

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Anna Pešlová

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA EKOLOGIE

Je možné odlišit popele z dřevin od popelů z
výkalů koní podle prvkového složení?

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. RNDr. Michal Hejcman, Ph.D. et
Ph.D.

Bakalant: Anna Pešlová

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anna Pešlová

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Je možné odlišit popele z dřevin od popelů z výkalů koní podle prvkového složení?

Název anglicky

Is it possible to differentiate wood ashes from horse faeces ashes according to elemental composition?

Cíle práce

Výkaly hospodářských zvířat se používaly jako palivo v oblastech bez přítomnosti palivového dřeva. Na archeologických lokalitách jsou často přítomné popele o nichž nevíme, zdali pocházejí z dřevin a nebo ze spalování výkalů.

Cílem bakalářské práce je proto zjistit, zda-li je možné rozlišit popele dřevin a výkalů koní podle jejich chemického složení.

Metodika

Studentka provede odběr výkalů koní na čtyřech farmách ve středočeském kraji. Celkově odebere 100 výkalů v průběhu roku 2019. Vzorky budou vysušeny, spáleny v laboratorních podmínkách a bude zjištěno jejich prvkové složení pomocí rentgenového spektrometru. Získaná data budou porovnána s chemickým složením popelů dřevin získaných z literatury.

Doporučený rozsah práce

do 50 stran

Klíčová slova

kůň, výkaly, prvkové složení, popel

Doporučené zdroje informací

- Braadbaart F, van Brussel T, van Os B, Eijsskoot Y 2017. Fuel remains in archaeological contexts: experimental and archaeological evidence for recognizing remains in hearths used by Iron Age farmers who lived in peatlands. *Holocene* 27, 1682-1693.
- Canti MG, Nicosia C 2018. Formation, morphology and interpretation of darkened faecal spherulites. *Journal of Archaeological Science* 89, 32-45.
- Dunseth ZC, Shahack-Gross R 2018. Calcitic dung spherulites and the potential for rapid identification of degraded animal dung at archaeological sites using FTIR spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* 97, 118-124.
- Koromila G, Karkanias P, Hamilakis Y, Kyriakou-Apostolika N, Kotzamani G, Harris K 2018. The Neolithic tell as a multi-species monument: Human, animal, and plant relationships through a micro-contextual study of animal dung remains at Koutroulou Magoula, central Greece. *Journal of Archaeological Science: Reports* 19, 753-768.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. RNDr. Michal Hejzman, Ph.D. et Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Konzultant

doc. PhDr. Ladislav Šmejda, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2020

doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 06. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Je možné odlišit popele z dřevin od popelů z výkalů koní podle prvkového složení? vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 28.06.2020

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. RNDr. Michalu Hejmanovi, Ph.D. et Ph.D. a Myke Oparovi za věnovaný čas a cenné rady při psaní bakalářské práce a při laboratorním výzkumu. Dále bych ráda poděkovala svým přátelům a rodičům za podporu.

Abstrakt

Výkaly hospodářských zvířat se používaly jako palivo v oblastech bez přítomnosti palivového dřeva. Na archeologických lokalitách jsou často přítomné popele, o nichž nevíme, zdali pocházejí ze dřevin, nebo ze spalovaných výkalů.

Cílem bakalářské práce je proto zjistit, jak se liší popele dřevin a výkalů koní podle jejich chemického složení a zároveň zjistit, zdali se na základě těchto vlastností popel z výkalů koní vyplatí využívat v oblasti hnojení půdy, stejně tak jako ten ze dřeva.

Na třech farmách v České republice jsem sbírala vzorky výkalů koní a zjistila obsah prvků ve výkalech a jejich popelech.

Obsah prvků (popelovin) byl vyšší v popelu než ve výkalech. Výtěžnost popela byla 3.9%, což odpovídá popelům z dřevní hmoty s příměsí kůry. Obsah P, K, Ca, S, Cu a Zn byl 1,36 %, 5,76 %, 2,3 %, 0,58 %, 36 mg kg⁻¹ a 244 mg kg⁻¹, což jsou běžné, nebo o něco nižší obsahy v popelech dřevin. Obsahy rizikových prvků v popelech byly v normě pro použití popelů jako hnojiva na zemědělské půdě.

Na základě obsahu prvků není možné odlišit popele z dřevin od popelů z výkalů koní.

Klíčová slova: výkaly, *Equus caballus*, makroprvky, mikroprvky, rizikové prvky, fosfor, vápník

Abstract

Livestock faeces were utilised as a fuel in areas without the presence of firewood. On archaeological sites are often found ashes for which we do not know whether they come from woody plants or from burnt faeces.

The aim of this research is to find out the difference between the ashes of wood and horse faeces according to their chemical composition and also assess whether are horse faeces the same quality fertilizer as wooden ashes, based on these properties.

Samples were collected on three farms based in the Czech Republic in order to determine the content of elements in the faeces and their ashes.

Wooden ash contained a higher amount of elements compared to horse faeces. The ash yield of 3.9 % corresponds to ash with bark admixture. The content of P, K, Ca, S, Cu and Zn was 1.36 %, 5.76 %, 2.3 %, 0.58 %, 36 mg kg⁻¹ and 244 mg kg⁻¹, which are values comparable or slightly lower to those in woody plants. Ashes contained a standard amount of risk elements equivalent to fertilisers on agricultural land. It is not possible to distinguish wooden and horse faeces ash based on the content of these elements.

Key words: faeces, *Equus caballus*, macroelements, microelements, risk elements, phosphorus, calcium

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Trus jako palivový zdroj v historii i dnes	2
2.1	Oheň a první manipulace s ním	2
2.2	Domestikace zvířat	3
2.3	Trus jako palivový zdroj	4
3.	Sběr a zpracování trusu	7
4.	Kvalita hnoje v závislosti na druhu, botanický materiál v trusu	9
5.	Analýzy výskytu trusu v archeologických materiálech	10
6.	Charakteristika dřevinného popela	13
6.1	Popel ze dřeva a jeho prvkové složení	13
6.2	Popel jako hnojivo	14
7.	Kůň a jeho charakteristika	16
7.1	Vývoj a členění	16
7.2	Fyziologie a trávicí soustava	20
8.	Prvkové složení koňských výkalů	22
9.	Metodika práce	23
9.1	Zdroj materiálu	23
9.2	Příprava vzorků a spalování	24
9.3	Analytické metody	24
9.4	Stanovení výtěžku z popela	25
9.5	Analýza dat	25
10.	Výsledky	27
10.1	Barva popela, pH a výtěžnost z popela	27
10.2	Prvkové složení popela z výkalů koní a popele z nich	27
11.	Diskuse	33
11.1	Barva popela, pH a výtěžnost z popela	33
11.2	Prvkové složení popela z výkalů koní a popele z nich	33
12.	Závěr	35
13.	Zdroje	36
13.1	Odborné knihy	36
13.2	Články v odborném periodiku	36

13.3	Legislativní zdroje.....	41
13.4	Bakalářské/diplomové práce	41
13.5	Internetové zdroje	42
13.6	Ostatní zdroje.....	43

1. Úvod

Lidé od nepaměti využívají nejrůznější suroviny k tomu, aby s nimi založili oheň a ten mohli využít k topení, vaření a dalším nezbytným činnostem. Nejznámějším palivem, sahajícím do lidské minulosti je bezpochyby dřevo a další materiál, který je možné nalézt na stromech (kůra, listí aj.). Nicméně, z historického a kulturního hlediska je neméně zajímavé palivo zvířecí trus.

Výkaly hospodářských zvířat a jejich zpopelněné pozůstatky poskytují nejrůznější informace o minulém i přítomném způsobu života lidí. Na mnoha místech planety se trus stal jediným palivovým zdrojem, který lidé mohli, či mohou využít.

Jedním z nejdůležitějších domestikovaných zvířat v lidské minulosti i dnes je jednoznačně kůň domácí (*Equus caballus*).

Práce se zabývá rozdíly, které je možné dohledat mezi dřevinným popelem a popelem ze spálených výkalů koní. V návaznosti na to zkoumá, zdali se na základě porovnání prvkového složení popele ze dřevin a popele ze spálených výkalů výrazně liší a jestli je možné takový popel využívat stejně, jako ten ze dřevin.

2. Trus jako palivový zdroj v historii i dnes

V této kapitole je nastíněna historie využívání alternativních palivových zdrojů. V tomto případě trusu zvířat, a to od počátků manipulace člověka s ohněm, přes domestikaci prvních hospodářských zvířat, až po samotnou problematiku zpracování a použití zvířecích výkalů jako paliva.

2.1 Oheň a první manipulace s ním

První známky zakládání a manipulace s ohněm našimi předky se odhadují až na dobu před 1 milionem let. Tým odborníků z Torontské a z Izraelské Hebrejské univerzity objevil mikroskopické stopy popela, umístěné kolem zvířecích kostí a různých předmětů v jeskyni Wonderwerk v Jižní Africe (University of Toronto, 2012).

Výzkumné týmy nejprve pracovaly s faktem, že v této době lidé dokázali oheň ovládat, ale nezvládali ho sami vytvořit a využívat ho tak bez pomoci přírodních jevů. Pozdější studie s využitím lithické analýzy (analýza koncentrace ohoření kamenů v různých vrstvách) ale poukazuje na nálezy pazourků, které jsou ohořelé právě v různých archeologických vrstvách. Zde již může být řečeno, že lidé byli oheň schopni udržovat a opakovaně vytvářet v jednom, nebo více lokalizovaných ohništích (Alperson-Afil, 2008).

Ohniště napříč dlouhou stratigrafickou sekvencí se považuje za důkaz dlouhodobého užívání ohně na jednom místě. Lidé již měli schopnost rozdělat a udržovat oheň dle potřeby (Alperson-Afil, 2008). Starší archeologické nálezy ohnišť totiž nemusí koincidovat s faktem, že zde lidé oheň ovládali a že nevyužili jeho zdroj vzniklý jinou přírodní činností, například bleskem (Svoboda & Králík, 2009).

Další, ačkoliv nerelevantní důkazy staršího používání ohně jsou studie zabývající se morfologií skeletu a zubů a jejich přeměnou u našich předchůdců. K největším tělesným změnám v evoluci člověka (zmenšení zubů, zvětšení mozku, zmenšení sexuálního dimorfizmu v důsledku zvětšení těla žen), došlo zhruba před 1,9 miliony lety (Wrangham & kol., 1999), další změny již nebyly tak výrazné. Tyto přeměny mohou s velkou pravděpodobností souviset mimo jiné s tepelným opracováním potravin, zejména masa. Tepelně upravená strava se lépe žvýká a tráví. To pomohlo lidskému vývoji v tu chvíli, kdy se vývin zubů a trávicího ústrojí upozadil ve prospěch vývinu mozku (Aiello, 1995). V souvislosti se staršími neprůkaznými

doklady o zakládání ohnišť tyto fyziologické změny nemohou být důvěryhodně spojeny s první manipulací člověka s ohněm.

2.2 Domestikace zvířat

Domestikace byla jedním z nejvýznamnějších evolučních a kulturních milníků v historii lidstva (Larson & kol., 2014). Jedná se o proces adaptace divokých zvířat a rostlin ve prospěch člověka, který o daný organismus pečuje za účelem využití jeho zdrojů (Zeder, 2015).

Prvním zvířetem, které pravděpodobně podléhalo lidské domestikaci, byl vlk šedý (*Canis lupus*). Stalo se tak zhruba před 15 000 lety (Larson & Bradley, 2014). Jeho domestikace dokonce předcházela domestikací plodin (Thalmann & Perri, 2018).

Nepodložené důkazy o prvních domestikovaných vlčích sahají až do doby před 36 000 lety. Avšak na základě archeologického záznamu existuje důkaz o pohřbeném vlkovi poblíž lidských ostatků zhruba 15 000 let nazpět – jedná se o „psa“ nalezeného před více jak 100 lety na nalezišti Bonn-Oberkassel (Morey, 2010). Po přezkoumání ovšem novější studie přináší informace o ještě starším a menším domestikovaném „psovi“ (Janssens & kol., 2018).

Hospodářská zvířata přišla na řadu o něco později, zhruba 10 500 až 10 000 let před Kristem. Tato skutečnost je spjatá s neolitickou revolucí (10 000-8000 let před Kristem) a počátky zemědělství, kdy lidé začali upřednostňovat usedlejší způsob života (Scanes & Toukhsati, 2018).

V tu dobu se na území Blízkého východu, tedy jihozápadní Asie, domestikovaly kozy (*Capra hircus*) a hned po nich následovaly ovce (*Ovis aries*). Dalšími zvířaty byla prasata (*Sus scrofa*) a dnešní tur domácí (*Bos taurus*). Kolem tohoto letopočtu lidé začali také pracovat s plodinami (Machugh & kol., 2017; Larson & kol., 2014; Rutledge & kol., 2011).

V oblastech Indie se kolem roku 8000 až 4500 domestikoval zebu (*Bos indicus*) a buvol domácí (*Bubalus bubalis*). Kur domácí (*Gallus Gallus*) přišel na řadu o 500 let později (Fuller, 2006; Larson & kol., 2014; Peters & kol., 2016).

Zdomácnění koní se datuje na 5500 let před Kristem na území střední Asie (Outram, 2009). Nejstarší dochovaný nález pochází z oblasti Botai v ukrajinském Kazachstánu. Nicméně, opravdu ranná domestikace koně a jeho původ je stále dost

diskutované téma (Gaunitz & kol., 2018). Podrobný časový rámec domestikace nejdůležitějších hospodářských zvířat popisuje tabulka č. 1.

Název zvířete	Latinský název	Přibližná doba domestikace (roky před Kristem)	Geografická lokalita
Pes	<i>Canis familiaris</i>	15 000	Euroasie
Koza domácí	<i>Capra bircus</i>	10 500	Jihozápadní Asie
Ovce domácí	<i>Ovis aries</i>	11 000	Jihozápadní Asie
Tur domácí	<i>Bos taurus</i>	10 300	Jihozápadní Asie
Prase domácí	<i>Sus scrofa</i>	10 300	Jihozápadní Asie
Kočka	<i>Felis cattus</i>	9 500	Jihozápadní Asie
Zebu	<i>Bos indicus</i>	8 000	Jižní Asie
Buvol domácí	<i>Bubalus bubalis</i>	4 500	Jižní Asie
Kur domácí	<i>Gallus gallus</i>	4 000	Východní/JV Asie
Kachna domácí	<i>Anas platyrhynchos</i>	1 000	Východní/JV Asie
Kůň	<i>Equus caballus</i>	5 500	Centrální Asie
Velbloud dvouhrbý	<i>Camelus bactrianus</i>	4 500	Centrální Asie
Velbloud jednohrbý	<i>Camelus dromedarius</i>	3 500	Arabský poloostrov
Osel domácí	<i>Equus asinus</i>	5 500	Severní Amerika
Lama krotká	<i>Lama glama</i>	6 000	Jižní Amerika
Alpaka	<i>Vicugna pacos</i>	5 000	Jižní Amerika

Tab. 1. Časový rámec domestikace nejdůležitějších hospodářských zvířat s geografickou polohou (Machugh & kol., 2017; upraveno).

Počátky domestikace hospodářských zvířat s největší pravděpodobností probíhaly pouze za účelem získání masa, tedy primárního zvířecího produktu. Postupem času naši předchůdci začali využívat také jiných – sekundárních živočišných produktů. Tento jev nazýváme revoluce sekundárních produktů (Sherrat, 1981).

Primární živočišné produkty jsou definované jako ty, které mohou být extrahovány pouze jednou za život zvířete, na základě jeho smrti. Zahrnují maso, kůži, krev a kosti. Naproti tomu sekundární živočišné produkty mohou být využívány bez porážky zvířat a stejné zvíře může být opakovaně využíváno v průběhu své životnosti (Greenfield, 2010).

Základem prvních domestikací bylo shlukování zvířat do uzavřenějších prostorů tak, aby k nim byl jednodušší přístup. Hustá ložiska udusaného trusu zvířat jsou výborným indikátorem zdomácnění (Shahack-Gross, 2011).

2.3 Trus jako palivový zdroj

Trus byl v historii člověka jako zdroj paliva využíván primárně v oblastech se zvýšenou absencí dřevin, nebo s podmínkami nepříznivými k vysušení a následného hoření dřeva (Anderson & Ertung-Yaras, 1998). Na základě historickoetnických dokumentů lze vyzdvihnout oblasti jako skoro celá Asie (v jižní části zejména vodní

buvol a kráva v oblasti Indie), Afrika, Blízký východ, oblast Velkých planin v Severní Americe (bizon), severní Euroasie (jak a sob) a z části Jižní Amerika (lama). Starší dokumenty poukazují na tuto činnost kromě zmíněných lokalit také na západní část Ameriky (Spengler, 2019).

Kromě podmínek hrála/hraje roli také chudoba, jelikož v dnešní době si jako zdroj paliva bohatší vrstvy mohou zaplatit importované materiály, zatímco chudší vrstva je nucena stále využívat zvířecí výkaly. Takovýto zdroj paliva nazýváme „palivo nezbytnosti“ (Fenton, 1985).

Ze všech dokumentů a studií je zřejmé, že se k těmto účelům vždy využívali velcí býložravci, a to zejména skot, ovce a jaci. O ostatních zvířatech jsou v literatuře také zmínky, ale v menší míře (Spengler, 2019). Speciálně výkaly koní a oslů se na jednom ze zkoumaných území zvaném Kyzilkaya (Turecko) odhazoval na nádvoří pro drůbež a považoval se za „špinavý“, jelikož měl špatnou výhřevnost a hořel rychle. Tuto skutečnost můžeme odůvodnit vysokým podílem nezpracovaného organického materiálu (*viz kapitola 2.4. Kvalita hnoje v závislosti na druhu, botanický materiál v trusu*). Naopak kravské a ovčí výkaly byly v minulosti (a jsou i v přítomnosti) na stejném území (Kyzilkaya) velice oblíbené (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

Na mnoha místech světa se historické zvyklosti promítají i do přítomnosti. U Kyzilkaya je shromažďování a zpracování trusu z minulosti velmi podobné jako dnes. Hnůj se dle opracování dělil na tři skupiny, a to na neopracovaný surový hnůj přímo z pole nebo z byru (byr = název přístřešku pro dobytek v centrálním Turecku), hnůj vybraný po zimě z byru, kde zvířata zůstávala po delší dobu a hnůj zadupala do hustých vrstev, nebo na hnůj zpracovaný do různých tvarů pro snadnější budoucí využití a uskladnění (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

Zpracování hnoje, nebo jen čistých výkalů do určitých tvarů s pozdějším využitím jakožto paliva, je i v dnešní době velmi rozšířenou praktikou. Tento jev je běžný zejména v Indii, kdy se takto zpracovanému hnoji říká tzv. „dung cakes“ (Mudway & kol, 2005).

Různé typy hnoje/výkalů byly využívány k různým činnostem – ty „lehčí“, vyprodukované zvířaty v jarních a letních měsících, se hodily na založení ohně, zatímco ty hutnější, například udusané z byre, se využívaly k topení, protože lépe a déle

hořely. Nad plamenem z trusu se také vařilo. Přímo k této činnosti byly podle všeho nejužitečnější zhutněné ovčí výkaly, které mají výhřevnost lepší než ty kravské (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

Lidé z oblasti Kyzilkaya uchovávali zpracované výkaly po dobu až patnácti let, aby je bylo možno využít, pokud by byla nouze o palivové zdroje. Přípravy takovýchto „skladů“ probíhaly během jara a léta, kdy bylo sušení díky teplejšímu počasí jednodušší a zároveň se po zimních měsících vyklízela zvířecí byre (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

3. Sběr a zpracování trusu

V dnešní době se trus jako zdroj alternativního paliva využívá i z jiných důvodů, než jsou klimatické podmínky nebo neschopnost dovolit si dražší paliva. Trus lze zařadit mezi alternativní, udržitelné a oproti jiným palivům také cenově dostupnější palivové zdroje, díky kterým je možné snížit produkci jiných výrobně nákladných a neekologických paliv jako je dřevo, uhlí aj. Na druhou stranu, i spalování hnoje způsobuje znečištění ovzduší, ačkoliv ve srovnání s mnoha jinými palivy značně menší. Při využití k domácímu vaření v uzavřenějších prostorách se lidé vystavují rizikům spojeným s vysokou koncentrací škodlivých částic uvolňovaných do vzduchu, což může být příčinou onemocnění dýchacích cest, nebo i rakoviny (Mudway & kol., 2005).

Tzv. „dung cakes“ je v dnešní době možné objednat dokonce i elektronicky, například přes internetový obchod Amazon.com, kde je ale možné materiál spíše pro tvorbu domácích indických rituálů (např. rituál *havan puja*).

Obecně se, hlavně dnešní využití dung cakes/výkalů, váže hlavně k Indii. Pro tenkravský jsou v Indii termíny "Gomaya" nebo "Komaya" (Vaňkát & kol., 2010). Podle výzkumů Mezinárodní palivové agentury z roku 2011 v Indii využívá dung cakes nebo zkrátka jen tradiční biomasu ve formě trusu a hnoje 72% obyvatel.

Sběr výkalů provádějí zejména (ale není podmínkou) děti a ženy. Na to využívají speciálních košíků, do kterých materiál vkládají, zatímco následují dobytek po pastvinách. Většinou se do sesbíraného trusu zapracují i zbytky plodin. Takovýto materiál, zvlhčený vodou (pro lepší manipulaci) se ručně zpracovává právě už do zmíněných dung cakes, tedy do plochých kol o průměru 20-25 cm. Vytvarované placky se suší na slunci na skalních výchozech, na zdech domů, nebo když není jiná možnost, tak na zemi (Reddy, 1998).



Obr. 1. Speciální zděné prostory, určené pouze pro kolekci a sušení ovčího a kravského trusu v Kazachstánu (viz obr. 1. vlevo nahoře), v Tibetu široké „haldy“ vytvořené ze svezeného hnoje (viz obr. 1. vlevo dole), nebo sušení kravského trusu pod stromy ořešáků v Uzbekistánu (viz obr. 1. vpravo dole) – jsou jen jedny z mnoha příkladů dnešního moderního nakládání s tímto alternativním palivem (Spengler, 2019).

Příklady zpracování a uskladnění trusu je k vidění na obrázku č. 1.

Pro nejlepší energetický zisk ze spalování je nutné využít vysušený trus, jenž můžeme definovat jako trus se sušinou alespoň 70 %.

V Africe se sušený trus se míchá s plodinami nebo se slámou a vzniká palivo s názvem Gella nebo Jilla. V 80. letech 20. století byly Africké dung cakes skoro z 80 % hrubým zdrojem paliva na území Egypta. Co se týče dalších částí Asie, tak na území Afghánistánu a Bangladéše se dung cakes nazývají Ghunte, v Evropě, konkrétně v Rusku zase Kiziak (El-Gergawi, 2012).

4. Kvalita hnoje v závislosti na druhu, botanický materiál v trusu

Důvod, proč byl a je tak oblíbený a prospěšný trus sudokopytníků (kráva, jak, ovce) je fakt, že jsou to přežvýkavci. Díky tomu jsou schopni lépe zpracovat těžce stravitelný materiál, zejména složky sacharidů, jako celulóza, hemicelulóza nebo lignin (Anderson & Ertung-Yaras, 1998). Po nedokonalém přežvýkání v ústní dutině se tento materiál rozkládá s mikroorganismy v předžaludku. Rozklad celulózy tedy probíhá na začátku trávicího traktu. Potrava je zároveň přežvykována podruhé, aby se docílilo efektu co nejrozloženějšího materiálu, který pak doputuje do vlastního žaludku (slez). Na rozdíl od krav, ovcí a dalších přežvýkavců s takto uzpůsobeným trávicím traktem, koně a osli tráví celulózu až v tlustém střevě a slepém střevě (viz níže; Zootechnika.cz).

Tyto rozdíly v trávicích traktech mají za následek to, že vyprodukovaný zvířecí materiál (výkaly) se poté liší procentem nezpracovaného organického materiálu. Proto můžeme v archeologických vzorcích výkalů vytvořených koňmi identifikovat více rostlinného materiálu, nicméně co se týče výhřevnosti a vhodnosti jako palivového zdroje, je vhodnější ten kravský, nebo ovčí. Do střev jim totiž putuje rozloženější materiál, který pak po vysušení déle a lépe hoří (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

Zpopelněné zvířecí výkaly jsou unikátním zdrojem archeologických informací o lidech, zvířatech a jejich životech. Právě proto se mnoho studií zabývá zbytky botanického materiálu, který jsme ve spálených zvířecích exkrementech schopni dohledat a podle něj například vytvořit umělou rekonstrukci dřívější krajiny, způsobu života, tehdejší krmení zvířat aj. (Anderson & Ertung-Yaras, 1998).

Například už Miller a Smart (1984) se ve svých člancích domnívají, že semena drobných rostlin při zkoumání archeologických nalezišť mohou být pozůstatkem spalování zvířecího trusu.

5. Analýzy výskytu trusu v archeologických materiálech

Výzkum zjišťující přítomnost výkalů/spálených výkalů ve zkoumaných vzorcích je možné provést prostřednictvím různých kvantitativních půdních metod a analýz s použitím mikromorfologie (studie vnitřní stavby půdy, jejího složení, částice). Většina analýz se řadí k archeobotanickým analýzám (Shahack-Gross, 2011).

Tyto půdní analýzy nám pomáhají zjistit zastoupení určitých prvků a sloučenin, jejichž hodnoty dokážou interpretovat více o historii zkoumaných lokalit. V následujících řádcích je uveden výčet nejvyužívanějších analýz:

Fosfátová analýza – geochemická analýza půdy. Fosfátová analýza využívá rozkladu organických hmot, což se projevuje množstvím deponovaného fosforu v půdě. Je to nejběžněji používaná archeologická metoda – zejména proto, že fosfor je pro své vlastnosti nejsledovanějším půdním prvkem. S jeho pomocí se podařilo rozpoznat některé struktury sídelních, pohřebních a výrobních areálů (Hušták & Majer, 2011). Obohacení fosfátem tedy poukazuje na přítomnost organické hmoty a popela, ale zároveň nemusí přesně určovat pouze trus – může totiž také poukázat na stopy po kostech (Shahack-Gross, 2011).

Primárním zdrojem fosforu v půdě je mateční hornina, tedy hornina nacházející se pod vrstvou půdy, jako minerál apatit a jeho alterace. Dále pak ve formě wavellitu anebo v minerálu vivianitu (vlhké půdy; Richter 1994). Sekundárním zdrojem, tedy tím, který je řešen v oblasti archeologie, jsou zejména živočichové, kteří produkují fosfor svým vyměšováním, a nebo rozkladem jejich těl v půdě a v druhé řadě antropogenní činnost – takové obohacení fosforem má koncentrovanější depozice (Shahack-Gross, 2011).

Nadstandardně velké koncentrace poukazují na činnosti spojené s vařením, držním dobytka na soustředěných místech (pastva) aj. (Rulišková, 2011).

Analýza makrozbytků (botanických), neboli flotace – vyhledávání spálených zbytků, semen, dřevin, parazitů a jejich separace a určení původu. Na základě nalezené druhové skladby v popelu i mimo něj je možné předpokládat, čím byla zvířata krmena a zároveň nějakým způsobem vyhodnotit, jaké druhy půd byly využívány a za jakými účely. Nicméně nevýhodou je skutečnost, že tato metoda neidentifikuje samotné výkaly (Shahack-Gross, 2011).

Paleoparazitologická analýza – studie přítomnosti parazitů ve starověkých materiálech. Výhodou této metody je možnost zjistit, v jakém stavu byl trávicí trakt zvířat. K výzkumu však musí být využity velice dobře zakonzervované vzorky. V šedesátých a sedmdesátých letech 20. století měl tento typ výzkumu asi největší nárůst, i co se týče metody využití fosforečnanu sodného – ten přišel na řadu v tu chvíli, kdy se výzkumníci začali zajímat o koprolity (fosilní pozůstatky výkalů zvířat nebo lidí z prehistorického období; Araújo, 1998).

Analýza fytolitů – Fytolity jsou mikroskopická anorganická tělíska tvořená v buněčném lumenu. Název pochází od slova phytolit – řecké „rostlinný kámen“. Tvoří se podél buněčných stěn, v mezibuněčných prostorech epidermu, mezofylu nebo v epidermálních elementech rostlin. Mohou být tvořeny napříč všemi orgány mnoha taxonů rostlin (Epstein 1994; Alexandre & kol., 1997). Sloučeniny křemíku a vápníku, jakožto mineralizované sloučeniny, mohou být hlavními stavebními kameny fytolitů v rostlinách (Jirsová, 2014). Tafonomické procesy (procesy přechodu organických látek do půdy, rozkladu aj.) mohou také měnit uspořádání nebo morfologické vlastnosti fytolitů. Díky této analýze jsme schopni identifikovat rostlinné taxony, což naznačuje rostlinnou stravu – nevýhodou ovšem opět je, že ji nemůžeme využít pouze k určení zvířecích výkalů (Shahack, 2011).

Sférulitová analýza – neboli polykrystalová analýza. Sférulit – pravidelné kusy krystalové mřížky orientované rovinou vrstev k jednomu bodu, okolo amorfní báze (např. cholesterol, polypropylen; Shtukenberg, 2012). Fekální sférulity mají obvykle velikost 5–15 μm a jsou složeny z radiálně krystalizovaného uhličitanu vápenatého (Canti & Brochier, 2017). Vytvářejí se v zažívacím traktu mnoha zvířat a jsou skvělým ukazatelem přítomnosti velkých býložravců. Tvoří se v prvních několika centimetrech tenkého střeva, nejspíš bakteriální činností. Jsou často uchovány hlavně v oblastech alkalických sedimentů (Brochier, 1993). Výhoda této analýzy je její předpoklad k přesnému určení historického výskytu výkalů, nicméně stále se může jednat o pozůstatky po jiných, než hospodářských zvířatech. Dále mohou být sférulity vytvořeny kalcinací. Chemické a fyziologické podmínky, které upravují tvorbu sférulitů, jsou stále neznámé. Je možné, že se týkají, jak již bylo zmíněno, sekrece biominerálů od některých bakterií (Shahack-Gross, 2011).

Kombinace analýzy sférulitů i fytolitů se stala skvělým nástrojem pro detailní rozbor chovu zvířat při výzkumech například v Althiburosuv severním Tunisku. Fytolity ve

spojení se sférolity poskytly informace o sezónním krmení, zatímco sférolity v popílku poukazovaly na používání výkalů právě jako palivového zdroje (Portillo & Albert, 2011). Také Shahack-Gross a Finkelstein (2008) použili při výzkumech v Izraeli analýzu fytolitů a sférolitů a byli schopni odvodit tehdejší zvyklosti týkající se využití zvířecích exkrementů jakožto paliva.

Palynologie – analýza fosilních palymorfů, zejména tedy pylových zrn. Zrnka, která rostliny tvoří, mají chemicky identickou, ale morfologicky odlišnou stěnu, která je natolik odolná, že se uchová v určitých materiálech i po miliony let (Bryant & Holloway, 1983).

Analýza stabilních izotopů – izotopy jsou přítomné všude a ve všem, co je ve světě kolem nás. Poměry a koncentrace izotopů různých prvků se liší v závislosti na látce, nebo ekosystému, ve kterém jsou obsaženy. Postupem času, jak organismus roste, se izotopy, podle toho co jíme a pijeme, zapisují do všech tkání těla. Je tedy možné pomocí analýzy stabilních izotopů a jejich poměrů a koncentrací v pozůstatcích zvířat nebo lidí zpětně dohledat potravu nebo prostředí, ve kterém se daný subjekt pohyboval (Shahack-Gross, 2011).

Izotopů využívaných pro výzkum je nespočet, nicméně, mezi archeology jsou nejpoužívanější a nejznámější tyto izotopy:

- izotopy uhlíku
- izotopy dusíku
- izotopy stroncia
- izotopy kyslíku

Výhodou této analýzy je, že indikuje výkaly a dokáže identifikovat širokou škálu zvířat podle druhu, a to hlavně s pomocí izotopů uhlíku (Shahack-Gross, 2011). Na druhou stranu, zkoumaný materiál musí být dostatečně zachovalý.

Identifikace mikrolaminované struktury – identifikace pohybu zvířat soustředěný na jedno místo – zvířata držená v ohradách (Shahack-Gross, 2011).

K dosažení co nejpřesnějších dat je potřeba zkombinovat více způsobů provedení analýzy, protože každá má své klady a protiklady a umožňuje vědcům klást různé otázky (Spengler, 2019).

6. Charakteristika dřevinného popela

V této kapitole se nachází souhrn prvků, které najdeme v popelu ze dřeva a jeho stručná charakteristika. Dále jsou popsány jeho vlastnosti v souvislosti s hnojením půd.

6.1 Popel ze dřeva a jeho prvkové složení

Popel ze dřeva je anorganická část paliva, která vzniká po spálení části organické biomasy a zároveň obsahuje většinu minerálních látek právě z organické části, které stromy během svého života vstřebaly (Khan & kol., 2009). V porovnání s ostatními palivy je výtěžnost (obsah popela po spálení) poměrně nízká. Čisté dřevo po spálení obsahuje zhruba jen kolem 0,5-1 % popela (u dokonalého spálení je to 2-10 %), zatímco v kůře, kořenech aj. už najdeme obsah popela vyšší (Kofman, 2016), tudíž nedřevnaté části stromu výtěžnost zvyšují (tab. 2.).

Složka dendromasy	Obsah popele v %		
	Borovice	Smrk	Bříza
Kmen	0,4	0,6	0,4
Kůra z kmene	2,6	3,2	2,2
Klest s kůrou	1,0	1,9	1,2
Jehlice a listí	2,4	5,1	5,5
Celý strom včetně olistění	0,9	1,6	1,0
Celý strom bez olistění	0,8	1,3	0,8

Tab. 2. Průměrný obsah popele v sušině u borovice, smrku a břízy, Finsko (Richardson & kol., 2002, upraveno).

Popel ze dřevní biomasy pochází z minerálů přítomných ve struktuře stromů a keřů. Vlastnosti popela závisí na mnoha faktorech, ať už je to část stromu či keře (kůra, listy, samotné dřevo), druh půdy, klima a v neposlední řadě podmínky, při kterých je dřevo spalováno. Hodnotný popel má šedou barvu – černá barva signalizuje, že se dřevo dostatečně nevypálilo a přicházíme tak o cenné látky. Záleží ale i na druhu dřeva. Dřevinný popel má velmi vysoké pH, a to až 12 (Kofman, 2016).

Složení popela můžeme rozdělit do tří skupin: makroprvky, mikroprvky, ostatní a rizikové prvky. Makroprvky zahrnují prvky, jako je fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca) síra (S) a hořčík (Mg). Zastoupení těchto prvků v popelu ze dřeva je pro P 1-6 %, pro K 16-22 %, pro Ca 19-33 %, pro S mezi 1-2 % a 2-5 % pro Mg. Procentuální zastoupení závisí také na teplotě spalování a druhu dřeva (Insam & Knapp, 2011; Mahendra & kol., 1993).

Chlór (Cl) a dusík (N) jsou také živiny, nicméně během spalování přechází dusík z biopaliva téměř úplně do plynné fáze, vázání na popel je tedy minimální. To samé platí pro síru a chlór, kde jsou zbytky emitovány v aerosolové formě (Kofman, 2016).

Kromě makroprvků je popel také zásobárnou mnoha živin potřebných pro růst rostlin pouze ve stopovém množství. Mikroprvky zahrnují železo (Fe), sodík (Na), zinek (Zn), hliník (Al), mangan (Mn) a měď (Cu). Zastoupení těchto mikroprvků je stejně proměnlivé jako u makroprvků. Nejčastějším mikroprvkem je železo, popel může obsahovat až $0,21 \text{ mg/kg}^{-1}$ Fe (Demeyer a kol., 2001). Vyšší obsah můžeme pozorovat také u Mn a Zn, Si a Al, které tvoří nezanedbatelnou součást popele. Obsah Al, Si ovlivňuje obsah kůry a jejího znečištění (Demeyer a kol. 2001).

Rizikové/ostatní prvky (těžké kovy) jsou stromem nebo keřem také absorbovány v malých množstvích během růstu a poté skončí v popelu. Patří sem stroncium (Sr), rubidium (Rb), arsen (As), zinek (Zn), olovo (Pb), kobalt (Co), stříbro (Ag), kadmium (Cd), rtuť (Hg) a uran (U; Kofman, 2016). Při spalování chemicky ošetřeného dřeva, které obsahuje zbytky plastových obalů a jiných nepřírodních složek se koncentrace těchto prvků zvyšuje, za normálních okolností je ale velmi nízká.

Kadmium je považováno za nejproblematictější z těchto kovů díky jeho vysoké toxicitě, pohyblivosti a progresivní akumulaci v životním prostředí (Laitinen & Lindh, 2005).

6.2 Popel jako hnojivo

Díky svému složení je popel ze dřeva unikátním hnojivem. Zlepšuje fyzikální i chemické vlastnosti půdy, protože obsahuje makroprvky a mikroprvky, uvedené v kapitole 4.1. *Popel ze dřeva a jeho prvkové složení*, které potřebují rostliny ke svému růstu. Díky tomu může dojít k lepšímu a hodnotnějšímu vývinu plodin. Půdu obohacuje zejména s pomocí fosforu, vápníku, hořčíku a draslíku. Má vynikající neutralizační schopnosti, a proto je možné ho použít na kyselější půdy za účelem zvýšení pH (Demeyer, 2001). Dřevinný popel je možné nahradit také za vápno. Výsledky studií dokazují lepší reakce rostlin právě na popel (Risse, 2010).

Nevýhodou může být pozitivní koncentrace rizikových prvků, pokud se nacházejí ve větším množství ve spalované biomase. Jedná se o již zmíněné prvky, a to olovo (Pb)

a arsen (As). Je proto nezbytné provést chemickou analýzu popela a zjistit, zda rizikové prvky nepřekračují přijatelné limity, které jsou dle přílohy č. 1 ve vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva v platném znění 5mg kg^{-1} pro Cd, 20 mg kg^{-1} pro As, 50 mg kg^{-1} pro Pb, 50 mg kg^{-1} pro Co, $0,5\text{mg kg}^{-1}$ pro Hg a 50 mg kg^{-1} pro Cr.

Jak již bylo zmíněno, obsah popela (jeho výtěžnost) ve spáleném vzorku se může lišit v závislosti na vícero faktorech. Pro využití popela jakožto hnojiva je proto zapotřebí provést měření spáleného dřeva a konkrétní teploty spalování (Mahendra et al., 1993).

Co se týče aplikovaného množství popela (na půdu), v mnoha literárních zdrojích se uváděná množství liší. Mělo by se ale vycházet ze složení popela a rozboru dané půdy, na kterou chceme popel aplikovat. Nadměrné použití může mít neblahé účinky na půdu a úrodu v návaznosti na příliš vysokého pH (Šimková, 2006).

Příklady využití jakožto hnojiva je možno uvést: minerální hnojivo v zemědělství (Risse, 2010), hnojení lesních půd, snižování acidity (odkyselování) lesních a zemědělských půd (Risse, 2011; Pitman 2006).

S popelem v lesnictví mají zkušenosti především severské země. Recyklace dřevního popela po těžbě v lese je například ve Švédsku a Finsku celkem běžnou praxí, ačkoliv z celkové produkce popela se k recyklaci spotřebuje méně než 10 %. Do určité míry může popel zajistit kompenzaci ztráty živin v lesích po těžbě (Vesterinen, 2003).

7. Kůň a jeho charakteristika

Role koně domácího v lidské historii je jiná, než role ostatních domestikovaných zvířat. Jízda na koni významně ovlivnila starověkou lidskou civilizaci a přispěla k jejímu růstu (Schuberta M. & kol., 2014). V nadcházejících kapitolách je popsán původ koně na základě nejnovějších studií, jeho základní členění a fyziologie.

7.1 Vývoj a členění

Demografie koně domácího byla z velké části ovlivněna člověkem. Od první domestikace koně se divocí koně transformovali do obrovského množství plemen (Schuberta M. & kol., 2014). Nejstarší dochovaný předek koně pochází z oblasti Botai (5500 let před Kristem), která se nachází v Kazachstánu (Gaunitz & kol., 2018).

Přesný vývoj koně a jeho domestikace je stále nejasný (Ning & kol., 2019). Pomocí nejnovějších studií, které porovnávají genomy starověkých koní a moderních koní se například dozvídáme, že kůň Převalského (*Equus przewalskii*) je předkem koní právě z oblasti Botai (obr. 2.), ačkoliv byl donedávna považován za jediného pravého, divokého koně a také předka moderních koní. Naopak všechny zkoumané vzorky domácích koní starších 4000 let se původem ztotožňují pouze s necelými 3 % koní z oblasti Botai (Gaunitz & kol., 2018).

Kůň patří do řádu lichokopytníků a čeledi koňovitých. Do této čeledi patří také osli, poloosli a zebry. Během staletí lidé vyšlechtili celou škálu koňských moderních plemen, která můžeme rozdělit dle prošlechtění, temperamentu a užitkového typu (Burešová, 2007).



Obr.2. Lokality archeologických nálezů (Gauniz & kol., 2018).

Termín prošlechtění znamená, do jaké míry byl kůň lidmi šlechtěn do výsledné podoby a kvůli kýženým vlastnostem. Koně primitivní (původní) prošlechtění nebyli, a tak se do takové míry neliší od svých předků. Jedná se o plemena z odlehlejších oblastí, která se díky přirozené selekci stala velmi odolnými a vyvinula se u nich skvělá adaptabilita k prostředí. Na druhou stranu plemena kulturní prošla dlouhodobým procesem šlechtění za účelem vyvinutí různých povah, temperamentů, síly, odolnosti aj. Taková plemena jsou na rozdíl od koní primitivních náročněji krmitelná a v podstatě náročnější na ošetřování, ale na druhou stranu ve svých „oborech“ vynikají výkonností (Burešová, 2007).

Dle temperamentu dělíme koně na koně chladnokrevné, teplokrevné a plnokrevné. Chladnokrevní koně (obr. 3.) se vyznačují mírnou povahou a klidným temperamentem, mohutným tělesným rámcem a obrovskou silou. Právě proto mezi chladnokrevnými koňmi nalezneme nejvíce tažných plemen, tedy plemen určených k práci v lese aj. (Dušek, 2011).



Obr.3. Na obrázku je zachycen představitel chladnokrevného koně (kříženec českomoravského belgického koně). Mezi koně teplokrevné se řadí široká škála plemen. Pro laika, ale i člověka v oboru je mnohdy těžké koně zařadit do správné skupiny, jelikož různí teplokrevní koně se značně liší stavbou těla, výškou, i povahou, a to právě díky širokému rozpětí plemen, co se řadí právě mezi teplokrevníky a také díky plemenným knihám, které nemají tak striktní kritéria pro zapsání. Jako souhrnnou charakteristiku je ale možné říci, že se jedná o koně s lehčí stavbou těla, kteří jsou na rozdíl od chladnokrevníků schopni vyvinout větší rychlost, mají prostornější chody a živější temperament (Dušek, 2011). Mezi ukázková plemena lze zařadit například českého teplokrevníka, trakénského koně, nebo amerického paint horse (obr. 4.).



Obr.4. Na fotografii je zachycen představitel teplokrevného koně (Americký paint horse x Český tepokrevník).

V neposlední řadě je nutno zmínit koně plnokrevné (obr. 5.). Jedná se o plemena šlechtěná k dosahování vysokých rychlostí a velké vytrvalosti. Mezi ně se řadí anglický plnokrevník (též A 1/1), arabský plnokrevník a achaltekinského koně – ten ovšem, jak se také Burešová (2007) zmiňuje, není ve všech zemích uznán jakožto plnokrevný kůň. Plnokrevníci se často využívají ke příkřížení s jinými plemeny za účelem zlepšení jejich výkonnostních vlastností. Charakteristika plnokrevného koně je lehká a jemná stavba těla a velmi živý temperament (Dušek, 2011).



Obr.5. Na fotografii je zachycen představitel plnokrevného koně (Anglický plnokrevník).

Rozdělení podle užitkového typu: jednostranně užitkový tažný typ, kam se, jak již bylo zmíněno, řadí koně chladnokrevní. Dále mnohostranně užitkový typ, kam se řadí všechna teplokrevná plemena i pony a jednostranně užitkový typ dostihový, kam patří plnokrevníci, ale také klusáci, kteří se řadí mezi teplokrevné/polokrevné koně (Dušek, 2011).

7.2 Fyziologie a trávicí soustava

Koně se řadí mezi nepřezvýkavé býložravce. Mají monogastrický žaludek, tzn. jednodukomorový žaludek (Sambraus, 2014). Díky jednoduššímu trávicímu traktu musejí koně potravu rozžvýkat dokonaleji, než například krávy, které se řadí mezi přezvýkavce.

Koně svou potravu nejprve analyzují kromě očí také pomocí hmatových chlupů, které se vyskytují kolem tlamy, ale i kolem očí a uší. Po rozkousání potravy v dutině ústní a obohacením slinami se potravina přesouvá do žaludku pomocí jícnu. Koňský jícen je dlouhý 1,5 m (HYGAIN, 2019).

Jícen je napojen na žaludek v ostrém úhlu. Díky tomu, a také díky jícnové záklopce mají koně jednostranný trávicí trakt, tzn. nejsou schopni potravu zpětně vyvrátit

(Gore & kol., 2011). Žaludek koně je k jeho velikosti překvapivě malý, tudíž musí potrava procházet traktem poměrně rychle. Žaludek pojme zhruba 10-15 litrů.

Tenké střevo činí přibližně 28 % trávicího traktu koní, má délku 15–22 metrů a objem 55–70 litrů (HYGAIN, 2019). Dělí se na tři části – dvanácterník, lačnick a kyčelní část, ze které se již potrava dostává do tlustého střeva. Díky malému žaludku a dlouhému tenkému střevu dochází u koní často k poruchám trávicího traktu, jako je např. kolika (Čejková, 2017).

Biologické trávení živin probíhá až v tlustém střevě, nikoliv v předžaludku, jako u přežvýkavců. Tlusté střevo má tvarově a funkčně tři odlišné části – slepé střevo, tračnick a konečnick (Kresan, 1979).

Právě slepé střevo tráví celulózu a lze jej přirovnat k jakési kvasné komoře, podobné právě bachoru u přežvýkavců. Má kapacitu 30-35 litrů. Toto uspořádání (tlusté střevo, tračnick a konečnick) umožňuje strávit a zpracovat vlákninu a přeměnit ji na mastné kyseliny, které zvíře využije jako doplňující zdroj energie. Většina sacharidů potřebných k výživě a rozmnožování bakterií se ale zpracuje už v tenkém střevě, proto výtěžnost ve střevě slepém je oproti přežvýkavcům minimální (Dušek, 2011).

V tračnicku, zejména na jeho konci v tzv. malém tračnicku, se tvoří z potravinové směsi „koblížky“, tedy trus v podobě, v jaké je dále konečnickem vypuzen z koňského těla ven.

8. Prvkové složení koňských výkalů

Fosfor – Zhruba 1 % tělesné váhy koně je fosfor, přičemž z tohoto množství se v kostech a zubech nachází 75 %, v krvi 15 % a 10 % v měkkých tkáních. Při větším příjmu fosforu dochází v koňském těle k jeho samoregulaci (Doorn & kol., 2004).

Přebytečný fosfor koně vylučují převážně fekáliemi (Toribio, 2011). Obsah fosforu v koňských výkalech se může lišit v závislosti na typu krmiva. Při krmení na bázi vojtěšky je obsah fosforu poněkud nižší než u ostatních krmiv (0,37 %). Krmivo obsahující z velké části granule je příčinou většího obsahu fosforu ve výkalech, než krmivo na bázi ovsy (0,8 % v porovnání s 0,6 %; Hainze, 2004).

Koňské výkaly, které obsahují velké množství fosforu mohou mít nežádoucí účinky na kvalitu podzemních vod při vstřebání do půdy. Určité druhy krmiv mohou změnit vstřebávání fosforu v koňském těle a tudíž i jeho vylučování prostřednictvím výkalů (Saastamoinen, 2020). Na základě výzkumů vylučovali nejméně fosforu koně krmení pouze senem, nebo vojtěškou (0,3 %) a naopak koně krmení píce a granulemi vylučují fosforu více – cca 0,6 až 0,8 % (Hainze M.T.M., 2004; Saastamoinen, 2020).

	Krmivo			
	Vojtěška	Granule	Oves	Sweet feed*
průměrný obsah P (g kg ⁻¹)	3,7	8,0	5,4	6,5

Tab.3. Tabulka znázorňující obsahy P v koňských výkalech (g kg⁻¹) a rozdíly mezi nimi na základě použitého krmiva (Hainze M.T.M., 2004; upraveno). *Sweet feed je název pro mix ovsy, kukuřice, ječmene a melasy.

Örgen (2013) ve své studii taktéž uvádí obsah fosforu ve výkalech koní v rozpětí od 0,51 % až do 0,94 %.

Vápník – Saastamoinen (2020) uvádí ve svých publikacích obsah vápníků v koňských výkalech v průměru 1,7 až 2.0 %.

Magnesium – 10,75g bylo zjištěno ve výkalech z objemu 15,6kg (Saastamoinen, 2020).

9. Metodika práce

9.1 Zdroj materiálu

Materiál použitý pro tento výzkumu jsou výkaly domestikovaných hospodářských zvířat – konkrétně koní domácích. Materiál byl získán ze tří různých lokalit na území České republiky. Jednalo se o rodinnou farmu Statenice, experimentální farmu a stáj z České Zemědělské Univerzity v Praze a o jezdeckou stáj a farmu Březenecká v Chomutově.

Samotný sběr probíhal ve více etapách, po telefonické domluvě s odpovědnými osobami konkrétních institucí. Z každého stanoviště byly odebrány 3 vzorky exkrementů. Sbíráni probíhalo v období od září 2019 do prosince 2019. Každý sběr obnášel důkladnou selekci, tak, aby použité vzorky neobsahovaly cizí předměty, příliš mnoho cizího materiálu jako je zemina, seno, sláma či traviny a nebo nebyly znehodnocené plísňemi apod. Venkovní výběhy, kde byla již spasená vyšší vrstva travin, anebo písková jízďárna (přebytečný písek je snadné odstranit, ze suchého vzorku opadá) byly proto nejvhodnější místa ke sběru.

Vzorky sbírané na různých stanovištích pocházejí od koní, kteří mají denní režim s volným přístupem na pastviny a večerní režim v uzavřených stájích. Vzorky nejsou selektované dle konkrétních kusů, pouze podle místa sběru. Všechny zkoumané subjekty mají v jídelníčku přirozeně různé druhy trav, bylin (například jetel plazivý či jitrocel větší), plevelu a krmivo zpracované lidmi, tudíž seno z travního porostu a dále jaderné krmivo, jako granule, oves či ječmen. Doplnky stravy zahrnují zejména solné lizy, které jsou důležitým zdrojem minerálů a v menší míře také různé vitamíny a suplementy, které pomáhají ke zdravému pohybovému aparátu zvířat.

Jako adekvátní množství odebraného materiálu se po předešlých pokusech osvědčilo minimálně 500 g i s přihlédnutím na to, že k dosažení zkoumatelného vzorku popele bude zapotřebí spálit větší objem vysušeného trusu.

Každý vzorek byl ručně vložen do čistého igelitového pytle, který při transportu do sušící místnosti zůstal otevřený tak, aby měly vzorky dostatečný přísun kyslíku, ale zároveň, aby mokrá část neznečistila převážecí krabici.

Doba, kterou byly vzorky převáženy, byla vždy v řádu několika desítek minut, nebo maximálně několika hodin – k transportu byl využit automobil. Delší uchování mimo sušící místnost by mohla znamenat riziko výskytu plísní či jinou degradaci materiálu.

K vysušení vzorků se využívalo místnosti s vysokou teplotou a nízkou vlhkostí. Každý vzorek se v místnosti rozprostřel na kartonovou krabici vyplněnou suchými, nelesklými novinami, které pomohly absorbovat přebytečnou vlhkost (vzorky sbírané v měsících listopad-prosinec byly velmi vlhké).

9.2 Příprava vzorků a spalování

Všechny vzorky byly sušeny přírodně po dobu 72 hodin. Dále byly vzorky vysušeny v peci při teplotě 40 °C po dobu 48 hodin k dosažení úplného vysušení.

Každý vzorek koňského trusu byl rozdrcen v hmoždíři, aby bylo docíleno homogenního prášku pro počáteční analýzy. Poté bylo odebráno 30 g od každého nadrceného vzorku a kompletně spáleno v muflové peci při teplotě 300 °C po dobu 15 minut. Vyšší zvolená teplota by mohla znamenat výskyt nežádoucích rizikových prvků.

Muflová pec měla komorový rozměr 30 x 20 x 15 cm s přidržovací kapacitou šesti kelímků. Každý předem zpracovaný vzorek trusu v 5 opakováních byl umístěn do spalovacího kelímku bez krytu, aby byla umožněna výměna vzduchu a plynná difúze ze vzorků během spalování. Získané rozemleté vzorky popela byly homogenizovány a prosety přes 0,1 mm síto a následně vloženy do značeného plastového sáčku. Bylo připraveno 15 vzorků sušených výkalů (mletých) a 15 vzorků popela (3 lokality x 5 opakování). Celkem bylo získáno 30 vzorků pro následnou laboratorní analýzu.

9.3 Analytické metody

Celkový obsah makroprvků (P, K, Ca, a S), mikroprvků (Mn, Fe, Al, Si, Cu, Zn), ostatních prvků (Sr, Rb, Mo and Zr) a rizikových prvků (Ag, Cd and Pb) byl zjištěn prostřednictvím pXRF přístroje. Byl využit přenosný ED-XRF (pXRF) analyzátor Delta Professional by Olympus InnovX s nastaveným režimem měření půdní geochemie právě pro analýzu obsahu prvků ve zkoumaných vzorcích (pro aplikaci XRF spektrometrie, viz Chand et al. 2009 pro aplikaci XRF v analýze prvkového složení).

Vzorky byly ozařovány pomocí paprsků po dobu jedné minuty – 30 sekund prostřednictvím 10-kV paprsku a dalších 30 sekund pomocí 40-kV paprsku. Kvalita výsledků byla úspěšně testována pomocí BAS Rudice Ltd. Company (<https://www.bas.cz>) na 55 referenčních materiálech (e.g. SRM 2709a, 2710a, 2711a, OREAS 161, 164, 166, RTC 405, 408). Každý vzorek byl testován trojmo; konečná hodnota je aritmetickým průměrem tří výsledků. Přítomnost As byla zjištěna pouze jednou (0.0005 ppm pro As) ve všech vzorcích a byla pod detekční limit. Obsah Cd také nebyl detekován. Ve dvou případech byl nahrazen s polovinou detekčního limitu. Nicméně, celkový obsah prvků jako Mg, Cl, Cr, Mo, Se, Sb, Y, Sn, In, Sn, Sb, Ba, W, Bi, Ag, Tl, Th, Au a Hg byl ve všech vzorcích vynechán z další analýzy, protože nebyly detekovány nebo byly detekovány nad detekčním limitem pouze v několika případech.

Kromě toho, obsahy prvků, které byly k dispozici (extrakce Mehlich 3; Mehlich, 1984), a to obsahy P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Na, Fe, Ni, Cr, Pb, Co, As, Cd, Al a Sr byly stanoveny pomocí ICP-MS a všechna měření byla provedena ve dvou opakováních.

pH (H₂O) všech zpopelněných exkrementů bylo stanoveno v poměru 1 : 1 (popel/voda) pomocí pH metru Voltcraft PH-100 ATC. (pH 212), vyrobeným v I & CS spol. s r.o., Czech Republic.

9.4 Stanovení výtěžku z popela

Výtěžek popela, AY (%) byl vypočten podle následující rovnice:

$$AY (\%) = (W_{ai} / W_{bi}) \times 100$$

kde W_{bi} a W_{ai} (g) jsou hmotností před spalováním a po spalování.

9.5 Analýza dat

Údaje o pH, výtěžku z popela a obsahu prvků byly distribuovány pomocí Shapiro Wilk testu a splnily předpoklad pro použití parametrického testu. Jednocestná ANOVA byla použita k vyhodnocení rozdílů v pH, výtěžku z popela a obsahu elementů ve výkalech a popelech z nich. V případě významných výsledků ANOVA jsem použila posthoc srovnání pomocí Tukeyova HSD testu, abych identifikovala významné rozdíly mezi různými místy ve vzorku. K provedení všech statistických

analýz v této studii byl použit softwarový balíček STATISTICA 13.3 (www.statistica.io).

10. Výsledky

10.1 Barva popela, pH a výtěžnost z popela

Popel ze všech vzorků byl černé barvy bez značných rozdílů v barevném odstínu (obr. 6.). V popelu však nebyl identifikován žádný materiál, který by značil neúplné spalování. Celkové pH zjištěné z popela trusu koní se pohybovalo v rozmezí od 7.11 pH do 7,26 pH. Celkové pH bylo 7,2 pH (tab. 3.). Výtěžnost ze zpopelněných výkalů se pohyboval od 3,57 až do 4,2 %. Celková výtěžnost byla 3,91 % (tab. 3.).

10.2 Prvkové složení popela z výkalů koní a popele z nich

Obsah makroprvků (P, K, Ca, S) mikroprvků (Mn, Fe, Al, Si, Cu, Zn), ostatních prvků (Sr, Rb, Mo a Zr) a rizikových prvků (Ag, Cd a Pb) byl nad detekčním limitem ve výkalech i v jejich popelu. Významné rozdíly ($p < 0,01$) byly v zjištěny u P, K a Ca s výjimkou S mezi výkaly (před spalováním) a popelem (po spalování výkalů) u zkoumaného subjektu (graf 1.).

Obsah P se ve vzorcích pohyboval v rozmezí 0,59 až 2,33 % a v popelu v rozmezí 0,83 až 2,38 %. Celkový obsah P ve výkalech byl 1,15 % a v popelech z něj 1,36 %. Obsah prvku K se ve vzorcích výkalů pohyboval v rozmezí 3,1 až 4,98 % a v jejich popelu 3,94 až 7,52 %, s celkovým obsahem 4,34 a 5,76 % ve výkalech i popelech. Obsah Ca se ve vzorcích pohyboval v rozmezí 3,1 až 4,98 % a v popelech 3,94 až 7,52 % (graf 1.).

Byl pozorován významný rozdíl v obsahu mikroprvků (Mn, Fe, Al, Si, Cu, Zn) ve výkalech a jejich příslušných popelech (graf 2. & graf 3.).

Obsah Mn se ve vzorcích pohyboval od 189 do 328 mg kg⁻¹ a od 539 do 637 mg kg⁻¹ v popelu z nich, celkový obsah Mn byl 262 mg kg⁻¹ ve výkalech a 585 mg kg⁻¹ v popelech. Obsah Fe se ve vzorcích výkalů pohyboval v rozmezí od 0,2 do 0,37 % a v popelu z nich od 0,29 do 0,68 %, přičemž ve výkalech byl celkový obsah Fe 0,31 a v popelech 0,53 %.

Obsah Al se ve vzorcích pohyboval v rozmezí 1,15 až 1,53 % a v jejich popelu v rozmezí 1,27 až 1,61 %. Celkový obsah Al byl ve vzorcích 1,28 % a v popelu 1,42 %. Obsah křemíku se ve vzorcích pohyboval v rozmezí od 7,02 do 9,99 % a od 7,38 do 12,07 % v popelu z nich. Celkový obsah Si byl ve vzorcích 9 % a v popelu 10,25 %. Obsah Cu se ve vzorcích výkalů pohyboval v rozmezí od 7,5 mg kg⁻¹ do

17,5 mg kg⁻¹ a v popelu z nich od 23 mg kg⁻¹ do 48 mg kg⁻¹. Celkový obsah Cu byl ve vzorcích a popelu 11,7 mg kg⁻¹ a 36 mg kg⁻¹. Obsah Zn se ve vzorcích pohyboval v rozmezí od 81 mg kg⁻¹ do 195 mg kg⁻¹ a dále od 225 mg kg⁻¹ do 271 mg kg⁻¹ v jejich popelu. Celkový obsah Zn byl ve vzorcích 123 mg kg⁻¹ a v jejich popelu 244 mg kg⁻¹.

Byl zaznamenán významný rozdíl mezi obsahem stopových prvků (Sr, Rb, Mo a Zr) ve výkalech a jejich popelu (graf 5.).

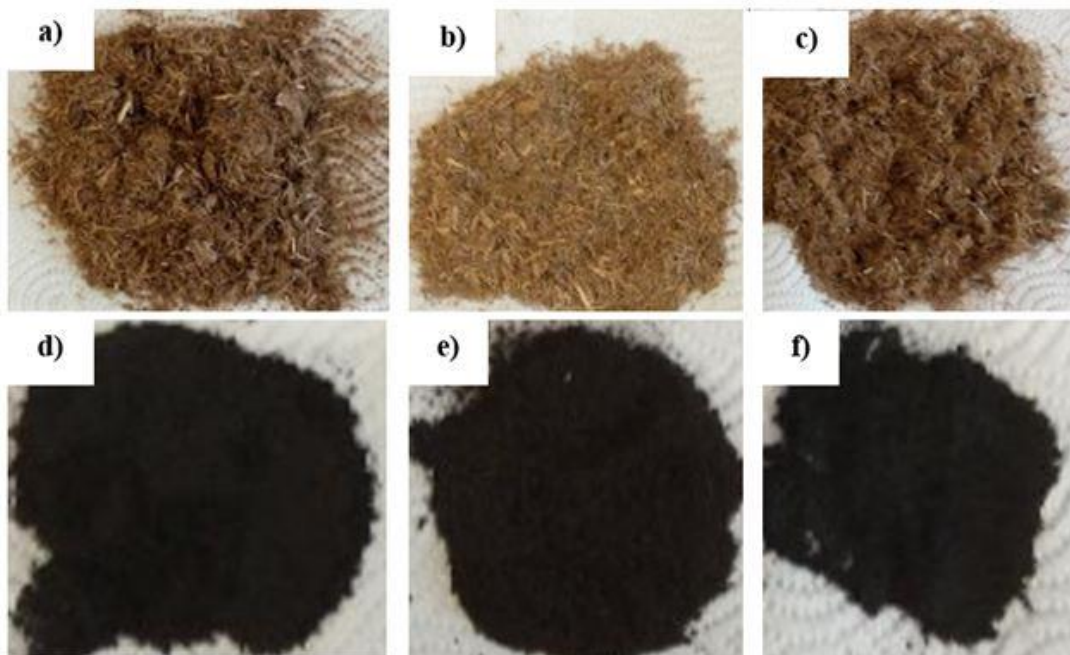
Obsah Sr se pohyboval v rozmezí 30 mg kg⁻¹ až 63 mg kg⁻¹ ve vysušených vzorcích a 55 mg kg⁻¹ až 156 mg kg⁻¹ v jejich popelu. Celkový obsah Sr byl ve vysušených vzorcích 42 mg kg⁻¹ a v popelu 91 mg kg⁻¹. Obsah Rb se pohyboval v rozmezí 18 mg kg⁻¹ až 24 mg kg⁻¹ ve vysušených vzorcích a 33 mg kg⁻¹ až 70 mg kg⁻¹ v popelu z nich. Celkový obsah Rb ve vzorcích a jejich popelu 20 mg kg⁻¹ a 47 mg kg⁻¹.

Obsah Mo se ve vysušených vzorcích pohyboval v rozmezí od 12 mg kg⁻¹ do 16,7 mg kg⁻¹ a 5,7 mg kg⁻¹ až 15 mg kg⁻¹ v popelu. Celkový obsah Mo byl ve vysušených vzorcích 15 mg kg⁻¹ a v popelu z nich 11 mg kg⁻¹.

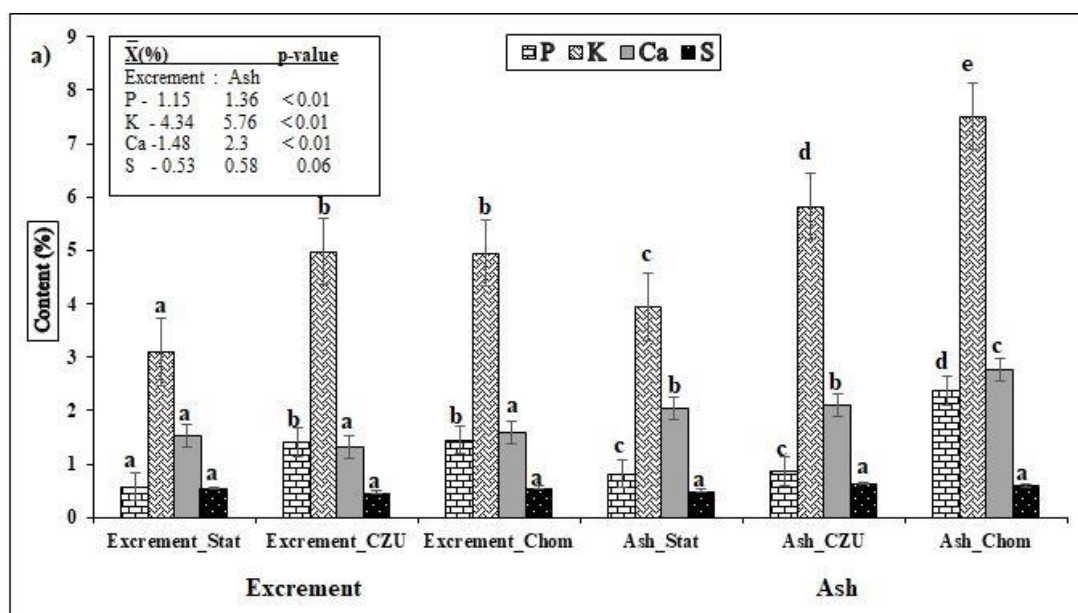
Dále se obsah Zr ve vysušených vzorcích pohyboval v rozmezí od 23 mg kg⁻¹ do 29 mg kg⁻¹ a od 23 mg kg⁻¹ do 43 mg kg⁻¹ v jejich popelu. Celkový obsah Zr byl 26 mg kg⁻¹ a 32 mg kg⁻¹ v popelu z nich.

S výjimkou obsahu Cd byl zaznamenán významný rozdíl mezi obsahem prvků Ag a Pb (graf 4.). Ve vysušených výkalech a popelu z nich bylo zaznamenáno rozmezí 45 mg kg⁻¹ až 59 mg kg⁻¹ a 28 mg kg⁻¹ až 34 mg kg⁻¹. Celkový obsah Ag byl ve vysušených vzorcích 51 mg kg⁻¹ a v popelu 41 mg kg⁻¹. Obsah Cd se ve vysušených vzorcích pohyboval v rozmezí od 24 mg kg⁻¹ do 38 mg kg⁻¹ a od 28 do 34 mg kg⁻¹ v jejich popelu. Celkový obsah Cd ve vysušených vzorcích a popelu z nich byl stejný (30 mg kg⁻¹).

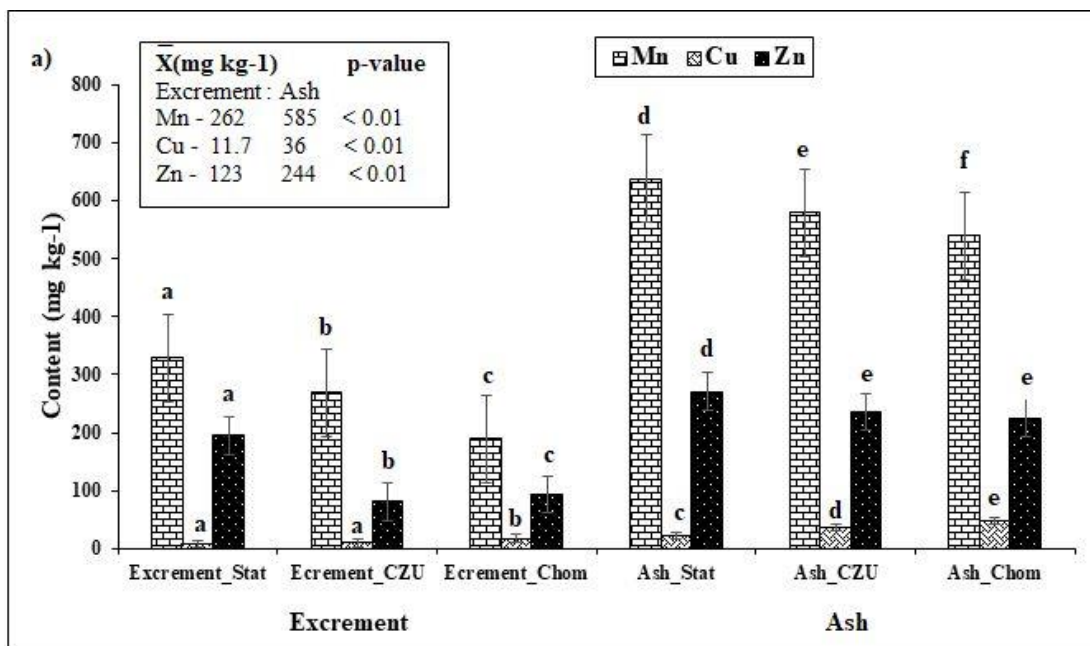
Ve vysušených vzorcích se naměřil obsah Pb v rozmezí od 6 mg kg⁻¹ do 9 mg kg⁻¹, zatímco u popela se pohyboval od 10 mg kg⁻¹ do 13 mg kg⁻¹. Celkový obsah Pb ve vysušených vzorcích a jejich popelu je 7 mg kg⁻¹ a 11 mg kg⁻¹ (graf 4.).



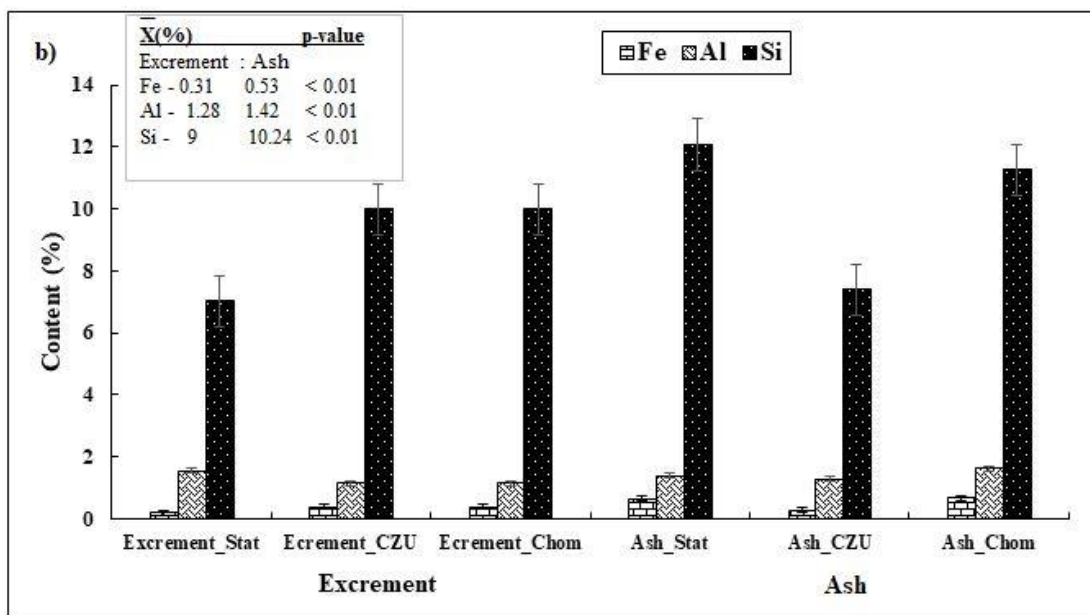
Obr.6. Fotografie koňských výkalů (a, b a c) a po spálení (d, e a f) z lokalit: Statnice (a a d), CZU (b a e) a Chomutov (c a f).



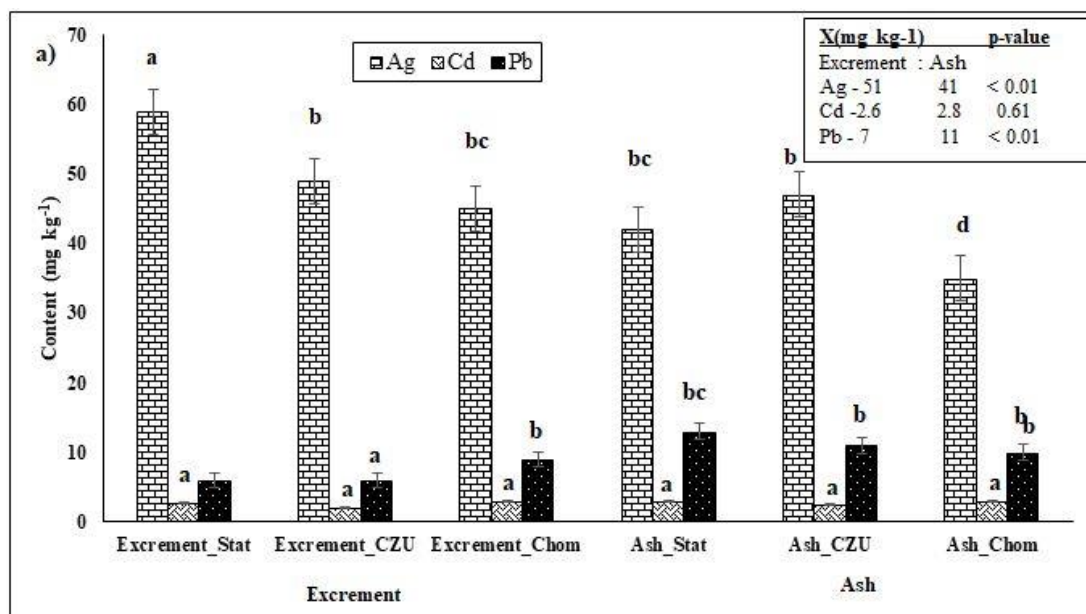
Graf 1. Průměrný celkový obsah (\pm SE) makroprvků (P, K, Ca a S) výkalů koní před a po spalování (popel) z lokalit: Statnice (Stat), České zemědělské univerzity (CZU) a Chomutov (Chom). Hodnoty p byly získány jednosměrnou Anovou. Při použití post hoc testu Tukey HSD se stejný obsah se stejným písmenem každého prvku výrazně neliší. SE označuje standardní chybu střední hodnoty. X označuje celkový význam prvků ve vzorcích výkalů i jejich popela.



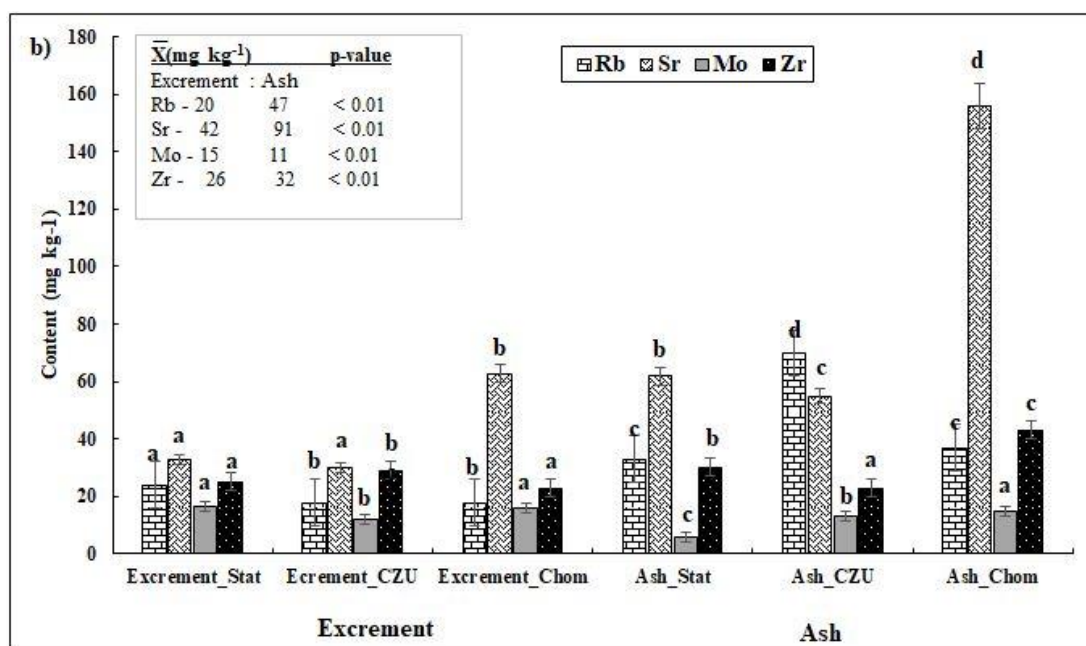
Graf 2. Průměrný celkový obsah (\pm SE) mikroprvků (Mn, Cu a Zn) ve výkalech před a po spalování (popel) ze Statenice (Stat), České zemědělské univerzity (CZU) a Chomutov (Chom). Hodnoty p byly získány jednosměrnou Anovou. Při použití post hoc testu Tukey HSD se průměrný obsah se stejným písmenem každého prvku výrazně neliší. SE označuje standardní chybu střední hodnoty. X označuje celkový průměr prvků ve vzorcích výkalů i jejich popela.



Graf 3. Průměrný celkový obsah (\pm SE) mikroprvků (Fe, Al a Si) ve výkalech před a po spalování (popel) ze Statenice (Stat), České zemědělské univerzity (CZU) a Chomutov (Chom). Hodnoty p byly získány jednosměrnou Anovou. Při použití post hoc testu Tukey HSD se průměrný obsah se stejným písmenem každého prvku významně neliší. SE označuje standardní chybu střední hodnoty. X označuje celkový průměr prvků ve vzorcích exkrementů i popela.



Graf 4. Průměrný obsah (\pm SE) rizikových prvků (Ag, Cd a Pb) výkalů před a po spalování (popel) ze Statenice (Stat), České zemědělské univerzity (CZU) a Chomutov (Chom). Hodnoty p byly získány jednosměrnou Anovou. Při použití post hoc testu Tukey HSD se průměrný obsah se stejným písmenem každého prvku výrazně neliší. SE označuje standardní chybu střední hodnoty. X označuje celkový průměr prvků ve vzorcích výkalů i popela.



Graf 5. Průměrný celkový obsah (\pm SE) stopových prvků (Rb, Sr, Mo a Zr) výkalů před a po spalování (popel) ze Statenice (Stat), České zemědělské univerzity (CZU) a Chomutova (Chom). Hodnoty p byly získány jednocestnou ANOVA. Při použití post hoc testu Tukey HSD se průměrný obsah se stejným písmenem každého prvku výrazně neliší. SE označuje standardní chybu střední hodnoty. X označuje celkový průměr prvků ve vzorcích výkalů i popela.

Sample location	pH (H ₂ O)	Ash yield (%)
Statenice	7.1±0.2	4.2±1.3
Czu	7.2±0.1	3.6±2.4
Chomutov	7.3±0.3	4.0±1.6
mean	7.2±0.2	3.9±0.9
p-value	0.99	<0.01

Tab.3. Průměrné pH (H₂O) a výtěžnost z popela (%). Hodnota p (p-value) byla získána z přístroje One-way Anova.

11. Diskuse

11.1 Barva popela, pH a výtěžnost z popela

Barva popelů z výkalů byla ve všech případech stejně černá bez nápadných rozdílů v odstínu mezi vzorky. Je tedy zřejmé, že rozdíly v chemickém složení jednotlivých vzorků neměly na barvu vliv. Je možné, že by byla barva popela odlišná při použití vyšší teploty spalování, ale to nebylo předmětem mého výzkumu. Podle zkušenosti školitele (Hejcman, osobní sdělení), barvy popela se liší podle druhů dřevin. Je tedy pravděpodobné, že se budou lišit i barvy popelů z výkalů různých druhů herbivorů, ale to také nebylo cílem mého studia.

Větší rozdíly se nevyskytovaly ani v souvislosti s pH. Všechny spálené vzorky měly $\text{pH} > 7$, tudíž bylo neutrální, až alkalické. Alkalické pH je v souladu s výsledky studií dřevního popela a je to dáno velkým obsahem alkalických prvků jako jsou Ca, Mg, K a Na. Popel z výkalů koní má tak stejný potenciál k neutralizaci kyselých půd podobně jako popel ze spáleného dřeva (Demeyer, 2001).

Výtěžnost se jevila jako poměrně vysoká, pokud bychom ji porovnávali s výtěžností popela ze surového dřeva (*viz kapitola 6.1 . Popel ze dřeva a jeho prvkové složení*). Patrný rozdíl je možné pozorovat u vzorků z lokality Statenice. Výtěžnost popela z tohoto vzorku byla znatelně vyšší než z ostatních lokalit. Je možné, že rozdíl je zapříčiněn povětrnostními podmínkami a rozdíly v krmení koní, jelikož vzorky z této lokality byly při sběru velmi vlhké až mokré. Zároveň v souvislosti s počasím neměli koně v potravní nabídce čerstvou píci, ale naopak měli zvýšený přísun sena a jadrných příkrmů.

11.2 Prvkové složení popela z výkalů koní a popele z nich

Ve vzorcích výkalů byl zjištěn výrazně vyšší obsah P než udávají jiní autoři. Hlavní příčinu spatřuji v použité analytické metodě. Pro stanovení obsahu P jsem používala XRF, které nebylo kalibrováno na analýzu výkalů. Podle zkušenosti školitele (Hejcman, osobní sdělení), pokud XRF není kalibrováno, získané obsahy P jsou ve vzorcích výkalů nadhodnoceny. Pro zpřesnění výsledku by bylo potřeba provést mokrou analýzu a stanovit obsah P s využitím ICP a podle těchto hodnot provést kalibraci výsledků XRF. Tato kalibrace nemohla být provedena, protože v době

koronavirové krize jsem neměla přístup do laboratoře. Podle obsahu P v krmné dávce, se obsah P ve výkalech koní pohybuje v rozpětí 0.3 – 0.9 % (Saastamoinen, 2020; Örgen, 2013). Námi zjištěná průměrná hodnota je tedy značně nadhodnocená.

Obsah K ve výkalech byl silně ovlivněn lokalitou a byl v rozmezí od 3 do 7,5 %. Velký rozsah hodnot je možné přisoudit velkým rozdílům v krmné dávce mezi jednotlivými chovy. Vysoký obsah K se může vyskytovat ve vzorcích z lokalit, kde měli koně velký podíl píce v krmné dávce.

Průměrný obsah Ca ve výkalech (1,5 %) byl v souladu s obsahy udávanými ostatními autory (Saastamoinen, 2020), podle nichž je běžné rozpětí obsahu Ca od 1.7 do 2.0 % v závislosti na krmné dávce a fyziologické potřebě koně. Mezi lokalitami byly zjištěny pouze nepatrné rozdíly v obsahu Ca. Za možné vysvětlení můžeme považovat podobný geologický substrát na němž byla produkována píce. Obsah Ca v píci je do značné míry ovlivněn geologickým podložím a obsahem Ca v půdě (Kulovaná, 2001).

Obsah popelovin (makro, mikro, rizikových a ostatních prvků) byl v popelu vyšší než ve výkalech. Tento výsledek lze vysvětlit spalovacím procesem, při němž prvky jako C, O a H unikají při hoření ve formě vodní páry a oxidu uhličitého. V popelu se tak koncentrují prvky, které při hoření neunikají v plynné formě a koncentrují se právě v popelu.

Procentuální zastoupení P bylo na základě zastoupení v publikacích ostatních autorů (Insam & Knapp, 2011; Mahendra & kol., 1993) srovnatelné se zastoupením P v popelu ze dřeva. Zastoupení prvků Ca, K a S bylo znatelně nižší, než u popela ze dřeva. To může mít souvislost s nižší teplotou spalování, použitou při mém výzkumu, ale také jiným složením dřeva a koňských výkalů.

12. Závěr

Popel z koňských výkalů obsahuje makroprvky (P, K, Ca, S) mikroprvky (Mn, Fe, Al, Si, Cu, Zn), rizikové prvky (Ag, Cd a Pb) a ostatní prvky (Rb, Sr, Mo a Zr). Na základě použitých analytických metod jsem došla k závěru, že popel z koňských výkalů není možné odlišit od popele ze spáleného dřeva. Zastoupení prvků je v obou případech obdobné. Jejich procentuální zastoupení se liší v souvislosti s teplotou spalování, ale také na základě jiného složení před spalováním.

Spálením koňských výkalů při teplotě 300 °C se uvolnilo větší množství prvků, hodnoty proto byly ve všech případech vyšší u spáleného vzorku než u vzorku nespálených výkalů. Hodnoty rizikových prvků ve výsledcích byly pod přípustnými limity pro použití na zemědělské půdy. Popel z koňských výkalů obsahuje podobně jako popel ze dřeva množství alkalických prvků a jeho pH je proto poměrně vysoké. Je tedy vhodné ho využít k hnojení kyselějších půd.

13. Zdroje

13.1 Odborné knihy

Canti M., Brochier J. E., 2017: Faecal Spherulites. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology 2017/Chapter 5*, 496 s.

Dušek J., 2011: Chov koní. Brázda. 2011, Praha, 360 s.

Gore T., Gore P., Griffin J. M., Adelman B., 2011: *Horse Owner's Veterinary Handbook*. Turner Publishing Company. 2011, United Kingdom, 746 s.

Insam H., Knapp B. A., 2011: *Recycling of Biomass Ashes*. Springer. 2011, 164 p.

Kresan J., 1979: *Morfológia hospodárskych zvierat*. Príroda. 1979, Bratislava, 629s.

Morey D. F., 2010: *Dogs: Domestication and the Development of a Social Bond*. Cambridge University Press. 2010, Cambridge, 380 p.

Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A. T., Smith C. T., 2002: *Bioenergy from Sustainable Forestry, Guiding Principles and Practise*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 2002, Netherlands, 344 p.

Richter, R., Hlušek, J., 1994: *Výživa a hnojení rostlin*. Skripta VŠZ v Brně, 1994. ISBN: 80-7157-138-5.

Sambraus H. H., 2014: *Atlas plemen hospodářských zvířat*. Brázda. 2014, Praha, 296 s.

Scanes C. G., Toukhsati S. R., 2018: Chapter 6 - The Neolithic Revolution, Animal Domestication, and Early Forms of Animal Agriculture. *Animals and Human Society*. Academic Press. 2018, London. 540 p.

Sherratt A., 1981: *Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution*. Cambridge University Press ©1981, Cambridge, 305 s.

13.2 Články v odborném periodiku

Aiello L. C. & Wheeler P., 1995: The expensive-tissue hypothesis; The brain and the digestive system in human and primate evolution. *Current Anthropology* 1995/36. P. 199-221.

Alexandre A, Meunier J. D., Lézine A. M., Vincens A., Schwartz D., 1997: *Phytoliths: Indicators of grassland dynamics during the late Holocene in*

- intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1997/136. P. 213-229.
- Alperson-Afil N., Goren-Inbar N., Kislev M. E., Melamed Y., Simchoni O., Ben-Nun A., Werker E., 2004: Evidence of Hominin Control of Fire at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science*, 2004/304. P. 725-727.
- Alperson-Afil, N., 2008: Continual fire-making by Hominins at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Quaternary Science Reviews* 2008/27. P. 1733-1739.
- Anderson S., Ertung-Yaras F., 1998: Fuel Fodder and Faeces: An Ethnographic and Botanical Study of Dung Fuel Use in Central Anatolia. *Environmental Archaeology* 1998/1. P. 99-109.
- Araújo A., Reinhard K., Bastos O. M., Costa L. C., Pirmez C., Iniguez A., Vicente A. C., Morel C. M., Ferreira L. F., 1998: Paleoparasitology: Perspectives with new techniques. *Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo* 1998/40. P. 371-376.
- Bonnet O. T., 1972: Silicified Cells of Grasses: A Major Source of Plant Opal in Illinois. Urbana-Champaign, Agriculture Experiment Station, Univ. of Illinois 1972.
- Brochier, J. É., 1993: Cayönü Tepesi. Domestication, rythmes et environnement au PPNB. *Paléorient* 1993/19-2. P. 39-49.
- Bryant M. V., Holloway R. G. & Jr., 1983: The Role of Palynology in Archaeology. *Advances in Archaeological Method and Theory* 1983/6. P. 191-224.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C.; Verloo M. G., 2001: Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*, 2001/3. P. 287-295.
- Doorn van D. A., Spek van der M. E., Everts H., Wouterse H., Beynen A. C., 2004: The influence of calcium intake on phosphorus digestibility in mature ponies. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 2004/88. P. 412-418.
- Epstein E., 1994: The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1994/91. P. 11-17.

- Fairbairn A., Near J., Martinoli D., 2005. Macrobotanical investigation of the North, South and KOPAL area excavations at Çatalhöyük. *Inhabiting Catalhoyuk: Reports from the 1995-1999 seasons* 2005/8. P. 138-201.
- Fenton, J.D., 1985: A fifth-order Stokes theory for steady waves. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering* 1985/111. P. 216-234.
- Fuller D. Q., 2006: Agricultural Origins and Frontiers in South Asia: A Working Synthesis. *Journal of World Prehistory* 2006/20. P 1-86.
- Gaunitz C., Fages A., Hanghøj K., Albrechtsen A., Khan N., Schubert M., Seguin-Orlando A., Owens I. J., Felkel S., Bignon-Lau O., De Barros Damgaard P., Mittnik A., Mohaseb A. F., Davoudi H., Alquraishi S., Alfarhan A. H., Al-Rasheid K. A. S., Crubézy E., Benecke N., Olsen S., Brown D., Anthony D., Massy K., Pitulko V., Kasparov A., Brem G., Hofreiter M., Mukhtarova G., Baimukhanov N., Lõugas L., Onar V., Stockhammer P. W., Krause J., Boldgiv B., Undrakhbold S., Erdenebaatar D., Lepetz S., Mashkour M., Ludwig A., Wallner B., Merz V., Merz I., Zaibert V., Willerslev E., Librado P., Outram A. K., Orlando L., 2018: Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. *Science* 2018/6. P.111-114.
- Greenfield H. J., 2010: The Secondary Products Revolution; the past, the present and the future. *World Archaeology* 2010/42. P. 29-54.
- Hainze M. T. M., Muntifering R. B., Wood C. W., McCall C. A., Wood B. H., 2004: Faecal phosphorus excretion from horses fed typical diets with and without added phytase. *Animal Feed Science and Technology*/117. P. 265-279.
- Janssens L., Giemsch L., Schmitz R., Street M., Dongen V. S., Crombell P., 2018: A new look at an old dog: Bonn-Oberkassel reconsidered. *Journal of Archaeological Science* 2018/92. P. 126-138.
- Khan A. A., Jong de W., Jansensb P. J., Spliethoffc H., 2009: Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology* 2009/90. P. 21-50.

- Králík M. & Svoboda J., 2009: Oheň: ovládnutí nového živlu a první využití jeho energie. *Živá archeologie*, 2009/10. S. 1-4.
- Laitinen T., Lindh T., 2005: Ash Recycling In Finland. In Regular Recycling of Wood Ash to Prevent waste Production. RecAsh – International seminar. Ed. Pechová J., Karas J., Praha: Lesy České republiky 2005, 123 s., S. 7-10. ISBN 80-86945-10-3.
- Larson G., Bradley D. G., 2014: How Much Is That in Dog Years? The Advent of Canine Population Genomics. *PLoS Genetics* 2014/10. P. 1-3.
- Larson G., Piperno D. R., Allaby R. G., Purugganan M. D., Andersson L., Arroyo-Kalin M., Barton L., Climer Vigueira C., Denham T., Dobney K., Doust A. N., Gepts P., Gilbert M. T. P., Gremillion K. J., Lucas L., Lukens L., Marsha F. B., Olsen K. M., Pires J. C., Richerson P. J., Rubio De Casas R., Sanjur O. I., Thomas M. G., Fuller D. Q., 2014: Current perspectives and the future of domestication studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2014/17. P. 6139–6146.
- Mahendra, K. M., Kenneth, W. R., Andrew, J. B., 1993: Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass Bioenergy* 1993/4, P. 103–116.
- Machugh D. E., Larson G., Orlando L., 2017: Taming the Past: Ancient DNA and the Study of Animal Domestication. *Annual Review of Animal Biosciences* 2017/5. P. 329-351.
- Miller N. F., Smart T. L., 1984: Intentional Burning of Dung as Fuel: A Mechanism for the Incorporation of Charred Seeds Into the Archaeological Record. *Journal of Ethnobiology* 1984/4. P. 15-28.
- Mudway I. S., Duggan S. T., Venkataraman Ch., Habib G., Kelly F. J., Grigg J., 2005: Combustion of dried animal dung as biofuel results in the generation of highly redox active fine particulates. *Particle and Fibre Toxicology* 2005/2.
- Ning T., Ling Y., Hu S., Ardalan A., Li J., Mitra B., Chaudhuri T. K., Guan W., Zhao Q., Ma Y., Savolainen P., Zhang Y., 2019: Local origin or external input: modern horse origin in East Asia. *Evolutionary Biology* 2019.
- Outram A. K., Stear N. A., Bendrey R., Olsen S., Kasparov A., 2009: The earliest horse harnessing and milking. *Science* 2009/6. P. 1332–1335.

- Peters J., Lebrasseur O., Deng H., Larson G., 2016: Holocene cultural history of Red jungle fowl (*Gallus gallus*) and its domestic descendant in East Asia. *Quaternary Science Reviews* 2016/142. P. 102-199.
- Pitman R. M., 2006: Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2006/79. P. 563–588.
- Portillo, M. & Albert R. M., 2011: Husbandry practices and livestock dung at the Numidian site of Althiburos (el Médéina, Kef Governorate, northern Tunisia): the phytolith and spherulite evidence. *Journal of Archaeological Science* 2011/38. P. 3224–3233.
- Reddy S. N., 1998: Fueling the hearths in India: the role of dung in paleoethnobotanical interpretation. *Paléorient* 1998/24. P. 61-69.
- Risse M. & Gaskin J., 2010: Best management practices for wood ash as agricultural soil amendment. The University of Georgia, Cooperative Extension 2010.
- Saastamoinen M., Särkijärvi S., Valtonen E., 2020: The Effect of Diet Composition on the Digestibility and Fecal Excretion of Phosphorus in Horses: A Potential Risk of P Leaching?. *Animals* 2020/10. P. 1-14.
- Shahack-Gross R., 2011: Herbivorous livestock dung: Formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science* 2011/38. P. 205-218.
- Shahack-Gross, R. & Finkelstein, I., 2008: Subsistence practices in an arid environment: a geoarchaeological investigation in an Iron Age site, the Negev Highlands, Israel. *Journal of Archaeological Science* 2008/35. P. 965–982.
- Shtukenberg A. G., Punin Y. O., Gunn E., Kahr B., 2012: Spherulites. *Chemical reviews* 2012/3. P.1805-1838.
- Schuberta M., Jónssona H., Changb D., Sarkissiana C. D., Erminia L., Ginolhaca A., Albrechtsenc A., Dupanloupd I., Foucauld A., Petersen B. F, Fumagallig M., Raghavana M., Seguin-Orlandoa A., Korneliussena T. S., Velazqueza A. M. V., Stenderupa J., Hoover C. A., Rubin C.-J., Alfarhank A. H., Alquraishik S. A., Al-Rasheidk Khaled A. S., MacHughl D. E., Kalbfleischn

T., MacLeod J. N., Rubini E. M., Sicheritz-Ponten T., Andersson L., Hofreiter M., Marques-Bonet T., Gilbert M. T. P., Nielsen R., Excoffier L., Willerslev E., Shapiro B., Orlando L., 2014: Prehistoric genomes reveal the genetic foundation and cost of horse domestication. PNAS 2014. P.5661-5669.

Spengler R. N., 2019: Dung burning in the archaeobotanical record of West Asia: where are we now? *Vegetation History and Archaeobotany* 2019/28. P. 215–227.

Thalmann O., Perri A. R., 2018: Paleogenomic Inferences of Dog Domestication. In Lindqvist C.; Rajora O. (eds.). *Paleogenomics. Population Genomics*. Springer 2018. P. 273–306.

Vaňkát A., Krepl V., Kára J., 2010: Animal dung as a source of energy in remote areas of Indian Himalayas. *ČZU Prague, Institute of Tropics and Subtropics* 2010/2. P. 140-142.

Vesterinen P., 2003: Wood ash recycling – state of the art in Finland and Sweden. *VTT Processes, Energy Production* 2003, P. 52.

Wrangham W. R., 1999: The Raw and the Stolen: Cooking and the Ecology of Human Origins. *Current Anthropology*, 1999/40. P. 567-594.

Zeder M. A., 2015: Core questions in domestication research. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2015/11. P. 3191–3198.

13.3 **Legislativní zdroje**

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva, v platném znění.

13.4 **Bakalářské/diplomové práce**

Burešová L., 2007: Role koně v historii člověka. Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, Katedra teorie kultury (kulturologie), Praha. 123s. (diplomová práce).

Čejková L., 2017: Chovatelské příčiny kolikových onemocnění u koní. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice. 68 s. (diplomová práce).

- Jirsová M., 2014: Fytolitová analýza v archeobotanickém výzkumu. Výpovědní hodnoty a limity metod na příkladu lokality Vestec u Chrudimi. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, České Budějovice. 50 s. (bakalářská práce).
- Örgen G., 2013: Phosphorus to horses and cows. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management. Sweden. 34 p. (licentiate thesis).
- Rulíšková E., 2011: GEOCHEMICKÉ ANALÝZY PŮD V ARCHEOLOGII – Fosfátová analýza materiálu z lokality „Vrchoslavice – Vitčice“. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie, Orlová. 58s. (bakalářská práce). Dep. Archiv Univerzity Palackého.
- Šimková L., 2006: Možnost využití popele z dřevní biomasy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav lesnické a dřevařské techniky. Brno. 83 s. (diplomová práce). Dep. Archiv Mendelovy Univerzity.

13.5 Internetové zdroje

- El-Gergawi S., 2014: Egyptian cities and markets: What's behind a name? Ahramonline (online) [cit. 2020. 15. 05.], dostupné z <http://english.ahram.org.eg/NewsPrint/47474.aspx>
- Hušťák & Majer, 2011: Potenciál fosfátové analýzy při studiu a specifikaci jednotlivých částí interiéru zahloubených domů (online). [cit. 2020. 08. 03.], dostupné z <http://pueblo-ops.cz/wp-content/uploads/2013/01/Potencial-fosfatove-analyzy-pri-studiu-a-specifikaci-jednotlivych-casti-interieru-zahloubenych-domu-2011-vc.-obr.pdf>
- Kofman, P.D., 2016: Wood ash. (online) [cit. 2020. 04. 03.], dostupné z <http://www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/52Woodash070617.pdf>.
- Kulovaná E., 2001: Význam vápnění ve vztahu k půdní úrodnosti. Úroda (online) [cit. 2020. 19.06.], dostupné z https://www.uroda.cz/vyznam-vapneni-ve-vztahu-k-pudni-urodnosti/?fbclid=IwAR2NdUETcvj1B54aEM4OePS-dm3hN_YEOi7hMS-ArD0e7HCdpjVWkfVeexs

Rutledge K., Ramroop T., Boudreau D., McDaniel M., Teng S., Sprout E., Costa H., Hall H., Hunt F., 2011: Domestication, NATIONAL GEOGRAPHIC (online) [cit. 2020.20.05.], dostupné z

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/domestication/>

Přezvýkavci obecně, ZOOTECHNIKA (online) [cit. 2020. 18. 04.], dostupné z

<https://www.zootechnika.cz/clanky/zaklady-chovatelstvi/zaklady-fyziologie-a-anatomie/traveni-u-prezvykavcu/prezvykavci-obecne.html>

Team HYGAIN, 2017: The horse's digestive system. Health & Nutrition Articles (online). [cit. 2020. 25. 04.], dostupné z <https://www.hygain.com.au/horses-digestive-system/>

University of Toronto, 2012: Evidence that human ancestors used fire one million years ago. ScienceDaily (online) [cit. 2020. 20. 06.], dostupné z

<https://www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120402162548.htm>

13.6 Ostatní zdroje

Andersson, L; Emilsson S.,2005: Regular recycling of wood ash to prevent waste production. RecAsh - A Life-environment demonstration project. Sweden, 2005. P. 1-4.

Toribio R., 2011: Disorders of Calcium and Phosphate metabolism in Horses. The Veterinary Clinics of North America. P. 129-148.