

Charakterizace strusky ze zařízení pro energetické využití odpadů

Aneta Krausová, Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Ústav energetiky VŠCHT v Praze
(krausova@icpf.cas.cz)

Michal Šyc, Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.

Martin Pavlas, Ústav procesního inženýrství, VUT v Brně

Radovan Šomplák, Ústav procesního inženýrství, VUT v Brně

Petra Kameníková, Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.

Souhrn

Struska ze spaloven komunálních odpadů obsahuje řadu cenných materiálů, zejména železné a neželezné kovy, které mohou být využity jako druhotná surovina. Minerální zbytek, po vytěžení cenných složek, je dále vhodné využít jako náhradu přírodních surovin ve stavebním průmyslu. V České republice je linka pro získávání neželezných kovů instalována na spalovně SAKO Brno, ostatní dvě spalovny separují pouze 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 následující materiálové složení: 10–24 % sklo, 2–4 % keramika a porcelán, 12–17 % magnetická frakce, 1,1–4,5 % železný šrot, 1,3 a 2,4 % neželezné kovy, 40–70 % reziduální frakce s částicemi pod 2 mm. Obsahy jednotlivých složek byly studovány s ohledem na granulometrii. Dále byly sledovány změny složení v závislosti na charakteru svozové oblasti spaloven a na základě získaných výsledků byl nastíněn ekonomický potenciál získávání kovů.

Klíčová slova: struska, energetické využití odpadů, separace kovů, komunální odpad

1 Úvod

Zpracování komunálních odpadů (KO) v zařízeních pro energetické využití odpadů (ZEVO) je důležitým článkem systému odpadového hospodářství. Moderní trendy ukazují, že ZEVO mohou, kromě využití energetického obsahu odpadu, participovat také na recyklaci některých cenných složek, zejména kovů, případně skla a to především ze strusky, která tvoří majoritní podíl tuhých zbytků po spalování odpadů, ve výjimečných případech i z popílku.

Struska ze spalování KO 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. Složení strusky odpovídá složení spalovaného odpadu, které je variabilní v závislosti na lokalitě ZEVO, tedy na charakteru osídlení, systému a efektivitě odděleného sběru druhotných surovin atd. Vliv na složení může mít také roční období nebo použitá technologie ZEVO. V ČR jsou v současnosti v provozu tři ZEVO, která vyprodukují zhruba 160 000 tun strusky ročně. Struska je v ČR využívána především jako materiál pro technické zabezpečení skládek. Většina strusky je tedy umístěna na skládku včetně cenných kovových materiálů, které by bylo možné dále využít. Linka pro získávání železných a především také neželezných kovů je instalována na spalovně SAKO Brno. Zbylé dvě spalovny prozatím separují pouze železný šrot.

Běžně využívané technologie pro získávání kovů jsou založeny na suchých mechanických separačních procesech. Spalovny jsou standardně vybaveny magnetickým separátorem pro získávání železného šrotu. K separaci neželezných kovů jsou využívány především vířivé proudy (ECS-eddy current separator). Konvenční separace kovů je obvykle prováděna jednokrokově po rozsítování na

hrubou a jemnou frakci, kdy se hranice síťování pohybuje mezi 20 a 40 mm. Kvůli širokému rozmezí velikostí částic, přítomnosti jemných částic a vlhkosti strusky (zhruba 20–25 %) jsou tyto postupy obvykle využitelné pro separaci kovových částic s velikostí nad 8–10 mm. Účinnost separace železných kovů se pak pohybuje zhruba mezi 60–80 % a mezi 20–30 % pro neželezné kovy (Koralewska, 2013). Pro zvýšení účinnosti 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.

Práce je zaměřena na stanovení materiálového složení vzorků strusky ze dvou ZEVO v ČR (Termizo Liberec a ZEVO Malešice). U analyzovaných vzorků strusky byla stanovena distribuce velikosti částic a její vliv na materiálové složení. Vzorky strusky byly tříděny na sklo, keramiku a porcelán, magnetickou frakci, železný šrot, neželezné kovy, nespálený organický materiál a reziduální frakci. Obsahy jednotlivých složek byly studovány s ohledem na granulometrii. Dále byly sledovány změny složení v závislosti na lokaci spaloven. Na základě získaných výsledků byl dále nastíněn ekonomický potenciál získávání kovů.

2 Experimentální část

2.1 Odběr vzorků

Analyzovány byly vzorky strusky ze dvou českých spaloven, a sice ze ZEVO v Malešicích a v Liberci. Odběry vzorků byly jak v pražské, tak v liberecké spalovně provedeny certifikovanou odběrovou skupinou. Informace o odběrech vzorků jsou uvedeny v Tab. 1. V ZEVO Malešice byly vzorky odebírány na konci dopravníku strusky po magnetické separaci. V případě liberecké spalovny byl místem odběru vzorků kontejner sloužící pro odvoz strusky z areálu spalovny, taktéž po magnetické separaci.

Tab. 1 Přehled informací o odběrech analyzovaných vzorků

Vzorek	Místo odběru	Datum odběru	Hmotnost [kg]
P1	ZEVO Malešice	2.–4., 8. 7. 2014	115
P2	ZEVO Malešice	27.–31. 10. 2014	120
P3	ZEVO Malešice	4.–8., 11., 12. 5. 2015	272
L1	Termizo Liberec	16.–20. 6. 2014	84
L2	Termizo Liberec	22.–24. 10., 27. 10. 2014	90

2.2 Analýza materiálového složení

Vzorky strusky byly nejprve vysušeny při laboratorních podmínkách. Po vysušení následovalo stanovení distribuce velikosti částic síťováním mezi následujícími 8 velikostních frakcí, 0–2 mm, 2–4 mm, 4–6 mm, 6–8 mm, 8–15 mm, 15–20 mm a nad 20 mm.

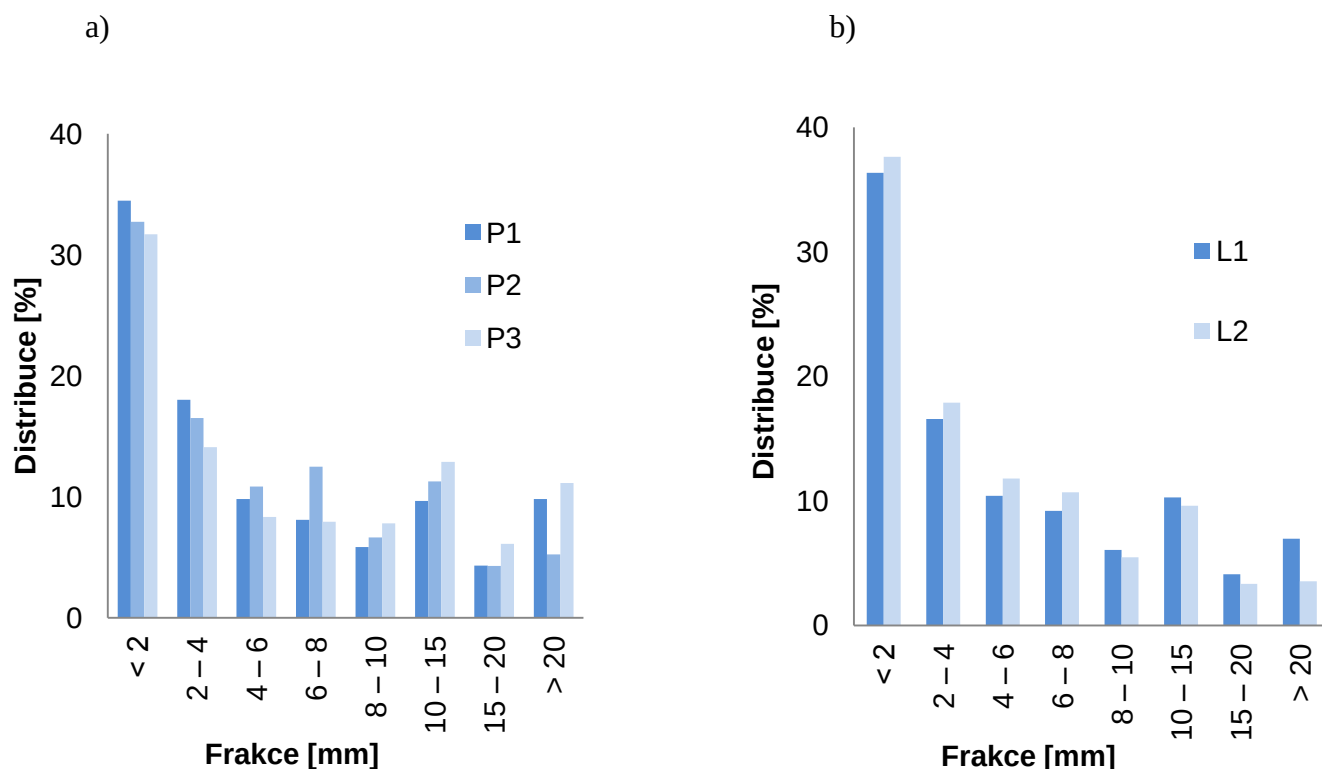
Získané velikostní frakce (mimo frakcí pod 2 mm) byly analyzovány pro stanovení materiálového složení. Prvním krokem analýzy byla separace magnetické frakce a železného šrotu pomocí magnetického separátoru. Nemagnetický zbytek byl dále ručně tříděn na sklo, keramiku a porcelán, neželezné kovy, nespálený organický materiál a reziduální frakci. Kovové částice jsou velmi často aglomerovány s dalšími materiály. Z důvodu přesnějšího stanovení celkového obsahu kovů ve strusce byly magnetické a reziduální frakce nad 4 mm opakovaně drceny, pro uvolnění kovových částic z aglomerátů. U frakce 2–4 mm byl stanoven obsah hliníku pomocí reakce v alkalickém prostředí za současného uvolňování vodíku, kdy je objem vygenerovaného vodíku úměrný obsahu kovového hliníku ve vzorku.

Nemagnetické kovy získané manuální separací byly dále 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, zatímco kovy s vyšší hustotou klesnou ke dnu.

3 Výsledky

3.1 Výsledky analýzy materiálového složení

Jedním z rozhodujících faktorů pro materiálové využití strusky je vhodná granulometrie. Zjištěné distribuce velikosti částic jsou uvedeny na Obr. 1. U vzorků z obou spaloven, ačkoli byly odebrány s delším časovým odstupem, jsou distribuce velikostí částic velmi podobné a nevykazují výraznější odchylky. Lze tedy říci, že při odběru vícedenních integrálních vzorků vzniká průměrný vzorek jehož granulometrie je stálá v čase. Distribuce velikosti částic jsou shodné u vzorků pocházejících z jedné spalovny, ale také při porovnání vzorků mezi spalovnami.



Obr. 1 Distribuce velikosti částic vzorků strusky: a) P1-P3, b) L1 a L2

Celkové složení všech analyzovaných vzorků, získané rozбором frakcí nad 2 mm, je uvedené v Tab. 2. Frakce pod 2 mm byla, 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. 3 a Tab. 4. Zhruba 65 % skla tvoří transparentní střepy bez intenzivního znečištění, které mohou být recyklovatelné. Zbytek skla tvoří skelné aglomeráty, u kterých nelze zpětné získání očekávat, či skleněné střepy s napečenými částicemi popela, které by bylo nutné pro recyklaci mechanicky odstranit.

Obsah keramiky a porcelánu se pohyboval v rozmezí 1,8–5,2 % 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 se ve vzorcích pohyboval mezi 0,3 a 1,0 %. Ve všech případech byly tedy zjištěny hodnoty výrazně pod 5 %.

Obsah železného šrotu je u jednotlivých vzorků poměrně variabilní. V případě ZEVO Malešice se obsah železného šrotu pohyboval kolem 3 a 4 %. Pro Termizo Liberec byl stanoven obsah 1,1 a 2,0 %. Vzhledem ke granulometrii obsah železného šrotu roste s rostoucí velikostí částic (viz Tab. 3 a Tab. 4). Vzorky z obou spaloven byly analyzovány po magnetické separaci v provozu spaloven, tudíž byl stanovený obsah železného šrotu pouze zbytkový. Z ročních bilancí materiálových toků spaloven

vyplývá, že vyseparovaný železný šrot v ZEVO Malešice tvoří zhruba 6 % z celkového množství vyprodukované strusky (přepočteno na sušinu). V případě Termiza Liberec je tato hodnota zhruba 4 %.

Kromě železného šrotu byly při magnetické separaci odděleny také částice nekovového charakteru s magnetickými vlastnostmi, které byly označeny jako magnetická frakce. Vzhledem ke granulometrii podíl magnetické frakce roste s klesající velikostí částic, tedy opačně než je tomu u železného šrotu (viz Tab. 3 a Tab. 4). Výsledky analýzy magnetické frakce 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 Malešice. U Termiza Liberec byl zjištěný podíl nižší, a sice 1,3 a 1,4 %. Majoritní podíl všech neželezných kovů tvořil hliník a jeho slitiny, které byly při separaci odděleny jako lehké kovy. XRF analýza hliníkových částic ukázala 90-95% obsah hliníku a přítomnost dalších 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.

Při analýze byl pozorován rozdíl v zastoupení neželezných kovů ve spalovnách. Složení frakce neželezných kovů v případě ZEVO Malešice bylo zhruba následující: 80 % hliníku, 10 % těžkých kovů a 10 % kovů barevných. U Termiza Liberec složení odpovídalo hodnotám: 64 % hliníku, 12 % těžkých kovů a 24 % barevných kovů.

Tab. 2 Celková bilance materiálového složení všech analyzovaných vzorků sušiny strusky (hm. %)

FRAKCE	P1	P2	P3	L1	L2
Sklo	14,5	24,2	18,4	9,7	12,9
Porcelán a keramika	1,8	3,5	5,2	2,3	2,7
Nespálený org. materiál	0,3	0,3	0,6	1,0	0,6
Magnetická frakce	17,4	11,8	12,2	16,6	16,5
Železný šrot	3,1	4,5	2,7	2,0	1,1
Neželezné kovy	1,7	2,0	2,4	1,4	1,3
Frakce do 2 mm	34,5	32,6	31,7	36,3	37,6
Reziduální frakce	26,7	21,1	26,8	30,7	27,3

Tab. 3 Složení velikostních frakcí sušiny vzorku P2 (hm. %)

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	0,8	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	42,3	18,4	7,9	8,5	6,1	6,0	6,9
Železný šrot	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	27,8	17,1	18,6	17,6

Tab. 4 Složení velikostních frakcí sušiny vzorku L2 (hm. %)

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	39,6	26,9	25,0	15,0	15,4	15,9	19,8
Železný šrot	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	49,0	50,2	41,0	38,4	34,7	45,4	34,6

3.2 Vliv charakteru svozové oblasti

Z analýzy materiálového složení vyplynuly rozdíly ve složení strusky pocházející ze spaloven ZEVO Malešice a Termizo Liberec. Rozdíly byly opakovaně pozorovány u obsahů recyklovatelných složek, tedy u obsahů skla a kovů (viz Tab. 2).

Svozovou oblastí spalovny v Malešicích je především Hlavní město Praha, kde převládá sídlištní typ zástavby, tedy domovní jednotky s více než 8 obyvateli na jedno číslo popisné představující 84 % z celkové zástavby. Pouze 16 % obyvatel žije v zástavbě do 8 obyvatel na jedno číslo popisné (typově se jedná o rodinné domy). Spalovna Termizo Liberec sváží odpad z několika okresů v rámci libereckého kraje. Téměř polovina obyvatel této oblasti (46 %) žije v rodinných domech, čímž se zásadně liší od svozové oblasti pražské spalovny. Data využitá pro analýzu typu zástavby byly čerpány z databáze ČSÚ (sčítání lidu, domů a bytů 2011). Vzhledem k celkové produkci KO a jejich hlavní frakce, směsného komunálního odpadu (SKO) na jednoho obyvatele jsou oblasti prakticky srovnatelné. Liší se nicméně v intenzitě odděleného sběru recyklovatelných surovin. V Praze je v rámci odděleného sběru na jednoho obyvatele separováno větší množství skla, papíru i plastů, zatímco ve svozové oblasti liberecké spalovny je separováno větší množství kovového odpadu. Potřebná data byla poskytnutá agenturou CENIA na základě požadavku autorů. Jednalo se o odpad produkovaný obcemi a občany obce (nebyl zahrnut odpad produkovaný firmami). Data pocházejí z databáze *Informačního systému odpadového hospodářství* (ISOH).

Na základě znalosti charakteru zástavby, produkce odpadů, intenzitě odděleného sběru a předešlých analýz složení SKO v oblastech s charakteristickým typem zástavby (sídlištní zástavba velkého města, sídlištní zástavba menšího města, venkovská zástavba apod.) byl vytvořen matematický model, pomocí něhož lze odhadovat složení SKO v zadané oblasti (metodika odhadu je detailně popsána v Šomplák 2016). Tento přístup byl využit v rozsáhlé studii pro MŽP s názvem *Příprava podkladů pro oblast podpory odpadového hospodářství 2014 až 2020*. Z odhadu vyplynulo velmi podobné složení SKO

v obou prověřovaných svozových oblastech. Obsah kovů se v obou případech pohyboval kolem 2,5 % a obsah skla kolem 7,5 %, z čehož vyplynulo, že složení SKO by nemělo mít v konkrétním případě liberecké a pražské spalovny vliv na složení strusky.

Jako zásadní se nicméně ukázal typ spalovaného odpadu. V pražské spalovně je z 95 % spalován SKO, zbytek je pak tvořen materiálově nevyužitelným KO a dále odpady mimo KO, především živnostenskými odpady, které nemají uplatnění na trhu s druhotnými surovinami a bylo by nutné odstranit je skládkováním. V případě liberecké spalovny tvoří SKO 83 % a podíl spalovaných ostatních odpadů je tak vyšší. Tyto odpady neobsahují sklo ani kovy, a tudíž nenavýšují jejich obsah ve strusce. Typ spalovaného odpadu je tedy významný faktor ovlivňující složení strusky a měl by být brán v potaz při rozhodování o aplikaci technologie pro separaci kovů, případně skla.

3.3 Ekonomický potenciál získávání kovů

V této kapitole je uvedeno zjednodušené nastínění ekonomického potenciálu recyklace železných a neželezných kovů na příkladu roční produkce ZEVO Malešice. Spalovnou je ročně vyprodukováno zhruba 77 000 tun surové strusky, tj. při přepočtu na sušinu 62 000 tun. Vzhledem k výsledkům analýzy strusky, je ve strusce obsaženo zhruba 5 700 tun železného šrotu a téměř 1 200 tun neželezných kovů.

Bilance nastiňuje několik scénářů při aplikaci různých technologií pro separaci Fe šrotu a NFe kovů s rozdílnou účinností. Byly zvoleny dvě hranice separace kovových částic, a to 10 mm a 4 mm, dvě účinnosti separace NFe kovů 30 a 85 % a účinnost separace Fe šrotu 85 %. Majoritní podíl Fe šrotu je obsažen v částicích nad 10 mm. Při zpracování částic nad 4–10 mm je pak možné získat pouze o 6 hm. % více Fe šrotu než při zpracování frakcí pouze nad 10 mm. Výrazný rozdíl je ovšem u NFe kovů, u kterých je teoreticky možné získat až dvojnásobné množství při zpracování frakce nad 4 mm.

Vytvoření bilance předcházely průzkum cen jednotlivých kovů na evropském i tuzemském trhu. Zjištěné ceny za prodej železa se pohybovaly v rozmezí 80–160 EUR za tunu, za prodej hliníku mezi 800–1000 EUR za tunu, za prodej mědi mezi 3500–4000 EUR za tunu (Metal prices, 2015; Lamers 2015; ceníky kovového šrotu na tuzemském trhu). Pro výpočet ekonomického potenciálu byly však použity ceny kovů výrazně redukovány oproti těmto hodnotám, neboť cena prodáváného kovu/suroviny je také velmi závislá na čistotě. Pro výpočty byly zvoleny kombinace cen kovů, které mohou v současné době odpovídat cenám z prodeje kovů separovaných ze strusky na tuzemském a zahraničním trhu. První variantou bylo 1000 Kč za tunu Fe šrotu a 7000 Kč za tunu NFe kovů, druhou variantou bylo 2000 Kč za tunu Fe šrotu a 13500 Kč za tunu NFe kovů. Při další frakcionaci NFe kovů na Al, barevné a těžké kovy lze očekávat vyšší cenu za jednotlivé komodity. Orientační tržby z prodeje kovů pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Orientační tržby z prodeje kovů

Účinnost separace		Orientační tržby (mil. Kč/rok)			
		Nad 10 mm		Nad 4 mm	
Železný šrot	Neželezné kovy	1.	2.	1.	2.
85 %	30%	5,5	10,9	6,8	13,5
85 %	85 %	7,4	14,6	10,6	20,9

4 Závěr

Na základě analýzy materiálového složení vzorků strusky ze spaloven v Praze-Malešicích a v Liberci bylo zjištěno, že ve strusce je obsaženo 10–24 % skla, 2–5 % keramiky a porcelánu, 0,3–1,0 % nespáleného organického materiálu, magnetická frakce tvořila 12–17 %. Obsah železného šrotu se pohyboval kolem 1–5 % z celkové hmotnosti strusky, nicméně je nutno podotknout, že jde o zbytkový obsah, neboť vzorky před odběrem ve spalovně prošly magnetickým separátorem. Obsah neželezných kovů se pohyboval mezi 1,3 a 2,4 %. Reziduální frakce spolu s frakcí částic pod 2 mm potom souhrnně

tvořily mezi 50 a 70 %. Částice pod 2 mm mohou samostatně tvořit 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.

Ze získaných výsledků dále 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 vzájemném porovnání složení vzorků strusky byly zjištěny rozdíly v obsazích recyklovatelných složek. Ve strusce ze spalovny Termizo Liberec byly opakovaně stanoveny nižší obsahy skla a kovů. Jelikož se složení strusky odvíjí od složení spalovaného odpadu, byl prověřen vliv charakteru svozové oblasti spaloven na složení SKO. Za základě predikce složení SKO v daných svozových oblastech bylo v obou případech zjištěno velmi obdobné zastoupení jednotlivých složek (včetně skla a kovů), z čehož vyplynulo, že rozdíly ve složení strusky nebyly v případě těchto dvou spaloven pravděpodobně nijak výrazně ovlivněny charakterem svozových oblastí. Jako stěžejní se ovšem ukázal typ spalovaného odpadu. V liberecké spalovně je spalován menší podíl SKO. Zbylé odpady neobsahují sklo ani kovy, a tudíž nenavýšuje jejich obsah ve strusce.

Na základě stanoveného obsahu kovů ve strusce ze ZEVO Malešice byly nastíněny možné tržby z prodeje kovů při jejich separaci z různých velikostních frakcí, s rozdílnou účinností a při rozdílných cenových variantách. Železný šrot je kumulován především ve větších velikostních frakcích a dosáhnout jeho účinné separace je snazší, než v případě neželezných kovů, které jsou obsaženy rovnoměrně ve všech velikostních frakcích. Dosažení vysokých účinností při separaci NFe kovů již vyžaduje aplikaci pokročilých technologií, a tedy také vyšší investiční náklady. Nicméně při zpracování frakce 4–10 mm je možné získat zhruba o 50 % vyšší tržby, než při zpracování strusky pouze nad 10 mm. Dalšího navýšení tržeb lze dosáhnout při frakcionaci NFe kovů na hliník a barevné a těžké kovy.

Literatura:

KORALEWSKA, R. Waste-to-Energy as part of urban mining – Recovery of metals from bottom ash. 8th ISWA Beacon Conference on Waste-to-Energy, Malmö, Sweden, 27-28 November 2013.

LAMERS, F. Treatment of bottom ashes of waste to energy installations: State of the art. In: Waste management: Waste-to-energy vol. 5. Vienna: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, s. 271-290. ISBN 978-3-944310-22-0.

Metal prices [online]. [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <https://www.metalprices.com/>.

ŠOMPLÁK R., PAVLAS M., SMEJKALOVÁ V. Pokrok ve vývoji nástroje pro predikci produkce a složení komunálních odpadů, TVIP 2016, Hustopeče, březen 2016.

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.