



národní
úložiště
šedé
literatury

Analýza strusky ze spaloven komunálních odpadů

Krausová, Aneta
2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-201151>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 09.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://www.nusl.cz) .

Analýza strusky ze spaloven komunálních odpadů

^{1,2}A. Krausová, ¹M. Šyc, ¹P. Kameníková, ¹B. Zach, ^{1,2}M. Pohořelý, ¹K. Svoboda, ¹M. Punčochář

¹Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Laboratoř procesů ochrany prostředí, Rozvojová 1/135, 165 02 Praha 6 - Suchbátka, e-mail: krausova@icpf.cas.cz, ²VŠCHT v Praze, Ústav energetiky, Technická 5, 166 28 Praha 6 - Dejvice

Souhrn

Struska ze spalování komunálních odpadů obsahuje řadu materiálů, které mohou být dále využity jako druhotné suroviny, zejména železné a neželezné kovy, některé vzácné kovy a kovy vzácných zemin nebo například sklo. Minerální frakce je po vytěžení cenných surovin, vhodnou náhradou přírodních materiálů ve stavebním průmyslu. Významným benefitem, při zpracování strusky, je pro provozovatele spaloven také redukce poplatků za skládkování. Řada spaloven v Evropě je vybavena separačními linkami pro získávání železných a neželezných kovů. V České republice je linka pro získávání neželezných kovů instalována na spalovně SAKO Brno, ostatní dvě spalovny separují pouze snadno dostupný objemný železný šrot. Pro posouzení využitelnosti a při rozhodování o aplikaci vhodné technologie pro úpravu strusky je nezbytná znalost jejích fyzikálních vlastností a materiálového složení, které je značně variabilní a závislé na složení spalovaného odpadu. Analýzou strusky z českých spaloven bylo stanoveno materiálové složení. Obsahy jednotlivých složek se pohybovaly v následujícím rozpětí: 10–24 % skla, 2–4 % keramiky a porcelánu. Magnetická frakce se železným šrotem tvoří souhrnně 10–24 %. Samotný železný šrot tvoří 1–9 % z celkové hmotnosti strusky. Obsah neželezných kovů se pohybuje mezi 1,3 a 2,4 % a reziduální frakce spolu s frakcí částic pod 2 mm potom souhrnně tvoří mezi 40 a 70 %.

1 Úvod

Zpracování komunálních odpadů v zařízeních pro energetické využití odpadů je důležitým článkem systému odpadového hospodářství. V Evropě je v provozu více než 400 zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO) s kapacitou okolo 90 milionů tun ročně ¹. Na druhou stranu je jen ve státech EU stále více jak 70 milionů tun odpadu bez jakéhokoli využití ukládáno na skládky ². Moderní trendy ukazují, že ZEVO mohou kromě využití energetického obsahu odpadu participovat také na recyklaci některých cenných složek, zejména kovů, případně skla, a to konkrétně ze strusky, ve výjimečných případech i z popílku.

Struska z energetického využití komunálního odpadu má vysoký potenciál pro recyklaci řady materiálů, jako jsou železné i neželezné kovy, některé vzácné kovy a kovy vzácných zemin, sklo, minerály využitelné ve stavebnictví apod. Složení strusky odpovídá složení spalovaného odpadu. Je vysoce variabilní v závislosti na lokalitě ZEVO, tedy na charakteru osídlení, systému a efektivitě separovaného sběru druhotných surovin atd. Vliv na složení může mít také změna ročního období nebo použitá technologie ZEVO (typ roštu, způsob odvodu strusky atd.). Ta má ovšem vliv spíše na vlastnosti strusky, jakými jsou granulometrie, či obsah nedopalu apod.

Udávané složení strusky se pohybuje v rozmezí 5–13 % železných kovů, 2–5 % neželezných kovů, 15–30 % skla a keramiky, 1–5 % nespáleného organického materiálu a 50–70 % minerální frakce ^{3, 4, 5, 6}. Kromě celkového obsahu těchto složek je pro další zpracování klíčový jejich recyklovatelný podíl, celková náročnost technologie zpracování strusky a odbyt recyklovaných komodit včetně minerálního zbytku pro stavební průmysl. Ve snaze strusku takto materiálově využít je vyvíjena řada technologických konceptů pro její zpracování včetně prvotních pokusů získávat vzácné kovy a kovy vzácných zemin ⁷.

V současnosti běžně využívané technologie pro získávání kovů jsou obvykle založeny na suchých mechanických separačních procesech. Standardně jsou spalovny vybaveny magnetickým

separátorem pro získávání železného šrotu. V nejjednodušším uspořádání je magnetickou separací myšlena jednostupňová operace, kdy je magnet umístěn nad pásovým dopravníkem, nebo je využito bubnového magnetu na konci dopravníku pro přepravu strusky. Účinnost takto provedené separace je potom výrazně limitována velikostí separovaných částic a vlhkostí materiálu. K separaci neželezných kovů jsou využívány především vířivé proudy (ECS-eddy current separator). Pro dosažení uspokojivých účinností vířivých proudů, ale také magnetické separace, je vhodné zařazení předúpravy strusky, která může zahrnovat tzv. stárnutí, při kterém struska ztrácí nežádoucí vlhkost. Dále rozdělení na více velikostních frakcí, které jsou zpracovávány odděleně. Jako vhodné se také ukazuje drcení hrubé frakce pro uvolnění kovů z aglomerátů vznikajících v průběhu spalovacího procesu.

Hlavním cílem práce bylo stanovení materiálového složení vzorků strusky ze dvou zařízení pro energetické využití odpadů v ČR. Byla stanovena distribuce velikosti částic a její vliv na materiálové složení. Vzorky strusky byly tříděny na sklo, keramiku a porcelán, magnetickou frakci a v ní obsažený železný šrot, neželezné kovy, nespálený organický materiál a reziduální frakci. Obsahy jednotlivých složek byly studovány s ohledem na granulometrii. Dále byly sledovány změny složení a vlastností v závislosti na termínu odběru, na typu spalovací technologie a na lokaci spaloven.

2 Experimentální část

2.1 Odběr vzorků

Pro analýzu byly využity vzorky strusky ze dvou českých spaloven, a sice ze zařízení pro energetické využití odpadů v Malešicích (ZEVO A) a v Liberci (ZEVO B). Odběry vzorků byly jak v pražské tak v liberecké spalovně provedeny certifikovanou odběrovou skupinou. Informace o odběrech vzorků jsou uvedeny v Tab. .

V ZEVO A byly vzorky odebírány na konci dopravníku strusky po magnetické separaci. V průběhu dne byla vždy vytvořena hromada strusky odebrané z dopravníku v několika časových intervalech. Hromada byla homogenizována a kvartací byl vytvořen denní vzorek. Analyzovány byly tři denní vzorky, a to BAP1 – BAP3. Vzorky BAP4 a BAP5 a BAP6 jsou integrálními vzorky, které byly vytvořeny homogenizací minimálně čtyř denních vzorků ve snaze omezit vliv heterogenity strusky.

V případě ZEVO B bylo místem odběru vzorků korba nákladního automobilu odvázející strusku z areálu spalovny. Z každé korby bylo odebráno vždy minimálně 6 dílčích vzorků o hmotnosti cca 1 kg. Vzorky byly odebírány z různých míst a střídavě z povrchu nebo ze spodní vrstvy nákladu (cca 40–70 cm). V ZEVO B byly odebrány dva vzorky a sice BAL1 a BAL2 oba vzorky jsou integrální.

Tab. Přehled informací o odběrech analyzovaných vzorků

Vzorek	Místo odběru	Datum odběru	Hmotnost [kg]
BAP1	ZEVO Malešice	25. 6. 2014	12
BAP2	ZEVO Malešice	30. 6. 2014	16
BAP3	ZEVO Malešice	17. 7. 2014	20
BAP4	ZEVO Malešice	2.–4., 8. 7. 2014	115
BAP5	ZEVO Malešice	27.–31. 10. 2014	120
BAP6	ZEVO Malešice	4.–8., 11., 12. 5. 2015	272
BAL1	Termizo Liberec	16.–20. 6. 2014	84
BAL2	Termizo Liberec	22.–24. 10., 27. 10. 2014	90

Vzorky ze spaloven byly do laboratoře dopraveny v uzavřených igelitových pytlích. Analýze materiálového složení předcházelo sušení vzorků. Vzorky byly v rovnoměrné vrstvě (cca 3 cm) rozloženy na plachtu a sušeny při laboratorních podmínkách minimálně pět dní.

2.2 Distribuce velikosti částic

Po vysušení vzorků následovalo stanovení distribuce velikosti částic. Studované vzorky byly rozsítovány na celkem 8 frakcí, hlavně z důvodu detailnější znalosti distribuce recyklovatelných materiálů mezi tyto frakce. Vzorky strusky byly sítovány na sítích s velikostmi ok 20, 15, 10, 8, 6, 4 a 2 mm. Doba sítování byla vždy minimálně 2 minuty a byla dále upravována s ohledem na stav nadsítné frakce. Nadsítné frakce byly vždy zváženy a uzavřeny do plastových nádob odpovídajících rozměrů. U vzorku BAP6 byla část vzorku vysušena a část vzorku byla sítována za vlhka, bez fáze sušení.

2.3 Analýza materiálového složení

Získané velikostní frakce byly analyzovány pro stanovení materiálového složení. Z analýzy byla vyloučena frakce < 2 mm. Prvním krokem analýzy byla separace magnetické frakce a železného šrotu pomocí magnetického separátoru. Každý vzorek byl opakovaně prosypáván přes sadu tyčí, jejichž výplň tvoří výsuvné neodymové magnety. Železný šrot byl následně ručně oddělen od magnetické frakce s využitím běžného feritového magnetu. Nemagnetický zbytek byl ručně tříděn na sklo, keramiku a porcelán, neželezné kovy, nespálený organický materiál a reziduální frakci. Částice magnetické a reziduální frakce nad 4 mm byly dále analyzovány zejména z důvodu přesnějšího stanovení celkového obsahu kovových materiálů, které jsou velmi často zachycené v aglomerátech popelovin vzniklých v průběhu spalovacího procesu a následného chlazení. Frakce byly opakovaně mlety pomocí kulového mlýna a sítovány na sítu s velikostí ok 0,5 mm. Z nadsítné frakce byl v případě magnetické frakce vybírán železný šrot, neaglomerované magnetické částice, neželezné kovy a nekovové částice (sklo, kameny, nespálený organický materiál atd.). Stejně kategorie byly separovány i v případě reziduálních frakcí s výjimkou absence železného šrotu. Celý proces byl opakován do chvíle, kdy na sítu nezbyvaly již žádné aglomerované částice.

U frakce 2–4 mm je již poměrně obtížné vizuálně rozpoznat částice hliníku, proto byl v této frakci stanoven jeho obsah pomocí reakce v alkalickém prostředí za současného uvolňování vodíku. Objem vygenerovaného vodíku je potom úměrný obsahu kovového hliníku ve vzorku.

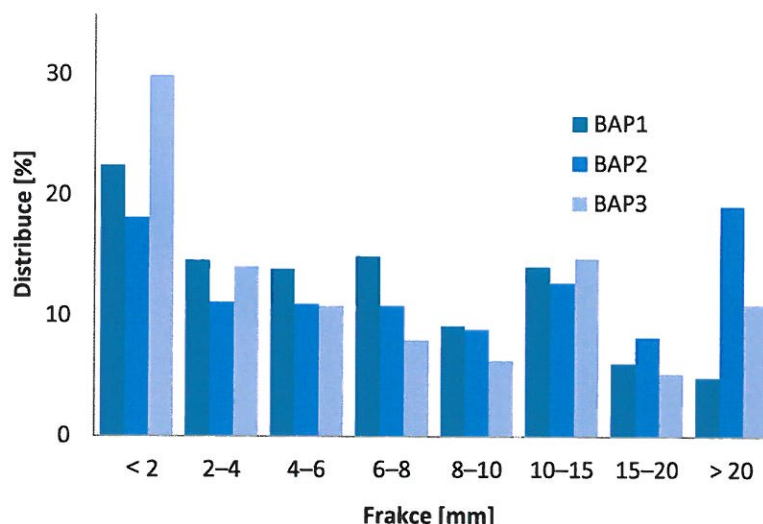
Sklo bylo dále tříděno na primární, recyklovatelné a sekundární, nerecyklovatelné, které je kontaminováno dalšími materiály a tudíž je obtížněji zpracovatelné. Magnetická frakce bez železného šrotu, byla analyzována pro zjištění obsahu kovů pomocí MP–AES (atomová emisní spektroskopie s rozkladem v mikrovlnné plazmě) po rozpuštění vzorků v lučavce královské. Nemagnetické kovy byly tříděny na barevné, lehké a těžké kovy. Barevné kovy byly identifikovány vizuálně. Ostatní kovy byly roztříděny pomocí roztoku polywolframanu sodného (hustota 2820 kg/m³ při 20 °C). Kdy kovy s hustotou nižší než je hustota roztoku, tedy hliník a jeho slitiny, plavou na hladině. Kovy s vyšší hustotou klesnou ke dnu. Pro stanovení elementárního složení frakce lehkých kovů byly nejprve tavením vytvořeny homogenní ingoty, které byly dále analyzovány pomocí XRF analýzy (X-ray fluorescence). U barevných a těžkých kovů bylo složení stanoveno také pomocí XRF, nicméně pouze u vybraných, typicky se vyskytujících částic.

3 Výsledky

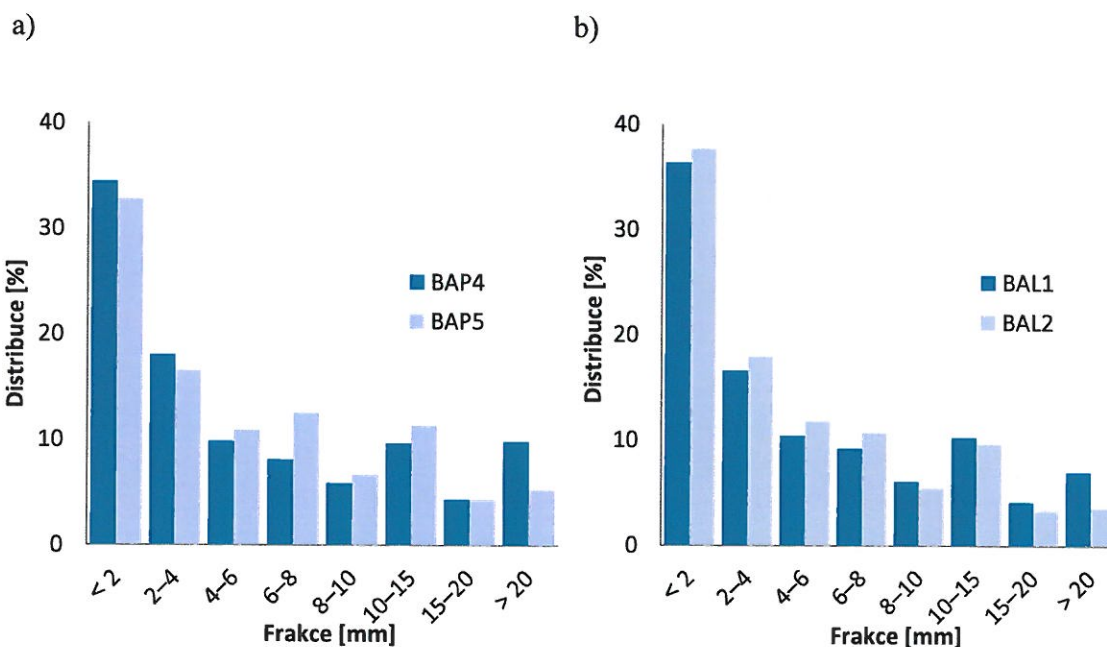
3.1 Distribuce velikosti částic

Jedním z rozhodujících faktorů pro materiálové využití strusky je vhodná granulometrie. Zjištěné distribuce velikosti částic jsou uvedeny na Obr. a Obr. . Z výsledků je zřejmá značná heterogenita denních vzorků (viz Obr.), např. nejmenší frakce částic do 2 mm tvořila 20–35 % vzorku dle dne odběru. Tyto odchylky pravděpodobně vznikají v důsledku různorodosti spalovaného odpadu během jednotlivých dnů. U integrálních vzorků z obou spaloven, ačkoli byly odebrány s delším

časovým odstupem, byly distribuce velikostí částic velmi podobné a nevykazovaly výraznější odchylky, tak jak to bylo v případě jednodenních vzorků (viz Obr.). Lze tedy říci, že vytvořením vícedenních integrálních vzorků vzniká průměrný vzorek jehož granulometrie je stálá v čase.

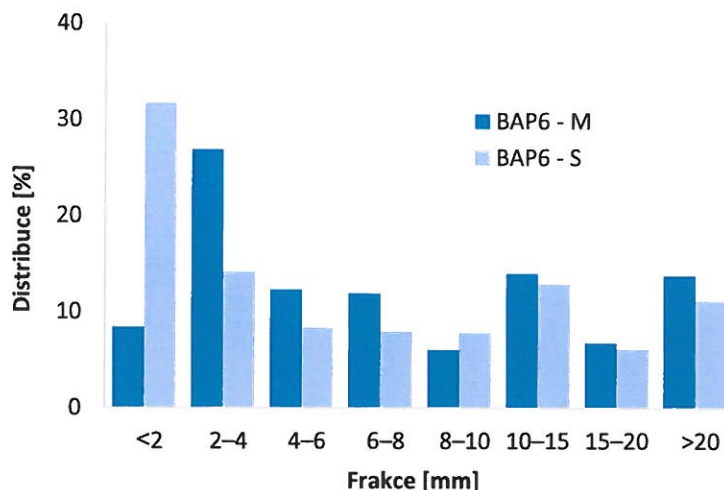


Obr. Distribuce velikosti částic denních vzorků BAP1, BAP2 a BAP3



Obr. Distribuce velikosti částic integrálních vzorků a) BAP4, BAP5 a b) BAL1, BAL2

Materiálově využívány jsou nejčastěji částice nad 2 mm, zpracování menších částic než 2 mm je také možné, ale není obvyklé. Frakce pod 2 mm ovšem tvoří významný podíl z celkové hmotnosti strusky, mezi 30 až 35 %. Pro reálné zpracování a zvýšení účinnosti separace kovů, je vhodné jemné částice oddělit od zbytku materiálu, což je pomocí síťování značně obtížné, pokud je struska zpracovávána za vlhka, jak je také vidět na Obr. . U vzorku BAP6 bylo pro srovnání provedeno síťování vysušeného (BAP6 – S) a surového vzorku bez předsušení (BAP6 – M). Z Obr. je patrné, že částice pod 2 mm byly za vlhka oddělitelné pouze z jedné třetiny oproti suchému stavu a byly kumulovány ve větších frakcích, kde vytvářely shluky s dalšími částicemi.



Obr. Srovnání distribuce velikosti částic vysušeného (BAP6 – S) a surového (BAP6 – M) vzorku strusky

3.2 Materiálové složení strusky

Při analýze materiálového složení byly vzorky strusky děleny na sklo, keramiku a porcelán, magnetickou frakci, v ní obsažený železný šrot, neželezné kovy, nespálený organický materiál a reziduální frakci.

Tab. Celková bilance materiálového složení všech analyzovaných vzorků strusky

FRAKCE	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5	BAP6	BAL1	BAL2
Sklo	18	20	19	15	24	18	10	13
Porcelán a keramika	2,7	3,1	3,3	1,8	3,5	5,2	2,3	2,7
Nespálený org. materiál	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	1,0	0,6
Magnetická frakce	15	24	21	20	16	15	19	18
Z toho železný šrot	0,8	8,9	5,5	3,1	4,5	2,7	2,0	1,1
Neželezné kovy	1,9	1,9	1,8	1,7	2,0	2,4	1,4	1,3
Frakce do 2 mm	22	18	30	34	33	32	36	38
Reziduální frakce	40	33	24	27	21	27	31	27

Celkové složení všech analyzovaných vzorků strusky je uvedené v Tab. . Je vypočítáno na základě rozboru frakcí nad 2 mm. Frakce pod 2 mm je vzhledem ke svému významnému podílu ve strusce zahrnuta do celkové bilance jako samostatná složka.

Z výsledků vyplývá vysoký podíl skla v rozmezí 10–24 %. Významný podíl hmotnosti tvořilo sklo zejména ve frakcích mezi 6 a 20 mm jak je vidět v Tab. a Tab. . Zhruba 65 % skla tvořily skleněné střepy transparentní bez intenzivního znečištění, které mohou být recyklovatelné. Zbytek skla tvořily skelné aglomeráty, u kterých nelze zpětné získání očekávat, či střepy s napečenými částicemi popela, které by bylo nutné pro recyklaci mechanicky odstranit.

Obsah keramiky a porcelánu se pohyboval v rozmezí 1,8–5,0 % a jeho největší podíl, mezi 50 a 70 %, byl zastoupen ve frakcích nad 15 mm.

Nespálený organický materiál se skládal především z kusů papíru, dřeva, plastů nebo různých syntetických i přírodních vláken. Jeho obsah byl ve vzorcích ze ZEVO A prakticky totožný. Mírně vyšší hodnoty byly stanoveny u vzorků pocházejících ze ZEVO B. Ve všech případech byly ovšem

zjištěny hodnoty výrazně pod 5 %. Rozdíl v obsazích nespáleného organického materiálu může vznikat vlivem rozdílných technologií a parametrů spalovacího procesu obou spaloven.

Obsah magnetické frakce byl u jednotlivých vzorků poměrně variabilní. Podobně se měnil i podíl železného šrotu. Vyšší obsahy železného šrotu byly stanoveny ve strusce ze ZEVO A. Z ročních bilancí materiálových toků spaloven vyplývá, že vyseparovaný železný šrot v ZEVO A tvoří 5,8 % z celkového množství vyprodukované strusky. V případě ZEVO B je tato hodnota vyšší, 7,5 %. Je tedy patrné, že zjištěný rozdíl vzniká částečně také vyšší účinností magnetické separace v ZEVO B. Kromě účinnosti magnetické separace může být obsah železného šrotu dále ovlivněn rozdílným charakterem svozových oblastí spaloven.

Vzhledem ke granulometrii podíl magnetické frakce rostl s klesající velikostí částic. Naopak podíl železného šrotu tímto směrem klesal (viz Tab. a Tab.). Převážná část magnetická frakce byla kromě železného šrotu tvořena různorodými částicemi s magnetickými vlastnostmi. Výsledky analýzy ukázaly, že tyto částice obsahují 15–20 % železa, kolem 4 % hliníku, 10 % vápníku, a další kovy jako měď, zinek, nebo hořčík v minoritních koncentracích. Magnetické vlastnosti jsou tedy důsledkem přítomnosti sloučenin železa a nejpravděpodobněji jeho oxidů.

Obsah neželezných kovů se pohyboval kolem 2 % v případě ZEVO A. U ZEVO B byl zjištěný podíl nižší, a sice 1,3 a 1,4 %. Tento rozdíl byl pravděpodobně opět způsoben rozdílným charakterem svozových oblastí spaloven.

Majoritní podíl všech neželezných kovů tvořil hliník a jeho slitiny, které byly při separaci odděleny jako lehké kovy. XRF analýza vytvořených ingotů ukázala 90–95% obsah hliníku a přítomnost dalších kovových prvků jako 0,6 % hořčíku, 0,1–0,6 % mědi, 0,5–0,8 % železa, 0,2 % chromu, 0,1 % zinku nebo 2–4 % křemíku. Tyto prvky mohou být legurami hliníkových slitin nebo nečistotami, kterými byl hliník kontaminován v průběhu spalovacího procesu. Barevné kovy byly tvořeny převážně mědí a jejími slitinami. Frakce těžkých kovů byla tvořena částicemi z nerezové oceli a slitinami zinku a mědi. Mezi těžkými kovy byly identifikovány také slitiny hliníku s vyššími podíly křemíku a mědi nebo zinku a hořčíku. Byl pozorován rozdíl v zastoupení neželezných kovů v ZEVO A a ZEVO B. Složení frakce neželezných kovů v případě ZEVO A bylo následující: 80 % hliníku, 10 % těžkých kovů a 10 % kovů barevných. U ZEVO B složení odpovídalo hodnotám: 60 % hliníku, 10 % těžkých kovů a 30 % barevných kovů. Tento rozdíl mohl být opět způsoben rozdílnou lokací spaloven a částečně také jejími sociálními aspekty.

Tab. Složení jednotlivých frakcí vzorku BAP5

Frakce (mm)	2–4	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	> 20
Sklo	19,3	30,9	43,2	50,6	59,1	42,4	8,2
Porcelán a keramika	0,7	0,7	1,4	4,0	7,1	18,8	23,7
Nespálený org. materiál	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7
Magnetická frakce	44,6	20,2	11,0	13,3	11,2	17,4	48,2
<i>Z toho železný šrot</i>	2,3	1,8	3,0	4,9	5,2	11,4	41,3
Neželezné kovy	1,9	2,6	3,4	3,9	5,0	2,4	1,6
Reziduální frakce	32,9	45,0	40,7	27,9	17,3	18,6	17,6

Tab. Složení jednotlivých frakcí vzorku BAL2

Frakce (mm)	2–4	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	> 20
Sklo	8,7	18,0	27,1	37,3	36,6	17,3	4,2
Porcelán a keramika	0,2	0,8	2,2	5,0	7,7	13,7	24,4
Nespálený org. materiál	0,2	0,7	1,0	0,7	0,8	1,4	6,7
Magnetická frakce	40,3	28,0	26,1	16,2	18,0	20,2	28,1
<i>Z toho železný šrot</i>	0,7	1,1	1,1	1,3	2,5	4,3	8,2
Neželezné kovy	1,6	2,3	2,6	2,3	2,3	2,0	2,1
Reziduální frakce	49,1	50,1	41,0	38,6	34,5	45,4	34,5

4 Závěr

Energetické využití odpadů může být součástí recyklačního procesu, kdy zejména kovy a také sklo mohou být separovány ze strusky. Nerecyklovaný podíl pak lze využít ve stavebním průmyslu. Při separaci recyklovatelného podílu strusky dochází i k odstranění některých nežádoucích komponent strusky z pohledu stavebního průmyslu, jako je např. elementární hliník.

Byl proveden rozbor vzorků strusky ze spaloven v Malešicích (ZEVO A) a v Liberci (ZEVO B). Při granulometrickém rozboru byl zjištěn vysoký podíl částic pod 2 mm, které tvořily až 40 % z celkové hmotnosti strusky. Tyto částice nejsou v současné době obvykle zpracovávány a mohou výrazně snižovat účinnost separačních procesů, zejména pokud je struska zpracovávána za vlhka. Jejich oddělení před separací kovů je žádoucí, nicméně technologicky obtížné. Vzhledem k materiálovému složení byl sledován obsah železných a neželezných kovů, magnetické frakce, obsah skla, keramiky a porcelánu, nespáleného organického materiálu a reziduálních materiálů. Bylo zjištěno, že ve strusce je obsaženo 10–24 % skla, 2–5 % keramiky a porcelánu, 0,2–1 % nespáleného organického materiálu, magnetická frakce se železným šrotem tvořily souhrnně 15–24 %. Samotný železný šrot potom tvořil 1–9 % z celkové hmotnosti strusky. Obsah neželezných kovů se pohyboval mezi 1,3 a 2,4 %. Reziduální frakce spolu s frakcí částic pod 2 mm potom tvořily mezi 50 a 70 %. Zjištěné hodnoty jsou v souladu s publikovanými výsledky ze zahraničí a v hrubém rozsahu je složení strusky podobné.

Ze získaných výsledků vyplynul vliv granulometrie na složení strusky, kdy bylo například zjištěno, že sklo je kumulováno ve frakcích mezi 6 a 20 mm, že obsah magnetické frakce klesá směrem k hrubým frakcím a naopak podíl železného šrotu tímto směrem roste. Při porovnání jednotlivých výsledků byla zjištěna variabilita v obsahích magnetické frakce a železného šrotu u vzorků odebíraných s krátkým časovým rozestupem. Při srovnání integrálních vzorků, které byly odebrány s odstupem několika měsíců, byly pozorovány výraznější rozdíly u obsahů skla, keramiky a porcelánu, magnetické frakce a železného šrotu, nicméně pro vytvoření schématu popisujícího vliv ročního období na složení strusky by bylo nezbytné analýzy opakovat ve stejných periodách.

Při vzájemném porovnání výsledků ZEVO A a ZEVO B byly zjištěny rozdíly v obsahu železných i neželezných kovů. V případě ZEVO A byl stanoven vyšší obsah železného šrotu než při rozboru strusky ze ZEVO B. Z ročních bilancí materiálových toků spaloven vyplývá, že vyseparovaný železný šrot v ZEVO A tvoří 5,8 % z celkového množství vyprodukované strusky. V případě ZEVO B je tato hodnota vyšší, 7,5 %. Je tedy patrné, že zjištěný rozdíl vzniká částečně vyšší účinností magnetické separace v ZEVO B. Obsah neželezných kovů byl v případě strusky ze ZEVO B opět nižší. Bylo také stanoveno, že neželezné kovy ze ZEVO A se skládají z 80 % z hliníku a po 10 % z barevných a těžkých neželezných kovů. Neželezné kovy v ZEVO B byly tvořeny hliníkem z 60 %, z 10 % těžkými neželeznými kovy a 30 % potom tvořily barevné neželezné kovy. Zde se pravděpodobně projevil vliv charakterů svozových oblastí spaloven, kdy ZEVO A sváží odpad z typicky městské zástavby, zatímco ZEVO B sváží odpad nejen z města, ale také z okolních obcí.

5 Poděkování

Práce vznikla v rámci Centra kompetence pro energetické využití odpadů (projekt TE02000236) s podporou Technologické agentury České republiky. Za spolupráci a poskytnutí vzorků patří poděkování Ing. Tomáši Balochovi, Pražské služby, a.s., ZEVO Malešice a Ing. Petru Novákovi a Ing. Josefu Jadrnému, Termizo, a.s. Liberec.

6 Literatura

- ¹ CEWEP [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://www.cewep.eu/about/cewep/index.html>.
- ² EUROSTAT [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics.
- ³ CHIMENOS, J. M., et al. Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, 1999, vol. 64, p. 211–222.
- ⁴ BERKHOUT, S. P. M., et al. Optimizing Non-Ferrous Metal Value from MSWI Bottom Ashes. *Journal of Environmental Protection*, 2011, vol. 2, p. 564–570.
- ⁵ VAN DER SLOOT, H., et al. *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. New York: Elsevier, 1997. ISBN 04-448-2563-0.
- ⁶ MUCHOVÁ, L. *Wet physical separation of MSWI bottom ash: PhD thesis*. TU Delft, 2010.
- ⁷ MORF, L. S., et al. Precious metals and rare earth elements in municipal solid waste – Sources and fate in a Swiss incineration plant. *Waste Management*, 2013, vol. 33, p. 634–644.