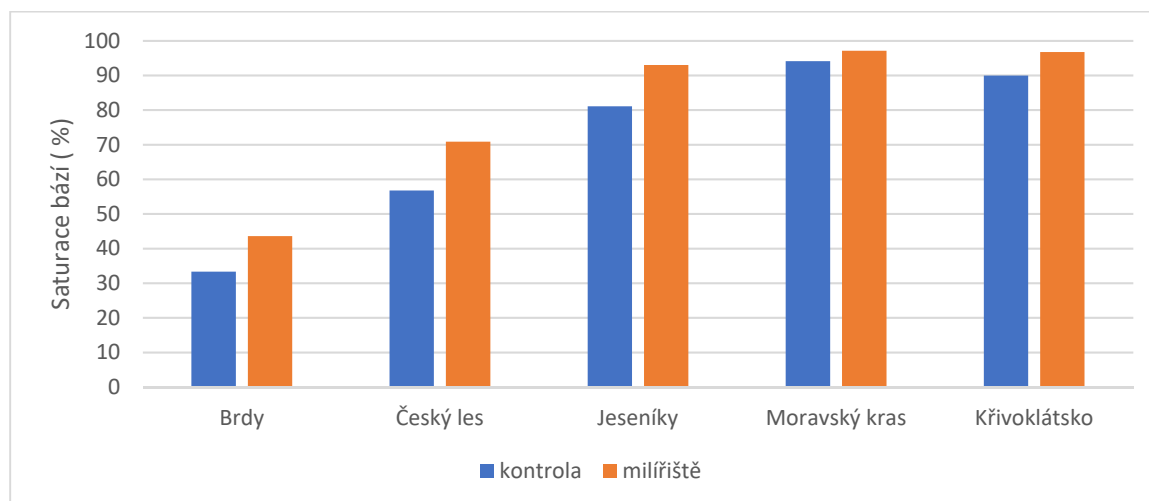


Obrázek 36: Aktivní pH půdy v organických horizontech FH na kontrole a milířišti (10 opakování pro každou variantu a lokalitu).

Poměr mezi bazickými a kyselými kationty vyjadřuje saturace bází v %. Na obrázku 4 je porovnávána saturace bází směsi organických F a H horizontů (viz. popis půdního profilu) na kontrolním stanovišti a milířišti. Silně kyselé oblasti mají nižší saturaci bází (převažují kyselé kationty) oproti oblastem s vyšším pH a listnatou vegetací, kde je saturace bází blízká 100 %. To ukazuje, že bazické kationty jsou

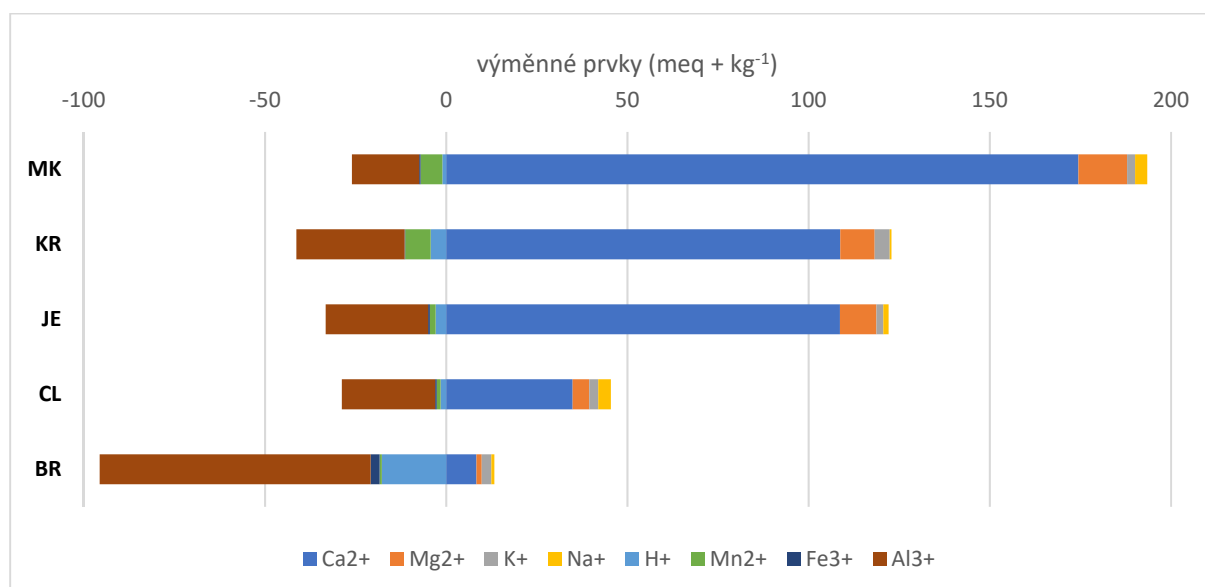


dominantní a relativně snadno dostupné pro biotu. Rovněž je zde rychlejší rozklad opadu ze stromů a nižší mocnost FH horizontů – živiny se rychleji dostávají zpět do oběhu a mohou být opět využívány organismy. Ve všech případech je saturace bází vyšší na milířišti oproti kontrole.



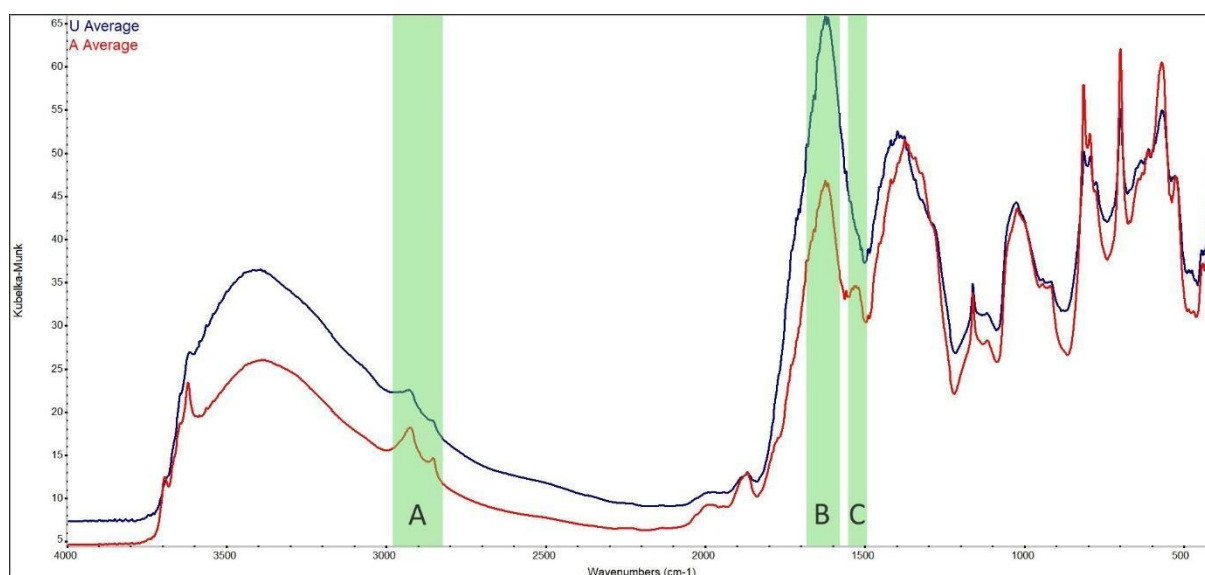
Obrázek 37: Saturace bází (%) půdy v organických horizontech FH na kontrole a milířišti (10 opakování pro každou variantu a lokalitu).

Biouhel se vyznačuje velkou sorpcí kationtů (Robertson et al., 2012). Což je patrné na obrázku 5, který zobrazuje obsahy výměnných kationtů a kationtovou výměnnou kapacitu v uhelných horizontech milířišť Brd (BR), Českého lesa (CL), Křivoklátska (KR) a Moravského krasu (MK). Jsou zde patrné rozdíly mezi lokalitami v obsahu výměnných kationtů v horizontech s obsahem uhlí. Nejvíce kyselá stanoviště Brd mají rovněž vyšší obsahy výměnného  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{H}^+$  oproti vyšším obsahům  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  na příznivějších a zásaditějších stanovištích Moravského krasu. Za dobu od vypálení milíře a opuštění místa je možno usuzovat, že původně nejspíše alkalický uhelný materiál (Enders et al., 2012) se značně přizpůsobil extrémně kyselému prostředí půd na lokalitě Brdy, ve kterém byl uložen po více jak 150 let. Roli může hrát také způsob (technologie) výpalu – především teplota a výchozí materiál, která se mohla lišit od uhlířské praxe v ostatních lokalitách.

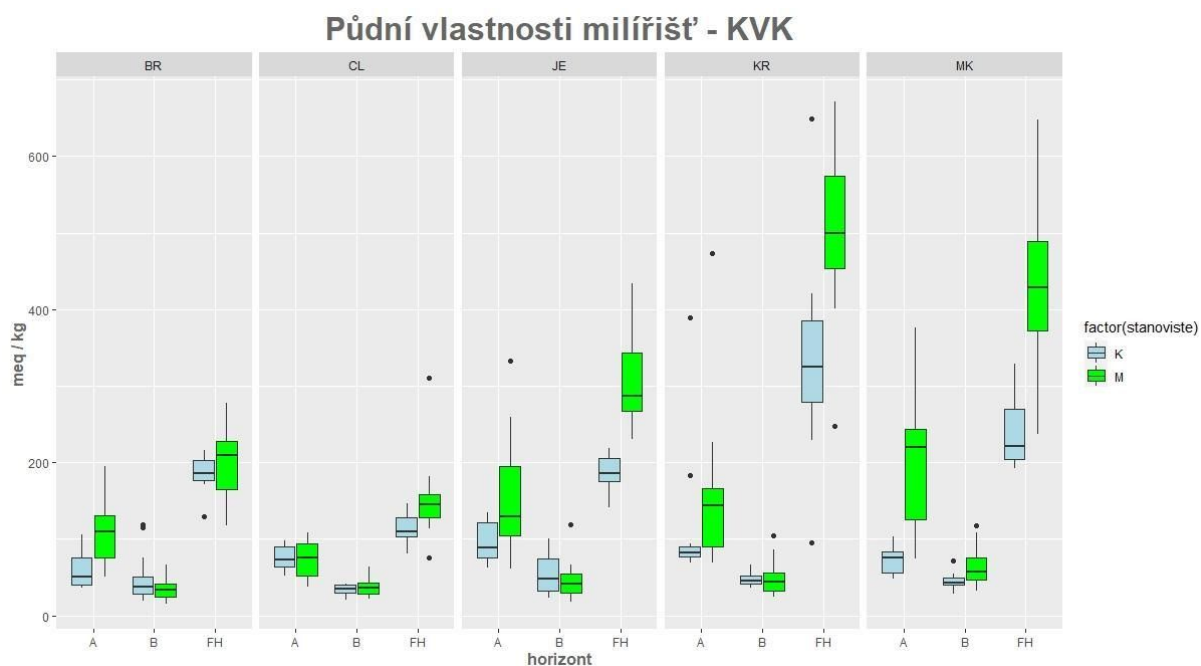


Obrázek 38: Výměnné kationty a kationtová výměnná kapacita v uhelných horizontech milířišť Brd (BR), Českého lesa (CL), Jeseníků (JE), Křivoklátska (KR) a Moravského krasu (MK) (průměrné hodnoty z 10 opakování na lokalitu), kyselé vlevo, bazické napravo od osy 0..

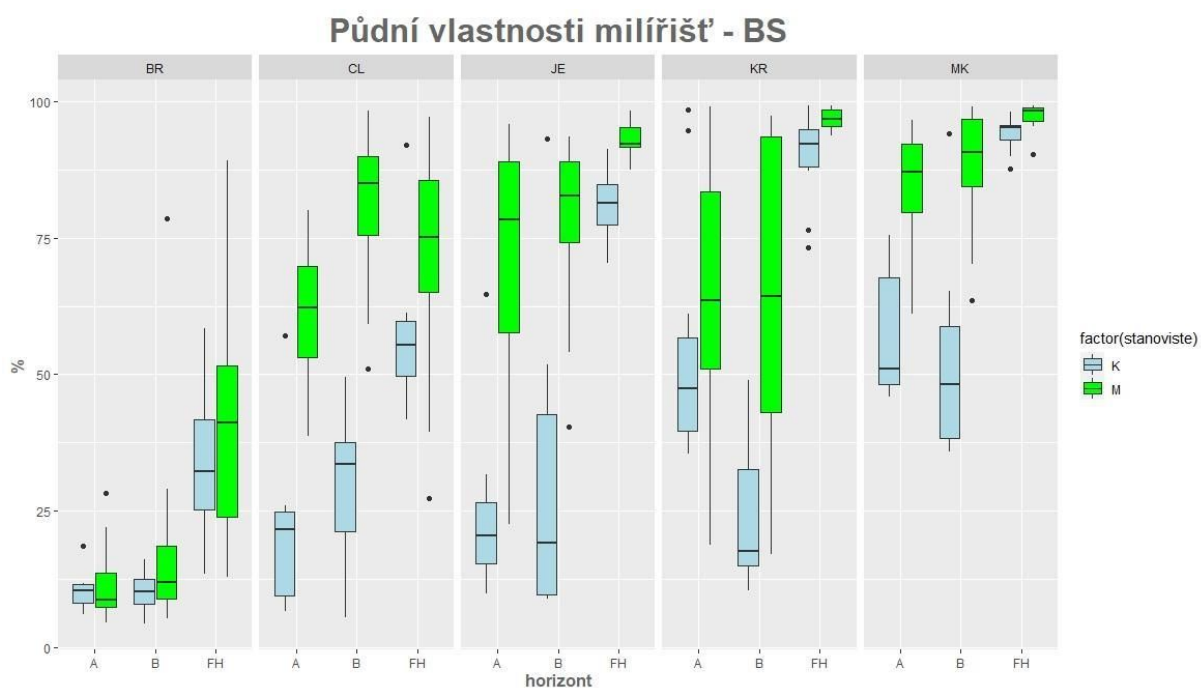
Půdní mikromorfologie a infračervené spektroskopie ukazují, že milířiště představují místa s rychlejší dekompozicí opadu a vyšší biologickou aktivitou. Což rovněž potvrzují v průměru nižší mocnosti organických horizontů F a H v prostoru milířiště oproti kontrole (v průměru 2,5 vs 3,8 cm). Detailní studium půdní organické hmoty pomocí infračervené spektroskopie ukazuje na obohacování půd v prostoru milířišť o organický C a vyšší poměr aromatických organických látek k alifatickým, a tudíž i větší stabilitu organické hmoty oproti kontrolním půdám. Na Obrázek 39 jsou uvedena průměrná spektra ze všech organominerální A horizontů a uhelných (U) horizontů. Pás A je oblastí vibrací C-H odpovídajících labilní organické hmotě, pás B je oblastí vibrací C=C v aromatických kruzích stabilní organické hmoty a pás C odpovídá vibracím vazeb sekundárních amidů. V A horizontech dochází k nárůstu intenzity pásu A oproti pásu B, v uhelných vrstvách pozorujeme trend opačný. To signalizuje vyšší stabilitu organické hmoty na půdách milířů. V uhelných vrstvách je také zvýšený poměr mezi intenzitami pásů B a C, jehož hodnota je spjata s mírou rozkladu organické hmoty, dochází zde tedy k rychlejší dekompozici organických látek, pravděpodobně díky příznivějším půdním podmínkám a zvýšené mikrobiální aktivitě.



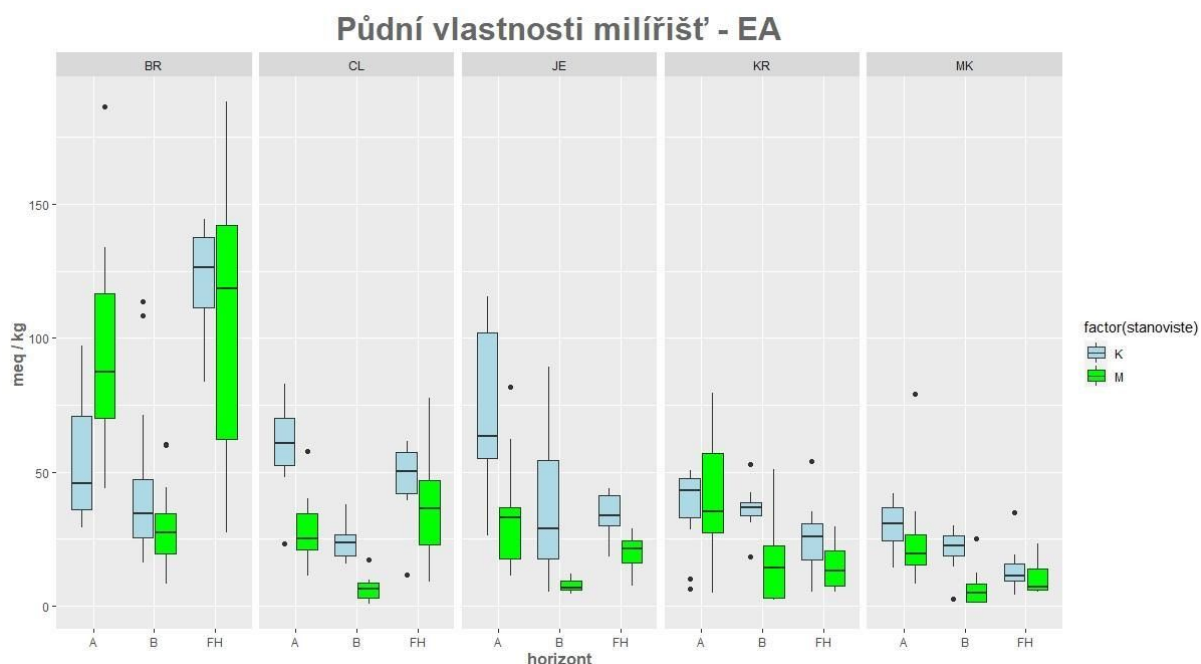
Obrázek 39: Infračervená spektra organominerálního A (A Average) a uhelného (U Average) horizontu. Průměry ze všech vzorkovaných lokalit..



Obrázek 40: Kationtová výměnná kapacita (KVK) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.)



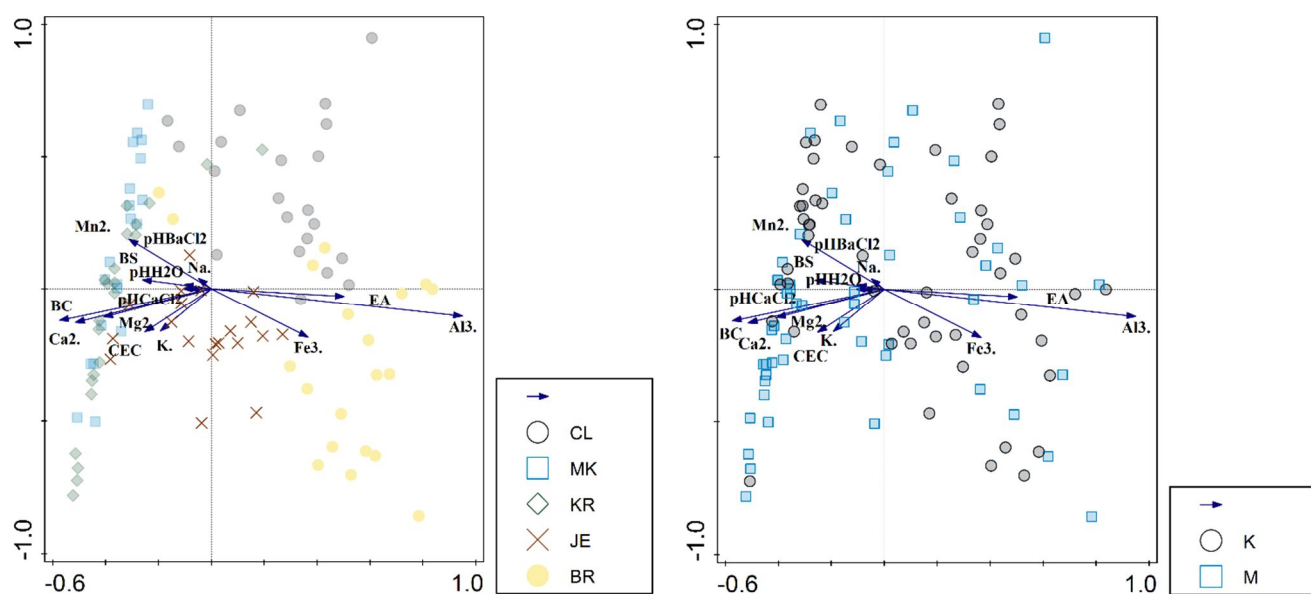
Obrázek 41:Bazická saturace (BS) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.)



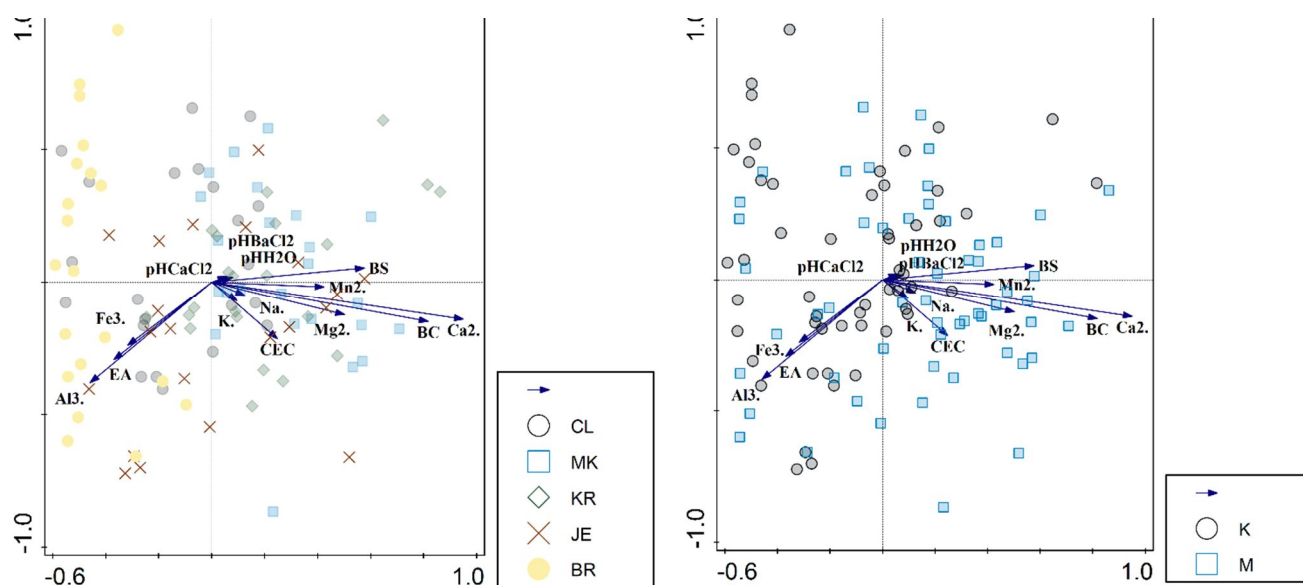
Obrázek 42: Výměnná acidita (EA) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH:fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...M.Kras.)

Na obrázcích 40-42 jsou znázorněny základní parametry sorpčního komplexu stejnoznačných horizontů nadložního humusu (značeno FH), organominerálních horizontů (značeno A) přirozených či s frakcí biouhlu (původně U) a všech horizontů minerálních (značeno B) v porovnání stanovišť milířišť a kontrol pro jednotlivé lokality. Obecně platí, že biouhel v půdním prostředí milířišť zvyšuje kationtovou výměnnou kapacitu (KVK) v porovnání s kontrolou, především v horizontech FH a A(U), u horizontů minerálních jsou hodnoty srovnatelné. Také nasycenost sorpčního komplexu bázemi je u milířišť téměř na všech lokalitách vyšší, naopak výměnná kyselost má opačný trend. Výjimkou je lokalita Brdy s extrémně kyselým geologickým podložím, kde je bilance v horizontech A(U) nejednoznačná (resp. větší rozptyl hodnot u milířišť). Z grafu 34 a grafů v Příloze č 2, že za zvýšenou aciditu horizontů A(U) v brdských milířištích je zodpovědný především obsah hliníku, méně již železa.

Ordinační analýza (PCA) potvrzuje jasné rozlišení lokalit dle chemismu horizontů (Obrázky 43-45), především u FH a A, v B-hor. není rozdíl tak markantní: (bazičtější KR a MK, kyselejší JE a nejvíce kyselé BR+CL). Rozdíl mezi stanovišti je nejméně patrný v FH horizontech a více v A hor. a nejvíce patrný v horizontech minerálních.

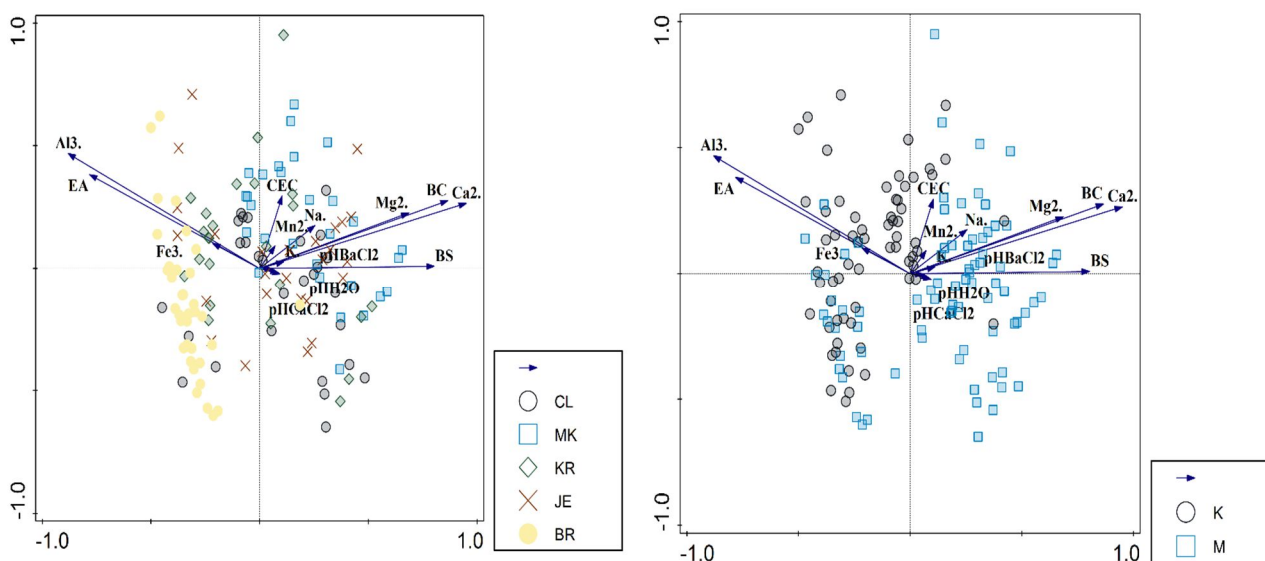


Obrázek 43: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont FH – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště.



Obrázek 44: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont A (Ah, U) – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště.





Obrázek 45: PCA s pasivně promítnutými proměnnými pro horizont B (Bv, Bvs, R) – porovnání lokalit (vlevo): BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras; porovnání stanovišť (vpravo): K...kontrola, M...milířiště.

Testování pomocí pRDA (pradicální redundnční analýza) potvrzuje trendy patrné v ordinačních diagramech neomezené PCA s promítnutými vektory jednotlivých půdních parametrů. **Vyplývá z nich, že výskyt milířiště vysvětluje variabilitu v chemickém složení nejlépe pro horizont B** (32.19 % vysvětlené variability) než A (22.04 %) a nejmenší podíl vysvětlené variability mají v horizontu FH (13.24 %). Z poměru vysvětlené variability mezi osami se dá vypočítat, že u horizontu B gradient na první ose (milíře/kontrola) vysvětluje 19.65 % a druhá osa vysvětluje 24.62 %. U horizontu A gradient na první ose vysvětluje 12.4 % a druhá osa vysvětluje 25.14 % z variability chemického složení půdy. U horizontu FH gradient na první ose vysvětluje 4,5 % a druhá osa vysvětluje 17,26 %. Vždy je víc variability vysvětleno druhou osou, jejíž gradient je dán hlavně typem půdního horizontu, což není překvapivé. Statistické výsledky pRDA jsou obsaženy v Příloze č. 3.

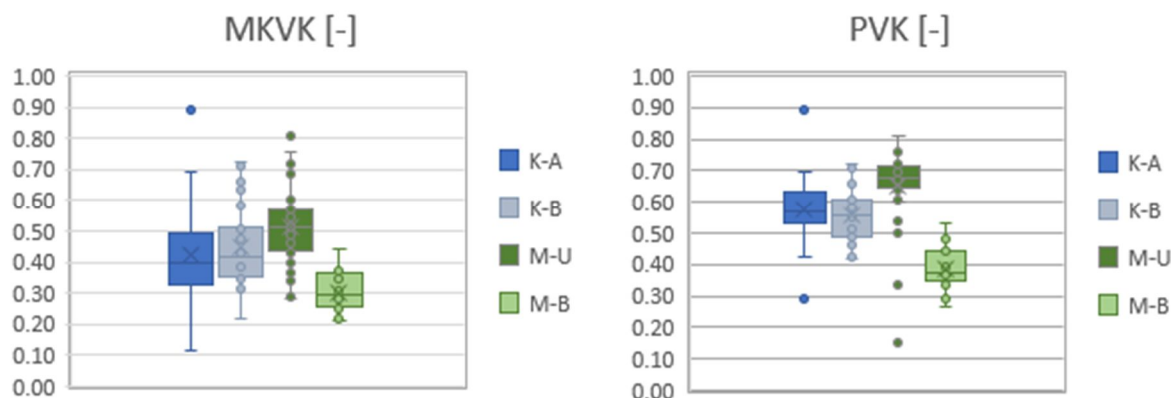
Neomezené i omezené ordinace ukazují vliv zejména půdního horizontu ale také stanoviště na půdní chemismus. Z hlediska porovnání milíře vs kontroly (napříč lokalitami) je zajímavý poznatek, že stanoviště nejlépe vysvětluje variabilitu v chemickém složení v horizontu B (tedy v zóně pod vlastním úložištěm biouhlu), teprve potom v hor. A a nejméně v horizontu FH. Nicméně, vliv biouhlu i na chemismus horizontů, které nebyly pod bezprostředním vlivem pálení dřevěného uhlí, naznačuje pozitivní vliv přítomnosti biouhlu v půdě v dlouhodobém časovém horizontu (ca 150 let a více).

### 3.4.2 Fyzikální půdní vlastnosti

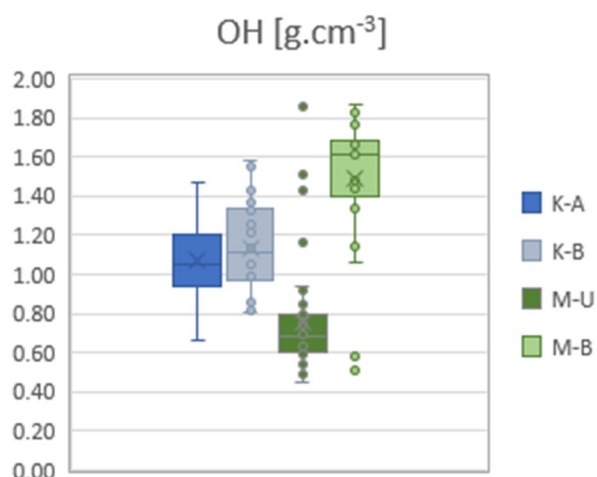
Z celkového pohledu vykazovaly půdní vzorky zlepšení hydropedologických vlastností oproti kontrolním bodům (obr. 1,2,3). Půdy v místě milířišť měly vyšší maximální vodní kapilární kapacitu. Objemová hmotnost s plnou vodní kapacitou vykazuje větší variabilitu u půd v milířišti. Jde o důsledek výrazného rozdílu mezi svrchním a spodním horizontem v rámci milířišť (obr. 46 a 47) Svou roli mohla sehrát i skeletovistist, kdy u výrazně skeletovitých půd neproběhl odběr nebo byl vzorek odebrán se skeletem. Tyto půdy z milířišť (vzorky) můžou vykazovat vyšší PVK a nižší MKVK než půdy bez skeletu. Obecně lze ale konstatovat, že půdy z milířišť mají lepší hydropedologické vlastnosti (vyšší MKVK a PVK a nižší OH).

### 3.4.2.1 Milířiště vs kontrola - porovnání půdních horizontů

Rozdíly mezi spodním a svrchním horizontem je patrný hlavně u půdních sond na milířištích (obr. 4,5,6). Zatímco svrchní horizonty promíchané s drobnými prachovými částmi dřevěného uhlí mají zlepšené hydropedologické vlastnosti, spodní horizonty jsou ztuhlé a vytvrdlé pravděpodobně díky vysoké teplotě při výrobě dřevěného uhlí.



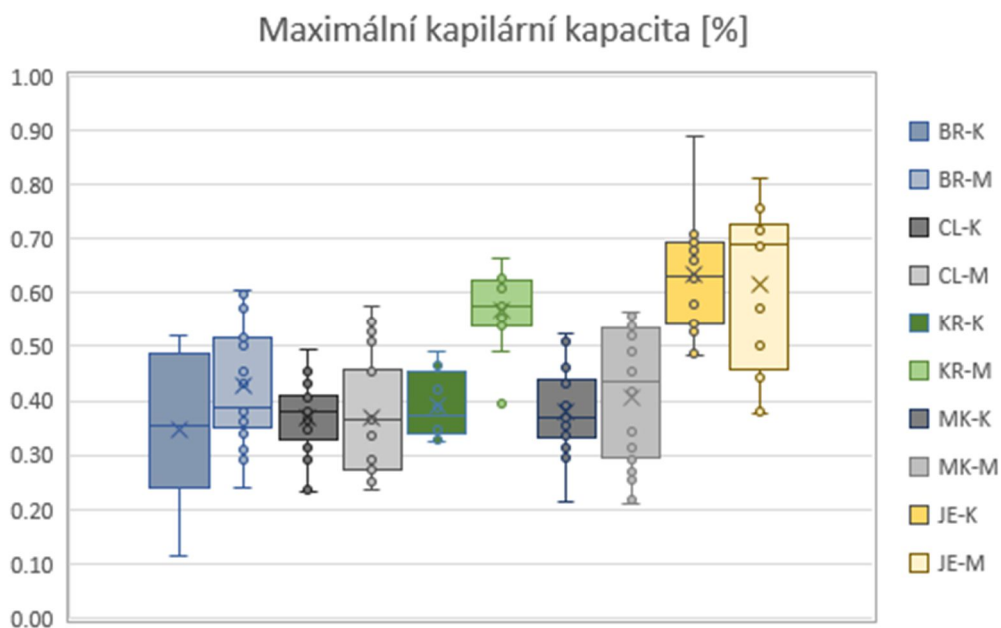
Obrázek 46: Porovnání maximální vodní kapilární kapacity MKVK (vlevo) a plné vodní kapacity PVK (vpravo) všech kopaných vzorků rozdělené na sondy v milířišti (M) a na kontrolním stanovišti (K) ze svrchního (A) a spodního (B) horizontu.



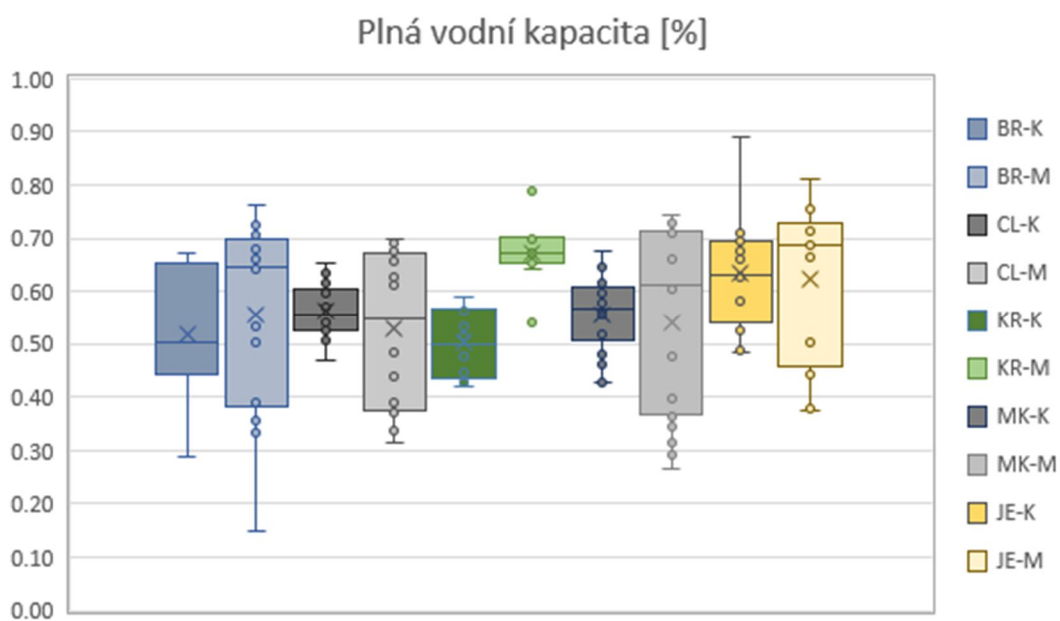
Obrázek 47: Porovnání Objemové hmotnosti OH všech kopaných vzorků ze sond v milířišti (M) a na kontrolním stanovišti (K) ze svrchního (A) a spodního (B) horizontu.

### 3.4.2.2 Porovnání z pohledu různých lokalit

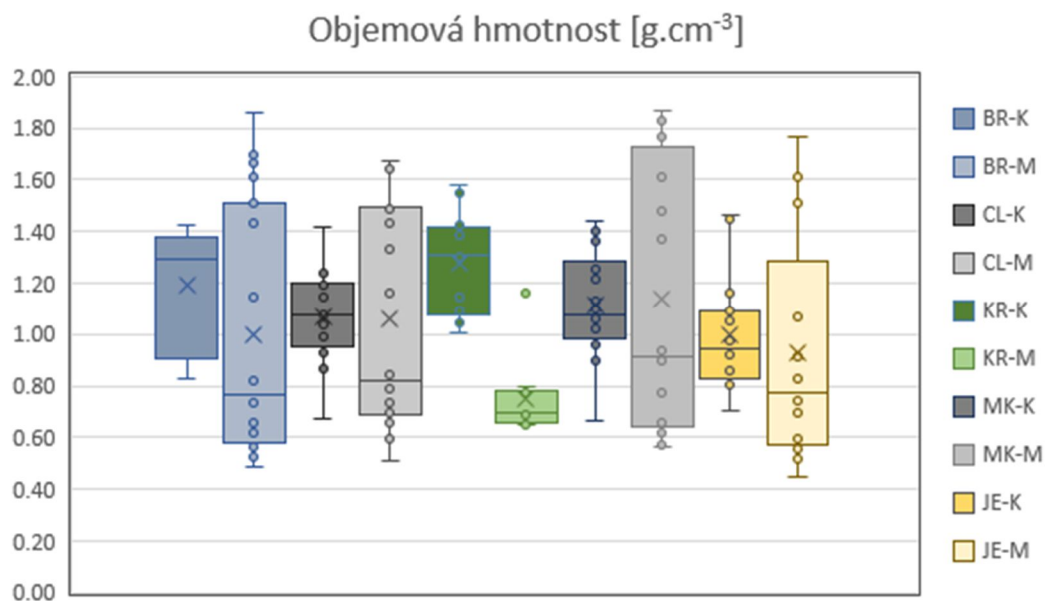
U všech lokalit kromě Českého lesa je vyšší MKVK a PVK v milířištních půdách. Objemová hmotnost byla celkově vždy vyšší u kontrolních stanovišť. Největší rozdíly mezi milířištěm a kontrolním stanovištěm se projevil na lokalitě Křivoklátsko. Zde je ale rozdíl z velké části způsoben nízkým podílem kontrolních vzorků z důvodu vysoké skeletovitosti.



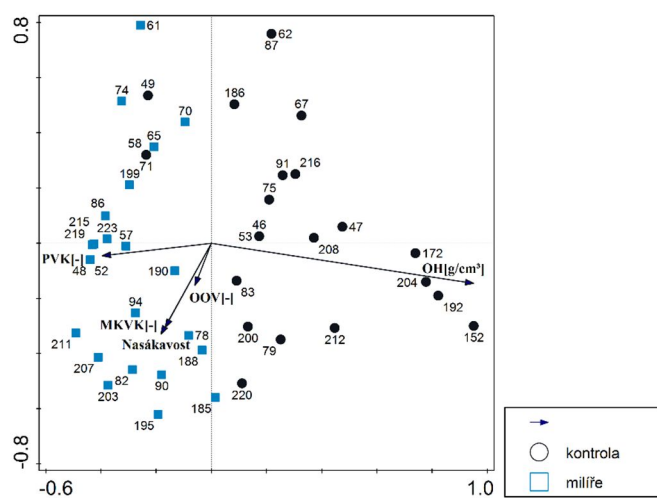
Obrázek 48: Porovnání maximální vodní kapilární kapacity MKVK všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na míliřiště (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K).



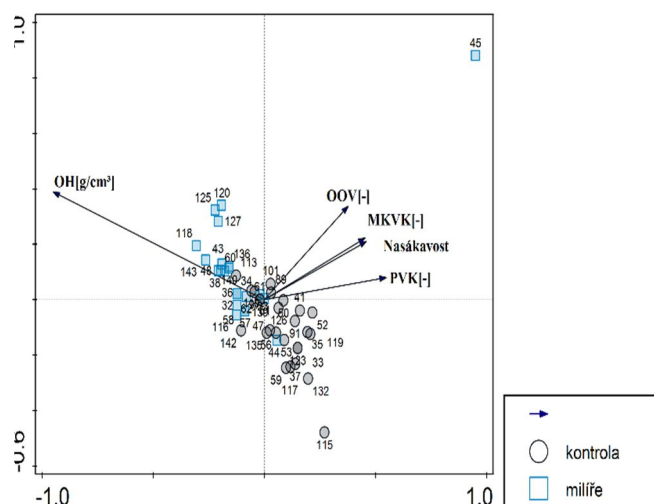
Obrázek 49: Porovnání plné vodní kapacity PVK všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na míliřiště (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K).



Obrázek 52: Porovnání objemové hmotnosti OH všech kopaných vzorků rozdělené podle lokalit (BR – Brdy, CL – Český les, KR – Křivoklátsko, MK – Moravský kras, JE – Jeseníky) a každá lokalita na milířiště (M) a jeho na kontrolním stanovišti (K).

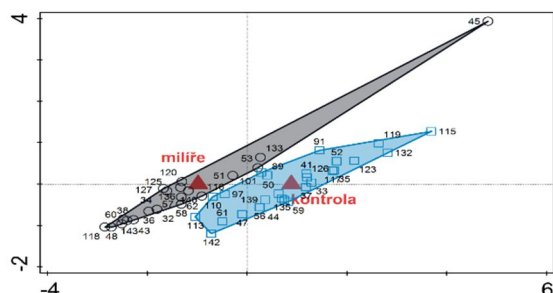


Obrázek 51: Fyzikální vlastnosti půd – ordinační analýza (PCA), Horizont A (U); půdní vlastnosti: PVK...plná vodní kapacita, OOV...okamžitá objemová vlhkost, MKVK... maximální kapilární vodní kapacita, nasákavost, objemová hmotnost (OH).



Obrázek 50: Fyzikální vlastnosti půd – ordinační analýza (PCA), Horizont B (Bv, Bvs, R); půdní vlastnosti: PVK...plná vodní kapacita, OOV...okamžitá objemová vlhkost, MKVK... maximální kapilární vodní kapacita, nasákavost, objemová hmotnost (OH).

Výsledky ordinačních analýz (PCA, obr. 50 a 51); pCCA - parciální kanonická korespondenční analýza, Obrázek 53) potvrzují obecné trendy popsané v úvodu kapitoly 3.4.2. Stanoviště milířišť se v porovnání s kontrolou ve fyzikálních parametrech půdy statisticky významně liší v horizontech organominerálních i minerálních.



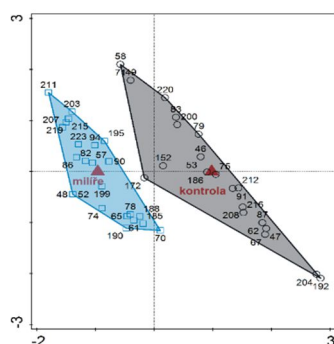
#### Partial CCA - hor Ah:

Constrained ordinations (kovariáta lokalita, permutace zvlášť v každé lokalitě)

Analysis 'Constrained-partial'

Simple Term Effects:

Name	Explains %	pseudo-F	P	P(adj)
stanoviště.M	46.7	36.7	0.0005	0.0005
stanoviště.K	46.7	36.7	0.0005	0.0005



#### Partial CCA - hor B:

Constrained ordinations (kovariáta lokalita, permutace zvlášť v každé lokalitě)

Analysis 'Constrained-partial'

Simple Term Effects:

Name	Explains %	pseudo-F	P	P(adj)
stanoviště.K	21.0	11.7	0.0005	0.0005
stanoviště.M	21.0	11.7	0.001	0.001

Obrázek 53: pCCA: statistické výsledky pro hor organominerální Ah (nahoře) a hor. minerální (B).

V horizontech A (organominerálních) jsou v milířištích vyšší hodnoty především plné vodní kapacity (PVK), méně již okamžité objemové vlhkosti (OOV), maximální vodní kapacity, nasáklivosti. Naopak, v místě kontrol je vyšší objemová hmotnost.

V horizontech minerálních (Bv, Bvs, E, R) se s milířišti zvyšuje objemová hmotnost (patrně souvisí s přeměnami pevné půdní frakce vlivem vysokých teplot těsně pod zónou výpalu (částečné zhutnění zpečením). Ostatní parametry jsou obecně bez jednoznačného trendu.

Z výše uvedeného lze vyvodit, že biouhel ovlivňuje fyzikální vlastnosti stanoviště, který díky své hustotě dává lehčí hmotnost celé půdní matrix. Zvyšuje plnou vodní kapacitu především větším množstvím nekapilárních pórů. Množství kapilárních pórů nevykazuje v A horizontech milířišť tak výrazný nárůst, v horizontech minerálních je naopak obecně spíše nižší. Termická přeměna minerální frakce půdy v horizontech bezprostředně pod zónou výpalu milíře což se projevuje ve zvýšených hodnotách objemové hmotnosti, někdy nižšího objemu kapilárních i nekapilárních pórů. V některých případech je jistá míra „spečení“ alespoň části těchto (sub)horizontů patrná v morfologii půdního profilu.

### 3.5 Pedodiverzita

Půdní podmínky milířišť jsou natolik specifické jak po stránce chemismu, fyzikálních vlastností, mikrobiologie, tak i po stránce morfologické (stratigrafie a kvalita horizontů), že u nich lze vylíčit zvláštní půdní jednotky. Hirsch et al. (2017) navrhuje označení Anthropic Udorthennts dle US Soil Taxonomy (IUSS Working Group, 2014) či Spolic Technosol dle WRB (Soil Survey Staff, 2014). My se



přikláníme k označení půdního typu antropozem dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (Němeček et al., 2011).

Pro hodnocení pedodiverzity jsme použili pro tyto účely běžně užívaný Shannonův index:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \times \ln(p_i)$$

Kde :  $H'$ ...Shanonův index;  $n$ ...počet zastoupených jednotek;  $p_i$  ... podíl  $i$ -té půdní jednotky na studovaném území ( $p_i=a_i/A$ , kde  $a_i$ =plocha dané jednotky,  $A$ ...celková plocha území)

$H'$ ... se obvykle pohybuje mezi 1.5 – 3.5, zřídka bývá vyšší než 4.5. Obecně čím větší hodnota  $H'$ , tím větší diverzita. Hodnota stoupá s počtem zastoupených jednotek a také s rovnoměrností výskytu jednotlivých jednotek. Na všech zkoumaných lokalitách se vždy projevil rozdíl v pedodiverzitě, nejvíce na relativně pedologicky homogenních stanovištích (Český les, Brdy) až o více než 5% – viz Tabulka 4.

Tabulka: hodnoty Shannonova indexu pro pedodiverzitu spočtený pro situace bez milířů a s milíři detekované jako polygony jako derivát LiDARových dat. Jako mapový podklad byla použita půdní mapa 1:50 000 (wms služba ČGS: [https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni\\_typy50/MapServer/WmsServer](https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_typy50/MapServer/WmsServer))

Tabulka 4: Shannonův index pro jednotlivé lokality a zlepší při započtení plochy milířů (antropozem).

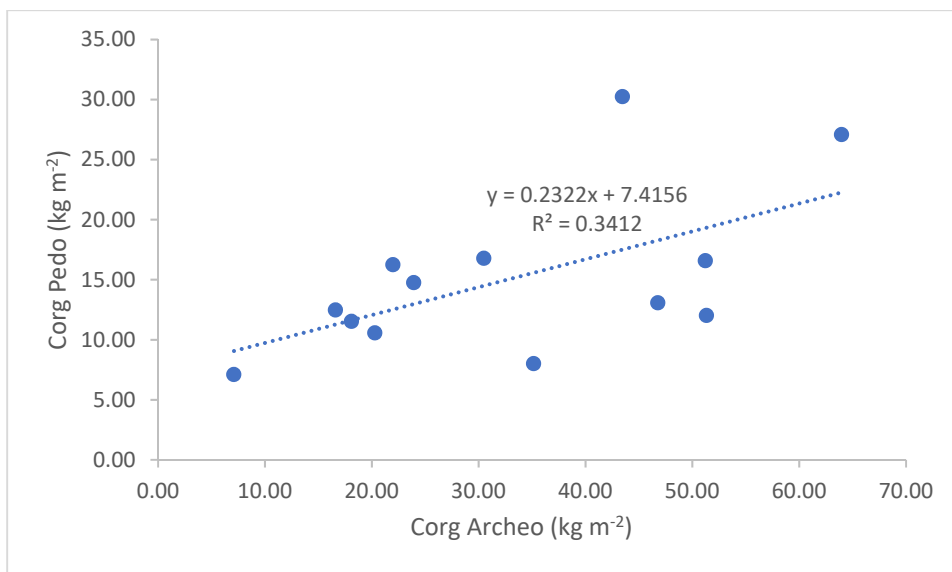
index milíř e	Brdy		Český les		Jeseníky		Křivoklátsko		Moravský kras	
	bez	s	bez	s	bez	s	bez	s	bez	s
$H'$	0.691	0.730	1.087	1.140	1.442	1.458	1.385	1.400	1.210	1.221

### 3.6 Potenciál sekvestrace uhlíku

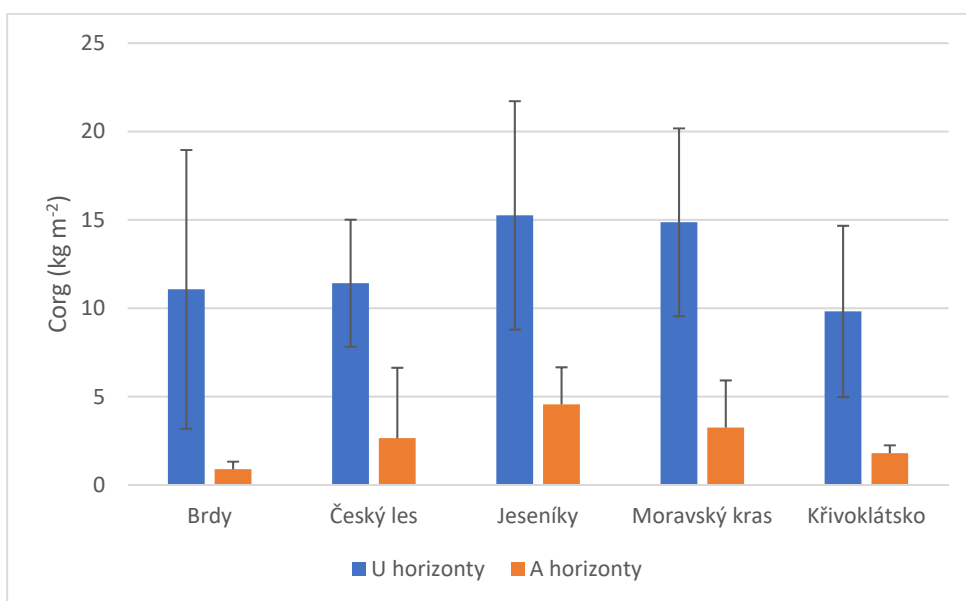
Bylo spočítáno množství organického uhlíku (Corg) v milířích a to na základě archeologických a pedologických sond. Pro výpočet byla použita objemová hmotnost uhelného horizontu, množství Corg (Cox) a mocnost uhelného horizontu. Výsledek udává zásobu organického C v  $\text{kg m}^{-2}$ . Obdobně byla spočtena zásoba Corg v organominerálním A horizontu. Archeologické sondy dávají přesnější obraz o mocnosti uhelného horizontu, ale pro každou lokalitu byly vykopány dvě až tři oproti pedologickým, kterých bylo 10. Získané výsledky jsou však porovnatelné (Obrázek 54).

Zásoba organického C se mezi lokalitami významně nelišila (Obrázek 55). Nicméně je patrný trend v nižší zásobě v případě Křivoklátska, kde byl materiál po pálení uhlí nejspíše dále recyklován (viz. kapitola Archeologie, Křivoklátsko). Pro všechny lokality je vyšší zásoba organického uhlíku na milířišti oproti organominerálním A horizontům (Obrázek 55). Uhlé horizonty vykazují oproti A horizontům i vyšší stabilitu. Index aromaticity (poměr intenzity pásů infračerveného spektra v oblastech  $1620 \text{ cm}^{-1}$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ ) je jednoznačně vyšší na milířích oproti kontrolním stanovištím, což lze pozorovat na Obrázek 56.

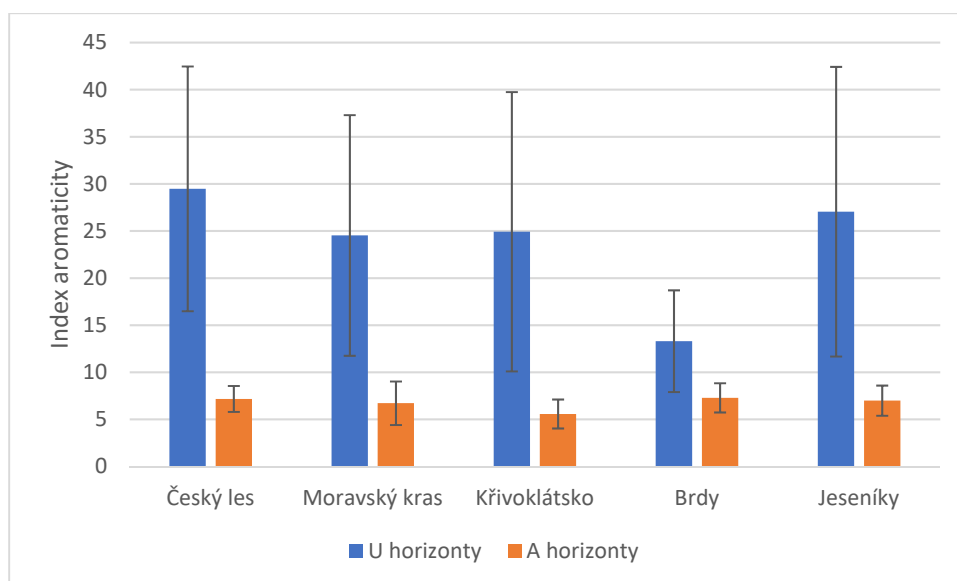
Tabulka 5 ukazuje celkovou zásobu uhlíku v t na  $\text{km}^2$ , vypočtena jako mediánová hodnota plochy milířů zastoupených na 3 náhodně vybraných čtvercích o velikosti  $1 \text{ km}^2$  na každé lokalitě násobená mediánem zásoby vypočtených z půdních analýz a průměrným počtem milířů na  $\text{km}^2$ . Z tabulky je zřejmá relativně významná zásoba sekvestrovaného uhlíku. Tento odhad však považujeme vzhledem ke způsobu výpočtu spíše za konzervativní.



Obrázek 54: Srovnání výpočtu zásob organického C (Corg v kg m<sup>-2</sup>) spočteného z archeologických sond (Corg Archeo) a pedologických sond (Corg Pedo).



Obrázek 55: Zásoba organického C (Corg v kg m<sup>-2</sup>) v uhelných (U) a organominerálních (A) horizontech pro jednotlivé lokality (spočtená z pedologických sond; průměr a směrodatná odchylka).



Obrázek 56: Průměrný index aromaticity pro jednotlivé lokality v uhelných (U) a organominerálních (A) horizontech (průměr a směrodatná odchylka).

Tabulka 5: Celková zásoba uhlíku v milířištích jednotlivých lokalit vypočtena jako medián plochy změřených milířišť násobeno hodnotou mediánu zásoby uhlíku v kg.m-2 a průměrným počtem milířišť na km².

Lokalita	Brdy	Český les	Jeseníky	Křivoklátsko	Moravský kras
počet změřených milířišť	152	152	119	184	63
celkový počet milířišť na 50 km²	1084	899	845	1763	423
průměrný počet milířišť na km²	22	18	17	35	8
pocha [m²]					
průměr	97.1	152.0	86.0	45.5	88.9
SD	40.5	51.4	27.5	15.2	34.0
median	86.8	147.2	80.5	42.4	87.3
min	37.8	60.1	38.3	20.3	27.6
max	256.2	311.2	184.2	106.9	166.3
zásoba uhlíku na jednotkové ploše milířišť [kg.m²]					
Počet milířišť	3	3	2	2	3
Aritmetický Průměr	30.2	36.8	55.4	13.7	30.5
Median	30.5	35.2	55.4	13.7	22.0
Směrodatná odchylka	13.4	13.7	12.2	9.3	18.2
Celková zásoba uhlíku milířišť [t.km⁻²]					
	57.38	93.06	75.34	20.46	16.24

## 3.7 Biodiverzita

### 3.7.1 Biodiverzita bylinného patra

#### 3.7.1.1 Vegetační charakteristika:

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 (obr. 2). Vegetačně nejméně variabilní byla lokalita v Brdech, zde se velmi nízký obsah dostupných živin a extrémní kyselost substrátu v kombinaci se smrkem a modřínem ve stromovém patře projevuje velmi nízkou druhovou bohatostí cévnatých rostlin. V Bylinném patře se krom semenáčků smrku a modřínu pravidelně vyskytuje jen brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), zřídka se přidávají další nenáročné druhy jako bika bělavá (*Luzula luzuloides*) a ostřice kulonosá (*Carex pilulifera*).

Lokalita Český les a Jeseníky jsou si vegetačně podobné, na obou těchto lokalitách převládají kulturní porosty smrku ztepilého nahrazující přirozenou vegetaci mezotrofních bučin, či jedlobučin, které se zde dochovaly jen ostrůvkovitě. Mezi nejčastěji přítomné druhy na obou lokalitách patří šťavel kyselý (*Oxalis acetosella*), kapraď osténkatá (*Dryopteris carthusiana*), nebo třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), na úživnějších stanovištích pak např. bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*) či pitulník (*Galeobdolon luteum* agg.).

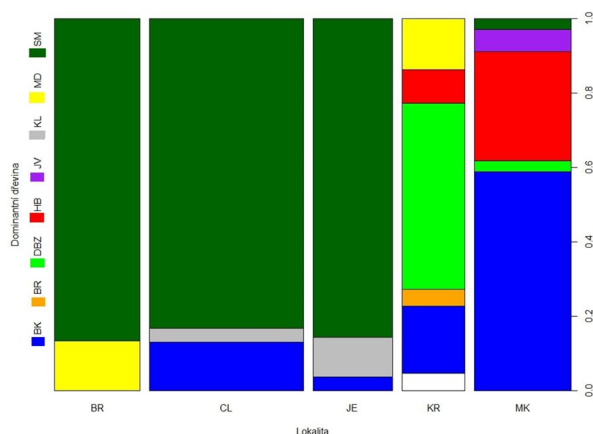
Lesy na lokalitě v Moravském krasu tvořily převážně eutrofní dubohabřiny a bučiny s typickými druhy jako kyčelnice cibulkonosná (*Dentaria bulbifera*), svízel vonný (*Galium odoratum*) či česnáček lékařský (*Alliaria petiolata*). Subxerothermní vegetace lesů na jižně orientovaných svazích na lokalitě Křivoklátsko byla typická přítomností některých světlomilných druhů rostlin, např. třezalky tečkované (*Hypericum perforatum*) či marulky klinopádu (*Clinopodium vulgare*) a velkou pokryvností travin, nejčastěji třtiny rákosovité (*Calamagrostis arundinacea*), lipnice hajní (*Poa nemoralis*) a válečky lesní (*Brachypodium sylvaticum*). Obzvláště snímky z biologicky velmi cenného, starého porostu dubu zimního s příměsí buku a jeřábu břeku, vynikají vysokou druhovou bohatostí.

#### 3.7.1.2 Druhová bohatost bylinného patra:

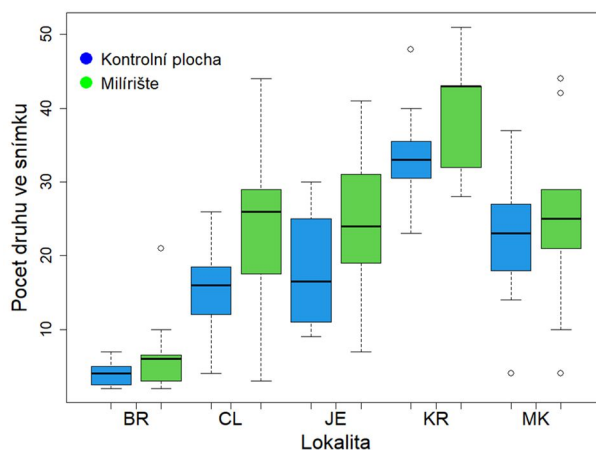
Průměrný počet druhů bylinného patra (včetně juvenilů dřevin) byl na snímcích milířišť 23,3 a na snímcích kontrolních 17,6. Na všech lokalitách byla druhová bohatost vyšší na milířištích, než na kontrolních stanovištích (Obrázek 57). Stejně tak celková diverzita bylinného patra pro jednotlivé lokality byla vždy vyšší na milířištích než na kontrolních plochách (Tabulka 6).

Tabulka 6: Počet druhů bylinného patra ve snímku pro jednotlivé lokality. M: průměr pro snímky na milířištích, K: průměr pro snímky na kontrolách, p: p hodnota párový T-test (u Brdů Wilcoxon-Pratt Signed-Rank, jelikož data nevykazují normální rozdělení). Celkem druhů M a K: celkový počet druhů bylinného patra na milířištích a kontrolách.

Lokalita	M	K	p	Celkem druhů M	Celkem druhů K
Brdy	6	3,9	<0,001	31	14
Český les	23,7	15,1	<0,001	102	72
Jeseníky	25,1	18,4	0,002	83	65
Křivoklátsko	39,8	33,6	0,02	122	111
Moravský kras	25,5	22,8	0,19	121	87



Obrázek 58: Dominantní dřevina stromového patra ve fytoecologických snímcích podle lokalit. Bílá: bez stromového patra. BK: buk lesní, BR: břiza bělokora, DBZ: dub zimní, JV: javor mléč, KL: javor klen, MD: modřín opadavý, SM: smrk ztepilý.



Obrázek 57: Počet druhů bylinného patra ve snímcích podle lokalit; BR: Brdy, CL: Český les, JE: Jeseníky, KR: Křivoklátsko, MK: Moravský kras.

### 3.7.1.3 Druhové složení a ekologie stanoviště:

Ellenbergovy indikační hodnoty pro půdní reakci (pH) a živiny (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), ukazují, že především na lokalitách Jeseníky a Český les se na milířích vyskytovaly v průměru náročnější druhy na živiny a půdní pH než na plochách kontrolních. Mírně vyšší náročnost druhů na půdní pH byla i na milířích v Moravském krasu.

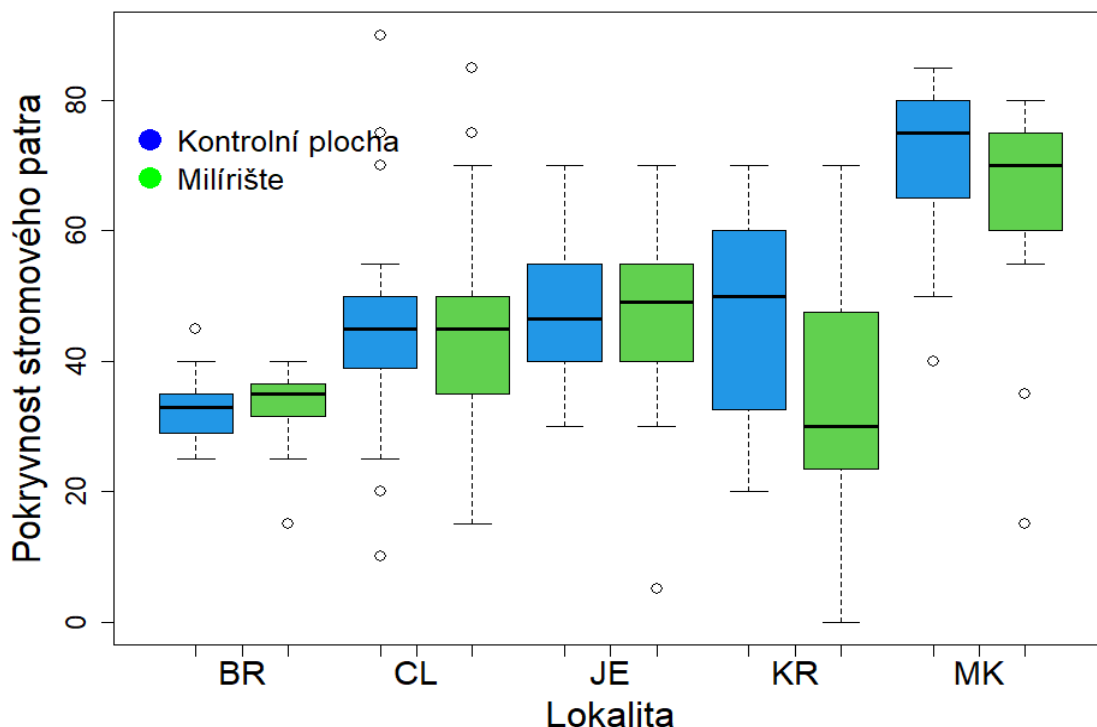
V Českém lese se na milířích vyskytovaly častěji některé druhy typické spíše pro listnaté háje, jako violka Rivinova (*Viola riviniana*), lipnice hajní (*Poa nemoralis*), Rovněž eutrofní druhy zde výrazně preferovaly milířiště: bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*) či kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*). Výraznou preferenci milířů měly i druhy rozrazil lékařský (*Veronica officinalis*) a starček hajní (*Senecio nemorensis* agg.). Obdobně v Jeseníkách se na milířích častěji vyskytovaly druhy spíše listnatých lesů jako violka lesní (*Viola reichenbachiana*) či pšeničko rozkladité (*Milium effusum*). Dále pitulník (*Galeobdolon luteum* agg.), nebo rozrazil lékařský (*Veronica officinalis*) (Tabulka 7). Kompletní synoptická tabulka všech zjištěných druhů ve snímcích na milířích a na kontrolách pro jednotlivé lokality viz Příloha č. 9. Na extrémně chudé lokalitě v Brdech byl vliv milířů na podobu vegetace malý, na milířích se častěji vyskytovaly např. semenáčky buku lesního a jeřábu ptačího, či ostřice kulonosná (*Carex pilulifera*). V Moravském krasu byl vliv milířů na druhové složení vegetace poměrně slabý, a žádný z druhů výrazně nepreferoval milířiště oproti kontrolním plochám. Na Křivoklátsku byla situace obdobná, eutrofní druhy jako kakost smrdutý (*Geranium robertianum*) či kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) se vyskytovaly srovnatelně často na milířích i kontrolách. Častější byl na milířích výskyt některých světlomilných druhů jako třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*) nebo hrachor luční (*Lathyrus pratensis*). To však může být způsobeno celkově nižším zápojem stromového patra na milířích na Křivoklátsku v porovnání s kontrolami (Obrázek 59). Na ostatních lokalitách byla pokryvnost stromového patra na milířích a kontrolách srovnatelná. Keřové patro bylo přítomno jen vzácně. Pokryvnost bylinného patra byla pozitivně ovlivněna přítomností milířů pouze na lokalitě v Českém lese, na zbylých lokalitách nebyl mezi milířišti kontrolami rozdíl. U mechového patra nebyl významný rozdíl v pokryvnosti na žádné z lokalit.



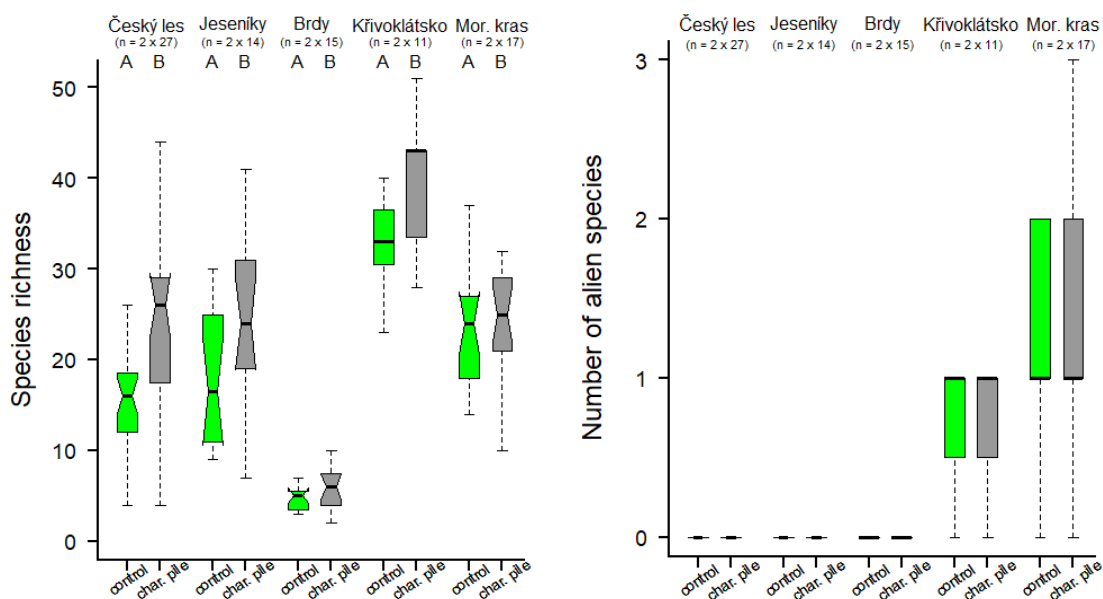
Ohrožené druhy se ve snímcích vyskytovali jen zřídka a preferovaly stanoviště milířišť. Mezi silně ohroženými druhy (C2) to byla vratička měsíční (*Botrychium lunaria*) a mezi ohroženými druhy (C3) pak okrotice dlouholistá (*Cephalanthera longifolia*), kyčelnice devítilistá (*Dentaria enneaphyllos*), ptačinec dlouholistý (*Stellaria longifolia*), huseník chudokvětý (*Arabis pauciflora*) a řebříček sličný (*Achillea nobilis*), žádný druh z kategorie ohrožení C1-C3 nebyl přítomen ve snímku na kontrolní ploše.

Tabulka 7: Četnost výskytu vybraných druhů ve snímcích na milířištích a kontrolách v Českém lese a Jeseníkách.

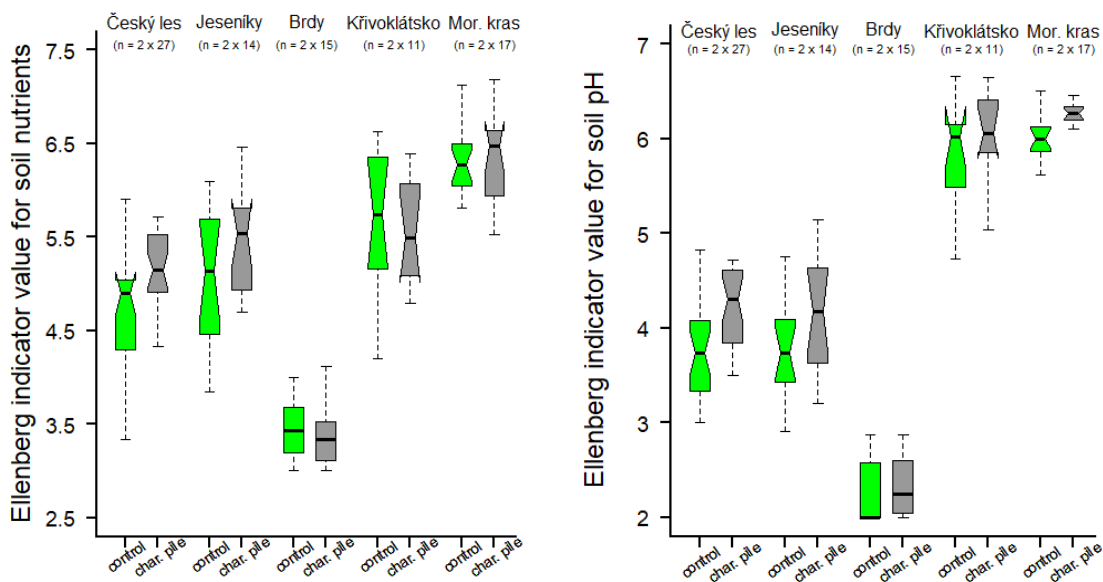
	Český les milířiště	Český les kontrola	Jeseníky milířiště	Jeseníky kontrola
<i>Viola riviniana</i>	16	4		
<i>Viola reichenbachiana</i>	0	1	8	1
<i>Senecio nemorensis</i> agg.	20	5	13	7
<i>Urtica dioica</i>	9	2	4	1
<i>Mercurialis perennis</i>	13	2	5	3
<i>Fragaria vesca</i>	6	0		
<i>Scrophularia nodosa</i>	9	0	4	0
<i>Veronica officinalis</i>	18	7	10	5
<i>Galeobdolon luteum</i> agg.	6	1	11	4



Obrázek 59: Pokryvnost stromového patra [%] podle lokality; BR: Brdy, CL: Český les, JE: Jeseníky, KR: Křivoklátsko, MK: Moravský kras.



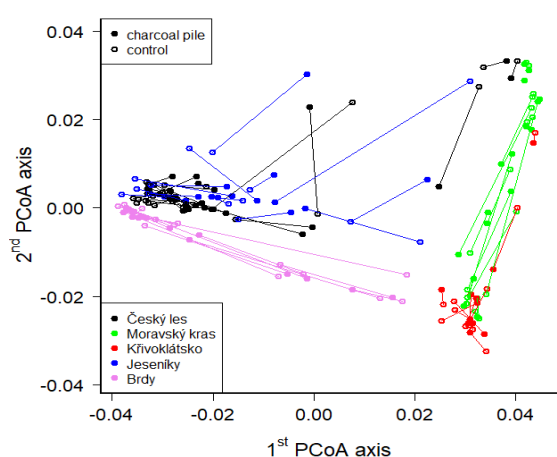
Obrázek 60: Krabicové grafy pro druhovou bohatost a počet nepůvodních druhů flóry ČR; písmena A, B značí signifikantní rozdíl neparametrického párového Wilcoxon-Prattova pořadového testu mezi plochami na mílišti a příslušnými kontrolními plochami na hladině významnosti  $p < 0.001$ .



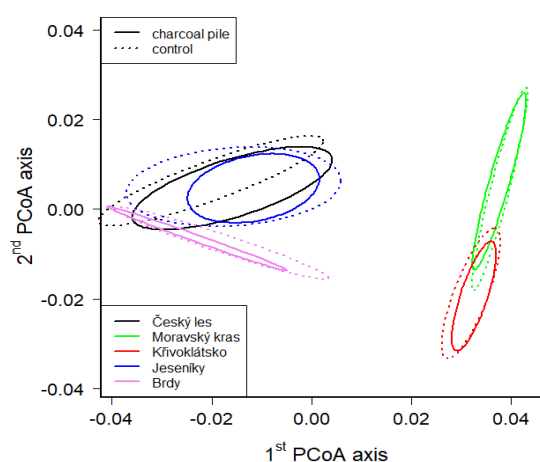
Obrázek 61: Krabicové grafy pro Ellenbergovy indikační hodnoty pro obsah půdních živin a půdní reakci (pH).

Analýza hlavních koordinát (PCoA; obr. 62–65) odhalila velké rozdíly mezi párovými plochami na milířích a příslušných kontrolních plochách. Vegetace těchto ploch ležících v těsné blízkosti byla ve většině případů výrazně odlišná. Celkově nejmenší rozdíly byly zjištěny mezi milířem a kontrolními plochami na Křivoklátsku (obr. 7). V ostatních oblastech byl zaznamenán velký rozptyl těchto rozdílů, přičemž v Brdech tyto vzdálenosti mohly být ovlivněny velmi nízkou druhovou bohatostí (Obrázek 57).

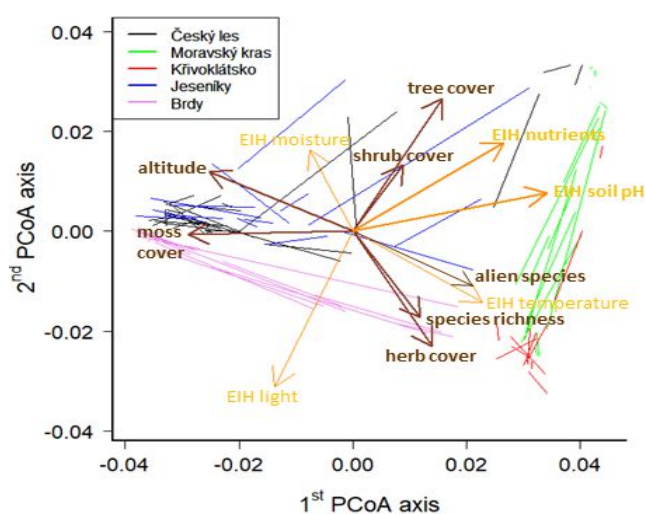
I přes tyto výrazné rozdíly vegetace mezi plochami milířů a kontrolními plochami ležícími v těsné blízkosti se species pool milířů (Obrázek 57) od species poolu kontrolních ploch významně lišil pouze v Českém lese (PERMANOVA,  $p = 0.004$ ; Anderson 2006). Velikost species poolu milířů a kontrolních ploch se na žádné lokalitě nelišila (PERMDISP, n.s.; Anderson 2006). Gama diverzita nížinných oblastí (Moravský kras, Křivoklátsko) se překrývá pouze částečně a silně se odlišuje od gama diverzity středně a výše položených oblastí (Brdy, Český les, Jeseníky). Gama diverzita Českého lesa a Jeseníků se téměř zcela překrývá, avšak s druhově chudými Brdy dochází k překryvu pouze částečnému.



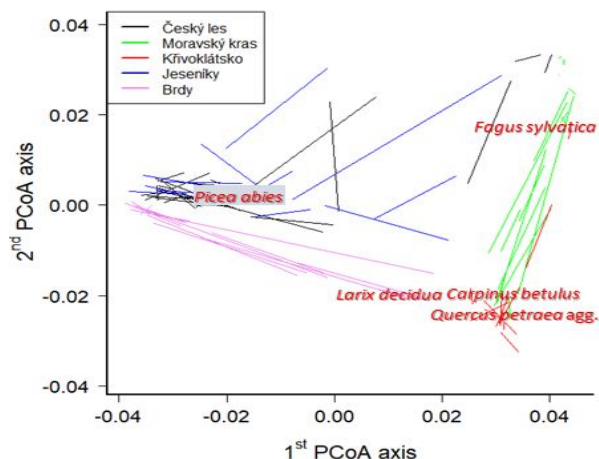
Obrázek 62: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace.



Obrázek 64: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace, vykresleny elipsy kolem centroidů.



Obrázek 63: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace s pasivně proloženými kontinuálními proměnnými testovanými mnohonásobnou regresí na hladině významnosti  $p < 0.001$  (hnědé šipky), Ellenbergovy indikační hodnoty byly navíc testovány modifikovaným permutačním testem, EIH pro půdní reakci významná na hladině  $p < 0.001$  a EIH pro živiny  $p < 0.003$  (oranžové šipky tučně), ostatní EIH nesignifikantní nebo netestované (viz text); čáry představují spojnice plochy na milířem a příslušné kontrolní plochy.



Obrázek 65: Ordinační diagram analýzy hlavních koordinát (PCoA) na podkladu Bray-Curtis nepodobnosti a Hellingerovy standardizace s pasivně proloženou kategoriální proměnnou dominantu porostu testovanou mnohonásobnou regresí na hladině významnosti  $p < 0.001$ .

světlo; heliofyty; modifikovaný permutační test však nebyl signifikantní). Druhá osa je reflektována také kategoriální proměnnou dominanty stromového patra, kde se v silně zapojených snímčích na úživných půdách (EIH pro obsah živin) uplatňuje v bučinách a suťových lesích buk lesní (*Fagus sylvatica*) a na opačném konci gradientu výslunné doubravy s nižším korunovým zápojem (*Quercus petraea* agg.). Druhá bohatost roste s pokryvností bylinného patra v sušších světlých lesích s dominancí dubu zimního (*Quercus petraea* agg.) a habru obecného (*Carpinus betulus*) (obr. 60). Pro zástupné proměnné EIH pro teplotu a vlhkost nemohl být vzhledem k velmi nízké druhové bohatosti snímků z Českého lesa vypočten modifikovaný permutační test, proto jsou v diagramu (obr. 59) vyznačeny tenkou čarou stejně jako nesignifikantní EIH pro světlo (všechny však byly testovány mnohonásobnou regresí na  $p < 0,001$ ).

### 3.7.2 Struktura a biodiverzita bezobratlých

Celkem bylo zaznamenáno 13 druhů zástupců půdní fauny Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea. Nejvíce druhů bylo v Jeseníkách. Druhově nejchudší byly Český les a Moravský kras. Největší počet jedinců byl zaznamenán u *Enantiulus nanus*, který se vyskytoval hojně v Jeseníkách a na Křivoklátsku. Celkem pět druhů se vyskytlo pouze v jednom jedinci (Tabulka 8).

Ve třech případech (Brdy, Český les a Křivoklátsko) byl počet druhů vyšší na kontrole oproti milířišti (Obrázek 66). Celkový počet druhů byl vyšší na kontrole. Oproti tomu byl na milířištích zaznamenán větší počet jedinců (Obrázek 67).

Z dosažených výsledků nelze odvodit, že by na milířištích byla vyšší biologická rozmanitost studovaných skupin půdní makrofauny. Celkově však hostily milířiště větší počet jedinců (Obrázek 68).

První osa analýzy hlavních koordinát (PCoA; obr. 63 a 64) zobrazující hlavní gradient prostředí je představována gradientem půdní reakce (EIH pro půdní pH), proti kterému jde pokryvnost mechového patra a nadmořská výška. Níže položené oblasti (Moravský kras a Křivoklátsko) na jedné straně gradientu se vyznačují nízkou pokryvností mechového patra a zároveň vyšší půdní reakcí (bazifyty). S klesající nadmořskou výškou také přibývá nepůvodních druhů. Na opačném konci gradientu najdeme snímky z nejvyšších poloh s kyselými půdami (acidotolerantní druhy) a vysokou pokryvností

mechového patra. Podle hlavního gradientu jsou roztaženy zejména snímky ze středních a vyšších poloh. Snímky z nižších poloh sledují spíše gradient druhé osy, který koresponduje s pokryvností keřového a stromového patra, proti kterému stojí dostupnost světla (EIH pro

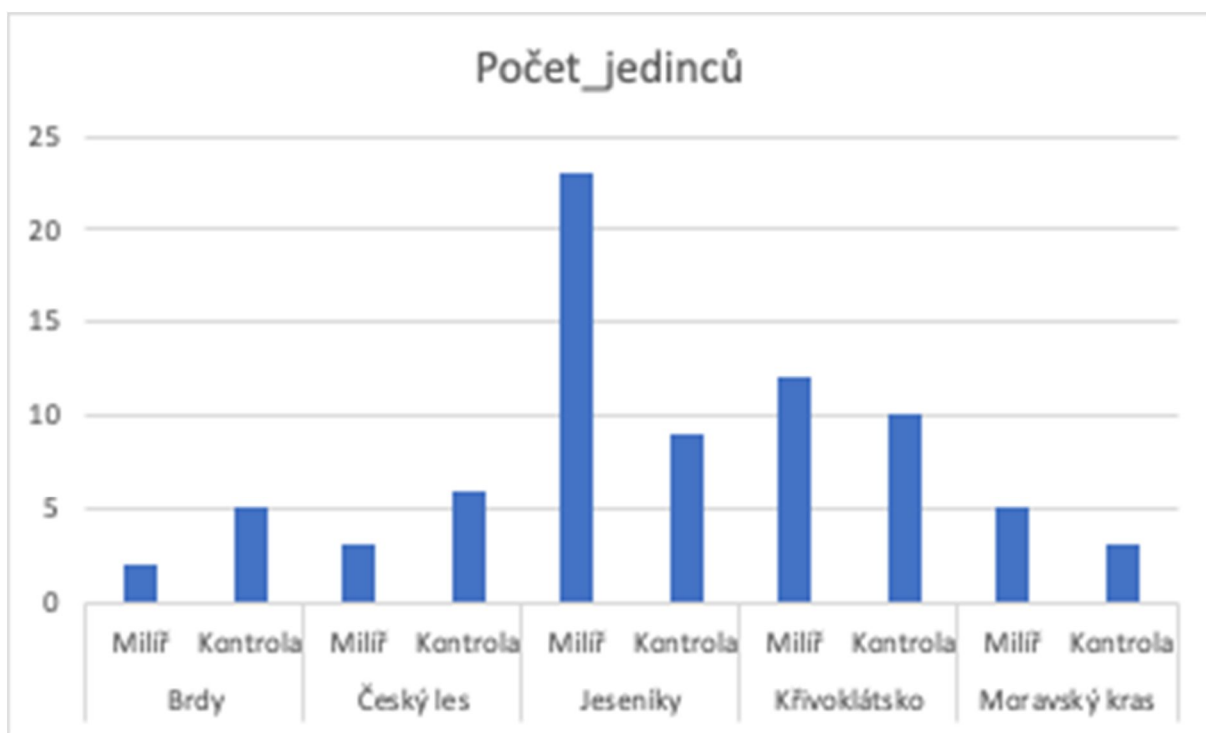
Tabulka 8: Seznam druhů Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea v pěti studovaných lokalitách v ČR.

Druh	Brdy	Český les	Jeseníky	Křivoklátsko	Moravský kras	Celkem
<i>Cryptops hortensis</i>				1		1
<i>Enantiulus nanus</i>			18	11		29
<i>Geophilus alpinus</i>	1					1
<i>Geophilus flavus</i>		4			3	7
<i>Lamyctes emarginatus</i>		1				1
<i>Lithobius austriacus</i>	1		5			6
<i>Lithobius microps</i>	2	4	1	3		10
<i>Lithobius mutabilis</i>	2		3			5
<i>Protracheoniscus politus</i>			1			1
<i>Schendyla nemorensis</i>	1		3	5	4	13
<i>Strigamia acuminata</i>				2		2
<i>Strigamia transsilvanica</i>					1	1
<i>Unciger foetidus</i>			2			2
Počet druhů	5	3	7	5	3	



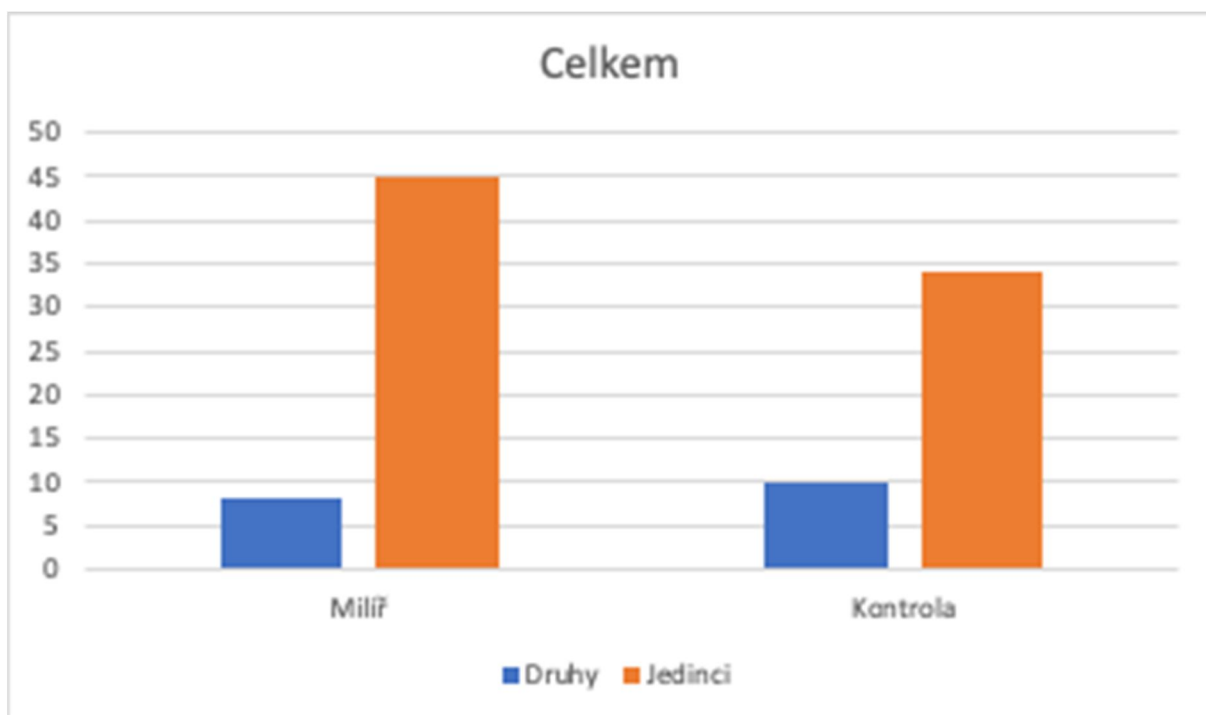
Obrázek 66: Rozdíly v počtu druhů Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi miliři a kontrolami v jednotlivých lokalitách v ČR.





Obrázek 67: Rozdíly v počtu jedinců Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi milíři a kontrolami v jednotlivých lokalitách v ČR.

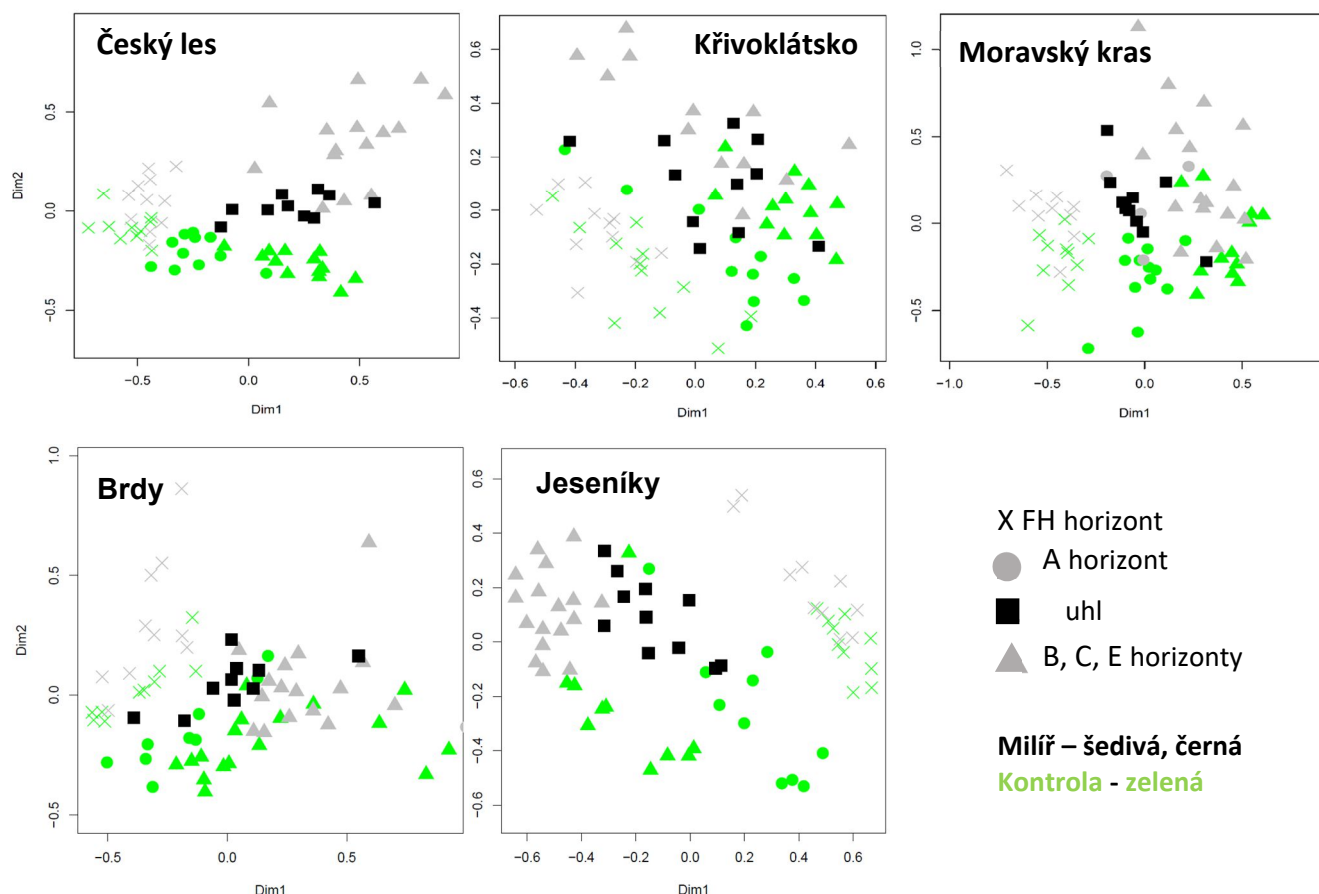
Ve třech případech (Jeseníky, Křivoklátsko a Moravský kras) byl počet jedinců vyšší v milířišti (Obr. 2).



Obrázek 68: Celkový souhrn rozdílů v počtu druhů a jedinců Chilopoda, Diplopoda a Oniscidea mezi milíři a kontrolami v ČR.

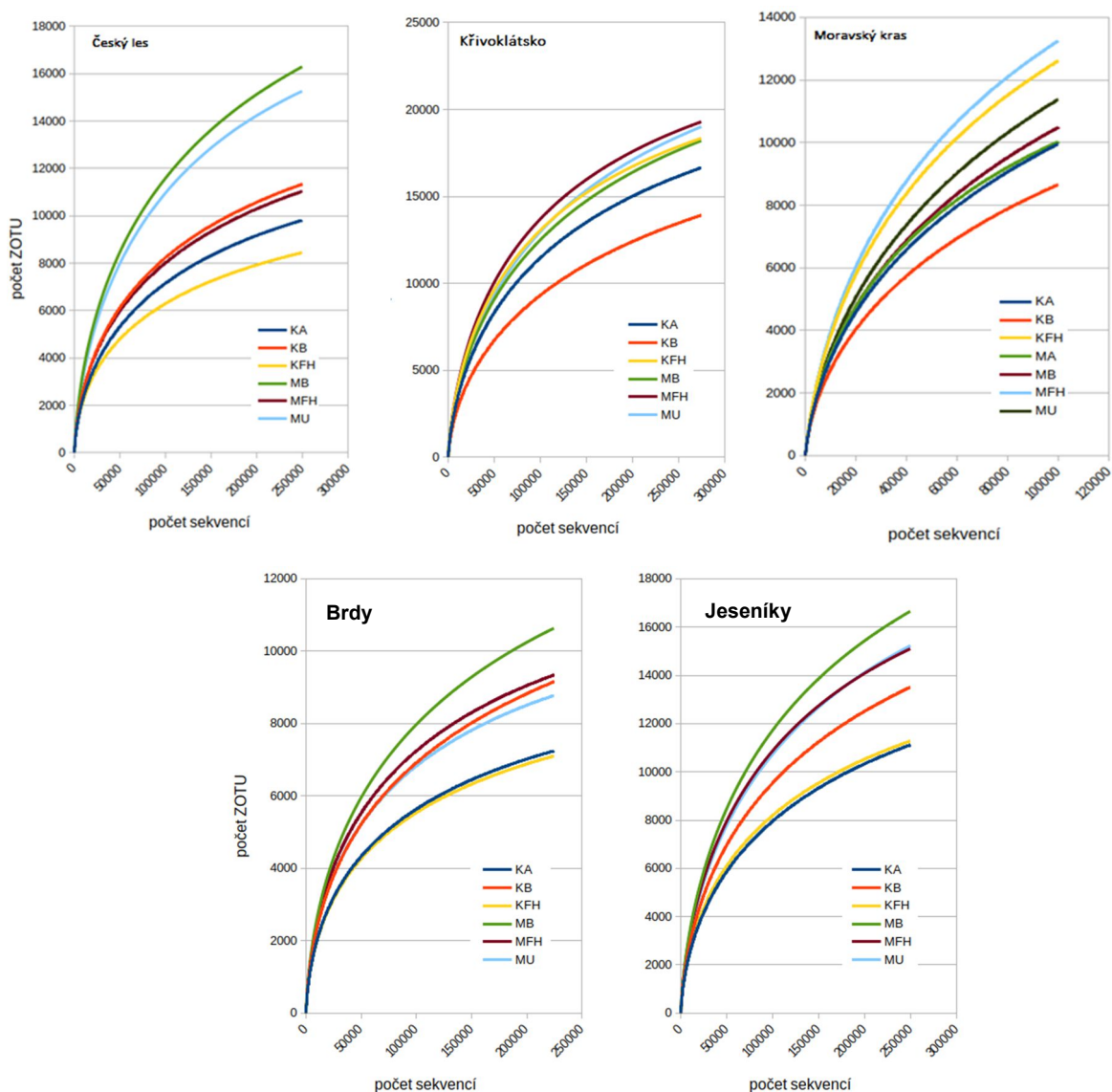
### 3.7.3 Struktura a biodiverzita půdních mikrobiálních společenstev

Taxonomické složení bakteriálních, (resp. prokaryotních, protože taxonomické složení zahrnuje domény *Bacteria* a *Archaea*) společenstev se signifikantně lišilo na milířištích oproti kontrolám, a to ve všech půdních horizontech. Jednotlivé horizonty se také signifikantně lišily mezi sebou v rámci kontrol a milířišť. Podobně i diverzita prokaryotních společenstev byla signifikantně ovlivněna přítomností zbytků dřevěného uhlí.



Obrázek 69: Neparametrické vícerozměrné rozdělení (NMDS) bakteriálních společenstev.

Dvourozměrná projekce ukazuje oddělení prokaryotních společenstev kontrol a milířišť, horizont obsahující dřevěné uhlí se řadí na rozhraní obou stanovišť. FH horizonty se zobrazují nejméně oddělené, ale signifikantní rozdíly v prokaryotních společenstvech na úrovni  $p < 0,001$  byly prokázány i v tomto horizontu. V Českém lese se také zdá, že byla mezi stanovišti menší variabilita a to ve všech horizontech včetně horizontu s dřevěným uhlím.



Obrázek 70: Rarefakční křivky bakteriálních/prokaryotních společenstev z milíříšť a kontrol na třech různých stanovištích.

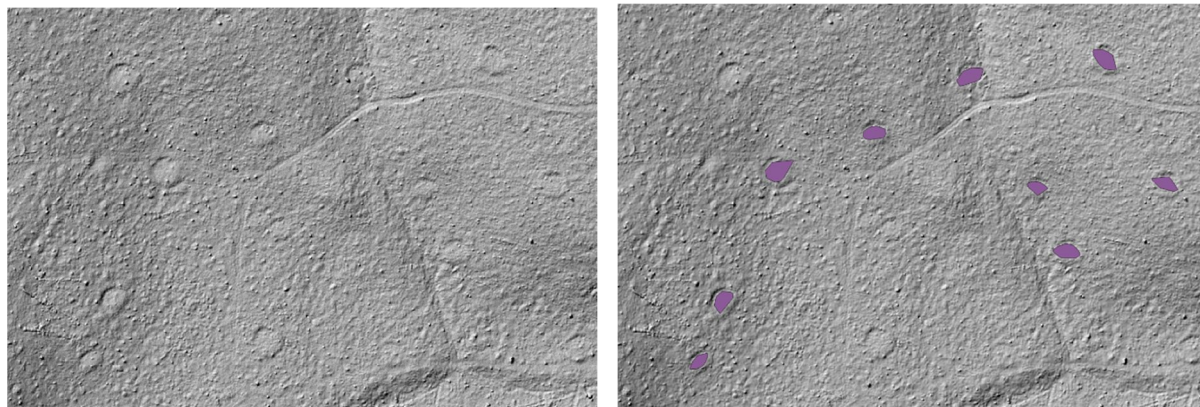
Rarefakční křivky byly použity pro porovnání diversity prokaryotních společenstev. Na všech lokalitách se ukázalo, že přítomnost milíříšť zvyšuje prokaryotní diverzitu ve všech horizontech. Zatímco v Českém lese byla diverzita nejvyšší v milířovém horizontu B, na Křivoklátsku a v Moravském krasu to bylo v milířovém horizontu FH. Naopak nejnižší diverzita byla v Českém lese v kontrolním horizontu FH, na Křivoklátsku a v Moravském krasu byla nejnižší v kontrolním horizontu B.

### 3.8 Software na automatickou detekci milíříšť

Pracoviště VÚKOZ dlouhodobě vyvíjí freeware na zpracování laserových data z pozemního i leteckého skenování pro potřeby hodnocení dynamiky přírodě blízkých lesních ekosystémů. V rámci tohoto volně stažitelného software (<https://www.3dforest.eu/>) byl naprogramován algoritmus pro detekci geomorfologických tvarů terénu odpovídajícím elipsovitým tvarům milíříšť. Algoritmus používá přímo

bodová mračka, vyfiltrovaná jako „ground data“. Popsaný postup pro analýzu dat lze nalézt ve wiki software: <https://github.com/VUKOZ-OEL/3DForest/wiki/14.-Charcoal-sites>

Z našich zkušeností při ověřování efektivnosti algoritmu vyplývá, že bez dalšího post-processingu dat (plně automatizované) je úspěšnost detekce milířišť ověřených v terénu ca 60%. Úspěšnost lze zvýšit



Obrázek 71: Příklad stínovaného reliéfu terénu s patrnými objekty milířišť (vlevo) a vpravo pak vnitřní plochy milířišť (bez odvalů a násypů) detekované software.

specifickou parametrizací vstupních veličin dle konkrétních podmínek, jelikož tvary a velikost milířišť se mohou na lokalitách dosti lišit. Vliv na kvalitu má také předzpracování (filtrace) dat laserového leteckého skenování (viz Tabulka 9). Největší milířiště byly zachyceny v Jeseníkách a Brdech, nejmenší v Moravském krasu a na Křivoklátsku, což je pravděpodobně dáno především sklonem terénu (největší v MK) a také použitou technologií výpalu a dostupností terénu. Kromě těchto parametrů algoritmus také počítá konvexnost/konkávnost tvarů milířišť (půdorysu).

Tabulka 9: Geometrické parametry vnitřních ploch milířišť (bez odvalů a násypů) pro jednotlivé lokality.

	Brdy		Český les		Jeseníky		Křivoklát		Moravský kras	
	prům	SD	prům	SD	prům	SD	prům	SD	prům	SD
Plocha (m <sup>2</sup> )	727	44	587	19	848	41	453	46	451	46
počet bodů	96	58	172	133	161	115	15	5	210	131
osa x (m)	14.8	7.5	16.9	9.2	21.1	9.5	12.5	4.3	14.4	5.2
osa y (m)	7.9	4.0	9.2	4.8	12.1	6.1	7.1	2.1	8.2	2.3
Y/X	0.54	0.10	0.55	0.09	0.57	0.13	0.59	0.17	0.60	0.14

## 4 Diskuze

### 4.1 Význam milířišť pro ochranu přírody a ekosystémové funkce

#### 4.1.1 Rekonstrukce druhové skladby dřevin a porovnání s dnešním stavem

Rekonstrukci druhového složení lesa na základě uhlíkových spekter z reliktních milířů je potřeba interpretovat s určitou obezřetností. Mezi zjištěné procentické zastoupení dřevin v uhlíkovém vzorku a skladbu tehdejšího lesa v daném místě nelze klást automaticky rovnítko. Samotný uhlíkový záznam je ze své podstaty výsledkem cílené lidské činnosti - uhlířství, které bylo řízeno především ekonomickými vlivy. Jaké dřevo bylo použito k produkci uhlí, tak nebylo závislé výlučně na charakteru dostupné dřevní hmoty v konkrétním místě, ale svou roli jistě hrály také faktory ryze ekonomické povahy, jako byla poptávka spotřebitelů, nebo řízení výroby ze strany vlastníka lesa. Preferenci určitých druhů dřevin tak lze předpokládat. Tuto tendenci nepochybně vyvažovala reálná dostupnost dřeva preferovaného druhu, která zásadně limitovala možný počet pracovních cyklů na jednom milířišti. Existuje však možnost, jak ověřit, zda je zjištěné druhové spektrum nějak zásadně vychýleno ve prospěch určité dřeviny. Vycházíme zde z předpokladu, že na stanovištích se srovnatelnými ekologickými podmínkami by se měly opakovaně vyskytovat druhová spektra podobného složení. V případě, že se v rámci shodného stanoviště vyskytne nápadně odlišný vzorek (detekovat ho lze pomocí výsledku PCA), je nutné brát v potaz jeho možnou nereprezentativnost. Uhlíková spektra tedy především vypovídají o podílu dominantních druhů, které představovaly základní strukturu tehdejšího lesa. Na základě toho můžeme spektra analogizovat s konkrétním známým typem lesní vegetace. Jako příklad můžeme uvést situaci zjištěnou na lokalitě Hvězda v Jeseníkách, kde byl téměř ve všech vzorcích zjištěn podobný podíl buku a jedle v množství dosahující 30-50 % pro každou z dřevin. Pokud zohledníme nadmořskou výšku a celkově horský charakter území, tak lze zjištěná spektra s velkou mírou pravděpodobnosti přiřadit k vegetaci horských buko-jedlových lesů svazu *Luzulo-Fagion sylvaticae*.

Při porovnání současného složení stromového patra s tím rekonstruovaným z uhlíků v milířištích je patrná celková přeměna druhového složení ve prospěch smrkových monokultur na lokalitách ve vyšších polohách, která na stanovištích v Českém lese a v Brdech probíhala zřejmě již v době pálení milířišť. Na lokalitách Moravský kras a Křivoklátsko je současné složení stromového patra podobné tomu zjištěnému z uhlíků, jen pionýrské dřeviny jako bříza bělokorá, nebo topol osika se v současných porostech téměř nevyskytují. Asi nejvýraznější změnou společnou pro všechny lokality je úplná absence jedle, která byla v době pálení milířišť přítomná na všech lokalitách.

Jestliže docházelo k posledním výpalům milířišť na lokalitách zhruba v polovině 19. století a počítáme dobu obmýti hospodářského lesa zhruba 80 let, roste na většině lokalit pravděpodobně druhá, u mladších porostů možná třetí generace lesa od poslední těžby za účelem produkce dřevěného uhlí. Výjimkou může být 170 let starý dubový porost na jižním svahu nad Ševcovou cestou na Křivoklátsku. Pokud by zdejší milířiště byly naposledy použity v polovině 19. století, jedná se o první generaci lesa od posledního výpalu.



#### 4.1.2 Vliv milířišť na diverzitu cévnatých rostlin

Nejvýraznější vliv na diverzitu bylinného patra byl zjištěn na živinami chudších až středně bohatých stanovištích s převážně smrkovými kulturními lesy v Českém lese a Jeseníkách. Malý vliv na velmi chudé lokality v Brdech je pravděpodobně daný výrazným ochuzením substrátů na ploše milířišť od doby posledního výpalu a rovněž celkově malou druhovou bohatostí cévnatých rostlin v okolních porostech. Podstatně vyšší celková druhová bohatost milířišť v Brdech byla výrazně ovlivněna snímkem č. 1 se základy stavby, na kterém bylo 21 druhů. Na úživných stanovištích v Moravském krasu, kde rostou náročné druhy rostlin i mimo stanoviště milířišť, již substrát na milířišti zřejmě nenabízí výrazně lepší podmínky pro uchycení dalších náročných druhů. Přesto je celkově výrazně vyšší druhová bohatost milířišť v porovnání s kontrolami (121 vs 87). To je částečně dáno 3 velmi druhově bohatými snímky a rozdíl tvoří z velké části druhy, které se vyskytovaly pouze v jednom snímku, mezi ně se počítají i některé ohrožené druhy, jako vratička měsíční (*Botrychium lunaria*), či orchidej okrotice dlouholistá (*Cephalanthes longifolia*).

Přítomnost bývalého milířiště, zdá se, nepředstavuje tak výrazné obohacení stanoviště živinami, jaké je například u zaniklých hospodářských staveb v lesích. Takovéto objekty bývají často odhalitelné na první pohled podle většího zápoje bylinného patra a často vyšší vegetace s hojnou přítomností nitrofilních druhů. U milířišť bývá fyziognomie bylinného patra podobná jako u okolní vegetace, většinou se stejnými dominantními druhy. Na lokalitách Český les, Jeseníky a v omezené míře v Brdech se na milířištích přidávaly některé mírně náročnější druhy cévnatých rostlin, které ale bývají přítomné i na jiných úživnějších stanovištích v okolních porostech, jako jsou báze svahů, okolí lesních cest a potoků či na lesních světlinách. Jedná se tedy většinou o druhy mírně náročnější na živiny či pH substrátu, které na milířištích nachází příznivé podmínky pro růst.

Na lokalitě Křivoklátsko se zřejmě k vlivu vyššího pH substrátu, které pozitivně ovlivňuje diverzitu cévnatých rostlin ve středoevropských lesích (Chytrý et al., 2003), přidává i vliv nižšího zápoje stromového patra, a tedy větší množství dostupného světla na stanovišti, které rovněž může zvyšovat diverzitu bylinného patra (Márialigeti et al., 2016).

Celkový vliv milířišť na druhovou bohatost bylinného patra není patrně tak velký, jaký byl zjištěn v lesích ve střední Itálii (Carrari et al., 2016). Tamní milířiště jsou ale mladší a často bez stromů na ploše milířiště, tedy s větší dostupností světla pro bylinné patro a také se jedná o jiný typ lesa (mediteránní pásmo). V našich podmínkách se ukazuje, že stanoviště bývalých lesních milířišť mohou zvyšovat diverzitu bylinného patra i po více než 150 letech od posledního výpalu milíře. Vliv na složení bylinného patra však může, kromě fyzikálních a chemických vlastností substrátu, mít i morfologie milířiště, kdy plošina ve svahu může např. lépe zachycovat vodu při vyšších srážkových úhrnech.

#### 4.1.3 Půdní vlastnosti, pedodiverzita

Na začátku naší snahy zkoumat stará milířiště byly různé pedologické studie o půdách obohacených dřevěným uhlím (biocharem), které se odlišují od půd typických v dané biomu nebo bioklimatickém areálu. Byly to především *terra preta* v Amazonii (Glaser, 2001) a *černozemě* ve střední Evropě (Schmidt, 1999)

Půdní kryt především lesních půd má složitou strukturu. Je složený z více či méně plošně malých odlišných půdních klasifikačních jednotek, podle různých autorů nazývaných elementární půdní areál (Fridland, 1965), pedon či polypedon (Johnson, 1963). Ty jsou homogenní svým půdním obsahem na plochách jednotek či desítek m<sup>2</sup>. Milířiště jsou díky vysokému obsahu dřevěného uhlí v epipedonu a zarovnanému povrchu v reliéfu příkladem těchto jednotek. Nedostávají se do názvosloví mapovacích půdních jednotek, tvoří jenom akcesorickou součást pedoasociací, kde zvyšují pedogenetickou

kontrastnost. Jako různé půdní disturbance přírodního charakteru, např. vývraty a polomy, jsou milířiště „čitelná“ v půdním profilu dlouhou dobu. Mohli bychom je zařadit do kategorie antropogenních disturbancí. Ovlivňují mnohé půdní vlastnosti, režimy a funkce. V pedologické části jsme posoudili toto ovlivnění půd na základě půdních analýz dostatečně velkého souboru půdních vzorků z různých geografických a přírodních oblastí.

Klasické kvalitativní hodnocení lesních půd podle Zlatníka, které je základem současné typologie lesa, je založeno, mimo příslušnosti k LVS, na zařazení do trofické a hydrické řady. Půdy milířišť se v tomto směru posouvají k příznivějšímu trofizmu i vlhkostí, než jsou klasifikovány půdy bezprostředního okolí. Přirozeně ne o celou kategorii, to pouze jsou-li v hraniční zóně. Z výsledků fyzikálně chemických rozborů půd milířišť a okolních kontrolních půd je konkrétně patrný posun k půdám méně kyselým, více sorpčně nasyceným, s nižší objemovou hmotností a lepší vodní retencí.

Z hlediska fyzikálních vlastností lze konstatovat, že milířištní plochy měly hydropedologické vlastnosti lepší než stanoviště kontrolní („nedotčené“). Příčinou je s největší pravděpodobností příměs zbytků dřevěného uhlí v povrchové vrstvě půdy. Vliv prachu z dřevěného uhlí na retenci vody je potvrzený laboratorními výzkumy (Liem et al., 2016; Jačka et al., 2018; Rabbi et al., 2021). Několik experimentů na podobné téma proběhlo i v terénních podmínkách. Přínosem této práce je ale potvrzení, že i po uplynutí desítek nebo stovek let od opuštění milířiště je příznivý vliv uhelného prachu stále patrný. Z pohledu vodního režimu půdy je tedy aplikace biouhlu (dřevěného uhelného prachu) do půdy příznivá a dlouhotrvající.

Z pohledu půdní chemie dochází ke zlepšení řady vlastností, které zajišťují lepší podmínky pro růst lesa. Půdy milířišť v našich podmínkách měly všeobecně vyšší pH v porovnání s kontrolními půdami, což odpovídá i výsledkům ze zahraničních studií (Hardy et al., 2016; Faghih et al., 2019). Zvýšení pH je následkem neutrálního až zásaditého charakteru biouhlu vznikajícího z většiny dřevin (Enders et al., 2012; Mukome et al., 2013) a jeho účinek se tak výrazněji projevuje primárně v kyselých půdách (Faghih et al., 2019). Pozorovali jsme také nárůst kationtové výměnné kapacity – k tomu dochází nejen díky vyššímu pH, ale také díky vysokému specifickému povrchu biocharu (Mia et al., 2017; Mastrolonardo et al., 2019). Vývoj kationtové výměnné kapacity na milířištích je časově závislý – čerstvý biouhel může snižovat dostupnost některých prvků (K, P), ovšem se stabilizací v půdním prostředí dochází k opětovnému nárůstu těchto živin dostupných pro rostliny a překonává i hodnoty naměřené na kontrolních půdách (Criscuoli, 2014; Hardy et al. 2016).

Biodiverzita zkoumaných prokaryotních půdních organismů (archea a bacteria) byla prakticky ve všech půdních horizontech milířišť zřetelně vyšší oproti kontrole, jak je patrné z rarefrakčních křivek (viz 3.7.3.). 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 také diverzitou mikroorganismů (Lasota et al., 2021). Komunity bakterií a hub (včetně mykorrhizních) vykazují vyšší druhovou a rodovou bohatost na mikrohabitatech milířišť (Garcia-Barreda et al., 2017). Dílčí výzkum půdních bezobratlých a jejich preference k typu stanoviště neukázala jednoznačný trend, resp. na některých lokalitách je druhová bohatost vyšší na milířištích na jiných lokalitách naopak. Celkově lze konstatovat vyšší abundanci těchto živočichů (počet jedinců) v prostředí milířišť.

Shora diskutované výsledky ukazují na větší diverzitu půdních chemických, fyzikálních a biologických vlastností půd v lesním prostředí s pozůstatky uhlířského řemesla (dřevěného uhlí na milířištích). Tato specifičnost se projevuje také morfologicky v půdních profilech. Půdy milířišť lze z hlediska půdní taxonomie označit na úrovni půdního typu za antropozemě. Zvýšená pedodiverzita se projevuje také ve statistických parametrech, např. Shannonův index.

#### 4.1.4 Sekvestrace uhlíku

Uhlířství bylo ve své době velmi rozšířeným řemeslem, které ovlivňovalo management v lesích, vedlo k velmi intenzivnímu hospodaření a také výrazně ovlivňovalo tvář a charakter lesní krajiny. Vyrobený biouhel byl používán převážně v hutích, hamrech, sklárnách apod. Dnešní pozůstatky milířů – nivelizované geomorfologické prvky s elipsovíty tvary ve svazích i v údolních nivách potoků – jsou ve svých počtech překvapivě vysoké, řádově jsou to desítky milířů na km<sup>2</sup> a dnešní zásoba uhlíku na milířích pak přibližně v rozmezí 0,2-1,0 t C.ha<sup>-1</sup>. Tedy i přes odvezení většinového materiálu a jeho spotřebování v jiných průmyslových odvětvích a řemeslech, zůstala významná část uhlíku uložena v mikrohabitatech milířů. Tyto naše odhady vzhledem ke způsobu výpočtu považujeme spíše za konzervativnější.

## 4.2 Vztah uhlířství, společnosti, lesní krajiny

### 4.2.1 Uhlířství v sociálním kontextu

Uhlířství je velmi specializovaným řemeslem, a proto byla osoba uhlíře vždy důležitým faktorem v celkovém provozu. Písemné prameny často mluví o uhlířích, mnohdy až do velkých detailů. Víme, že již v 16. století pracovalo v jedné oblasti až 130 uhlířů (Rohlíček, 1973, 153). V 18. a 19. století najdeme obvykle u jednotlivých železáren několik desítek uhlířů. Profese se typicky dělila na mistry a pomocníky. Velkou roli také hráli povozníci, kteří mohli, ale nemuseli být zároveň uhlíři. V Moravském krasu máme k dispozici podrobné informace, zde se uhlíři i povozníci účastnili staveb a obnovování milířů. Podle Pleinera (1984, 38) bylo v českých zemích v polovině 19. století asi 80 železáren. Když bychom počítali s 25 uhlíři pro každý podnik, bylo by tehdy celkem asi 2000 uhlířů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Spolu s rodinnými příslušníky se jedná již o cca deset tisíc lidí, kteří byli živi přímo z pálení dřevěného uhlí. Tato čísla jsou samozřejmě pouze orientační, ukazují ovšem skutečnost, že uhlíři představovali poměrně početnou vrstvu venkovské společnosti hlavně v méně hustě osídlených horských oblastech.

Sociální postavení uhlířů je jedno z mála témat, u kterých existují moderní studie zohledňující mezinárodní trendy bádání. Například Jiří Woitsch (2009) popsal, jak se měnil status uhlíře od středověku - kdy postava silného a samostatného uhlíře mohla sloužit jako vhodný mytický praotec pro pány z Pernštejna, jednoho z nejbohatších moravských rodů - po 20. století, kdy uhlíři byli spíše divnými a chudými obyvateli lesa mimo civilizovanou společnost. Kristýna Kaucká (2015) analyzovala sociální zabezpečení uhlířů pomocí podpůrných pokladen. Písemné prameny navíc nabízí možnost studovat práci a osud jednotlivých uhlířů, i když existující literatura je zmiňuje spíše jako izolované případy bez hlubšího kontextu. Zároveň je jasné, že například výzkum uhlířství jako rodinného řemesla by mohl vést k lepšímu pochopení celé industrie. Lze předpokládat, že ve středověku organizační forma uhlířského tovaryšstva, známá především z privilegia Jana Lucemburského z r. 1327 kutnohorským uhlířům, podporovala předávání znalostí řemesla v rámci jedné rodiny (Husa, 1957). Naopak v raném novověku, kdy uhlířství již nebylo přitažlivým oborem, mohla být rodinná tradice slabší. V případě Adamovských železáren v Moravském krasu jsme prováděli analýzu dostupných matrik z 19. století za účelem zjistit jména uhlířů, případně jejich rodinné vazby (MZA Brno, E 67, kniha 1, 2, 4, 6). Identifikovali jsme devět vícegeneračních rodin s dohromady třiceti muži ze tří obcí (Adamov, Josefov, Olomučany), kde alespoň jeden člen rodiny byl označen v matrikách jako uhlíř. Mezi těmito muži ani jednou nebyla zjištěna kontinuita uhlířského řemesla v rámci rodiny. Určitá forma rodinné tradice avšak mohla existovat i ve vesnicích kolem Adamova. Naznačuje to například skutečnost, že některá příjmení (Opletal, Zduba, Šváb) se opakovaně vyskytují mezi uhlíři, i když na základě matrik jsme nedokázali zjistit, jestli šlo o náhodu nebo o (vzdálenější) příbuzenské vztahy. Jako další příklad lze uvést z panství Hořovice v Brdech, kde soupis uhlířů z konce 19. století uvádí celkem 49 příjmení, z nichž

se opakovaně vyskytovalo jen 24, tedy zhruba polovina. Rodinné vztahy nejsou specifikovány, avšak datum narození často naznačuje, že mohlo jít o více generací uhlířů ze stejné rodiny. Nejpočetnější byla "rodina" Tonzarů z Cheznovic, ve které se narodily až tři generace uhlířů v letech 1804, 1833, 1836, 1839, 1841, 1845, 1848 a 1854 (SOA Praha, VS Hořovice, inv. č. 473, karton 590: Uhlířství z let 1853-1917, ff. 323-342). S dalšími seznamy uhlířů se můžeme setkat například v rámci velkostatku Janovice v Jeseníkách (ZA Opava, pobočka Olomouc, VS Janovice, inv. č. 366: Kohlerei; Seznamy uhlířů z r. 1836-1872).

Pokud se vrátíme zpátky do Moravského krasu, lze zde sledovat i osudy jednotlivých uhlířů. Příkladem typického uhlíře z olomučanského polesí může být František Šváb. Narodil se 1809 a celý život žil v Olomučanech v č. p. 90. V pramenech byl většinou označován jako domkář, občas jako uhlíř. K jeho domu ovšem nepřínáležela žádná zemědělská půda, živil se tedy asi jen jako uhlíř. Jeho práci v olomučanském revíru dobře dokumentuje například rejstřík zuhelnatění (Verkohlungs Skontro) z roku 1855, kdy Šváb spolu s uhlířem Němcem postavili a vypálili sedm milířů z cca 191 sáhů dřeva. Z těchto milířů pak prodali 1802 pytlů uhlí za 90 zl a 6 kr (MZA Brno, F 30 Lichtenštejnská ústřední účtárna Bučovice, inv. č. 15037: Skontro milířového dříví Nové Hradky, 1855, fol. 8). Řemeslo pak Šváb prakticoval až do vysokého věku. Ještě v roce 1871, kdy mu bylo 62 let, vypálil tři milíře a obnovil dva staré pro znovupoužití. František Šváb umírá v roce 1877 na zápal plic, který mohl, ale nemusel souviset s jeho prací v prašném a zakouřeném prostředí.

#### 4.2.2 Organizace výroby

Písemné prameny dokazují značné změny v organizaci výroby dřevěného uhlí mezi středověkem a novověkem. Uhlíři nejdříve potřebovali surovinu (dřevo), kterou spálili na uhlí, aby ji mohli poté jako svůj výrobek prodat. V souvislosti se soudobými socioekonomickými podmínkami existovaly různé možnosti, jak celý proces zásobování industrií dřevěným uhlím fungoval. Pro uhlíře bylo nejvýhodnější již zmíněné tovaryšstvo v Kutné Hoře. V tomto systému měli uhlíři levný přístup k surovině, přičemž výroba (včetně kontroly kvality) a prodej uhlí byly centrálně organizovány a kontrolovány tovaryštvem (Woitsch, 2009; Husa, 1957). Tato vysoká míra sebeorganizace byla ovšem typická pouze ve středověku. Již v 16. století se setkáváme s dalším systémem, při kterém rolníci sami vyráběli a prodávali dřevo, například na Žďársku (Kreps 1970, 37). V raném novověku většina železáren patřila vrchnosti, která tyto podniky provozovala typicky ve vlastní režii. O zásobování dřevěným uhlím se staral buď přímo hutní úřad, nebo ekonomické vedení panství pomocí různých pravidel pro spolupráci mezi hutním a lesním úřadem.

Pozoruhodným případem prvního typu byla velkovýroba uhlí ve Starém Kolíně (Rohlíček 1973). V 16. století zde pálilo pro kutnohorské báňské podniky více než sto uhlířů a dřevo se plavilo ze vzdálených trutnovských a rychnovských lesů. Plavením dřeva se sice snížila kvalita výrobku (mokré dřevo se pálí hůř než suché), ale existují doklady o jeho využití i jinde. Například jedinečná mapa z 18. století ukazuje plavení dřeva na panství Zbiroh z Brdských lesů do huti ve Strašicích (SOA Praha, VS Zbiroh, inv. č. 903, karton 81, sign. XL/24: Plavení dříví z lesa pro železné hutě z r. 1729-1731). Dále mohl hutní úřad kupovat dřevo "na stojato" a posílat vlastní uhlíře do lesů.

Fungování druhého typu vysvětlují vrchnostenské instrukce, které jsou čtenější od 18. století. Například podle lichtenštejnské instrukce pro železářnu v Adamově z r. 1847 musel hutní úřad kontaktovat lesní úřad a specifikovat množství potřebného dřeva. Lesní úřad poskytl dřevo, ale měl právo se rozhodnout, kde budou stromy vykáčeny a milíře postaveny. Hutní i lesní úřad musel množství páleného dřeva i dřevěného uhlí pečlivě evidovat (Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, karton 1). Podle soudobých účetních knih je patrné, že panství vnímalo provoz železářny (včetně výroby

dřevěného uhlí) v celkovém kontextu. Lesní úřad evidoval nejen množství dřeva předávaného na zuhelnatění, nýbrž také částku, kterou by získal z prodeje stejného množství dřeva. Když se potom vypočítala rentabilita železářny, tato částka byla zohledněna jako pasivum. V instrukcích křivoklátských železáren ve Staré a Nové Huti z druhé poloviny 18. století se například dočteme o ustanoveních, která měla předejít krádežím uhlí v železárnách samotnými pracovníky. Mistr měl na starost dohled nad svými pomocníky a celým chodem železářny i s výrobou. Spadala pod to i starost šetřit s uhlím a zaznamenáváním, kolik toho bylo vypáleno a vykuto. Hlídal také, aby se uhlí zbytečně nepálilo, především v zimním období, kdy se u pecí ohřívali hutníci, kteří čekali na svou noční šichtu. Také měl zamezit přístup nepovolaným osobám, které se k hutím a pecím v zimních časech chodili ohřívat. Začalo se více dbát na šetrnost s ohledem na pálení dříví v lese a jeho úbytku (SOA Praha, VS Křivoklát, odd. Starý a Nový archiv, inv. č. 789, sign. H 94: Instrukce pro provoz železáren ve Staré a Nové Huti (Hýskov, Nižbor) z r. 1761-1763). Práce uhlířů a povozníků tvořila nemalou část celkových výdajů, a proto se před rokem 1848 každé panství snažilo využívat robotu poddaných alespoň pro méně specializované části práce, například v kácení stromů nebo v transportu dřeva a uhlí.

#### 4.3 Potenciál biouhlu pro současnost

Současná úroveň koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře, přesahující 400 ppm, je podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) hlavní příčinou změn klimatu na Zemi. Hledají se různé způsoby, jak omezit vypouštění tohoto plynu, především z fosilních paliv, do ovzduší. Jsou přijímány různé nástroje, jak tento trend změnit anebo omezit. Mimo zpoplatnění vypouštění povolenkami se hledají způsoby dlouhodobého ukládání CO<sub>2</sub> tak, aby byl vyřazen z koloběhu. Půda je jedním z globálních zásobníků, kde je organický uhlík uložen do horizontu nadložního humusu, vlastního humusového horizontu anebo do zrašeliněných látek organozemí. Díky oteplení se však z tohoto prostředí zároveň uvolňuje více mineralizací a celková bilance v půdě uloženého C nemá perspektivní trend.

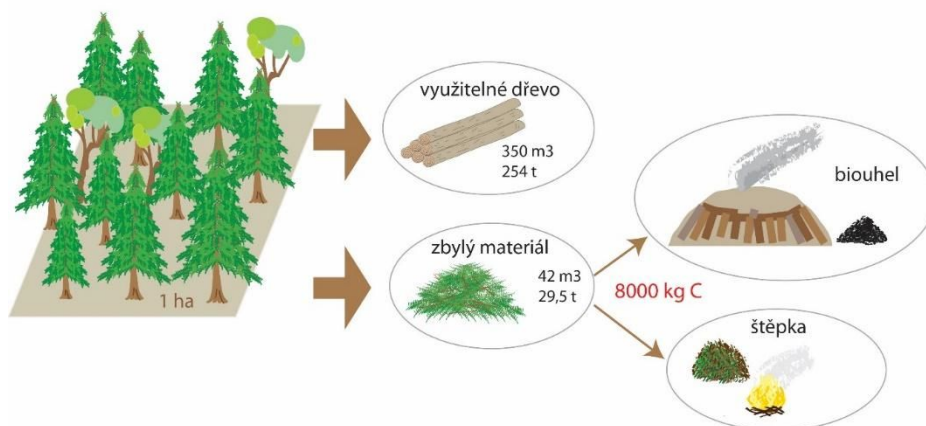
S nástupem zemědělství se postupně do půdy ukládaly různé látky, mimo jiné uhlík ze spálené biomasy a některé půdy tím mají charakter silně antropicky ovlivněný (Glaser, 2001; Gerlach, 2006). Naše zkoumání kontrastní mozaiky lesních půd v místech intenzivního historického pálení dřevěného uhlí prokázal, že půdy výrazně obohacené biocharem mají zlepšené půdní fyzikálně chemické vlastnosti. Toto vylepšení je popisováno v předchozích kapitolách, a proto se nabízí úvaha o změně přístupu hospodaření v lese. Současná převládající praxe při obnově lesa vede k okyselení a debazifikaci díky ztrátě důležitých makroprvků ve vytěženém dřevě, stále ještě nevhodné dřevinné skladbě lesů a acidifikační roli srážek. Z výsledků fyzikálně chemických rozborů půd milířišť a okolních kontrolních půd je konkrétně patrný posun k půdám méně kyselým, více sorpčně nasyceným, s nižší objemovou hmotností a lepší vodní retencí.

Syntézou předchozích faktů docházíme k následujícímu řešení pro udržitelné hospodaření v lese, které má dvojí efekt.

Zlepšení půdy z hlediska důležitých půdních parametrů vedoucí k lepší pufraci, zásobě živin a vody v půdě využitím dřeva po zmýcení a jeho částečné přeměně na biochar. Současné době používaná mobilní konvertorová metoda pálení dřeva (tzv. Oregonová pec) není náročná energeticky, je relativně levná a šetrná k životnímu prostředí. Podle připojeného schématu je přibližně 10 % dřevní hmoty po sklizni buď na místě spáleno anebo odvezeno jako stěpka či palivové dřevo, tady uhlík se z něho vrací do ovzduší. Také dřevo, které se ponechá na místě, postupně mineralizuje a uhlík se postupně uvolní jako koncový produkt do ovzduší. 10 % dřeva (cca 20–25 m<sup>3</sup>) použitelných ke karbonizaci představuje asi 8 000–10 000 kg C v podobě biocharu. To znamená, že 1 m<sup>2</sup> lesní půdy by byl obohacen přibližně kilogramem biocharu.



Fixace organického uhlíku do biocharu má trvalý charakter, zvyšuje množství  $\text{CO}_2$  vyřazeného z malého uhlíkového cyklu. V případě ocenění této služby podle hodnoty povolenek k vypouštění  $\text{CO}_2$  do atmosféry se jedná asi o 6–8 tis. Kč na 1 ha.



Obrázek 72: Schéma toku organického uhlíku při těžbě dřeva při osmdesátiletém obmýtí. Výsledný biochar v množství cca 8 t je možné uložit do lesní půdy.

Využití biouhlu na zemědělských půdách je předmětem diskuzí mezi výzkumníky i samotnými zemědělci. Efekt biouhlu se totiž nemusí projevit bezprostředně po jeho aplikaci do půdy, někdy může být jeho vliv dokonce dočasně negativní např. z hlediska mikrobiálních společenstev v půdě, zvýšená spotřeba dusíku apod.

Z literatury i z tohoto výzkumu je však patrné, že pozitivní vliv biouhlu se v půdě projeví až v dlouhodobém časovém měřítku, řádově alespoň desítky let. Otázkou zůstává ekonomická výhodnost tohoto managementu půdy, tedy poměr efektu a ceny (předpokládejme náklady řádově 30 tis. Kč / ha ZPF), který může být zásadní bariérou v rozšíření jeho použití. Mitigační potenciál biouhlu, coby významného podílu uhlíku sekvistrovaného zpět do půdy ve stabilní formě, tím však zůstává nedotčen. Pro lepší implementaci biouhlu se jeví jeho komplexnější využití v zemědělské výrobě: od aplikace ve stájích jako podestýlka, přísada do krmiv a jeho potenciální pozitivní role v trávení skotu a hospodářských zvířat, jeho následné kompostování a pak teprve aplikace na produkční plochy. Dávka biouhlu, který prošel přeměnami během kompostovacího procesu, může totiž mít i lepší a stabilnější vliv na parametry půdního chemismu i růst zemědělských plodin (viz předběžné výsledky zemědělského polního pokusu v rámci Nmet).

## 5 Závěr

Výroba dřevěného uhlí ze stromové biomasy byla po staletí významným zdrojem energie vázaným na lesní prostředí předindustriální krajiny. Rostoucí populace a enormní spotřeba dřevěného uhlí při produkci železa inicializovala vznik rozsáhlých výrobních areálů, které zásadně přispěly k transformaci přírodních lesů na hospodářské. Téma historického využití dřevěného uhlí tak v sobě spojuje tehdejší výrobní praxi uplatňovanou v českých a moravských lesích se současným stavem krajiny. Hlubší poznání charakteru této ekonomické činnosti tak může přinést důležitý kontext pro environmentální změny, které probíhají v současné české krajině. Ta čelí degradačním procesům, jako je eroze a pokles nutričního potenciálu půd, narušení její retenční kapacity, zvýšené vysychavosti, nebo ztráty biodiverzity řady skupin organismů.

Z projektu lze vyvodit tyto všeobecné závěry a doporučení:

Výsledky projektového výzkumu potvrzují všeobecně pozitivní vliv mikrohabitatů milířišť na diverzitu zkoumaných skupin organismů (cévnaté rostliny bylinného patra, mikrobiální společenstva, částečně i půdní makrofauna), jehož hlavní příčinou je přítomnost pyrolyzované substance typu biouhlu (dřevěné uhlí). Dřevěné uhlí také prokazatelně zlepšuje kvalitu půdy jak z hlediska chemického složení, tak i fyzikálních vlastností.

Velmi intenzivní antropogenní vliv proto s odstupem několika málo staletí vykazuje jako vedlejší efekt pozitivní environmentální dopady na kvalitu prostředí.

Vzhledem k tomu, že zkoumaná milířiště byla z hlediska stáří v přibližně podobné konstalaci, nemohli jsme potvrdit nebo vyvrátit zda časový faktor pedogeneze hraje klíčovou roli, tj. zda starší milířiště budou vykazovat kvalitativně jiné (lepší) parametry půdních vlastností, než milířiště mladší. Ačkoli jsme zájmové lokality vybírali velmi pečlivě jak z hlediska přírodních podmínek, tak na základě předběžných znalostí dosavadních historických a archeologických studií, tento faktor byl mimo možnosti ovlivnění experimentálním designem.

V odpovědi na otázku, zda různé regiony s odlišným typem osídlení historickou uhlířskou praxí vykazují odlišnou resilienci k degradačním vlivům v krajině: ve zkoumaných parametrech prostředí byly rozdíly v odpovědi na přítomnost biouhlu v půdním prostředí v porovnání s kontrolou napříč lokalitami. Z výsledků však nelze vyvodit vliv různého osídlení, případně technologických odlišností při výrobě dřevěného uhlí. Pokud zde jsou odlišnosti, jsou pravděpodobně způsobeny spíše charakterem přírodních podmínek daných regionů (především geologické a půdní poměry, nadmořská výška).

Můžeme potvrdit velký potenciál biouhlové substance pro management lesních i zemědělských půd, zejména v kontextu mitigace probíhajících klimatických změn za současného pozitivního vlivu biouhlu na půdní prostředí. V lesních managementech můžeme doporučit využití technologie tzv. Oregonských pecí, které již částečně v podmínkách ČR fungují a využívají se. Na zemědělském půdním fondu je patrně nejvhodnější použití biouhlu v jeho komplexním zapojení během zemědělské výroby (podestýlka – příměs krmiv – kompostování – aplikace na produkční plochy). Ukazuje se, že může být efektivním nástrojem při stresu suchem. Otázky provozně-ekonomické zůstávají k dořešení, resp. i zde jsme v průběhu realizace projektu měli možnost zaznamenat jistý posun. Důležitým momentem, který je potřeba vzít v úvahu, je časové hledisko, neboť vše nasvědčuje tomu, že nelze očekávat výrazný efekt biouhlu po první aplikaci. Naopak, jeho účinky se projeví ve střednědobém až dlouhodobém časovém horizontu.

## 6 Literatura

- Anderson, M. J. 2006. Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics*, 62: 245–253.
- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1): 337–360.
- Carrari, E., Ampoorter, E., Verheyen, K., Coopi, A., Selvi, F. 2016. Former charcoal kiln platforms as microhabitats affecting understorey vegetation in Mediterranean forests. *Applied Vegetation Science*, 19: 486–497.
- Criscuoli, I., Alberti, G., Baronti, S., Favilli, F., Martinez, C., Calzolari, C., Pusceddu, E., Rumpel, C., Viola, R., Miglietta, F. 2014. Carbon sequestration and fertility after centennial time scale incorporation of charcoal into soil. *PLOS ONE*, 9(3): e91114.
- ČSN ISO 11464. 1998. Kvalita půdy. Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotnostní vlhkosti půdy. Gravimetrická metoda. *Český normalizační institut*, Praha.
- Danihelka, J., Chrtek, J. jr., Kaplan, Z. 2012. Checklist of vascular plants of the Czech Republic. *Preslia*, 84: 647–811.
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., Lehmann, J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114: 644–653.
- Faghih, F., Emadi, M., Sadegh-Zadeh, F., Bahmanyar, M. A. 2019. Long-term charcoal-induced changes to soil properties in temperate regions of northern Iran. *Journal of Forestry Research*, 30: 1063–1071.
- Galimberti, M., Ramsey, C. B., Manning, S. W. 2004. Wiggle-match dating of tree-ring sequences. *Radiocarbon*, 46: 917–924.
- Garcia-Barreda, S., Molina-Grau, S., Forcadell, R., Sánchez, S., Reyna, S. 2017. Long-term soil alteration in historical charcoal hearths affects *Tuber melanosporum* mycorrhizal development and environmental conditions for fruiting. *Mycorrhiza*, 27(6): 603–609.
- Gerlach, R., Baumewerd-Schmidt, H., Van Den Borg, K., Eckmeier, E., Schmidt, M. W. I. 2006. Prehistoric alteration of soil in the Lower Rhine Basin, Northwest Germany—archaeological,  $^{14}\text{C}$  and geochemical evidence. *Geoderma*, 136(1-2): 38–50.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1): 37–41.
- Glaser, B. 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478): 187–196.
- Grulich, V. 2017. Červený seznam cévnatých rostlin ČR [The Red List of vascular plants of the Czech Republic]. *Příroda*, 35: 75–132.
- Hardy, B., Cornelis, J. T., Houben, D., Lambert, R., Dufey, J. E. 2016. The effect of pre-industrial charcoal kilns on chemical properties of forest soil of Wallonia, Belgium. *European Journal of Soil Science*, 67: 206–216.

- Hennekens, S. M., Schaminée, J. H. J. 2001. TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, 12: 589–591.
- Hirsch, F., Raab, T., Ouimet, W., Dethier, D., Schneider, A., Raab, A. 2017. Soils on historic charcoal hearths: Terminology and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6): 1427–1435.
- Hlávka, J., Kadera, J., Rayman, N., Lang, M. 2010. Historie železářství a uhlířství v Českém lese. Planá.
- Chytrý, M., Tichý, L., Dřevojan, P., Sádlo, J., Zelený, D. 2018. Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. *Preslia*, 90: 83–103.
- Chytrý, M., Tichý, L., Roleček, J. 2003. Local and regional patterns of species richness in central European vegetation types along the pH/calcium gradient. *Folia Geobotanica*, 38: 429–442.
- IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014. update 2015, Řím: FAO.
- Jačka, L., Trakal, L., Ouředníček, P., Pohořelý, M., Šípek, V. 2018. Biochar presence in soil significantly decreased saturated hydraulic conductivity due to swelling. *Soil & Tillage Research*, 184: 181–185.
- Kreps, M. 1970. Železářství na Žďársku. Brno.
- Křivánek, R. 2005. Geofyzikální měření ARÚ Praha na archeologických lokalitách v roce 2004. Zprávy ČAS, In: *Archeologické výzkumy v Čechách 2004*, 60: 14–17.
- Křivánek, R. 2008. Detailní měření magnetické susceptibility v odkrytých archeologických situacích - Detailed measurement of magnetic susceptibility in an open archaeological situation. *Archeologické rozhledy*, 60(4): 695–724.
- Křivánek, R. 2009. Geofyzikální měření ARÚ Praha na archeologických lokalitách v roce 2008. Zprávy ČAS, In: *Archeologické výzkumy v Čechách 2008*, 75: 16–19.
- Křivánek, R. 2011. Geofyzikální měření ARÚ Praha na archeologických lokalitách v roce 2010. Zprávy ČAS, In: *Archeologické výzkumy v Čechách 2010*. 81: 14–17.
- Křivánek, R. 2018. Přehled využití geofyzikálních měření Archeologického ústavu AV ČR v Praze v Krušných horách v rámci projektu ArchaeoMontan 2018 - Geophysikalische Messungen des Archäologischen Instituts der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik im Rahmen des ArchaeoMontan-Projektes 2018. In: Smolnik, R., Goryczková, N. (eds.) *ArchaeoMontan. 2018. Krušné hory v centru zájmu montánní archeologie - Das Erzgebirge im Fokus der Montanarchäologie*. Beiheft: Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, 32: 389–396.
- Legendre, P., Legendre, L. 2012. Numerical Ecology. 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier.
- Lim, T. J., Spokas, K. A., Feyereisen, G., Novak, J. M. 2016. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142: 136–144.
- Mastrolonardo, G., Calderaro, C., Coccozza, C., Hardy, B., Dufey, J., Cornelis, J. T. 2019. Long-Term Effect of Charcoal Accumulation in Hearth Soils on Tree Growth and Nutrient Cycling. *Frontiers in Environmental Science*, Eng China 7:51. 15 s.
- Márialigeti, S., Tinya, F., Bidló, A., Ódor, P. 2016. Environmental drivers of the composition and diversity of the herb layer in mixed temperate forests in Hungary. *Plant Ecology*, 217: 549–563.

- Mia, S., Dijkstra, F. A., Singh, B. 2017. Long-Term Aging of Biochar: A Molecular Understanding With Agricultural and Environmental Implications. In: Sparks, D. L. (ed.) *Advances in Agronomy*. Academic Press, 1–51.
- Mukome, F. N. D., Zhang, X., Silva, L. C. R., Six, J., Parikh, S. J. 2013. Use of Chemical and Physical Characteristics To Investigate Trends in Biochar Feedstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 2196–2204.
- Němeček, J., Vokoun, J., Smejkal, J., Macků, J., Kozák, J., Němeček, K., Borůvka, L. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2<sup>nd</sup> ed. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Pavková, K. 2020. *Charakteristika půdního mikrobiomu po provedené remediaci půdy kontaminované ropnými deriváty*. Diplomová práce. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 25–26.
- Powell, A. J., Wheeler, J., Batt, C. M. 2012. Identifying archaeological wood stack charcoal production sites using geophysical prospection: magnetic characteristics from a modern wood stack charcoal burn site. *Journal of Archaeological Science*, 39: 1197–1204.
- Pyšek, P., Danihelka, J., Sádlo, J., Chrtěk, J. Jr., Chytrý, M., Jarošík, V., Kaplan, Z., Krahulec, F., Moravcová, L., Pergl, J., Štajerová, K., Tichý, L. 2012. Catalogue of alien plants of the Czech Republic. 2<sup>nd</sup> ed. Checklist update, taxonomic diversity and invasions patterns. *Preslia*, 84: 155–255.
- Rabbi, S. M. F., Minasny, B., Salami, S. T., McBratney, A. B., Young, I. M. 2021. Greater, but not necessarily better: The influence of biochar on soil hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 72: 2033–2048.
- Robertson, S. J., Rutherford, P. M., López-Gutiérrez, J. C., Massicotte, H. B., 2012. Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(2): 329–340.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to soil taxonomy*. 12<sup>th</sup> ed. USDA–NRCS, Washington, DC.
- Suchara, I. 2007. *Praktikum vybraných ekologických metod*. Praha: Karolinum. 134 s.
- Tichý, L. 2002. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, 13: 451–453.
- Wiedner, K., Schneeweiß, J., Dipplold, M. A., Glaser, B. 2015. Anthropogenic dark earth in northern Germany—The nordic analogue to terra preta de indio in Amazonia. *Catena*, 132: 114–125.
- Woitsch, J. 2009. Charcoal makers in Bohemia: from privileged craftsmen to strange forest dwellers. In: Saratsi, E., Bórgi, M., Johann, E., Kirby, K. J., Moreno, D., Watkins, Ch. (eds.). *Woodland Cultures in Time and Space tales from the past, messages for the future*. Athens: Embryo Publications. pp. 80–88.
- Zelený, D., Schaffers, A. 2012. Too good to be true: Pitfalls of using mean Ellenberg indicator values in vegetation analysis. *Journal of Vegetation Science*, 23: 419–431.



## 7 Přílohy

### 7.1 Příloha č. 1: Přehled zpracovaných archivních zdrojů

inv.č.	název fondu	sign./č. kartonu/knihy	kniha/mapa/karton	archiv	rok	obsah
412	Rodinný archiv Hanau, Hořovice	č.k. 60, sg. 8-7	karton	Státní oblastní archiv v Praze	1876-1883	Uhlířství
415		č.k. 61, sg. 9-1	karton		1875-1888	Správa železáren všeobecně
422		č.k. 61, sg. 9-8	karton		1876-1883	Dodávky dřevěného uhlí
425		č.k. 62, sg. 9-11	karton		1880-1888	Zprávy hutního úřadu majiteli
557		č.k. 79, sg. VIII-1	karton		1889-1901	Správa lesů všeobecně
563		č.k. 79, sg. VIII-8	karton		1894	Správa pily v Jincích
569		č.k. 79, sg. IX-1	karton		1889-1897	Správa železáren všeobecně
15	Lesní závod Rožmitál pod Třemšínem		kniha	Státní oblastní archiv v Praze	/1943/	Polesí Roželov, LHP
212		m.č. 55	mapa		1952	Přehledová mapa porostní LS Radošice, stav k 1.1.1952
4202	Velkostatek Hořovice; č. pom. 195, 196, 285		kniha	Státní oblastní archiv v Praze	1648	Urbář panství Hořovice z 21. 6. 1648
4203		sg F 53 b	kniha		1648	Urbář panství Hořovice
473		č. 590	karton		1853-1917	Uhlířství
418		č. 534-536, sg. VII 1-4	karton		19.,20.stol.	Uhlířství
2	VS Zbiroh (a přidružené statky Mirošov, Králův Dvůr, Osek a Točnick) 1540-1948 (1953)		kniha	Státní oblastní archiv v Praze	1652	Urbář panství Zbiroh
110			kniha		1856	Instrukce úředníkům lesním
336-7			kniha		1881	LHP odd. sv. Dobrotivá I, II

345, 346			kniha		1863/66, 1867/69	Lesní kontrolní kniha odd. sv. Dobrotivá
893		č.k. 81; sg. XL/10	karton		1690-1729	Mzdy uhlířům – horníci
903		č.k. 81; sg. XL/24	karton		1729/31	Plavení dříví z lesa pro železné hutě
906		č.k. 83; sg. XL/39-1	karton		1659	Výtah celoročního počtu hutě Strašické
1010		č.k. 157; sg. 59	karton		1731-1742	Záležitosti týkající se dovozu a těžby uhlí dřevěného
1025		č.k. 162; sg. 21	karton		1744-1751	Výroba dřevěného uhlí (zlomek)
1039		č.k. 166; sg. 8	karton		1751-1756	Věci lesního úřadu, výroba dřeva
3079			kniha, účty		1869/70	Účty dřevěného uhlí - hlavní kniha
4107			mapa		1761	Přehledná mapa - panství Zbiroh
4129			mapa		1835	Porostní mapa – revír Sv. Dobrotivá
4132			mapa		1881	Porostní mapa – revír Sv. Dobrotivá
4339			mapa		1900	Porostní mapa rev. Strašice, odd. Sv. Dobrotivá
101	Velkostatek Dobříš	976	knihy	Státní oblastní archiv v Praze	1854/1857	Přehledný popis lesů s vyznačením těžeb, peněžních výnosů a nákladů s přehlednými hospodářskými mapkami
528, 530		č. 267, sg. K3 / K5	karton		1901-1912	Dřevěné uhlí - výroba, prodej
1-66	Velkostatek Křivoklát - Báňský a hutní úřad (NAD 385/10); II 216/10; (1803-1879)	eč. 1-198	ÚČTY - knihy	Státní oblastní archiv v Praze	1812-1876	Hutní úřad Nižbor
2		eč. 2, 3	ÚČTY - knihy		1813	Hlavní kniha; Pokladní deník
69		eč. 201, 202	ÚČTY - knihy		1838	Hlavní kniha; Peněžní účet
109		eč. 284, 285	ÚČTY - knihy		1838	Hlavní kniha; Peněžní účet
155		eč. 381,382	ÚČTY - knihy		1826-1827	Hlavní kniha; Peněžní deník
324		eč. 700, 701	ÚČTY - knihy		1859-1860	Hlavní kniha; Peněžní a prodejní deníky s přílohami
	Velkostatek Křivoklát - Lesní úřad			Státní oblastní archiv v Praze	1710-1929	inventář na místě + dodatek (II 202, II 202/I)

	(NAD 385/6); č. pomůcky 354-356					
528	Velkostatek Křivoklát, odd. Lesní úřad	kart. 2, sg. 1869/685	karton	Státní oblastní archiv v Praze	1869	Dřevěné uhlí - ceny
566		kart. 3, sg. 1870/557	karton		1870	Dřevěné uhlí - výroba
627		kart. 4, sg. 1870/890	karton		1870	Hořovice - velkostatek, dodávka dřevěného uhlí
1204		kart. 20, sg. 1875/146	karton		1875	Dřevěné uhlí - výroba
862		kart. 8, sg. 1872/1178	karton		1872	Výkazy dřeva na výrobu dřevěného uhlí
892		kart. 9, sg. 1872/1519	karton		1872	Dřevěné uhlí - výroba, ceny, mzdy
1069		kart. 15, sg. 1873/2113a	karton		1873	Dřevěné uhlí, potřeba a prodej
1080		kart. 16, sg. 1874/231	karton		1874	Dřevěné uhlí pro železářny v Novém Jáchymově
1189		kart. 18, sg. 1874/2087	karton		1874	Dřevěné uhlí - výroba
1303		kart. 24, sg. 1875/2136	karton		1875	Dřevěné uhlí - výroba a prodej
1446		kart. 27, sg. 1876/1930	karton		1876	Výkazy dřeva na výrobu dřevěného uhlí
1462		kart. 28, sg. 1876/2046	karton		1876	Dřevěné uhlí, prodej, ceny, doprava
1496		kart. 30, sg. 1877/553	karton		1877	Dřevěné uhlí - výroba
1535		kart. 31, sg. 1877/2154	karton		1877	Prodej dřeva pro dřevěné uhlí
1557		kart. 32, sg. 1877/2582	karton		1877	Dřevěné uhlí, výroba
1654		kart. 36, sg. 1878/1589	karton		1878	Dřevěné uhlí - prodej a výroba
1975		kart. 192, sg. XII/17	karton		1890-1927	Dřevěné uhlí, výroba a prodej
226,22 7	VS Zbiroh (a přidružené statky Mirošov, Králov Dvůr, Osek a Točnick) 1540- 1948 (1953)		kniha	Státní oblastní archiv v Praze	1881	LHP Hředle-Lišná I, II
228			kniha		1904	LHP Hředle-Lišná
254, 255			kniha		1881	LHP Jablečno I, II
257			kniha		1903	LHP Jablečno

284, 285			kniha		1881	LHP Ostrovec I, II
286, 287			kniha		1893	LHP Ostrovec I, II
288, 289			kniha		1913	LHP Ostrovec I, II
516	VS Bruntál	kart 101, sg II18	karton	Zemský archiv v Opavě	1837-1848	Stavební účty za zřizování milířů i s popisem jejich umístění.
563		kart 117, sg XI15	karton		1826-1853	Výsledky výroby dřevěného uhlí
564		kart 118, sg XI16	karton		1810-1879	Výroba dřevěného uhlí všeobecně, ceníky, evidence.
566		kart 119, sg XI19	karton		1829-1839	Koupě dřevěného uhlí z cizích panství.
594		kart 129, sg XV5	karton		1785-1849	Rejstřík příjmů a vydání dřevěného uhlí a přehled zaplacených mezd dřevorubcům, uhlířům a povozníkům.
338	Řád německých rytířů v Bruntále I. Místodržitelství řádu 1627 - 1820	kart. 51; sg. Rub.17, fasc.20	karton	Zemský archiv v Opavě	1774	Smlouva mezi biskupstvím vratislavským a bruntálským panstvím o odběru 4000 sáhů dřeva z biskupských lesů na dřevěné uhlí.
444		kart. 69; sg. Rub.40, fasc.20	karton		1711 - 1720	Stížnosti poddaných bruntálského panství, povinných tažnou robotou, u velmistra řádu na nucení ke kácení palivového dřeva a k dovozu dřevěného uhlí pro ludvíkovské hamry.
445		kart. 69; sg. Rub.40, fasc.15	karton		1693 - 1698	Akta týkající se hamrů, stavby hutí, dolování a platů za uhlí v Malé Morávce.
1392	Řád německých rytířů v Bruntále - ústřední správa velmistrovských statků na		kniha	Zemský archiv v Opavě	1801-1805	Lesní pozemková kniha (lesní systematizace, lesní zařízení) pro polesí Podlesí. Příložená mapa ručně kreslená na papíře podlepeném plátnem (1803).

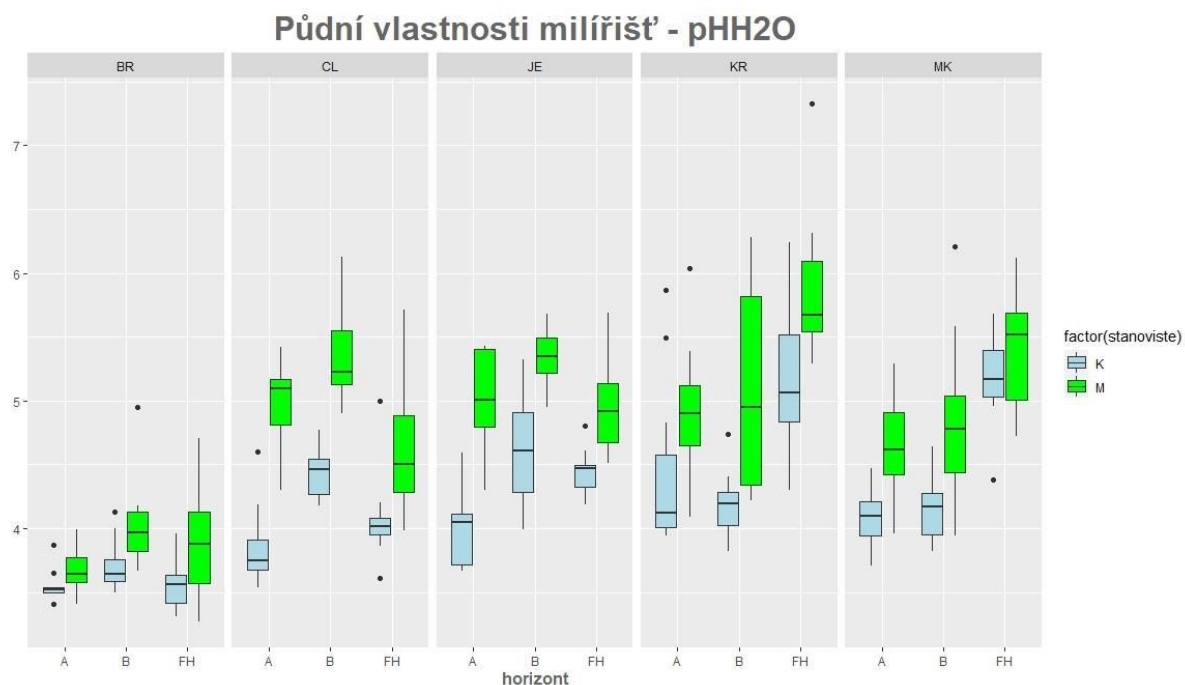


	Moravě a ve Slezsku II. Administrace řákových statků (1727)1853- 1946					
1512			kniha		1872	Lesní hospodářská kniha pro polesí Podlesí
1513			kniha		1882	Lesní hospodářská kniha pro polesí Podlesí
1518			kniha		1909	Lesní hospodářský plán pro Podlesí na období 1909-2008
5811			mapa		1910	Hospodářská mapa polesí Malá Morávka a části polesí Velká Morávka (Moravice Dolní) a Podlesí.
5899			mapa		1872	Porostní mapa polesí Podlesí
5902			mapa		1881	Porostní mapa polesí Podlesí
5907			mapa		1909	Porostní mapa polesí Podlesí
366	VS Janovice		kniha	Zemský archiv v Opavě, pobočka Olomouc	1836-1872	Kohlerei; Seznamy uhlířů
2476		kart 147	karton		1706	Návrh mezd uhlířů a dalších platů za přibližování dřeva potřebného pro hamry a doly
2562		kart 155, sg 52/44	karton		1770	Rozšíření železáren na panství Janovice, mj. zajištění surovin, zkušební tavby, zajištění dřeva pro pálení dřevěného uhlí.
2581		kart 158, sg 53/153-288	karton		1780-1791	Korespondence správy panství Janovice v záležitostech železáren, mj. potřeba dřeva a dřevěného uhlí a dalších surovin pro výrobu
4157		kart 777, sg 40/5	karton		1898-1917	Objednávky a prodej dřevěného uhlí
4411		kart 820, sg V-15/46	karton		1861-1893	Výkazy o prodeji dřeva na výrobu dřevěného uhlí
4412		kart 820, sg V-16/47	karton		1859-1893	Výkazy a zprávy o vlastní výrobě dřevěného uhlí
4915		kart. 847	karton		1856-1889	Oběžníky Horního a hutního ředitelství v Janovicích pro provoz hutí a dolů, mj. instrukce pro pálení dřevěného uhlí (1856)
6701		kart 1266	karton		1708	Výkaz prodeje dřeva ; Výkaz dřeva na pálení dřevěného uhlí

6759		kart 1285	karton		1766	Lesní účet; Výkaz příjmů a vydání lesního úřadu; Výkaz prodeje dřeva; Výkaz řeziva; Výkaz plavení dřeva; Výkaz dřevěného uhlí a sáhového dřeva; Přílohy lesního účtu
6760-6764		kart 1286	karton		1767- 1771	Lesní účet; Výkaz příjmů a vydání lesního úřadu; Výkaz řeziva; Výkaz dřevěného uhlí; Přílohy lesního účtu
7155			kniha		1900	Rejstřík dřevěného uhlí
7407			kniha		1842	Rejstřík dřeva a uhlí u vysokých pecí
7410			kniha		1842 - 1848	Kniha mezd za dovoz dřevěného uhlí
7410		kart 1302	karton		1864 - 1868	Výkaz mezd uhlířů
7410			kniha		1870	Kniha mezd za dovoz dřevěného uhlí
7410		kart 1303	karton		1870-1879	Výnosová bilance; Výkaz mezd uhlířů; Výkaz mezd za dovoz dřevěného uhlí
7410		kart 1304	karton		1873	Výnosová bilance; Výkaz mezd uhlířů; Výkaz mezd za dovoz dřevěného uhlí
7410			kniha		1873 - 1881	Kalkulace výroby dřevěného uhlí
7410		kart 1304	karton		1874-1880	Výnosová bilance; Výkaz mezd uhlířů; Výkaz mezd za dovoz dřevěného uhlí
1,2,4,6	E 67 Sbírkamatrik		kniha	Moravský zemský archiv v Brně	1857-1915	Matriky
1463	F 82 VS Pozořice	kart 1100	karton	Moravský zemský archiv v Brně	1859-1898	Pálení dřeva, uhlířství - korespondence, prodej dřevěného uhlí
1			kniha		1722-1728	Protokol vrchnostenských korespondence, dekrétů a cirkulářů. Instrukce pro železářny.
15028	F 30 Lichtenštejnská ústřední účtárna		kniha	Moravský zemský archiv v Brně	1812-1813	Prodej kmenového dříví Nové Hradky
15034			kniha		1852	Skontro milířového dříví Nové hradky
15035			kniha		1853	Skontro milířového dříví Nové hradky
15036			kniha		1854	Skontro milířového dříví Nové hradky

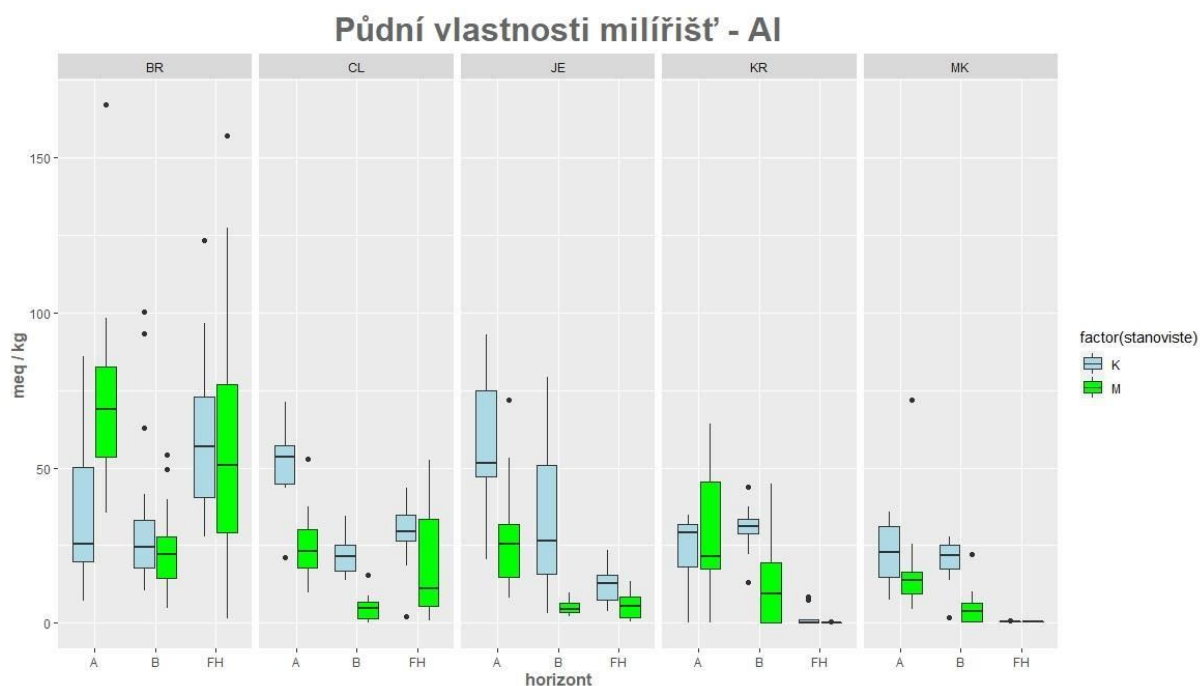
15037			kniha		1855	Skontro milířového dříví Nové hrady
15038			kniha		1857	Skontro milířového dříví Nové hrady
15039			kniha		1810-1811	Kontrolní rejstřík prodeje dříví
15130			kniha		1870	Hlavní kniha lesního hospodářství Adamov
15131			kniha		1872	Hlavní kniha lesního hospodářství Adamov
15190			kniha		1822-1828	Rejstřík prodeje sáhového dříví
1		11	kart 1	Archiv Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny	1847	Instrukce pro organizaci knížecích železáren
		2-14	mapy		1840-1895	Hospodářské a porostní mapy revírů

7.2 Příloha č. 2: Půdní chemismus – krabicové grafy chemických parametrů půdy (kromě obsažených v textové části) dle stanovišť, horizontů a lokalit.

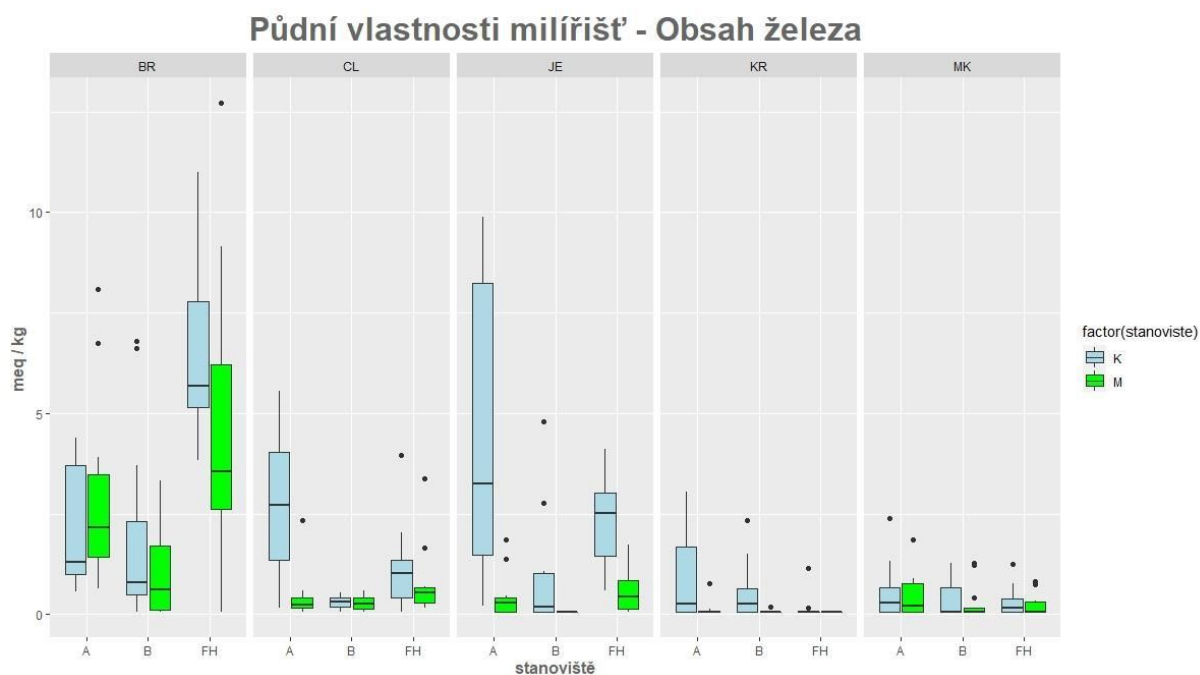


Obrázek XY: Půdní reakce aktivní (pH/H<sub>2</sub>O) – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).

- Kyselé elementy v sorpčním komplexu

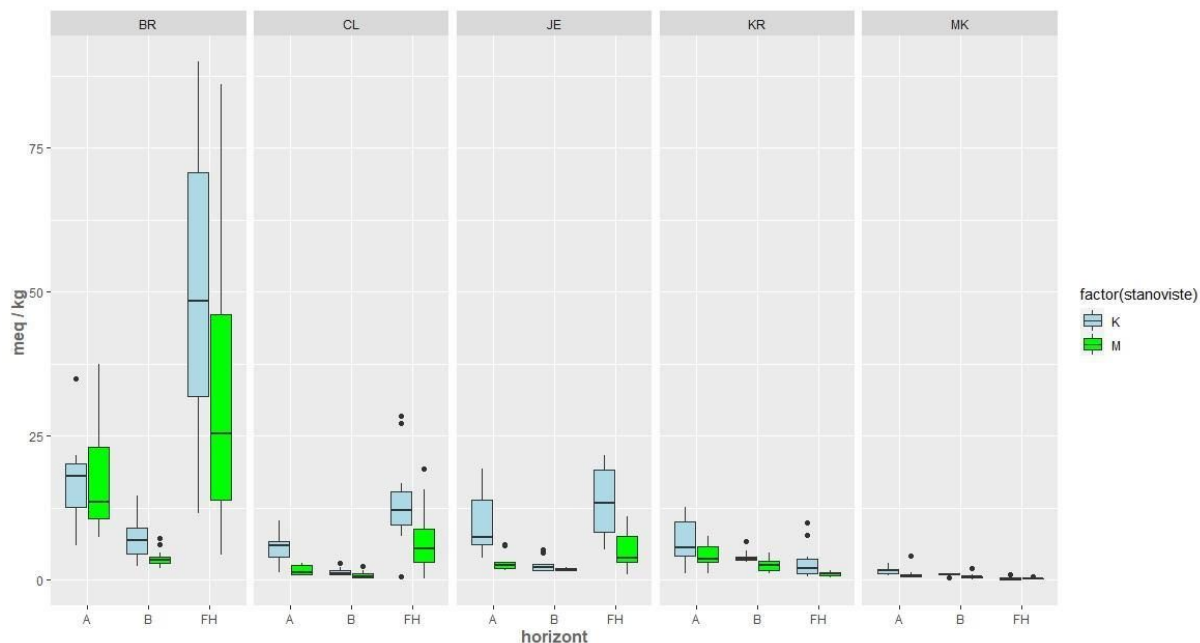


Obrázek XY: obsah hliníku [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR... Křivoklátsko, MK... Moravský kras).



Obrázek XY: obsah železa [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR... Křivoklátsko, MK... Moravský kras).

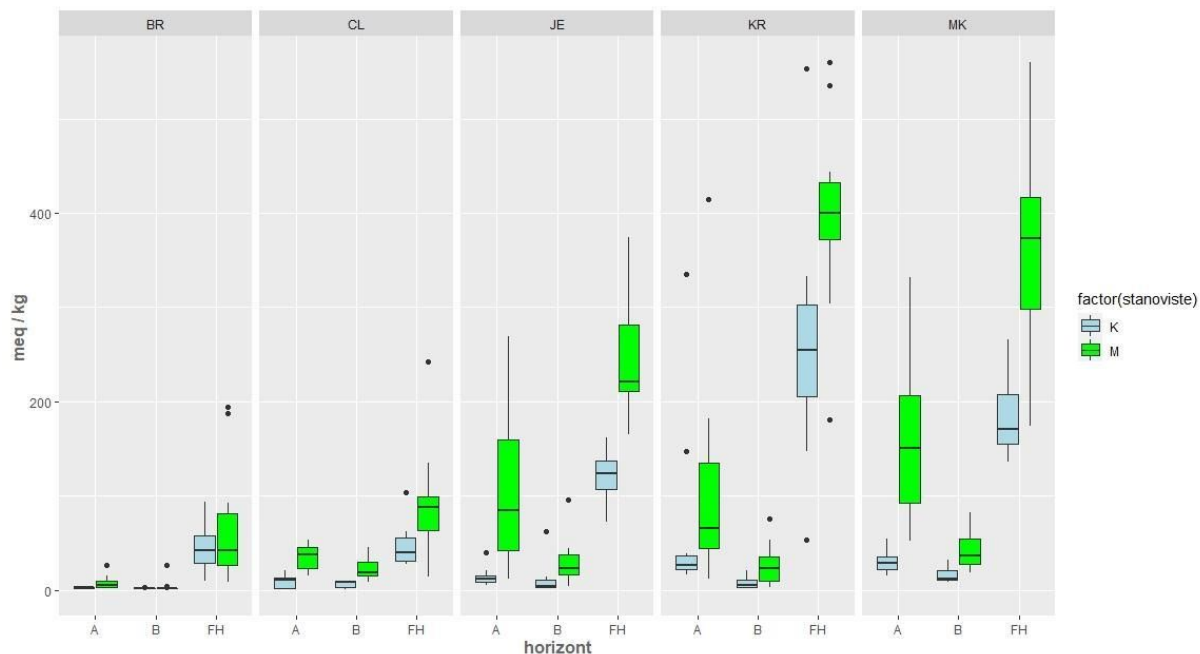
### Půdní vlastnosti milířišť - H+



Obrázek XY: obsah vodíku [meq.kg<sup>-1</sup>] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).

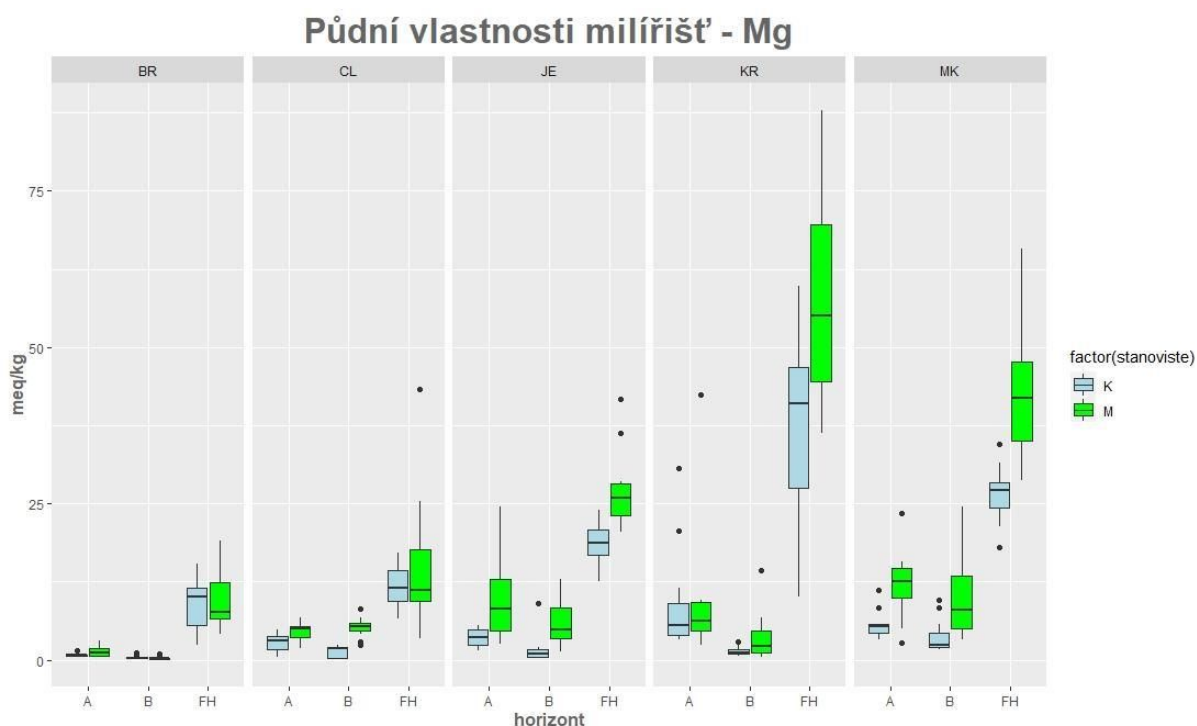
- Basické elementy v sorpčním komplexu

### Půdní vlastnosti milířišť - Ca

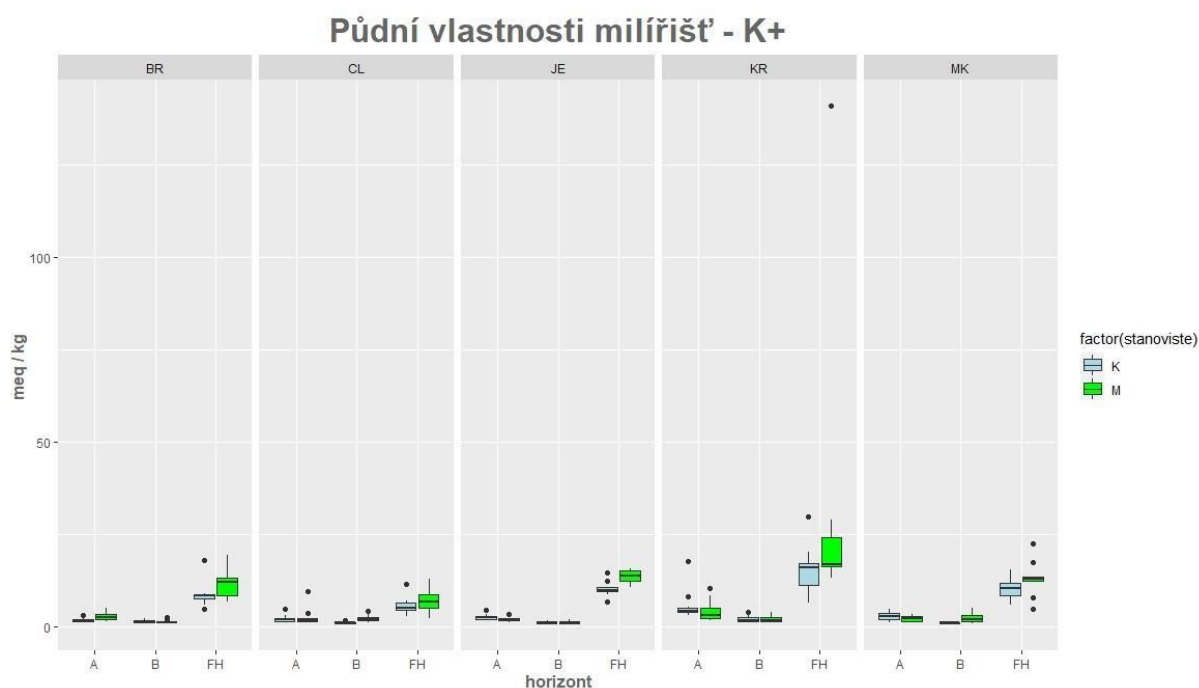


Obrázek XY: obsah vápníku [meq.kg<sup>-1</sup>] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířiště) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).

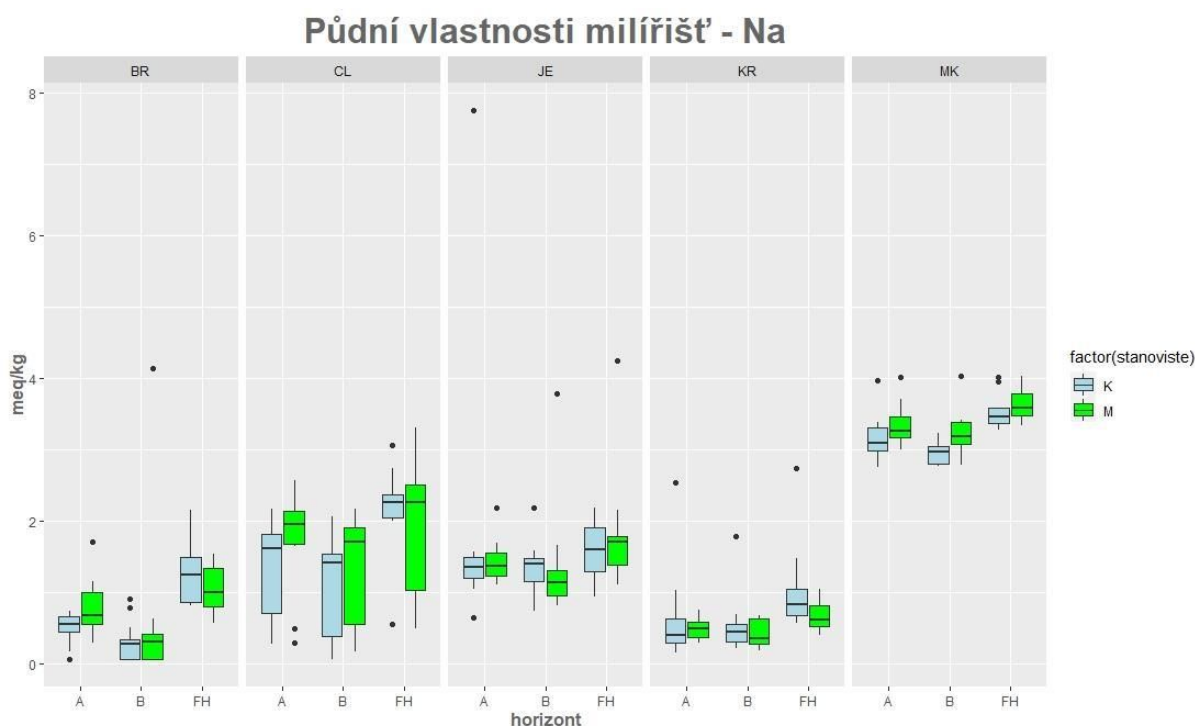




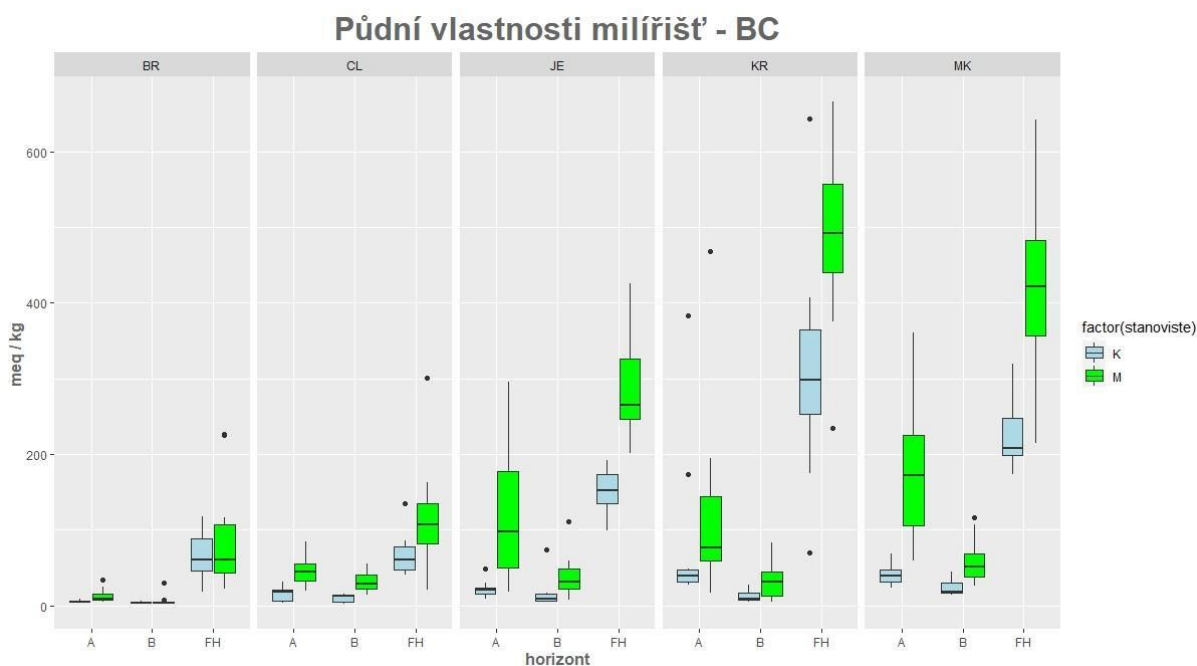
Obrázek XY: obsah horčíku [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).



Obrázek XY: obsah draslíku [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).



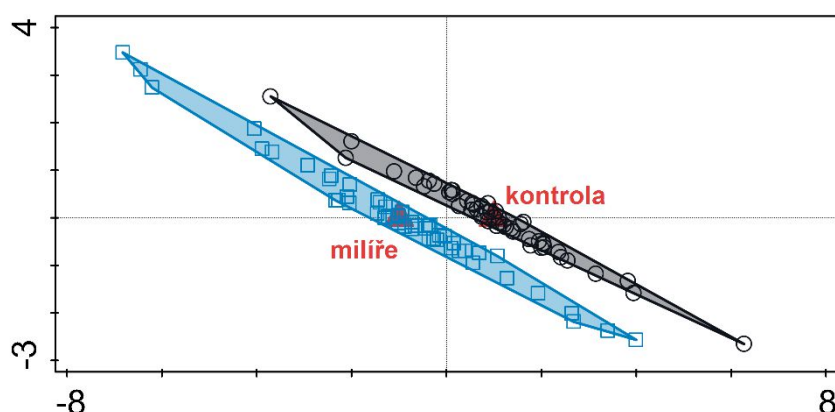
Obrázek XY: obsah sodíku [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).



Obrázek XY: obsah bazických kationtů - BC [ $\text{meq.kg}^{-1}$ ] – porovnání stanovišť (K...kontrola, M...milířišť) pro jednotlivé horizonty (A: Ah, U; B: Bv, Bvs; FH: nadložní humus, fermentační+humifikační horizont) a lokality (BR... Brdy, CL... Český les, JE... Jeseníky, KR...Křivoklátsko, MK...Moravský kras).

### 7.3 Příloha č. 3: Statistické výsledky pRDA

Výsledky testování pro horizonty FH (kovariáta lokalita, permutace zvlášť v každé lokalitě)



Analysis 'Constrained-partial'

Method: partial RDA

Partial variation is 268.52873, explanatory variables account for **13.24 %**  
(adjusted explained variation is 12.36 %)

Summary Table:

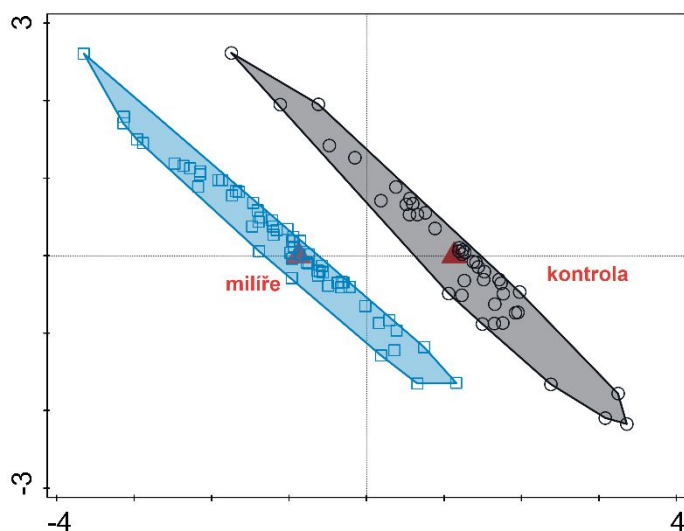
Statistic	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0.0455	0.1726	0.0547	0.0296
Explained variation (cumulative)	13.24	63.50	79.44	88.06
Pseudo-canonical correlation	0.4737	0.0000	0.0000	0.0000
Explained fitted variation (cumulative)	100.00			

Analysis 'Constrained-partial'

Simple Term Effects:

Name	Explains %	pseudo-F	P	P(adj)
stanoviste.M	13.2	15.0	0.0005	<b>0.0005</b>
stanoviste.K	13.2	15.0	0.0005	<b>0.0005</b>

Výsledky pro horizonty A (kovariáta lokalita, permutace zvlášť v každé lokalitě)



Analysis 'Constrained-partial'

Method: partial RDA

Partial variation is 435.33250, explanatory variables account for **22.04 %**  
(adjusted explained variation is 21.28 %)

Summary Table:

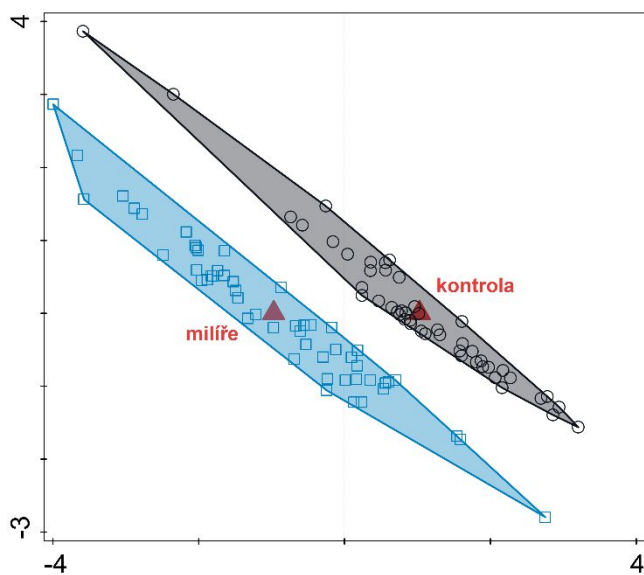
Statistic	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0.1240	0.2514	0.0891	0.0386
Explained variation (cumulative)	22.04	66.72	82.56	89.41
Pseudo-canonical correlation	0.6127	0.0000	0.0000	0.0000
Explained fitted variation (cumulative)	100.00			

Analysis 'Constrained-partial'

Simple Term Effects:

Name	Explains %	pseudo-F	P	P(adj)
stanoviste.K	22.0	29.1	0.0005	<b>0.0005</b>
stanoviste.M	22.0	29.1	0.0005	<b>0.0005</b>

Výsledky pro horizonty B (kovariáta lokalita, permutace zvlášť v každé lokalitě)



Analysis 'Constrained-partial'

Method: partial RDA

Partial variation is 545.96489, explanatory variables account for **32.19 %**  
(adjusted explained variation is 31.70 %)

Summary Table:

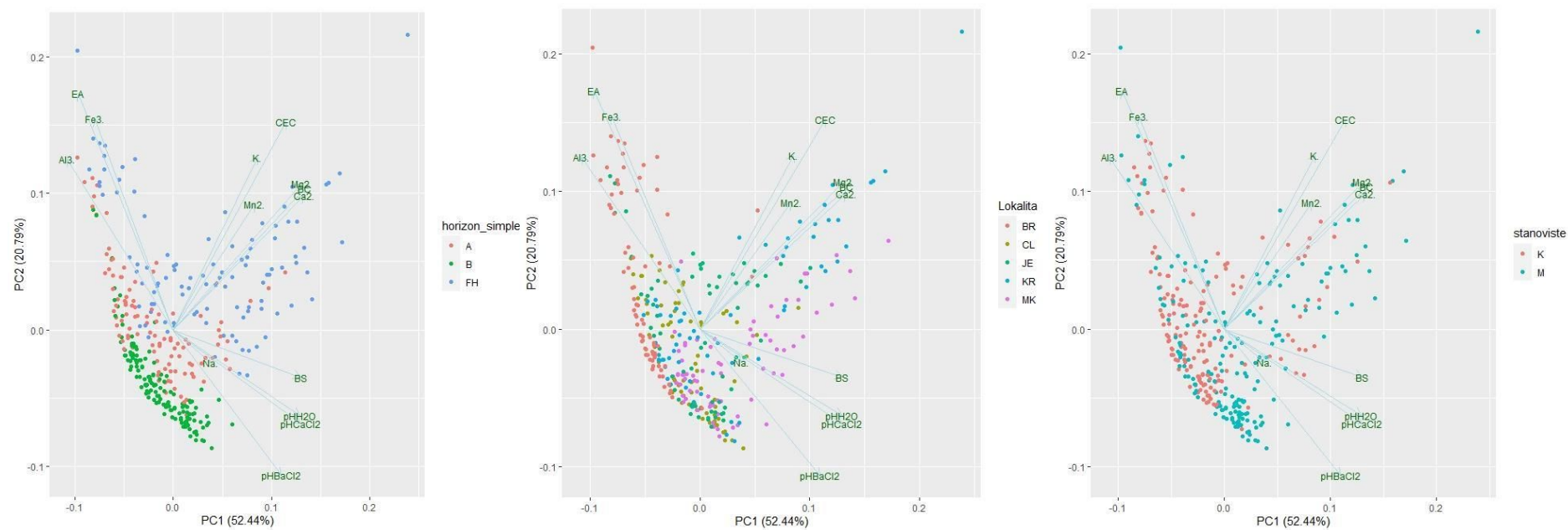
Statistic	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0.1965	0.2462	0.0955	0.0305
Explained variation (cumulative)	32.19	72.52	88.15	93.15
Pseudo-canonical correlation	0.6686	0.0000	0.0000	0.0000
Explained fitted variation (cumulative)	100.00			

Analysis 'Constrained-partial'

Simple Term Effects:

Name	Explains %	pseudo-F	P	P(adj)
stanoviste.K	32.2	65.0	0.0005	<b>0.0005</b>
stanoviste.M	32.2	65.0	0.0005	<b>0.0005</b>

#### 7.4 Příloha č. 4: Souhrnné ordinační PCA diagramy s promítnutými vektory chemických parametrů



Obrázek XY: PCA s pasivně promítnutými proměnnými – porovnání horizontů (FH, A, B).



## 7.5 Příloha č. 5: Popisná statistika chemických půdních parametrů dle lokalit

7.6 Příloha č. 6: Popisná statistika chemických půdních parametrů dle půdních vlastností a stanovišť.

## 7.7 Příloha č. 7: Popisná statistika fyzikálních půdních parametrů dle lokalit



7.8 Příloha č. 8: Popisná statistika fyzikálních půdních parametrů dle půdních vlastností a stanovišť.

7.9 Příloha č. 9: Synoptická tabulka všech druhů cévnatých rostlin z fytocenologických snímků pro jednotlivé lokality, E3: stromové patro, E2: keřové patro.