

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Kumulace těžkých kovů v půdě v okolí skládky komunálního odpadu Mrsklesy

Marie Schindlerová

Bakalářská práce
předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Bc. v oboru
Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Petr Hekera, Ph. D.

Olomouc, 2020

Schindlerová, M. 2020. Kumulace těžkých kovů v půdě v okolí skládky komunálního odpadu Mrsklesy [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PŘF UP v Olomouci. 48 s. 2 přílohy. Česky.

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na souvislost mezi skládkou odpadu a obsahem těžkých kovů v okolní půdě. Cílem práce bylo zjistit, zda těžké kovy v půdě na vybrané lokalitě skládky Mrsklesy překračují limitní hodnoty stanovené legislativou a popsání problematiky těžkých kovů a skládkování. Na lokalitě bylo odebráno celkem 10 vzorků půdy a sedimentů, které byly podrobeny analýze atomovou absorpční spektrofotometrií. Zároveň práce popisuje vlastnosti, nejčastější zdroje a toxikologické účinky těžkých kovů, konkrétně chromu, kadmia, mědi, niklu, olova a zinku. Dále shrnuje situaci odpadového hospodářství v České republice a nabízí alternativní metody likvidace odpadu s ohledem na životní prostředí. Žádný z odebraných vzorků limitní hodnoty vyhlášky nepřekračoval, přesto nelze skládku označit jako vhodné řešení nakládání s odpadem, neboť potenciaálních i reálných negativních vlivů je podstatně více, než zde bylo možno uvést.

Klíčová slova: ekologie, ekotoxikologie, legislativa odpadů, recyklace, spalování odpadu, znečištění

Schindlerová, M. 2020. Accumulation of Heavy Metals in Soil around Municipal Waste Landfill Mrsklesy [Bachelor thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc. 48 s. 2 Appendices. in Czech.

Abstract

This thesis is focused on connection between municipal waste landfill and cumulation of heavy metals in surrounding soil. The main purpose of this thesis is to find out, if there are higher concentration of chosen heavy metals in soil around municipal waste landfill Mrsklesy than limit value established by law and description of heavy metals problematice and landfilling. In location were taken 10 soil and sediment samples, which were analyzed by atomic absorption spectrophotometry. Thesis also describes characteristics, most frequent sources and toxicological impact of heavy metals such as chromium, cadmium, copper, nickel, lead and zinc. There is also description of waste management in Czech Republic including brief history and some alternative methods for disposal of municipal waste with respect for the environment. All samples were under law limit of concentration for heavy metals in soil, but that doesn't indicate landfilling as safe and appropriate way of waste disposal. Landfilling has much more potencial and negative impacts on the environment which aren't stated in this thesis.

Key words: ecology, ecotoxicology, pollution, recycling, incineration, waste legislation

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr.
Petra Hekery, Ph.D. pouze s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 27. července 2020

.....
podpis

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
Poděkování.....	ix
1 Úvod.....	10
1.1 Vybrané těžké kovy, jejich vlastnosti, zdroje a vliv na organismy	11
1.1.1 Chrom (Cr).....	12
1.1.2 Kadmium (Cd)	13
1.1.3 Měď (Cu)	14
1.1.4 Nikl (Ni).....	15
1.1.5 Olovo (Pb).....	16
1.1.6 Zinek (Zn).....	17
1.1.7 Limitní hodnoty vybraných těžkých kovů v půdách a sedimentech	18
1.2 Odpadové hospodářství.....	20
1.2.1 Historie a současnost odpadového hospodářství.....	20
1.2.2 Odpadové hospodářství v České republice	21
1.2.3 Skládkování.....	23
1.2.4 Alternativní metody využití a likvidace komunálních odpadů	25
2 Cíle práce	28
3 Materiál a metody	29
3.1 Charakteristika skládky u obce Mrsklesy	29
3.2 Metodika výzkumu	30
4 Výsledky	31
5 Diskuze	36
6 Závěr	39
7 Reference	40
8 Přílohy.....	43
8.1 Příloha A	43
8.2 Příloha B	48

Seznam tabulek

Tab. 1 Limitní hodnoty vybraných rizikových prvků v sedimentu.....	19
Tab. 2 Limitní hodnoty vybraných rizikových prvků v půdě, na kterou má být sediment použit	19
Tab. 3 Maximálně přípustné hodnoty rizikových prvků v půdách	19
Tab. 4 Popis odběrových míst.....	32
Tab. 6 Souhrn změřených koncentrací prvků v půdě.....	48

Seznam obrázků

Obr. 1 Produkce odpadů v ČR v letech 2014-2018, srovnání dat ČSÚ a MŽP	22
Obr. 2 Satelitní snímek mapy vybrané lokality s označením míst odběru	31
Obr. 3 Změřené koncentrace chromu	33
Obr. 4 Změřené koncentrace mědi	33
Obr. 5 Změřené koncentrace niklu	34
Obr. 6 Změřené koncentrace olova	34
Obr. 7 Změřené koncentrace zinku	35
Obr. 8 Srovnání koncentrací kovů	35

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Petru Hekerovi, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení a konzultace. Dále také rodině a blízkým za podporu a pochopení.

V Olomouci dne 27. července 2020

1 Úvod

Těžké kovy se v půdě vyskytují přirozeně, antropogenní činností však jejich koncentrace strmě stoupá. Při distribuci těžkých kovů v půdě mají zásadní úlohu nejen ohniskové zdroje z průmyslové činnosti člověka, ale i skládky odpadu. Šíření těžkých kovů probíhá smyvem a formou vzdušných imisí a kumulují se zejména v nejsvrchnějších vrstvách půdy, případně pronikají do podzemních vod působením kyselých srážek. Mění kvalitu půdy a mají negativní účinky na faunu i flóru zasažené oblasti. V České republice jsou nejčastěji nadlimitní hodnoty v půdě zjištěné u kadmia, niklu, zinku, beryllia, rtuti, olova, chromu, kobaltu, mědi a vanadu. (Rop *et* Kulovaná, 2001) Chromem, kadmiem, mědí, niklem, olovem a zinkem se zabývá i tato bakalářská práce.

Přestože jsou skládky považovány za významný zdroj znečištění, objem skládkovaného odpadu spíše roste. Okolí skládek je ohroženo vyšším zatížením těžkými kovy, skládkovými plyny, možným rozlivem odpadní vody, často neznámého složení, a emisemi motorových vozidel souvisejícími s provozem skládky. Snahou povolaných orgánů, zejména Evropské Unie, je omezení skládkovaného odpadu na minimum, především jeho dalším využitím a programy recyklace.

Pro změření koncentrace těžkých kovů v půdě byla vybrána skládka komunálního odpadu Mrsklesy. Činnost skládkování na místě probíhá už přes 20 let, nachází se zde rekultivovaná i aktivní tělesa a oficiální rozbor půd zatím nebyl uskutečněn. Jelikož se jedná o relativně novou skládku zabezpečenou moderními technologiemi, není předpoklad nadlimitních výskytů kovů v okolí, přesto skládka představuje potenciální zdroj znečištění.

1.1 Vybrané těžké kovy, jejich vlastnosti, zdroje a vliv na organismy

Negativním působením toxikantů na biosystémy se zabývá ekotoxikologie. Jako toxikant je možné označit jakoukoli látku, která má potenciál být nebezpečná pro biosystém. Toxikant může biosystém ovlivnit pouze v případě, že dojde k přímé interakci s molekulami v místě účinku. Přítomnost toxikantu v prostředí nemusí nutně znamenat přímé ohrožení člověka nebo jiných organismů. Důležité je zvážit, zda je toxikant pro biosystém dostupný (biodostupnost) a existuje riziko vyvolání negativního účinku. Těžké kovy se řadí do skupiny potencionálně nebezpečných látek, neboť mají při zohlednění fyzikálních a chemických vlastností schopnost poškodit biosystém, dlouhodobě setrvávají v prostředí (jsou persistentní), akumulují v organismech a v potravním řetězci (bioakumulace). Zásadní je forma, ve které se kov v prostředí nachází, od té se odvíjí jeho interakce s prostředím. (Anděl, 2011)

Ze známých 106 prvků se jich 80 řadí mezi kovy. Těžké kovy jsou takové, které tvoří kladné ionty v roztocích a jejich hustota je pětikrát vyšší než hustota vody. Souběžně pojem vyjadřuje možný negativní vliv prvku na životní prostředí. V současné době můžeme jako těžké kovy označit i některé polokovy. Kovy obecně lze rozdělit na esenciální, nezbytné pro život, např. železo a vápník, a neesenciální, např. kadmium a olovo, z nichž jsou některé zároveň toxické. Esenciální kovy se stávají toxickými překročením bezpečné koncentrace. Toxické kovy, především kadmium, nikl a stříbro, mají tendence nahrazovat esenciální kovy ve tkáních a narušují tak metabolismus organismu, jehož porucha může vyústit ve smrt. (Wang, c2009)

Toxické kovy nejsou biologicky rozložitelné a u většiny dochází ke kumulaci v organických tkáních. Nebezpečí je v násobení účinku toxických látek. Dochází k němu obvyklým postupem v potravním řetězci. Odpadní vody jako zdroje znečištění prosáknou do půdy, přesunou se kořenovými systémy do rostlin, odtud přes býložravce putují do predátorů, kteří jsou tímto vystaveni nejvyšším dávkám některých těžkých kovů. Člověk je nejvíce ohrožený znečištěním pitných zdrojů, kdy toxické kovy prosáknou do podzemních vod. (Wang, c2009)

Antropogenní činností dochází zejména k lokálnímu navýšení koncentrace nebezpečných kovů. Ohrožena jsou nejen zvířata, ale i místní obyvatelé. Vzrůstající světovou poptávkou po kovech a technologickým postupem narůstá množství toxických kovů v prostředí mnohonásobně rychleji než kdykoli dříve v historii lidstva. (Wang, c2009)

Většina těžkých kovů vypuštěných do prostředí činností člověka zůstává v půdě, kde nepodléhají mikrobiální ani chemické degradaci a jejich koncentrace v čase narůstá nebo zůstává neměnná po stovky let. Vlivem kyselých srážek se také mohou přesouvat do nižších vrstev půdního profilu nebo do spodních vod. Za určitých okolností začínají těžké kovy reagovat s okolím a stanou se přístupné pro vegetaci a edafon, čímž dojde ke zpomalení až zastavení rozkladu organické hmoty a znehodnocení půdy. (Asrari, c2014) Tého vlastnosti se využívá i v procesu tzv. bioremediace, kdy se vysazením vhodných rostlin nebo nastolením příhodných podmínek pro mikroorganismy čistí půda nebo jiné médium od toxikantů. Některé rostliny, u nás např. geneticky upravený len, vážou podstatně vyšší množství těžkých kovů a to převážně v listech. Sklizením a odvozem takové biomasy je část toxických látek z půdy odstraněna. Mikroorganismy těžké kovy přímo nevážou. Produkují látky, které s nimi reagují a rozpouštějí je do vody, která může být následně odčerpána a čištěna. Pro bioremediaci půdy je vhodnější použití vegetace, mikroorganismy zase skvěle čistí např. důlní vody. (Drobník, 2012) Zamezení vlivu těžkých kovů je možné také jejich imobilizací. Schopnost reakce lze omezit změnou pH prostředí, vhodné je vápnění pro udržení neutrálního pH, dostatkem fosforu podporujícího tvorbu sraženin, zvýšení obsahu humusu v půdě a přítomnost minerálních koloidů, z nichž nejúčinnější je kaolinit. (Rop *et* Kulovaná, 2001)

1.1.1 Chrom (Cr)

Chrom se řadí mezi přechodné kovy, může se vyskytovat v oxidačním stupni od -II po +VI, nejčastěji jej lze nalézt v oxidačním stavu 0, III a VI. Většina v přírodě se vyskytujícího chromu je trojmocná. Chrom je ocelově šedý, tvrdý, křehký a netečný kov s vysokým bodem tání. (Wang, c2009) Sloučeniny s chromem mají mnoho barevných variací, odtud pochází název prvku (lat. *chroma* – barva). Koncentrace chromu se zjišťuje pomocí kolorimetrie, atomové absorpční nebo emisní spektrofotometrie. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Množství chromu v půdě a vzduchu podléhá vysoké variabilitě. Vzdušná koncentrace se pohybuje od 0,3 ng.m⁻³ v odlehlých místech po 50 ng.m⁻³ v urbanizovaných zónách. V půdě může koncentrace chromu dosáhnout až 250 mg.kg⁻¹, nejčastěji zapříčiněná fosforečnými hnojivy. Rozpustnost chromu ve vodě je značně omezená, především pro trojmocnou formu Cr³⁺, proto je většina rozpuštěného chromu v šestimocném stavu Cr⁶⁺. (Wang, c2009)

Hlavními antropogenními zdroji chromu jsou odpadní vody, jelikož je hojně využíván v metalurgii např. jako protikorozní ochrana nebo se přidává s molybdenem k oceli pro zvýšení pevnosti slitiny. Dále je součástí činidel, barevných pigmentů glazur (žlutá, červená a zelená) a slouží jako katalyzátor pro impregnační roztoky dřeva a fotografií. Světová produkce chromu činí několik milionů tun ročně. Většina je ve formě feroslitiny, která se následně přidává do oceli. Nebo je pomocí chemické redukce (aluminotermická reakce) nebo elektrolýzou oxidu chromového či roztoku síranu chromitého upraven na čistý kov. (Wang, c2009)

Chrom je postradatelný prvek pro rostliny, ale pro živočichy a člověka hraje nezastupitelnou roli v metabolismu glukózy, proteinů a tuků. Jeho nedostatek způsobuje hyperglykémii, váhový úbytek a poruchy nervové soustavy související především s koordinací pohybu. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Toxicita chromu je ovlivněna oxidačním stavem, ve kterém se právě nachází. Trojmocná forma je považována za bezpečnou, zatímco šestimocný chrom je pro dospělého člověka smrtelný již při dávce

3 g. Otrava se projevuje zvracením a průjmem. Po týdnu dochází k poruše srážlivosti krve a těsně před smrtí se dostávají křeče. Opakovaná inhalace šestimocného chromu způsobuje rozpad nosní přepážky a vředy na pokožce, bronchiální astma, alergické reakce ve formě ekzému a zvyšuje pravděpodobnost výskytu rakoviny dýchacího ústrojí. Toxicita šestimocného chromu byla prokázána i u rostlin při koncentraci překračující $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Díky nízké rozpustnosti chromu ve vodě nedochází ke kumulaci prvku v rostlinách, proto by nemělo dojít k přímému ohrožení potravního řetězce při vyšších koncentracích v půdě. Obecně je ale kontaminace prostředí chromem ve srovnání s kadmíem a rtutí zanedbatelná. (Wang, c2009)

1.1.2 Kadmium (Cd)

Kadmium je lesklý stříbrně bílý přechodný kovový prvek, měkký a snadno tavitelný. K výparu dochází již při relativně nízkých teplotách, je rozpustné v kyselinách a odolné korozi. Relativně dobře vede elektrickou energii. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Kadmium není považováno za esenciální prvek. Téměř ve všech sloučeninách je dvojmocné, z chemického hlediska připomíná chování zinek, přirozeně se s ním také vyskytuje v rudách. (Wang, c2009) Kadmium je běžně přítomno v zemské kůře o koncentracích mezi $0,15$ až $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, přesto se jedná o relativně vzácný prvek.

Samostatně se nevyskytuje, ojediněle tvoří minerál greenockit ve formě povlaků. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Rozpustnost kadmia ve vodě je silně závislá na aciditě roztoku. V pitných povrchových vodách se koncentrace kadmia pohybuje pod $0,001 \text{ mg.l}^{-1}$, ve slané vodě okolo $0,00015 \text{ mg.l}^{-1}$. Vyšší koncentrací kadmia ve vzduchu se vyznačují především industriální zóny s kovožpracujícím průmyslem. (Wang, c2009)

Za nejčastější antropogenní zdroj kadmia se považují industriální a městské skládky. Kov se využívá při galvanické pokovování, přidává se do barevných pigmentů (červená, žlutá) a plastů, je součástí stříbro-kadmiových a nikl-kadmiových akumulátorů a solárních baterií. Průměrná celosvětová produkce kadmia je přibližně 20 000 tun ročně. V posledních letech jeho produkce stoupá o 5-10% ročně. (Wang, c2009)

Průměrná denní dávka kadmia přijatá člověkem je mezi $0,0002$ a $0,005 \text{ mg}^{-1}$. Kadmium se v organismu kumuluje především v játrech, ledvinách a červených krvinkách, dále také ve slinivce břišní, štítné žláze, žlučníku a varlatech. Řadí se spolu s rtutí a olovem mezi nejtoxičtější těžké kovy. Je lehce absorbováno buňkami živých organismů, na které má toxický účinek. (Wang, c2009) Kadmium je nebezpečné podobností s esenciálním zinkem, v metabolických procesech ho nahrazuje a dochází k narušení správné funkce celého organismu. (Asrari, c2014) Riziková dávka se pohybuje okolo $30 \text{ } \mu\text{g}^{-1}$ denně. Především u žen může způsobovat osteoporózu, karcinogenní a kardiovaskulární onemocnění. Patologické změny probíhají i v lidské placentě. U zvířat ovlivňuje tvorbu samčích hormonů a může zapříčinit až nekrózu varlat. (Järup *et al.*, 1998) Rostliny přijímají kadmium ve formě aerosolu přes povrch listů nebo pomocí kořenů. Tolerance se liší napříč druhy. Vysokou schopností kumulovat kadmium se vyznačují jisté druhy korýšů a měkkýšů, například krabi a ústřice. I ve vodě s relativně nízkou koncentrací u nich byla prokázána mnohonásobně vyšší hladina kadmia ve srovnání s okolím. Ve znečištěných oblastech Japonska jsou zvýšené koncentrace kadmia změřeny i v obilovinách a rýži. (Wang, c2009)

1.1.3 Měď (Cu)

Měď je přechodný kov načervenalé barvy s kovovým leskem a bodem tání mírně přes $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$. Je poddajná a tažná. Hned po stříbře je nejlepším vodičem elektrické energie a tepla. Pro člověka hrála zcela zásadní roli v evoluci, jako hlavní nástrojový materiál v době eneolitu. Dodnes patří mezi tři nejdůležitější kovy spolu s železem

a hliníkem. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Řadí se mezi esenciální prvky nezbytné pro správné fungování organismu. Rozpustnost ovlivňuje acidita roztoku, nejvyšší je při pH 5,5. (Asrari, c2014) Vzácně je možné najít čistou měď v podobě valounek, v minerálech pak jako chalkopyrit (CuFeS_2), chalkocit (Cu_2S), covellin (CuS), malachit ($\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuCO}_3$) a kuprit (Cu_2O). V malém množství je součástí zemské kůry. Sulfidické rudy s vysokým obsahem železa tvoří většinu objemu průmyslově získávané mědi. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013)

Měď je nezbytnou součástí elektroprůmyslu (výroba drátů a fotovoltaických článků), vodovodního potrubí a střešních krytin. Spolu s dalšími kovy tvoří široce využitelné slitiny jako je bronz, mosaz, kupronikl a Monel. Do vody je přidávána ve sloučeninách jako regulátor růstu sinic a řas. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Bývá součástí fungicidních přípravků. (Asrari, c2014)

U člověka je měď zodpovědná za produkci hemoglobinu. Rostliny měď potřebují pro správně fungující produkci semen, obranyschopnost a regulaci vody. Nezbytné množství je ve stopových koncentracích. Člověk je vystavením vyšším dávkám ohrožen anémií, poškozením jater a ledvin a podrážděním trávicího traktu. V prostředí je měď většinou stabilní a nepředstavuje riziko. Nemá tendenci kumulovat v organismech a přímo neohrožuje potravní řetězec. (Asrari, c2014)

1.1.4 Nikl (Ni)

Nikl je přechodný kov stříbrošedé barvy, feromagnetický, tažný a kujný. Je vysoce odolný vůči korozi. Vyskytuje se ve více formách v závislosti na pH prostředí. Při nízkém pH zaujímá formu nikelnatého iontu Ni^{+2} , v neutrálním až zásaditém pH je ve stabilní formě hydroxidu nikelnatého $\text{Ni}(\text{OH})_2$ a v silně zásaditém prostředí za přítomnosti kyslíku tvoří oxidy niklu, které v reakci s kyselinami dávají vzniku nikelnatým solím a hydroxidům. Je řazen mezi esenciální prvky. (Asrari, c2014) Nikl se v prostředí nachází v nízkých koncentracích, samostatně i ve sloučeninách. Mezi minerály obsahující nikl patří krutovit (NiAs_2) a pentlandit (NiS). (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013)

Nejčastější využití niklu je při zpracování oceli a obecně v kovozpracujícím průmyslu. Do půdy se nikl dostává především průmyslovou činností, konkrétně pokovováním, galvanickým pokovováním a těžbou. Nemale procento znečištění je

zapříčiněno i rozšířením fosilních paliv. Zdrojem vzdušného znečištění jsou elektrárny a zastaralé spalovny odpadů. Ve vzduchu zůstává do příchodu srážek, kterými je smyt do povrchových vod. (Asrari, c2014) Také je součástí dobíjecích baterií, slitin a barevných pigmentů glazur. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013)

Většinu sloučenin niklu adsorbují půdní prvky a ten se stane imobilní a dále neohrožuje životní prostředí. Pokud je ovšem prostředí kyselého charakteru, dochází k prostupu půdních horizontů až do spodních vod. U mikroorganismů může zpomalovat růst, ale většina je schopna vyvinout si rezistenci. Není prokázána schopnost kumulace niklu v rostlinách nebo živočiších, proto přímo neovlivňuje potravní řetězec. U zvířat žijících v blízkosti rafinérií bylo zjištěno zvýšené množství výskytu rakoviny všech typů, pravděpodobně v závislosti na zvýšených koncentracích niklu v ovzduší. (Asrari, c2014)

1.1.5 Olovo (Pb)

Olovo je nejběžnější z těžkých kovů. Jedná se o měkký kov, odolný korozi s nízkým bodem tání (327 °C). Vyznačuje se vysokou hustotou. Není dobrým vodičem elektrické energie ani tepla. Ve středověku bývalo součástí léčivých přípravků, protože nebyly známy jeho toxické účinky. (Wang, c2009) V čisté formě se vyskytuje zřídka, ale je součástí mnoha minerálů, jako jsou galenit (PbS), cerusit (PbCO₃), kroitit (PbCrO₄) a anglesit (PbSO₄). Pro průmyslové účely je olovo získáváno ze sulfidových rud. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013)

Do vodního prostředí se olovo dostává přirozeně rozpouštěním olovnatých rud, ale vysokou měrou i ze samotného potrubí. Využívalo se k pájení ve vodovodních systémech, do roku 1945 bylo pro distribuci vody běžné potrubí s olovnatými spoji. Koncentrace olova ve vodě je ovlivněna aciditou prostředí, stupněm tvrdosti a délkou kontaktu s olovnatým médiem. Kontaminací jsou nejvíce ohroženy důlní vody spolu s okolím kovožpracujícího průmyslu. Přestože se jedná o lokální znečištění, může dojít k dalšímu šíření vodou i vzduchem. Nejvýznamnějším zdrojem olova v prostředí jsou odpady, tvoří až 50% objemu znečištění, vzduchem je šířeno především prostřednictvím výfukových plynů. Snížení emisí výrazně pomohl zákaz olovnatých pohonných hmot ve většině zemí. Ročně jsou celosvětově spotřebovány až 3 tuny olova, především na výrobu elektrických akumulátorů a baterií, 20% je využito jako alkalická palivová příměs, 12% ve stavebnictví, 6% při výrobě kabelů, 5% výrobou munice a 17%

zahrnuje další využití. Přestože akumulátory a baterie tvoří velký objem celkového využití olova, nejsou hlavním zdrojem olova v prostředí, především díky recyklačním programům. Téměř čtvrtina z vytěžených 2 tun olovnaté rudy ročně je při čistících a zpracovacích procesech vypuštěna do prostředí. (Wang, c2009) Význačným zdrojem je i elektrotechnika, kde je olovo součástí pájky na plošných spojích. (Kafka *et Punčochářová*, 2002)

Olovo se do těla dostává inhalací, trávicím systémem z potravy, přímým kontaktem s pokožkou nebo placentou. Menšinově se ukládá v měkkých tkáních (krev, játra, plíce, slezina, ledviny a kostní dřev) většina pak přímo do kostí. Anorganické olovo se v metabolismu chová jako jed a enzymový inhibitor, organicky vázané jako velmi silný jed. Olovo je z hlediska intoxikace nejlépe prozkoumaným kovem. Nejstarší doložené otravy pochází ze starého Říma, kdy byly u nalezených ostatků naměřeny vysoké koncentrace olova v kostech. Na vině jsou zřejmě nádoby na víno obsahující olovo, stejně jako glazura a vodovodní síť. Bezpečná koncentrace olova v krevním oběhu je od 0,2 do 0,8 ppm, hodnoty se téměř neliší od přirozeně se vyskytujícího množství, proto je jakékoli vystavení dalším dávkám nebezpečné. Mezi rané symptomy intoxikace olovem patří prudké zhoršení nálady až deprese a podrážděnost. U dětí může dojít k mentální retardaci a dočasnému poškození mozku. Anorganické olovo se v kostech váže místo vápníku a prodlužuje tak dobu působení na organismus. Dlouhodobé působení olova je nejnebezpečnější pro děti do 6 let a těhotné ženy. Poškozuje nervový systém, zhoršuje soustředění, způsobuje bolesti hlavy, svalový třes, halucinace a ztrátu paměti. Disfunkce centrální mozkové soustavy nastává u dospělých jedinců při krevních koncentracích mezi 100-120 $\mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$, u dětí 80-100 $\mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$. Důkazy pro karcinogenitu olova jsou podle The International Agency for Research on Cancer nedostatečné. (Wang, c2009)

1.1.6 Zinek (Zn)

Zinek je lesklý modrobílý přechodný kov, tavitelný při relativně nízké teplotě. Při běžných teplotách je pevný a křehký, vede elektrickou energii. Jeho přítomnost zvyšuje aciditu vody. Je to jeden z nejrozšířenějších kovů. Přirozeně je součástí hornin zemské kůry a meteoritů. (Asrari, c2014) Z minerálů tvoří sfalerit (ZnS), zinkit (ZnCO_3) a willemit (Zn_2SO_4). (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013)

Koncentrace zinku v prostředí narůstá antropogenní činností, především dolováním, spalováním uhlí a odpadu a zpracováním oceli. Nejběžněji je používán jako antikoroziní médium při galvanickém pokovování. Zinek je přítomen i v potravinách a pitné vodě, kde může být jeho koncentrace zvýšena uchováváním v kovových nádržích. Celosvětově narůstá potřeba zinku, očekává se tedy navýšení jeho množství v prostředí. (Asrari, c2014)

Zinek se řadí mezi esenciální prvky od bakterií po člověka. Je součástí proteinů, enzymů, RNA i DNA, nezbytný pro růst, vývoj a rozmnožování člověka. Je nepostradatelný pro správné fungování nervové soustavy. Reguluje apoptózu. Nedostatek zinku v organismu je stejně nebo více nebezpečný jako jeho nadbytek. Vysoké koncentrace způsobují nedostatek železa a mědi v organismu, ataxii a letargii. (Bobrowska-Grzesik *et al.*, 2013) Některé druhy ryb jsou náchylné k akumulaci zinku v těle, odkud pokračuje dále potravním řetězcem. Akumulace probíhá i v rostlinách a organismech žijících ve znečištěné půdě, čímž jsou ovlivněny především mikroorganismy a žížaly a následně je zpomalen celý proces rozkladu organického materiálu. (Asrari, c2014)

1.1.7 Limitní hodnoty vybraných těžkých kovů v půdách a sedimentech

Limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v sedimentech stanovuje v České republice vyhláška č. 257/2009 Sb. v příloze č. 1 (tab. 1). Limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v půdě, na kterou má být sediment použit, udává vyhláška č. 257/2009 Sb. v příloze č. 3 (tab. 2). Stanovení koncentrace vybraných těžkých kovů se určí extrakcí lučavkou královskou. (Vyhláška č. 257/2009 Sb.) Do 15. listopadu 2019 upravovala maximálně přípustné hodnoty cizorodých prvků v půdě vyhláška č. 13/1994 Sb., ale v současnosti již není v platnosti. Neplatné hodnoty jsou uvedené v tab. 3 pro úplnost a srovnání. U některých prvků byly výrazně přísnější. (Vyhláška č. 13/1994 Sb.) Nahrazena byla vyhláškou č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Preventivní obsahy těžkých kovů se ale shodují s hodnotami vyhlášky č. 257/2009 Sb. v příloze 3, nejsou proto uvedeny zvlášť. (Vyhláška č. 153/2016 Sb.)

Tab. 1 Limitní hodnoty vybraných rizikových prvků v sedimentu

Prvek	Limitní hodnota [mg.kg ⁻¹]
Chrom	200
Kadmium	1
Měď	100
Nikl	80
Olovo	100
Zinek	300

Zdroj: Vyhláška č. 257/2009 Sb.

Tab. 2 Limitní hodnoty vybraných rizikových prvků v půdě, na kterou má být sediment použit

Prvek	Typ půdy	
	Lehké půdy* [mg.kg ⁻¹]	Běžné půdy** [mg.kg ⁻¹]
Chrom	55	90
Kadmium	0,4	0,5
Měď	45	60
Nikl	45	50
Olovo	55	60
Zinek	105	120

*Lehké půdy – písky, hlinité písky, štěrkopísky

**Běžné půdy – písčito-hlinité, hlinité, jílovité, jílovitohlinité a jílovité

Zdroj: Vyhláška č. 257/2009 Sb.

Tab. 3 Maximálně přípustné hodnoty rizikových prvků v půdách

Prvek	Typ půdy	
	Lehké půdy* [mg.kg ⁻¹]	Běžné půdy** [mg.kg ⁻¹]
Chrom	40	40
Kadmium	0,4	1,0
Měď	30	50
Nikl	15	25
Olovo	50	70
Zinek	50	100

*Lehké půdy – písky, hlinité písky, štěrkopísky

**Běžné půdy – písčito-hlinité, hlinité, jílovité, jílovitohlinité a jílovité

Zdroj: Vyhláška č. 13/1994 Sb.

1.2 Odpadové hospodářství

Odpady jsou bezesporu významným zdrojem znečištění těžkými kovy. Odpadové hospodářství je nezbytnou součástí moderní společnosti a mimo jiné se snaží zabránit negativním vlivům odpadového materiálu na životní prostředí. Prakticky při jakékoli výrobní i spotřební činnosti vznikají dále nevyužitelné vedlejší produkty, které nazýváme odpady. Část tvoří odpady nebezpečné a vyžadují zvláštní zacházení. Odpadové hospodářství zahrnuje široké spektrum činností od předcházení vzniku odpadů po jeho další využití, ať už na výrobu druhotných materiálů nebo energií, biologického zpracování odpadů, skládkování po rekultivaci a asanaci skládek a jejich údržbu. (Kuraš, 2014)

1.2.1 Historie a současnost odpadového hospodářství

Do průmyslové revoluce množství a složení odpadu nepředstavovalo zásadní problém. Dokonce prehistorické odpadní jámy slouží jako cenné zdroje informací o způsobu života tehdejšího obyvatelstva. (Sosna *et* Brunclíková, 2017) Veškerý odpad byl biologicky rozložitelný, a pokud došlo ke znečištění prostředí např. větším množstvím exkrementů u bohatě osídlených oblastí, bylo pouze lokální a nemělo dlouhého trvání díky účinné samočisticí schopnosti prostředí. Temnou výjimkou je středověk, kdy došlo k odklonu od antického pokroku a hygienickým návykům, a biologické odpady začaly kvůli neexistujícímu odpadovému hospodářství představovat vážná zdravotní rizika. Nedostatek hygieny pravděpodobně zapříčinil i morovou epidemii ve 14. století. (Kuraš, 2014) Do 18. století byl odpad ukládán do otevřených jam, kde byl i pálen. Myšlenka organizovaného svozu a ukládání odpadu byla poprvé představena až v polovině 19. století. (Johnson *et al.*, 1978)

Od poloviny 18. století vznikají odpady zcela nového charakteru, tzv. průmyslové odpady. Nejsou biologicky rozložitelné a tehdejší technologie neumožňovala jejich další zpracování. Poprvé byl také vysloven názor, že znečištění je příčinou řady nemocí. Do současnosti jsou na starých skládkách zvýšené koncentrace těžkých kovů a území bývalých plynáren znečišťují dehtové odpady. (Kuraš, 2014)

Prudký nárůst vývoje syntetických organických látek začal po 2. světové válce. Také vzrostl objem vyrobených syntetických látek, jako jsou např. chlorovaná rozpouštědla, syntetický kaučuk, pesticidy, polychlorované bifenyly a polymerní látky (polyethylen, polypropylen, polyvinylchlorid atd.). U nově

vytvořených materiálů nastal problém s rozložitelností, protože neexistují mikroorganismy, které by byly schopny produkovat enzymy nutné na jejich degradaci. Nemožnost využití samočisticí schopnosti prostředí zapříčinila prudký nárůst znečištění povrchových i podzemních vod. Díky pokročilým technologiím je v současnosti většina zařízení zpracujících odpady (sklárky, spalovny, kompostárny atd.) opatřena vybavením zabraňujícím úniku potenciálně nebezpečných látek. Znečištění vod doprovází od průmyslové revoluce i zvýšení emisí v ovzduší. Zdroji emisí jsou především doprava, průmysl, energetický průmysl a dříve i spalovny odpadů. Ty jsou dnes relativně čistým zdrojem energie, díky systému filtračních technologií a představují smysluplné využití odpadů. Mnohonásobně vyšší znečištění vykazují tepelné elektrárny a teplárny, které navíc spotřebovávají primární zdroje např. uhlí. (Kuraš, 2014)

1.2.2 Odpadové hospodářství v České republice

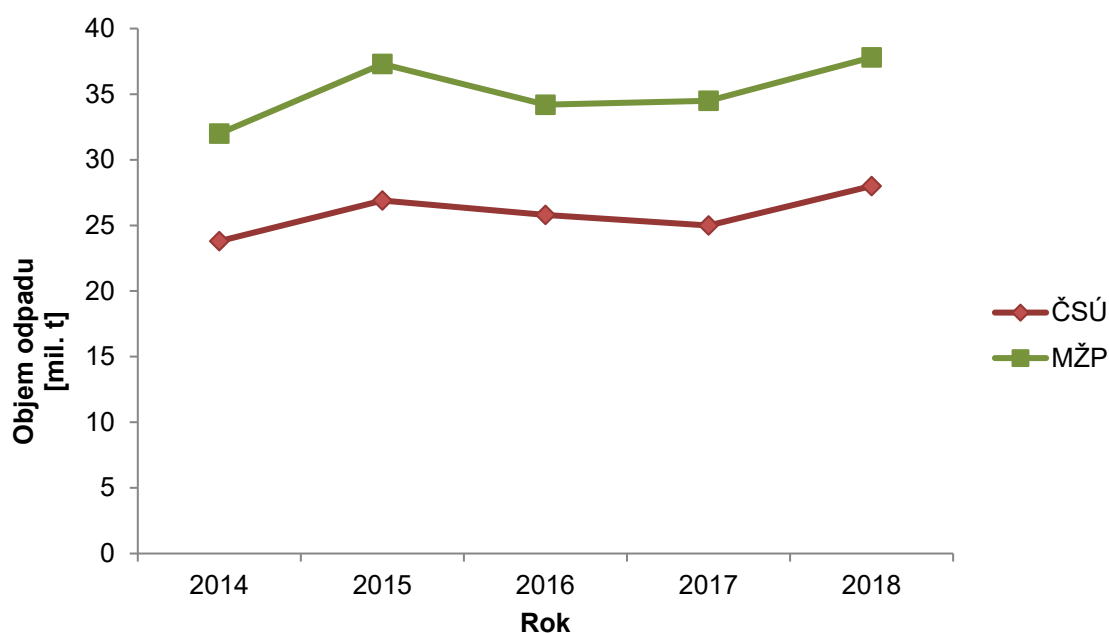
Odpadové hospodářství v České republice spadá do kompetencí Ministerstva životního prostředí (MŽP). Legislativně je pokryto zákonem č. 185/2001 Sb. o odpadech (dále jen „zákon o odpadech“) a zákonem č. 477/2001 Sb. o obalech. Část pojmů používaných v souvislosti s odpady je uvedena v názvoslovné normě ČSN EN 13965 – část 1, 2, nedefinuje ovšem všechny, a běžně užívané výrazy označuje za hovorové, i když připouští jejich užívání. Obecně je zákon o odpadech nepřehledný, kvůli častým novelizacím a bylo v plánu nahrazení dvěma novými zákony, jež nebyly dosud schváleny. K zákonu o odpadech náleží prováděcí předpisy ve formě vyhlášek. Vyhláška č. 381/2001 Sb. zahrnuje Katalog odpadů a Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady a další upřesňující zpětný odběr některých výrobků (vyhláška č. 237/2002 Sb.), o podmínkách ukládání odpadů na sklárky a jejich využívání na povrchu terénu (vyhláška č. 294/2005 Sb.) a další zabývající se konkrétními typy odpadů (např. elektroodpadem nebo autovraky). (Kuraš, 2014)

Zákon o odpadech dělí odpady do dvou základních kategorií na odpady ostatní a nebezpečné. Komunální odpad spadá do kategorie ostatní. Vyhláška stanovující Katalog odpadů je dále třídí dle skupin a druhů. Zákon o odpadech ukládá povinnosti předcházet vzniku odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti,

upravovat, využívat nebo odstraňovat odpady pouze na místech k tomu určených a nakládat s nebezpečnými odpady nebo s odpady, u nichž se vyskytla nebezpečná vlastnost, v režimu nebezpečných odpadů. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Vstupem České republiky do Evropské Unie bylo nezbytné implementovat do zákonů směrnice vydávané Evropským parlamentem a Radou EU. Nejdůležitější jsou směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES o obalech a obalových odpadech, 2000/76/ES o spalování odpadů a č. 98/2008 o odpadech a směrnicí Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů. (Kuraš, 2014)

Důležitou součástí charakteristiky odpadů je mimo definice v zákonech, jejich množství. Na území České republiky se určování vyprodukovaného objemu odpadu věnují dvě instituce – Český statistický úřad (ČSÚ) a Ministerstvo životního prostředí (MŽP). Uváděná data (obr. 1) z obou zdrojů se liší kvůli užití odlišné metody sběru dat. Trend je mírně rostoucí v obou případech. (Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí, 2019) (Český statistický úřad, 2019)



Obr. 1 Produkce odpadů v ČR v letech 2014-2018, srovnání dat ČSÚ a MŽP

1.2.3 Skládkování

Skládkování je forma odstraňování odpadů, jež je v současné době považována za poslední možnost při jejich likvidaci. Z ekonomického pohledu je to levná a technologicky nenáročná varianta. Při zabránění půdy ovšem dochází k jejímu znehodnocení a tedy ztrátě zdrojů, narůstá možnost kontaminace podzemních vod a nelze opomíjet plynné emise, především oxid uhličitý a metan, což jsou zároveň skleníkové plyny. Narůstá riziko vzniku požárů a explozí. (Kizlink, 2014)

Skládku definuje technická norma ČSN 83 8030 jako technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země. Skládka je možné dělit na několik typů podle způsobu uložení odpadu na nadúrovňovou, podúrovňovou a svahovou skládku. Založení skládky je podmíněno dodržením bezpečnostních předpisů a nařízení. Především je brán zřetel na umístění skládky na pozemek se známými hydrologickými, hydrogeologickými a geotechnickými podmínkami a na těsnění skládky a odplynění navrhované s ohledem na druh skládkovaných odpadů. Skládkování komunálního odpadu je běžnější, než skládkování odpadu nebezpečného. (Kizlink, 2014) Komunální odpad je v zákoně o odpadech popsán jako veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání. Z právního hlediska náleží každý odpad pocházející od fyzických osob obci, na jejímž území vzniknul. Obec je povinna zajistit zpracování odpadu. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Provozem skládky vznikají skládkové vody (výluhy) a plyny. Skládkové těleso se chová jako biologický reaktor a produkce výluhů a plynů závisí na podílu organické hmoty dodané do tělesa spolu s vnějšími podmínkami (teplota, vlhkost, pH, přítomnost toxických látek a oxidačně-redukční potenciál). (Kuraš, 2014)

Skládkové vody představují vysoké riziko pro povrchové i podzemní ekosystémy. Výluhy jsou obtížně biologicky rozložitelné odpadní vody s dopředu neznámým složením. I přes technická opatření skládek v podobě geomembrán, geotextilií, málo propustných upravených půd a dalších izolací nelze zcela zabránit únikům výluhů do prostředí. Množství odpadové vody závisí především na objemu dešťových a sněhových srážek. Pro zajištění optimálních podmínek degradace odpadu je celé těleso skládky protkáno sběrným a drenážním systémem výluhů. Výluhy

vznikají po naplnění sorpční kapacity odpadů průsakem srážkových vod do tělesa skládky. Pohybují se působením gravitace. Obsahují organické, anorganické i xenobiotické látky, jejichž koncentrace se odvíjí od stáří skládky, množství srážkové vody a biologických procesů. Zcela nežádoucí je kyselinotvorná fáze. Nastává při nedostatečném zhutnění odpadu, případně za přístupu vzduchu. Dochází k potlačení metanogeneze za vzniku alifatických kyselin podporujících uvolňování těžkých kovů z odpadů přímo do výluhu. Látky obsažené v odpadových vodách se liší v závislosti na stáří skládky. Na mladších skládkách komunálních odpadů je vyšší pravděpodobnost kyselé reakce za vysoké hodnoty chemické spotřeby kyslíku (CHSK). V kyselém prostředí dochází k rozpouštění toxických látek včetně látek bioakumulativních, genotoxických a látek poškozujících endokrinní systém. Ve výluzích z konvenčních skládek obvykle převládají těžké kovy zinek (Zn) a nikl (Ni), ale není vyloučena přítomnost dalších, většinou v nižších koncentracích (řádově mg^{-1} nebo μg^{-1}). Čím kyselější prostředí, tím rozpustnější se těžké kovy stávají a stoupá jejich koncentrace v odpadových vodách. Při metanogenezi je pH neutrální až vyšší a těžké kovy jsou imobilizovány sorpcí a srážením. Sorpční kapacita organické hmoty a zeminy je v takových podmínkách vysoká, proto je jejich obsah ve výluhu téměř nulový. (Kuraš, 2014)

Skládkový plyn se tvoří anaerobním rozkladem organické hmoty v tělese skládky. Vzniklý bioplyn tvoří směs metanu (2/3) a oxidu uhličitého (1/3) spolu se stopovým množstvím dalších plynů (H_2S , N_2 , halogenové uhlovodíky, vodní páry, ...). Největší objem plynů je vyprodukován během prvních 30 let existence skládky a postupně klesá. V horizontu 100 let od založení skládky by měla být produkce natolik snižena, že přestane ohrožovat životní prostředí. Skládkový plyn je možné jímat a dále využít. (Schulz *et* Eder, 2004)

Odpadové vody a plyny jsou nezbytná a nežádoucí součást skládkování, ale je možné snížit jejich dopad na životní prostředí redukcí skládkovaného odpadu, tříděním, recyklací, spalováním a předúpravou odpadů před skládkováním. Jednou z testovaných metod je například promývání odpadu před uložením. Potencionální problém představuje krátká životnost technologických opatření a mnohonásobně delší předpokládaná aktivita skládky. (Kuraš, 2014)

Ukončení provozu skládky následuje tzv. rekultivace. Rekultivací se rozumí proces navrácení objektu do původního stavu a půdního fondu. Nejčastěji je pozemek znovu využit pro lesnické, rekreační nebo parkové účely, ojediněle jako zemědělská půda. Odhaduje se, že skládky zůstávají aktivní v řádu stovek let. (Kuraš, 2014) Největší nebezpečí představuje přetrvávající tvorba plynů v tělese skládky a to především pro vegetaci. Odpadové plyny ztenčí nebo zcela zlikvidují aerobní vrstvu půdy, což zapříčiní umírání rostlin a to i houževnatého plevele. Pokud dojde k nahromadění plynů v souvislé vrstvě při zemi, odumírají i houbové organismy, mechy a lišejníky. V extrémních případech může dojít k nahromadění plynu v kilometry vzdálených potrubích a dalších uzavřených prostorech, kde hrozí nebezpečí výbuchu. (Schulz *et* Eder, 2004)

Při zjištění úniku nebezpečných látek je nutné zajistit sanaci skládky. Sanace představuje postup, při kterém je odstraněn materiál způsobující znečištění. Asanace je pokročilá sanace, kdy jsou kromě materiálu odstraněny i stavby a technické prvky odkud unikají znečišťující látky. Ani v jednom případě ovšem není odstraněna kontaminovaná půda. Asanaci nebo sanaci skládky je často nezbytné provést i za plného provozu. Předpoklad, že sanační opatření jsou nutná pouze u starých skládek, je mylný. U v minulosti zakládaných skládek bylo pečlivěji vybíráno podloží včetně provedení dalších úprav, např. zhutnění a paradoxně účinněji zadržují výluhy. Novější skládky trpí na přecenění moderních technických opatření a umístění na nevhodném podkladu často šterku. Asanací nelze docílit obnovení původní kvality prostředí. (Kuraš, 2014)

1.2.4 Alternativní metody využití a likvidace komunálních odpadů

Zužitkování druhotných surovin je pro ČR nezbytné především kvůli nedostatku vlastních primárních zdrojů a ochraně životního prostředí. Zpracovatelnou část odpadu lze označit jako druhotnou surovinu a rozdělit podle kvality na materiálově nebo energeticky využitelnou. Z komunálního odpadu je recyklovatelné především sklo, papír, plasty a kovy, zbytek se vyplatí přeměnit na energii. (Kreníková, 2014)

Plastový odpad putující na skládky je z většiny možné recyklovat. Přesto jeho nezanedbatelná část stále končí uložená a nevyužitá. Z ekonomického pohledu jsou to v rámci Evropy ztráty v řádu miliard eur ročně za nezpeněžený materiál. Moderní technologie umožňují efektivní automatické třídění odpadu a ruční dotřídění, čímž je zajištěná vysoká preciznost a čistota materiálu. Bohužel je výroba plastu z ropy

po započtení všech nákladů stále výhodnější, než recyklace. Problém by mohlo řešit zálohování plastových lahví, čímž by byla usnadněna jejich návratnost do oběhu, ale pro odpor prodejců nebylo v rámci ČR schváleno. Recyklovaný plastový materiál vyšší kvality má široké uplatnění od textilního průmyslu přes výrobu obalových materiálů po potřeby pro domácnost. (Kizlink, 2014) Významným odvětvím, kde lze plastový odpad využít je stavebnictví. Při méně náročných stavbách je možné použití samotných PET lahví, pokročilejší postupy zpracování umožňují využití plastových agregátů jako součást stavebního betonu vylepšujícího jeho vlastnosti např. odlehčení. (Almeshal *et al.*, 2020) Nevhodný a znečištěný plast může být využit energeticky.

Organický podíl komunálních odpadů lze efektivně kompostovat. Výsledkem je organické hnojivo ve formě humusu. Aerobní proces napodobuje přirozený rozklad biologické hmoty v půdě, přičemž pro účely kompostování odpadů je zdatelně urychlen udržováním vhodných podmínek, jako je určitý podíl uhlíku a dusíku, vlhkosti, úpravou pH a homogenity substrátu, provzdušňováním a regulací teploty. Získaný humus je zásobárnou uhlíku, zvyšuje úrodnost půdy, její pufrovací a filtrační kapacitu a v neposlední řadě zvyšuje výnosy plodin. (Petrů, 1979) Historie řízeného kompostování v ČR začala v roce 1912 založením první kompostárny s řízenou technologií, v současnosti ale kvůli chybějícím dotacím klesla produkce humusu z řádu milionů na statisíce tun za rok. (Kuraš, 2014)

Tuhou nerecyklovatelnou část odpadu je možné energeticky zúročit spalováním. Výhody spalování zahrnují zmenšení plochy skládek, odstranění biologicky nerozložitelného odpadu, teplo využitelné pro vytápění a ohřev vody a mnohonásobně nižší dopady na životní prostředí. Negativy mohou být vyšší počáteční a provozní náklady včetně nutnosti předchozího třídění a vysoká technologická náročnost. (Petrů, 1979) Spalování zmenší objem odpadu až na 40%, zbytky tvoří kovy, sklo, popel a škvára. (Lackman, 1975) V ČR jsou v provozu tři spalovny, konkrétně v Praze, Liberci a Brně, jejich provoz podléhá přísným požadavkům na ochranu ovzduší a limitům pro emise při provozu. Spalovny není možné považovat za zelenou energii z důvodů pálení i recyklovatelného materiálu, vysoké produkce CO₂ při převozu z velkých vzdáleností a samotném provozu. Přesto je spalování odpadu v moderním zařízení se čtyřstupňovou filtrací čistší než neregulované spalování uhlí i odpadů v kamnech a dalších topných zařízeních domácností. (Kizlink, 2014)

V počátcích moderního skládkování nebyla věnována pozornost třídění a na skládkách končilo velké množství elektronického odpadu a recyklovatelného plastu. Anglický pojem urban mining označuje činnosti a technologie určené k využití odpadových zdrojů, včetně těžby skládkovaného odpadu. Staré ale i novější skládky představují potenciaální zdroj druhotných surovin a energie. Kromě plastů obsahují miliony tun kovů, od oceli po drahé a vzácné kovy. Proti využití odpadu na skládkách zatím stojí vysoké náklady na těžbu a znečištění ovzduší uvolněným metanem a dalšími plyny. Výhledově se předpokládá, že s ubývajícím primárními zdroji bude nutné zaměřit se i na zdroje druhotné a skládkované odpady začít těžit. Naznačuje to také odklon od lineárního tradičního přístupu, který spočívá v těžbě surovin, jejich zpracování, využití a uložení na skládku. Budoucností odpadového hospodářství by se měl stát uzavřený přístup zaměřující se na již existující tzv. antropogenní zdroje a jejich znovuvyužití s ohledem na ochranu životního prostředí. (Kuraš, 2014)

2 Cíle práce

Práce se věnuje posouzení vlivu skládky komunálního odpadu Mrsklesy na obsahy vybraných těžkých kovů v okolní půdě. Cílem je zjistit obsahy těžkých kovů (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) a zhodnotit míru zatížení lokality.

3 Materiál a metody

3.1 Charakteristika skládky u obce Mrsklesy

Obec Mrsklesy se nachází přibližně 10 km východně od Olomouce. Areál skládky leží asi kilometr od obce v těsné blízkosti vojenského újezdu Libavá, který je zároveň ptačí oblastí (Natura 2000) s předmětem ochrany chřástala polního (*Crex crex*). V okolí převažují kambizemě a luvizemě s břidlicovým podložím. Průměrná výška terénu je 350 m n. m. Území spadá do mírně teplé klimatické oblasti podle E. Quitta, 1971 (Květoň, 2011), s průměrným ročním úhrnem srážek okolo 600 mm a převládajícím západním směrem větru. (Veselý, 2006) V blízkosti se nenalézají žádné hlubinné útvary podzemních vod. V těsném sousedství skládky protéká bezejmenný potok, jenž je přítokem nedaleké řeky Vrtůvky. Samotná tělesa skládky jsou zapuštěná do úpatí Oderských vrchů a vzhledem nenarušují okolní krajinu. (GeoPortal) Na zatravněném prostranství mezi rekultivovaným a aktivním tělesem skládky probíhá pastva ovcí. Západně od areálu těsně navazuje zemědělsky využívaná plocha.

Provoz areálu byl zahájen v roce 1992. Skládku typu S-00 (pro ostatní odpady) skládá domovní, stavební a objemné odpady a odpady z vybraných výrobních procesů. (Kizlink, 2014) Ukládání odpadu probíhá v úrovni nebo pod úrovní terénu a kapacita je 355 074 m³. Skládku u obce Mrsklesy je největší a nejvýznamnější příjemce odpadu z Olomouce a okolí. Na místě probíhá pravidelný monitoring kvality vod a skládkového plynu. Vypouštění odpadních vod do vod povrchových, podzemních nebo do kanalizace není prováděno. Odpadní voda je vylévána zpět na skládku a přebytky jsou odváženy do čističky odpadních vod. Část odpadu, jež by byla skládkována, je v současnosti odvážena do spalovny odpadů v Brně. (LO Haná, 2012) (Ministerstvo životního prostředí, 2011)

3.2 Metodika výzkumu

Směsné vzorky půdy a sedimentů byly odebírány z hloubky 5-15 cm. Odběr probíhal plastovou lopatkou do označených ZIP sáčků na předem vytipovaných místech. (Sáňka *et* Zimová) Vzorků bylo odebráno celkem 10. Po odebrání se nechaly řádně proschnout a poté byly dvakrát přesety, nejprve přes hrubší plastové síto (velikost oka 5 mm) a následně přes jemné (velikost oka 2 mm). Vzorky byly dosušeny v sušárně po dobu 1 hodiny na 105 °C. Z každého vzorku bylo naváženo 500 mg navážky (Hekera, ústní sdělení) a v digestoři byla přidána mineralizační činidla (6 ml HNO₃ a 2 ml HCl). Vzorky byly podrobeny mineralizační metodě Soil ISO 11466 probíhající 80 minut i s chladnutím v přístroji pro mikrovlnnou mineralizaci značky Berghoff. Mineralizované vzorky byly doplněny destilovanou vodou do objemu 50 ml a přefiltrovány. Analýza vzorků byla provedena metodou atomové absorpční spektrofotometrie na přístroji GBC AVANTA pro šest vybraných těžkých kovů (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn).

4 Výsledky

Výsledky zahrnují koncentrace šesti vybraných těžkých kovů ze směsných vzorků půdy a sedimentů ve zkoumané oblasti (obr. 2). Obsahy prvků byly stanoveny atomovou absorpční spektrofotometrickou analýzou. Vzorky č. 2, 3, 5 a 8 byly odebrány ze sedimentů, vzorky č. 1, 4, 6, 7, 9 a 10 jsou půdní (tab. 4).

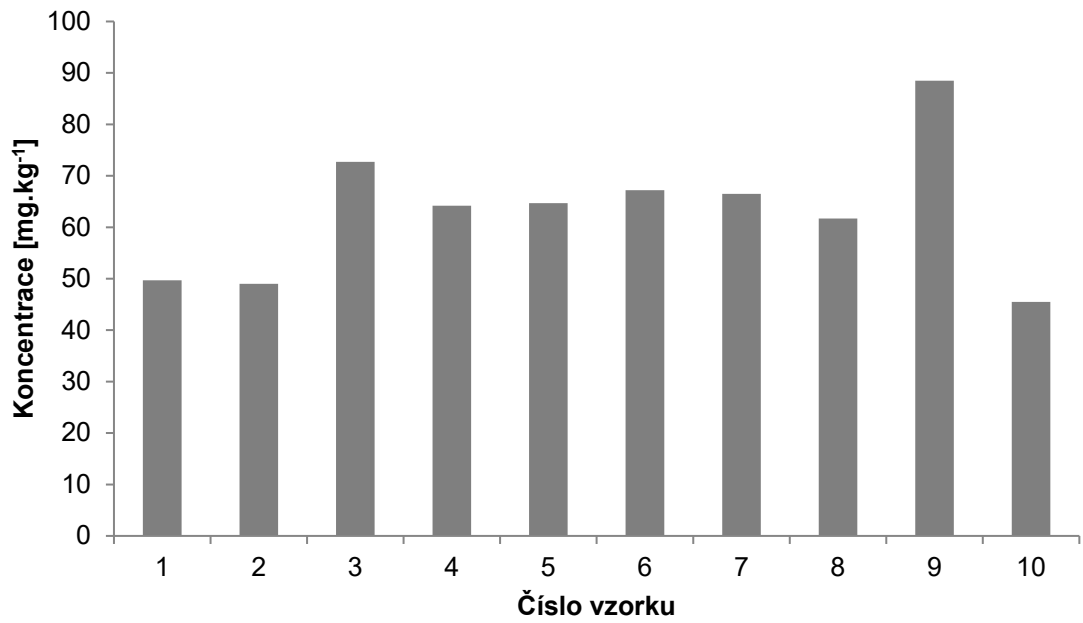
Hodnoty chromu jsou u vzorků č. 1, 2 a 10 mírně nižší než u ostatních, zatímco vzorek č. 9 vykazuje obsah lehce vyšší. (obr. 3) Změřené obsahy kadmia jsou pod mezí detekce přístroje a nelze je označit za směrodatné. Pro úplnost jsou uvedeny v příloze B, tab. 6. Mírně nižší obsah mědi vykazuje vzorek č. 2 a nepatrně vyšší je u vzorků č. 3 a 5. (obr. 4) Nejnižší koncentraci niklu vykazuje vzorek č. 2, ostatní se pohybují ve velmi podobných hodnotách. (obr. 5) Nejvyšší koncentrace olova jsou ve vzorcích č. 5 a 9. (obr. 6) Nejnižší zjištěná koncentrace zinku je u vzorku č. 2, naopak nejvyšší u vzorku č. 5. (obr. 7) Srovnáním získaných hodnot (obr. 8), mimo koncentrace kadmia, se jako nejméně zatížené těžkými kovy jeví vzorky č. 1 a 2. U vzorku č. 5 je patrný skokový nárůst obsahu zinku. Olovo a nikl jsou v nejvyšším množství přítomny ve vzorku č. 9.



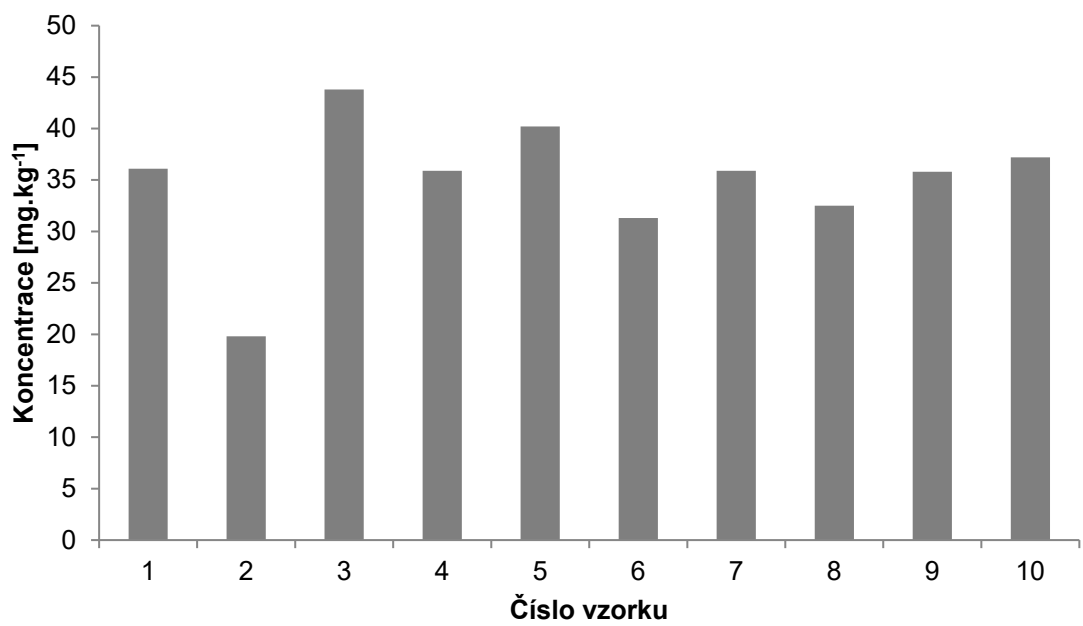
Obr. 2 Satelitní snímek mapy vybrané lokality s označením míst odběru
Zdroj: <https://www.google.cz/maps/>

Tab. 4 Popis odběrových míst

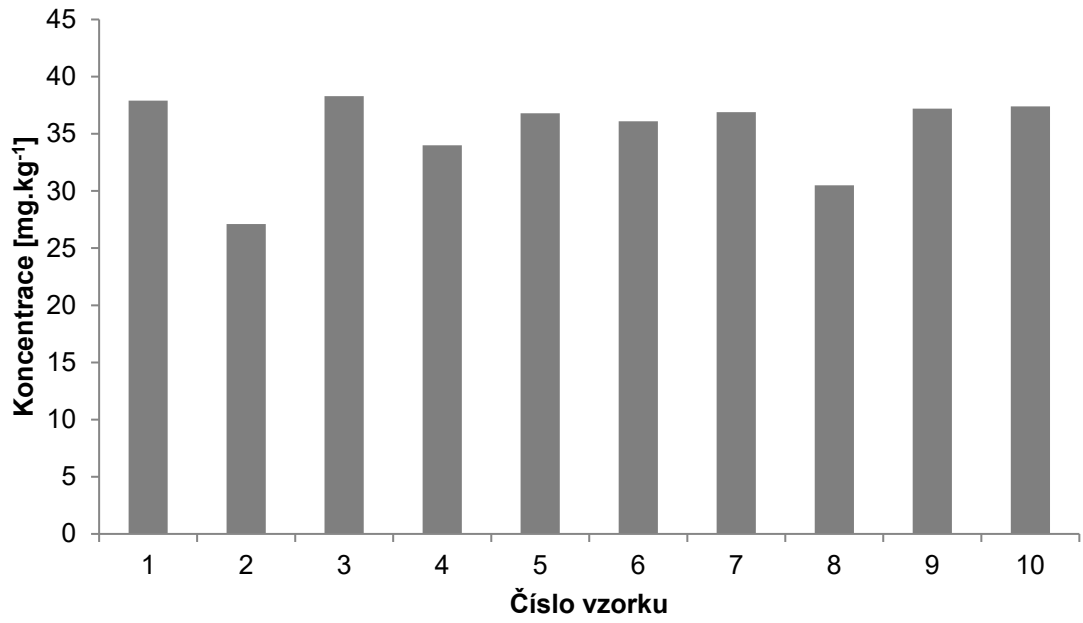
Vzorek	Popis odběrového místa
1	svah pod tělesem rekultivované skládky, půda
2	sedimenty z bezejmenného potoka v blízkosti rekultivovaného skládkového tělesa, označeno jako „Monitorovací místo“
3	sedimenty z tůně vytvořené pohybem vojenských vozidel na západ od aktivní skládky
4	sedimenty z tůně vytvořené pohybem vojenských vozidel na západ od aktivní skládky
5	sedimenty z tůně vytvořené pohybem vojenských vozidel na západ od aktivní skládky
6	půdní vzorek z prostoru mezi rekultivovaným tělesem skládky a polem
7	půdní vzorek z pole v těsné blízkosti rekultivované skládky
8	sedimenty z bezejmenného potoka pod areálem skládek
9	půdní vzorek z oblasti mezi aktivní skládkou a silniční komunikací směřující na jih
10	půdní vzorek z oblasti mezi aktivní skládkou a silniční komunikací směřující na východ



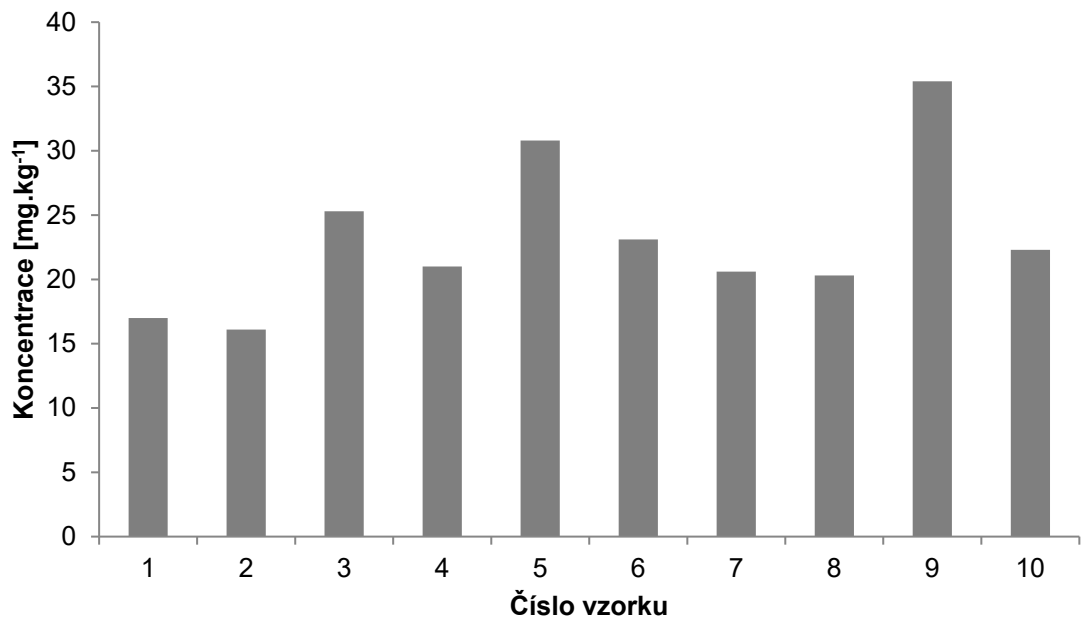
Obr. 3 Změřené koncentrace chromu



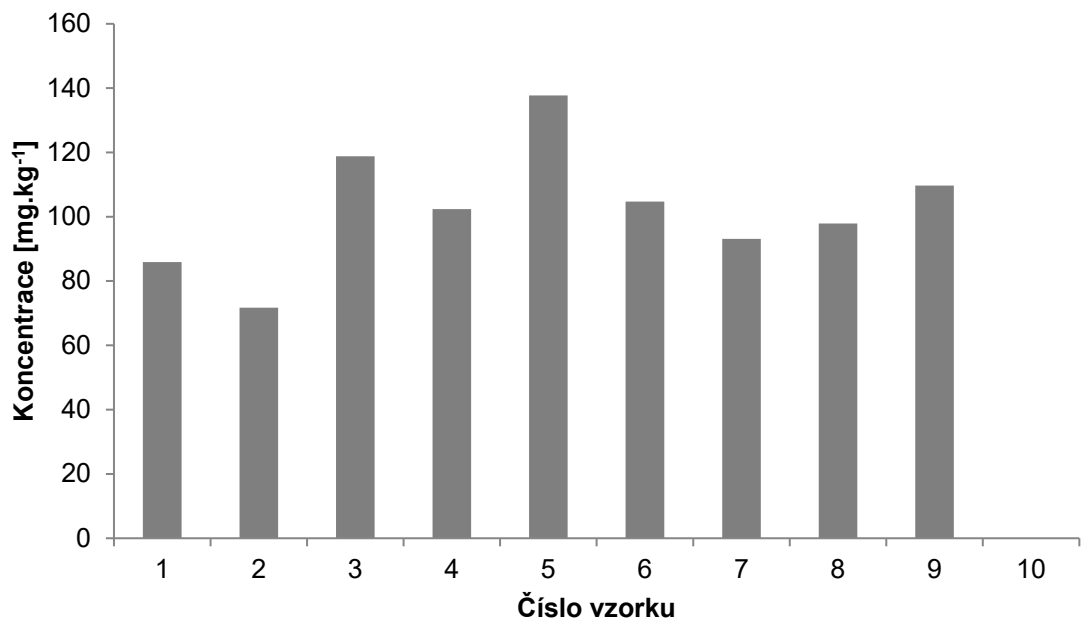
Obr. 4 Změřené koncentrace mědi



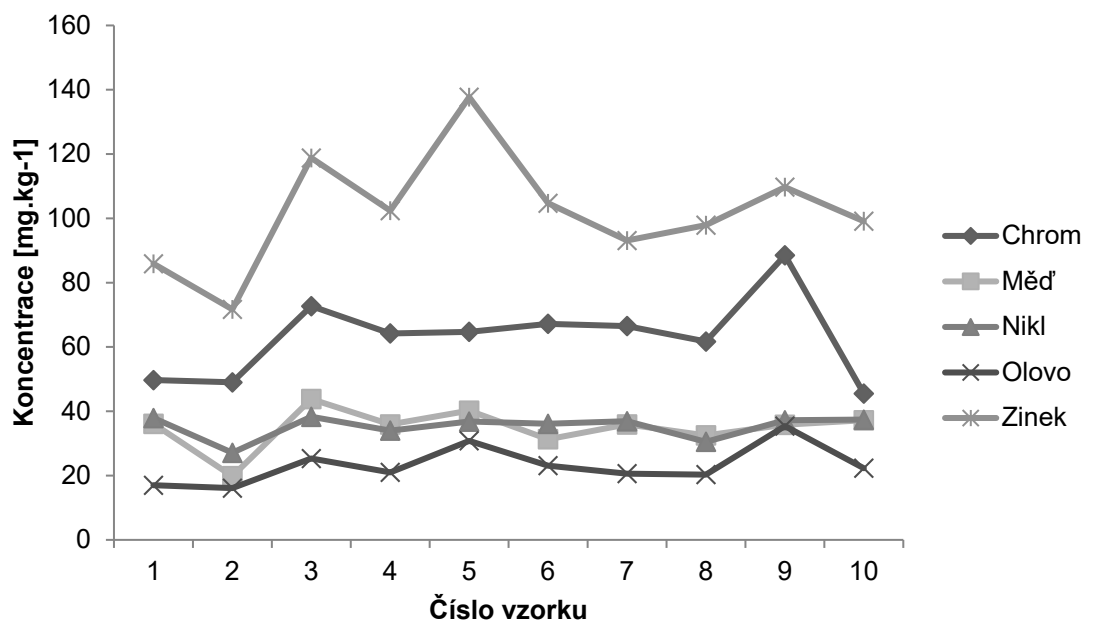
Obr. 5 Změřené koncentrace niklu



Obr. 6 Změřené koncentrace olova



Obr. 7 Změřené koncentrace zinku



Obr. 8 Srovnání koncentrací kovů

5 Diskuze

Výsledky analýzy půdy na obsah těžkých kovů ve vybrané lokalitě jsou porovnány s platnými limitními hodnotami stanovenými vyhláškou č. 257/2009 Sb. a s přirozeným obsahem těžkých kovů v půdě na území České republiky. Intervaly pro přirozený výskyt těžkých kovů v půdě jsou poměrně široké, proto je jejich uvedení hlavně orientační. Následuje srovnání výsledků z blízkosti rekultivovaného a aktivního tělesa skládky. V neposlední řadě jsou výsledky uvedeny do kontextu dalších prací podobného zaměření.

Srovnání přirozených a limitních hodnot vyhlášky se zjištěnými obsahy:

- Přirozená koncentrace chromu v půdě se pohybuje mezi 5 a 120 mg.kg⁻¹. (Richter *et* Ryart, 2004) Zjištěné hodnoty (obr. 3) tomu odpovídají. Limitní obsah chromu stanovený vyhláškou pro běžné půdy je 90 mg.kg⁻¹, pro sedimenty dokonce 200 mg.kg⁻¹. Žádný ze vzorků nepřekročil limitní hodnoty stanovené pro sedimenty ani běžnou půdu.
- Obvyklý obsah kadmia v půdě je od 0,2 po 1,5 mg.kg⁻¹. (Richter *et* Ryart, 2004) Limitní koncentrace daná vyhláškou pro sedimenty je 1 mg.kg⁻¹, pro běžnou půdu 0,5 mg.kg⁻¹. Z vyhodnocení bylo kadmium vyloučeno, neboť výsledky měření koncentrace jsou pod mezí detekce přístroje a nelze je považovat za směrodatné.
- Přirozená koncentrace mědi v půdě se uvádí mezi 1 a 100 mg.kg⁻¹. (Richter *et* Ryart, 2004) Limit daný vyhláškou pro sedimenty je 100 mg.kg⁻¹ a pro běžné půdy 60 mg.kg⁻¹. Výsledky měření ukazují (obr. 4), že koncentrace mědi splňuje limitní hodnoty stanovené vyhláškou pro půdu i sedimenty a odpovídá přirozené koncentraci v půdě.
- Přirozený obsah niklu v půdě je mezi 2 a 100 mg.kg⁻¹. (Beneš, 1993) Limit niklu stanovený vyhláškou je 80 mg.kg⁻¹ pro sedimenty a 50 mg.kg⁻¹ pro běžné půdy. Výsledky měření (obr. 5) nepřekračují běžný obsah ani limitní hodnoty z vyhlášky.
- Běžná koncentrace olova v půdách se pohybuje od 5 do 50 mg.kg⁻¹. (Richter *et* Ryart, 2004) Vyhláška stanovuje limitní hodnotu olova v sedimentech na 100 mg.kg⁻¹ a v běžných půdách 60 mg.kg⁻¹. Zjištěné obsahy olova ve vzorcích (obr. 6) nepřekračují limitní hodnoty stanovené vyhláškou, ani přirozené koncentrace v půdě.

- Přírozený výskyt zinku v půdě je v rozmezí 10 až 300 mg.kg⁻¹. (Richter *et* Ryart, 2004) Limitní hodnoty výskytu zinku v sedimentech jsou 300 mg.kg⁻¹ a v běžné půdě 120 mg.kg⁻¹. Výsledky měření koncentrace zinku (obr. 7) odpovídají normálnímu výskytu v půdách. Také všechny splňují limitní hodnoty stanovené platnou vyhláškou.

Opakovaně byl prokázán nejnižší obsah měřeného prvku, konkrétně u Cr, Cu, Ni a Zn, ve vzorku č. 2, přestože se nachází ve stejné vzdálenosti od rekultivovaného tělesa jako vzorek č. 1. Koncentraci mohl ovlivnit typ vzorku, jelikož se jedná o sediment a vzorek č. 1 je půdní. Přesto tento trend není u ostatních vzorků prokazatelný. Na místě také mohlo docházet k zásahům ze strany provozovatele, protože odběrové místo je označeno jako monitorovací a pravděpodobně jsou zde získávány vzorky povrchové vody pro kontrolu. Obsahy prvků u rekultivovaného a aktivního tělesa se výrazně neliší, což může být dáno perzistencí těžkých kovů a relativně krátkou dobou provozu skládky. Mírný rozdíl je vidět u Cr, Pb a Zn, kdy jsou koncentrace u rekultivovaného tělesa nižší. Proti očekávání se neprokázala zvýšená kumulace kovů v sedimentech bezejmeného potoka, přestože by mohlo docházet ke smyvu odpadových vod ze všech těles. Zajímavé je také porovnání výsledků vzorků č. 6 a 7. Přestože se nachází velmi blízko, koncentrace nejsou u všech prvků totožné. Vzorek č. 6 byl odebrán ze zatravněného prostoru mezi areálem skládky a polem, vzorek č. 7 přímo z pole. Koncentrace Cr a Ni jsou téměř totožné, ale obsah Cu je vyšší u zemědělského pozemku. Naopak hodnoty Pb a Zn jsou nepatrně vyšší u vzorku č. 6. Měď je často využívána v zemědělství jako součást ochranných postřiků, což může být i případ vzorku č. 7.

V kontextu hodnot získaných ze skládky Štěpánovice u Klatov (Adamcová *et al.*, 2016) se jeví některé koncentrace jako nadprůměrné. Vzhledem k použití stejných metod odběru a analýzy a podobného stáří skládek si je dovolím srovnat. Pro Cr, Cu a Ni jsou hodnoty mírně vyšší u Štěpánovic než okolo skládky Mrsklesy, naopak u Pb a Zn jsou obsahy až čtyřnásobně vyšší u Mrskles. Příčinou vysokého obsahu olova může být blízkost vojenského prostoru Libavá, kde probíhají pravidelná cvičení za použití vojenské techniky, ale nemohu vyloučit ani vliv uloženého odpadu. Skladba odpadu měla pravděpodobně vliv i na vyšší obsah zinku, případně by se mělo zvážit působení 2 km vzdálené průmyslové oblasti v Mariánském údolí.

Analýza půdy na střední Moravě byla provedena jako součást práce zabývající se transferem těžkých kovů do rostlin. (Zeidler, 2005) Vzorky byly odebrány v nivě řeky Moravy a podrobeny analýze atomovou absorpční spektrofotometrií. V oblasit by měla být aktivní především zemědělská činnost, těžký průmysl zde není rozvinut. Mimo jiné je lokalita vyhlášena jako CHKO Litovelské Pomoraví a tudíž by neměla být znečištěna. Koncentrace Cr nebyly v práci měřeny, nebude tedy zahrnut do porovnání. V okolí skládky se koncentrace Cu pohybuje mezi 19,8–43,8 mg.kg⁻¹ v půdách nivy v hodnotách 2,2–10,3 mg.kg⁻¹. U Ni jsou hodnoty zatížené lokality 27,1–38,3 mg.kg⁻¹ proti 1,3–18,8 mg.kg⁻¹ v nezatížené. Pro Pb se obsahy poprvé překrývají alespoň částečně, v okolí skládky bylo naměřeno 16,1–35,4 mg.kg⁻¹, v nivě řeky 3,3–23,1 mg.kg⁻¹. Naopak rozdíly mezi hodnotami Zn jsou opět velmi vysoké 71,7–137,7 mg.kg⁻¹ u skládky proti 7,28–20,3 mg.kg⁻¹ v chráněné oblasti. Okolí skládky Mrsklesy se v tomto kontextu jeví jako velmi zatížené těžkými kovy, především obsahy Zn a Ni jsou několikanásobně vyšší.

Vzhledem k povaze zkoumaných prvků je pravděpodobné, že koncentrace v půdě budou nadále stoupat. V budoucnu by bylo vhodné zaměřit se na porovnání obsahu těžkých kovů v půdě okolo dalších skládek, především u těch, jež jsou v provozu delší dobu a skládek s ukončeným provozem. Na základě takového výzkumu by poté bylo možné provést odhad budoucího vývoje skládky u obce Mrsklesy. Dalším zkoumaným médiem by mohla být vegetace, protože v těsné blízkosti areálu se nachází zemědělské pozemky a zatravněné části jsou využívány pro pastvu ovcí. Některé druhy rostlin mají tendenci těžké kovy kumulovat ve větším množství a napomáhat jejich přesunu výš v potravním řetězci. Nelze opomenout bezprostřední blízkost ptačí oblasti Libavá, na kterou by mohla mít skládka negativní vliv nejen co se týče obsahu těžkých kovů, ale např. všudypřítomným plastovým odpadem, prachem, skládkovými plyny a hlukem z provozu skládky.

6 Závěr

Práce se zabývala posouzením vlivu skládky komunálního odpadu Mrsklesy na obsahy vybraných těžkých kovů v okolní půdě. Cílem bylo zjistit obsahy těžkých kovů (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) a zhodnotit míru zatížení lokality. Analýzou výsledků měření bylo zjištěno, že získané hodnoty nepřekračují limity stanovené vyhláškou a odpovídají přirozeným koncentracím v půdě uvedeným v literatuře. Přesto bych po srovnání hodnot s dalšími obdobnými výzkumy nepovažovala lokalitu za nedotčenou a skládku označila jako významný antropogenní zdroj znečištění.

7 Reference

- LO Haná 2012. Web LO Haná: Skládka tuhého komunálního odpadu Mrsklesy. [Internet]. [cited 2020 June 26] Dostupné z:
<http://www.lohana.cz/OLD/historie.html>
- Adamcová, D., Vaverková, M. D., Bartoň, S., Havlíček, Z., & Břoušková, E. 11. únor 2016. Soil contamination in landfills: A case study of a landfill in Czech Republic. *Academic Journal Solid Earth* (7) [Internet]. [cited 2020 July 25]. 239-247. Dostupné z:
<https://doi.org/10.5194/se-7-239-2016>
- Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabjuljabbar, H., Mohamed, A. M., & Alaskar, A. 25. duben 2020. Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials*(253). [Internet]. [cited 2020 July 25]. 25. Dostupné z:
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119146>
- Anděl, P. 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Liberec: Vydavatelství Evernia. 265. ISBN 978-80-903787-9-7
- Editor Asrari, E. c2014. *Heavy metal contamination of water and soil : analysis, assessment, and remediation strategies*. Oakville, Ont.; Waretown, N.J.: Apple Academic Press. 354. ISBN 978-1-77188-004-6
- Beneš, S. 1993. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí*. Praha: Vydalo Ministerstvo zemědělství České republiky. 88. ISBN 80-7084-051-X
- Bobrowska-Grzesik, E., Ciba, J., Grossman, A., Kluczka, J., Trojanowska, J., & Zolotajkin, M. 2013. *Chemical Elements Compendium*. Český Těšín: Vydavatelství 2 THETA. 223. ISBN 978-80-86380-66-7
- Český statistický úřad. 31. říjen 2019. Český statistický úřad. [Internet]. [cited 2020 July 3] Dostupný z:
<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2018>
- Drobník, J. 23. duben 2012. Web Gate2Biotech. [Internet]. [cited 2020 July 24] Dostupné z:
<http://www.gate2biotech.cz/bioremediace-1/>
- GeoPortal. Mapové kompozice. [Internet]. [cited 2020 June 29] Dostupné z:
<https://geoportal.gov.cz/web/guest/home;jsessionid=08155A3DC313E82D371B59C242529456>
- Järup, L., Berglund, M., Elinder, C. G., Nordberg, G., & Vanter, M. 1998. Health effects of cadmium exposure - a review of the literature and a risk estimate. *Scandinavian Journal of Work, XXIV*(1), [Internet]. [cited 2020 June 3] 1-51. Dostupné z:
https://www.jstor.org/stable/40967243?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

- Johnson, L. J., Daniel, D. E., Abeele, W. V., Ledbetter, J. O., & Hansen, W. R. 1978. Effects from past Solid Waste Disposal Practises. *Environmental Health Perspectives*, *XXVII*, [Internet]. [cited 2020 June 26] 215-221. Dostupné z: <http://www.jstor.com/stable/3428881>
- Kafka, Z., & Punčochářová, J. 16. červenec 2002. Odpady s obsahem olova a jejich stabilizace. *Web Odpady*. [Internet]. [cited 2020 July 24] Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/odpady-s-obsahem-olova-a-jejich-stabilizace/>
- Kizlink, J. 2014. *Odpady*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 483. ISBN 978-80-7204-884-7
- Kreníková, V. 2014. *Odpady a druhotné suroviny I. Ústí nad Labem: Nakladatel Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí*. 227. ISBN 978-80-7414-869-9
- Kuraš, M. 2014. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim, Česká republika: Vydavatel Vodní zdroje Ekomonitor spol. s. r. o. 343. ISBN 978-80-86832-80-7
- Květoň, V. 2011. *Klimatické oblasti Česka*. Olomouc: Vydavatel Univerzita Palackého v Olomouci. 20. ISBN 978-80-244-2813-0
- Lackman, C. L. duben 1975. Economic Model of Solid Waste Disposal and Recycling. *Eastern Economic Journal*, II(II), [Internet]. [cited 2020 May 28]. 119-130. Dostupné z: <http://www.jstor.com/stable/40324653>
- Ministerstvo životního prostředí. 15. duben 2011. Rozhodnutí (MZPXXG3XV29O). *Web Ministerstva životního prostředí*, [Internet]. [cited 2020 July 3] Dostupné z: [https://www.mzp.cz/ippc/ippc4.nsf/\\$pid/MZPXXG3XV29O](https://www.mzp.cz/ippc/ippc4.nsf/$pid/MZPXXG3XV29O)
- Ministerstvo životního prostředí. září 2019. *Odpady*, *Web Ministerstva životního prostředí*. [Internet]. [cited 2020 July 3] Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odpady_podrubrika
- Petrů, A. 1979. *Odpady v přírodním prostředí a ve vodním hospodářství*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 136.
- Richter, R., & Ryant, P. 28. leden 2004. *Multimediální učební texty z výživy rostlin. Ústav agrochemie a výživy rostlin* [Internet]. [cited 2020 July 13] Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/uvod.htm
- Rop, O., & Kulovaná, E. 19. červen 2001. *Výskyt cizorodých prvků v půdách České republiky a možnosti jejich imobilizace*. *Web Úroda*, [Internet]. [cited 2020 June 27] Dostupné z: <https://www.uroda.cz/vyskyt-cizorodych-prvku-v-pudach-ceske-republiky-a-moznosti-jejich-imobilizace/>
- Sánka, M., & Zimová, M. *Vzorkování půd*. *Web Pedologický průzkum*. [Internet]. [cited 2020 April 2] Dostupné z: <http://www.pedologicky-pruzkum.cz/wp-content/uploads/VZORKOV%C3%81N%C3%8D-P%C5%AED.pdf>
- Schulz, H., & Eder, B. 2004. *Bioplyn v praxi*. Ostrava: HEL. 167. ISBN 80-86167-21-6

- Sosna, D., & Brunclíková, L. 2017. *Archeologies of waste: Encounters with the unwanted*. Philadelphia: Oxbow Books. 190. ISBN 978-1-78570-327-0
- Veselý, P. 2. únor 2006. Větrné poměry na Moravě a ve Slezsku, Web Povětrník. Produkce Kruhu přátel Technického muzea v Brně [Internet]. [cited 2020 June 27] Dostupné z: <http://povetrnik-cz.svethostingu-tmp.cz/rs/view.php?cislocclanku=2006020201>
- Vyhláška č. 13/1994 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. [Internet]. [cited 2020 June 28] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-13/zneni-19940124>
- Vyhláška č. 153/2016 Sb. Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. [Internet]. [cited 2020 June 28] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
- Vyhláška č. 257/2009 Sb. Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě. [Internet]. [cited 2020 June 28] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-257>
- Editor Wang, K. L. c2009. *Heavy metals in the environment*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. 514. ISBN 978-1-4200-7316-4
- Zákon č. 185/2001 Sb. O odpadech a o změně některých dalších zákonů. [Internet]. [cited 2020 June 28] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- Zeidler, M. 2005. Heavy Metals in Two Herb Species (River Morava, Czech Republic). *Polish Journal of Ecology*, [Internet]. [cited 2020 July 25]. 185-195. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Zeidler/publication/287577292_Heavy_metals_in_two_herb_species_River_Morava_Czech_Republic/links/569602bb08ae3ad8e33d99a1/Heavy-metals-in-two-herb-species-River-Morava-Czech-Republic.pdf

8 Přílohy

8.1 Příloha A

Fotografie 1 Odběrové místo vzorku č. 2, v popředí systém na odvádění metanu z tělesa skládky



Fotografie 2 Odběrové místo vzorku č. 3



Fotografie 3 Odběrové místo vzorku č. 5



Fotografie 4 Odběrové místo vzorku č. 9



Fotografie 5 Odběrové místo vzorku č. 10



Fotografie 6 Pastva ovcí mezi rekultivovanou a aktivní skládkou



Fotografie 7 a 8 Pohledy na aktivní skládku



Fotografie 9 Pohled na rekultivovanou skládku v těsné blízkosti zemědělského pozemku



8.2 Příloha B

Tab. 5 Souhrn změřených koncentrací prvků v půdě

Prvek	Změřené koncentrace [mg.kg ⁻¹]					
	Chrom	Kadmium	Měď	Nikl	Olovo	Zinek
Číslo vzorku						
1	49,7	0,1	36,1	37,9	17,0	85,9
2*	49,0	0,2	19,8	27,1	16,1	71,7
3*	72,7	0,7	43,8	38,3	25,3	118,8
4*	64,2	0,4	35,9	34,0	21,0	102,4
5*	64,7	0,7	40,2	36,8	30,8	137,7
6	67,2	0,8	31,3	36,1	23,1	104,7
7	66,5	0,7	35,9	36,9	20,6	93,1
8*	61,7	0,9	32,5	30,5	20,3	97,9
9	88,5	0,7	35,8	37,2	35,4	109,7
10	45,5	0,9	37,2	37,4	22,3	99,1

*sedimenty