národní
úložiště
šedé
literatury

Materiálové využití strusky za spaloven komunálního odpadu

Šyc, Michal
2015

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-181126

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

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

Datum stažení: 30.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Materiálové využití strusky za spaloven komunálního odpadu

Michal Šyc, *Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., (syc@icpf.cas.cz)*

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

Aneta Krausová, *VŠCHT v Praze*

Tomáš Baloch, *Pražské služby, a.s., ZEVO Malešice*

Boleslav Zach, *Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.*

Michael Pohořelý, *Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.*

Karel Svoboda, *Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.*

Miroslav Punčochář, *Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.*

Souhrn

Struska ze spalování komunálního odpadu obsahuje řadu využitelných materiálů, jako jsou železné (5-13 %) i neželezné kovy (2-5 %), kovy vzácných zemin, sklo a keramika (15-30 %) a minerály využitelné ve stavebnictví (50-70%). Složení strusky odpovídá spalovanému odpadu, je tedy vysoce variabilní dle lokality spalovny a ročního období. Příspěvek sumarizuje vhodné postupy pro získání těchto složek a analýzu složení strusky ze ZEVO Malešice.

Klíčová slova: *ZEVO, komunální odpad, struska, recyklace, neželezné kovy*

1. Úvod

Energetické využití odpadů je jedním z klíčových směrů odpadového hospodářství. V EU je v provozu zhruba 400 zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO) s celkovou kapacitou cca 72 milionů tun ročně (Kleppmann F, 2014). Energetické využití odpadů je tedy spolu s recyklací jedním z klíčových směrů odpadového hospodářství, které zajišťuje využití odpadů. Stále ovšem v Evropě končí více jak 80 milionů tun odpadu bez využití na skládkách. Moderní trendy také ukazují, že zařízení EVO 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 totiž vysoký potenciál jako sekundární zdroj pro recyklaci řady materiálů, jako jsou železné i neželezné kovy, kovy vzácných zemin, sklo, minerály využitelné ve stavebnictví apod. Složení strusky odpovídá spalovanému odpadu, je tedy vysoce variabilní v závislosti na lokalitě ZEVO (charakter osídlení, systém a efektivita separovaného sběru druhotných surovin) a na ročním období. Kromě toho hraje roli také použitá technologie ZEVO (typ roštu, způsob odvodu strusky), ta má ovšem vliv spíše na vlastnosti strusky, jakými jsou granulometrie či nedopal apod., než na obsah jednotlivých cenných složek.

Udávané složení strusky se pohybuje v rozmezí 5–13 % železných kovů, 2–5 % neželezných kovů, 15–40 % skla a keramiky, 1–5 % nespálené organiky a 50–70 % minerální frakce (Chimenos et al., 1999; Berkhout et al., 2011; van der Sloot,1999; Muchova, 2010). Kromě celkového obsahu těchto složek je klíčový pro další zpracování i jejich recyklovatelný podíl, celková náročnost technologie zpracování strusky a odbyt recyklovaných komodit včetně minerálního zbytku pro stavební průmysl. V současné době roste snaha strusku takto materiálově využít a je vyvíjena řada technologických konceptů pro její zpracování včetně prvotních pokusů získávat vzácné kovy a kovy vzácných zemin ze strusky (Morf et al., 2013).

2. Metody separace strusky

Pro úpravu strusky s cílem využití železných a neželezných kovů, případně dalších materiálů, se v současné době používají výhradně metody mechanické separace. Standardně je na každé spalovně instalován magnetický separátor, kterým jsou odstraněny větší kusy železného šrotu, obvykle přímo za odvodem strusky z kotle. V nejjednodušším uspořádání se jedná o magnet umístěný nad pásovým dopravníkem se struskou. Tímto způsobem je ovšem získán pouze malý podíl železných částic větších rozměrů.

Konvenční zpracování strusky pro materiálové využití

Účinnější separace kovů vyžaduje předúpravu strusky, kdy v prvním kroku je vhodné ponechat strusku po dobu alespoň několika dní v meziskladu, aby se snížil obsah vlhkosti. Dalším krokem je rozsítování na hrubou a jemnou frakci, přičemž hranice se nejčastěji pohybuje mezi 20 a 40 mm. Pro sítování je nutné použít zařízení odolná vůči zanesení jemnými lepivými částicemi, jako jsou hvězdicová síta, bubnové třídiče nebo různé typy vibračních sít. V některých technologiích následuje drcení hrubé frakce s cílem rozbít aglomerované částice a uvolnit obsažené kovy. Následně jsou z každé velikostní frakce vytříděny železné kovy magnetickým separátorem a neželezné kovy pomocí separátoru využívajícího vířivé proudy (ECS – eddy current separator). Tyto tradiční technologie jsou schopny získat kovy o velikosti částic nad 10 mm a jejich celková účinnost se pohybuje kolem 80 % pro železné kovy a 20–30 % pro neželezné kovy z jejich celkového obsahu ve strusce (Koralewska, 2013). Zvýšení účinnosti a rozšíření separovatelné frakce až na cca 2 mm je možné dosáhnout pomocí předsušení strusky a zpracování po užších velikostních frakcích (Walker, 2010).

Mokrá separace

Největší problém pro dosažení vyšší účinnosti při separaci kovů především z jemných frakcí představuje fakt, že struska je z kotle odváděna mokrou cestou přes vodní uzávěru, která slouží jednak jako bariéra mezi kotlem a okolním prostředím a dále k ochlazení odcházející strusky. Mokrá struska je ovšem komplikovaným materiálem pro další mechanickou úpravu, protože jemné částice popela zalepují technologická zařízení, především síta, a obalují částice kovů, které jsou pak těžko dostupné pro separátory. Jednou z navržených technologií pro řešení těchto problémů je mokrá separace, která byla jako pilotní jednotka instalována kolem roku 2005 na spalovně v Amsterdamu. V tomto systému po hrubé separaci klasickým způsobem následuje mokrá separace, kdy jednotlivé separační procesy probíhají ve vodním proudu. Řada technologických zařízení, jako je gravitační separátor, mokrý ECS, mokrý magnetický separátor, aj. (Muchová, 2010) byla vyvinuta pro účely instalace mokré separace na spalovně v Amsterdamu. Účinnost separace železných kovů navržené technologie byla 83 % a neželezných kovů 73 % (Muchová, 2006). Nevýhodou technologie je ovšem velká spotřeba procesní vody a s ní spojené ekonomické náklady.

Optimalizovaná suchá separace

Později byla také na spalovně v Amsterdamu vyvinuta ve spolupráci firmy Inashco a TU Delft jiná technologie, založená na optimalizované suché separaci. Metoda nazvaná ADR (Advanced Dry Recovery) umožňuje separaci velmi jemných částic, na které je především vázána vlhkost, bez předchozího sušení strusky nebo přídavku vody. Hrubší frakce pak může být s vysokou účinností zpracována konvenční metodou, a to až po velikost částic 0,5 mm (Inashco, 2014). Účinnost separace železných i neželezných kovů dosahuje až 85 % (Koralewska, 2013).

Separace využívající suchý odvod strusky

Se zvyšujícími se nároky na účinnost separace neželezných kovů a také s výhledem na možnou separaci drahých kovů, kovů vzácných zemin, případně i dalších prvků, se začaly vyvíjet technologie, které nahradily mokrý odvod strusky suchým systémem. Tyto systémy byly instalovány ve dvou spalovnách ve Švýcarsku – ve spalovně KEZO v Hinwilu byla technologie vyvinuta pracovníky spalovny ve spolupráci s nadací ZAR (ZAR Dry Discharge, 2014), ve spalovně SATOM Monthey byl systém dodán firmou Martin (Martin Dry Discharge, 2014). Suchou strusku je možno bez větších potíží rozsítovat na požadované velikostní frakce a z jednotlivých frakcí separovat kovy za použití magnetických separátorů a vířivých proudů. Ve spalovně KEZO jsou takto zpracovávány frakce 0,2–

0,7 mm, 0,7–5 mm a >5 mm, přičemž účinnost separace železných i neželezných kovů přesahuje 95 %. Získaná frakce neželezných kovů je dále dělena na separačních stolech na lehkou frakci (hliník) a těžkou frakci (měď, olovo, zinek, cín) (KEZO, 2012).

Separace skla

Na spalovně OLO v Bratislavě byla v roce 2011 instalována pilotní jednotka pro separaci nejen železných a neželezných kovů, ale i skla (Makari, 2014). Pro separaci skla je nutná předúprava strusky, která zahrnuje její rozsítování a odstranění jemné frakce pod 7 mm, sušení ve fluidní sušárně, mechanické čištění otěrem částic následované odstraněním prachu. Z takto upravené strusky jsou magneticky separovány železné kovy a pomocí ECS neželezné kovy. Sklo je poté tříděno separátorem založeným na optické detekci. Senzor detekuje částice skla, které jsou po vyhodnocení řídícím počítačem vyfukovány tlakovým vzduchem z proudu materiálu do příslušného zásobníku.

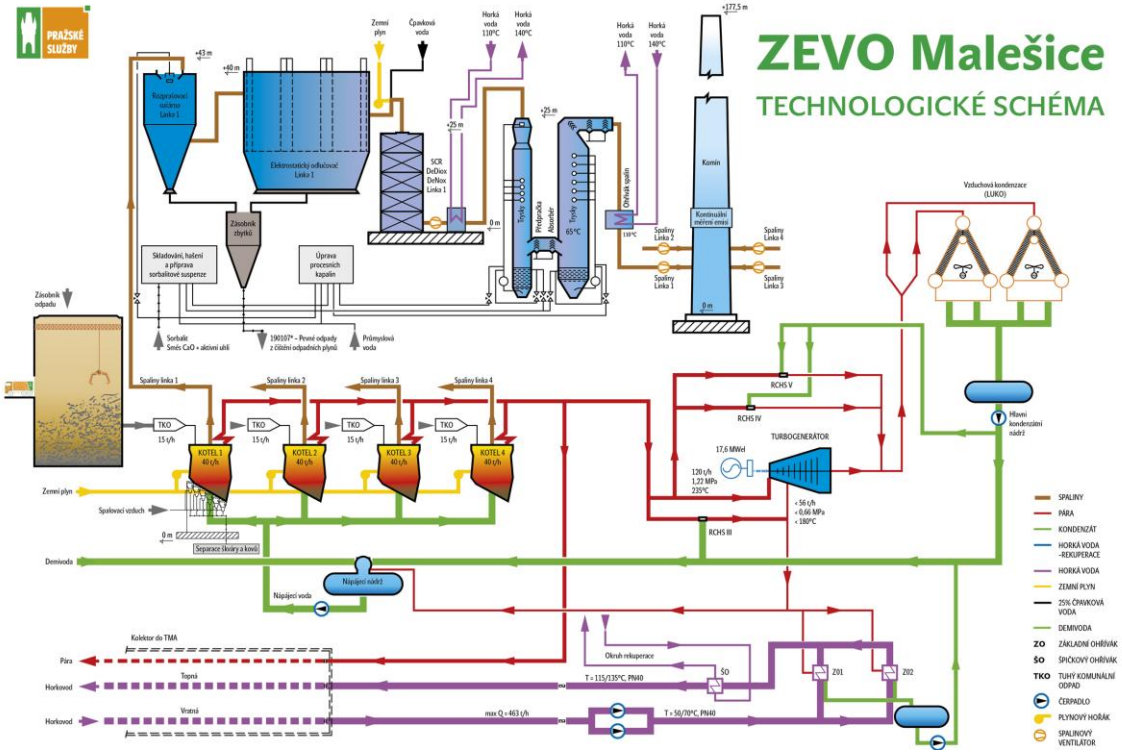
Separace kovů pomocí senzorů

Různé typy senzorů je možné využít také pro separaci kovů (Bunge, 2010). Elektromagnetický senzor je umístěn pod pásovým dopravníkem, na kterém musí být struska nasypána v tenké vrstvě. Řídící jednotka vyhodnocuje polohu detekovaných částic a ty jsou vyfukovány tlakovým vzduchem z proudu materiálu, který padá z pásového dopravníku. Je možné využít i jiné typy senzorů, např. XRF pro rozlišení různých kovů nebo optický systém pro třídění materiálu podle barvy. Vzhledem k relativní složitosti tohoto způsobu separace, nutnosti značného výpočetního výkonu řídící jednotky a nezanedbatelné spotřebě tlakového vzduchu je v současné době tato aplikace vhodná spíše pro zpracování materiálů s vyšší ekonomickou hodnotou, jako je např. separace elektroodpadů.

3. Experimentální část

Pro detailní analýzu byly v červnu a červenci 2014 odebrány 4 vzorky strusky ze ZEVO Malešice označené BAP1-4. Vzorky označené BAP1-3 jsou jednodenní vzorky, hmotnost každého odebraného vzorku byla v rozmezí 15-20 kg. Vzorek BAP4 je vzorek čtyřdenní, hmotnost vzorku byla 115 kg. Vzorky byly odebrány z bunkru strusky, tj. před magnetickou separací, velké kusy kovového šrotu nebyly úmyslně vzorkovány. Schéma ZEVO Malešice je uvedené na Obr. 1. Spalovna je pro zpracování strusky osazena magnetickou separací železného šrotu. Celková produkce strusky v roce 2014 byla 74 480 t, získáno bylo také 3 723 tun železného šrotu.

Vzorky strusky byly po odběru vysušeny ve volně sypané vrstvě o výšce do 5 cm při laboratorní teplotě po dobu 7 dnů. Suchá struska byla pro další analýzy rozsítována na 8 frakcí, a to: <2 mm, 2–4 mm, 4–6 mm, 6–8 mm, 8–10 mm, 10–15 mm, 15–20 mm a >20 mm. Každá velikostní frakce pak byla manuálně tříděná na: sklo, porcelán a keramiku, magnetickou frakci, nemagnetické kovy, nespálené zbytky a residuální frakci. Magnetická a residuální frakce byly dále zpracovány pro určení detailního složení, a to opakovaným mletím na kulovém mlýnu s manuální separací částic nad 0,5 mm. Částice nad 0,5 mm byly tříděny na železný šrot (zjevné železné kusy), neželezné kovy, magnetické částice a residuální frakci. Jako nedopal v Tab. 4 a Tab. 5 je uvedena suma nespálených zbytků (kusy textilu, papíru apod.) z manuálního třídění a nedopal stanovený dle ČSN EN 15403 (v suchém vzorku při 550 °C).

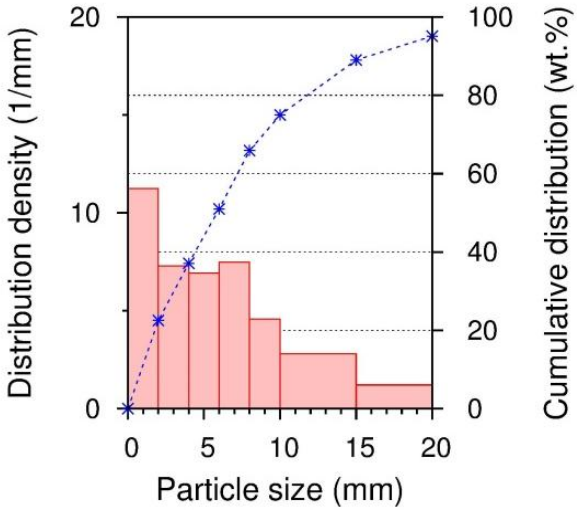


Obr. 1. Schéma ZEVO Malešice

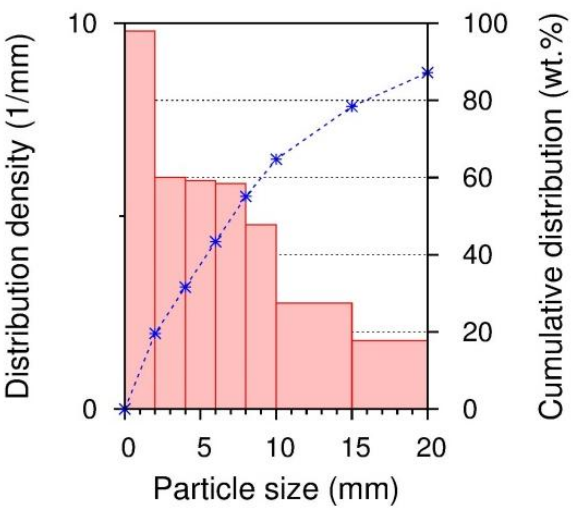
4. Výsledky

Jedním z rozhodujících faktorů pro materiálové využití strusky je vhodná granulometrie. Zjištěná distribuce velikosti částic je uvedena na Obr. 2. Z výsledků je zřejmá značná heterogenita vzorků, např. nejmenší frakce částic do 2 mm tvoří 20–35 % vzorku dle odběru. Materiálově využívány jsou nejčastěji částice nad 2 mm, jak je patrné z kapitoly 2, zpracování menších částic než 2 mm je také možné, ale není obvyklé. Pro reálné zpracování je také nutné zúžit počet zpracovávaných frakcí, nejčastěji je struska zpracovávána ve 3-5 velikostních frakcích. To vede k menší investiční náročnosti celé technologie, ale na druhou stranu i k nižší výtěžnosti recyklovaných materiálů. Studované vzorky byly rozsítovány na celkem 8 frakcí, hlavně z důvodu detailnější znalosti distribuce recyklovatelných materiálů mezi tyto frakce.

a) BAP1

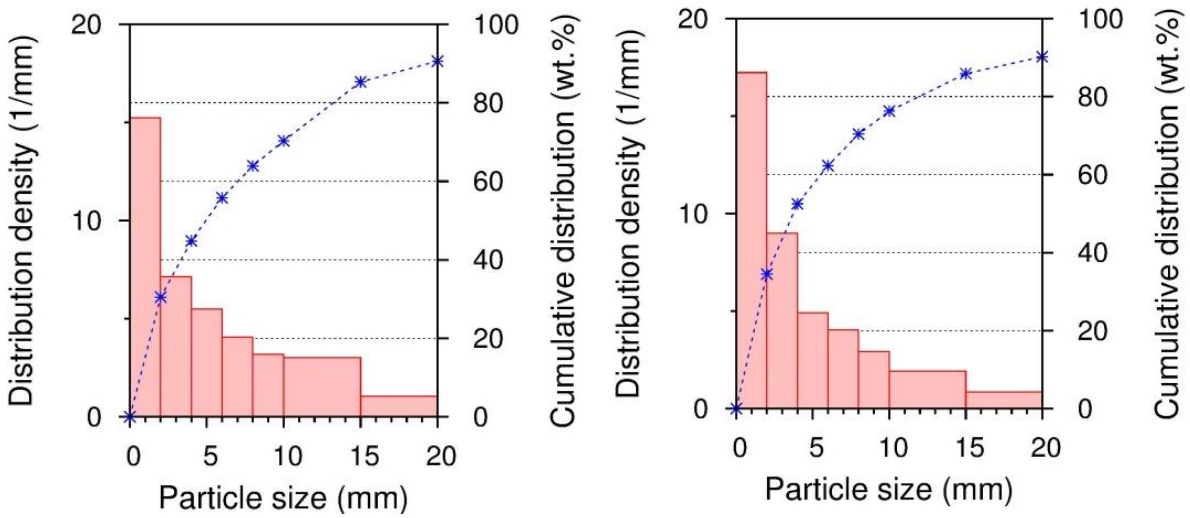


b) BAP2



c) BAP3

d) BAP4



Obr. 1a-d Distribuce velikosti částic vzorků strusky BAP1-4

Výsledky manuálního rozboru frakcí nad 4 mm jsou uvedeny v Tab. 1 až Tab. 4. U vzorku BAP4 jsou uvedeny i výsledky manuálního rozboru frakce 2-4 mm. Souhrnné složení analyzovaných vzorků je pak uvedeno v Tab. 5.

Z výsledků vyplývá vysoký podíl skla v rozmezí 30-40 % ve frakcích 6-20 mm. Zhruba 40-60 % skla tvoří skleněné střepy bez 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. Keramika pak tvoří významnou složku obou frakcí nad 15 mm, a to s podílem většinou nad 10 % v některých případech až 20 %. Výsledky také ukazují, že obsah magnetické frakce je velmi variabilní v závislosti na vzorku. Podobně se výrazně mění podíl magnetické frakce v jednotlivých velikostních frakcích částic, i když minimální podíl je ve většině případu ve frakci 8-10 mm. Železný šrot tvoří u částic pod 10 mm do 15 % z celkového podílu magnetické frakce. Zbytek magnetické frakce tvoří různorodá směs částic, pro kterou je z pohledu možného využití nutné provést detailní prvkovou analýzu. Výsledky této analýzy nejsou v současné době k dispozici. U frakcí nad 10 mm lze pozorovat nárůst podílu železného šrotu a také výraznější kolísání podílu, což je dáno zejména velikostí zpracovávaného vzorku. Zjištěný trend je ovšem jasný a ve frakcích nad 10 mm je podíl železného šrotu zjevně vyšší. Obsah neželezný kovů se ve většině studovaných frakcí pohybuje okolo 3 %. Dominantní složkou těchto kovů je hliník, zjištěny byl ovšem i některé slitiny či měď. Detailnější kvalitativní rozbor bude proveden. Zbytková frakce popela a minerálů tvoří většinou mezi 30 a 50 %.

Podle očekávání z Tab. 1 až Tab. 4 vyplývá značná variabilita vzorků i v krátkém časovém horizontu. Vliv delšího časového horizontu včetně ročního období bude sledován v další fázi. Z toho pohledu se jako nejvíce representativní jeví rozbor vzorku BAP4, který byl odebrán po dobu čtyř dnů a manuálně bylo tříděno i největší množství jednotlivých frakcí.

Tab. 1 Složení jednotlivých frakcí vzorků strusky BAP1 (v %)

Frakce (mm)	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	>20
Sklo a porcelán	12	26	36	33	28	9,2
Keramika	0,26	0,96	1,7	4,8	15	16
Magnetická frakce	7,0	19	12	15	9,0	16
Z toho železný šrot	0,57	0,47	1,3	1,6	0,62	5,4
Neželezné kovy	2,7	2,5	2,2	2,7	3,1	1,2
Zbytek	78	52	48	45	45	58

Tab. 2 Složení jednotlivých frakcí vzorků strusky BAP2 (v %)

Frakce (mm)	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	>20
Sklo a porcelán	15	31	40	41	41	10
Keramika	0,13	0,46	2,5	3,6	8,9	14
Magnetická frakce	23	18	14	14	16	23
Z toho železný šrot	1,7	1,5	2,4	2,1	2,7	4,9
Neželezné kovy	3,2	2,7	3,1	3,3	3,1	1,1
Zbytek	59	48	41	39	32	52

Tab. 3 Složení jednotlivých frakcí vzorků strusky BAP3 (v %)

Frakce (mm)	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	>20
Sklo a porcelán	25	36	41	42	37	9,5
Keramika	0,34	1,2	1,9	4,1	18	17
Magnetická frakce	22	14	14	19	18	40
Z toho železný šrot	1,6	2,1	1,2	4,6	6,8	24
Neželezné kovy	2,9	3,0	3,6	2,5	1,5	2,6
Zbytek	49	47	39	32	25	31

Tab. 4 Složení jednotlivých frakcí vzorků strusky BAP4 (v %)

Frakce (mm)	2–4	4–6	6–8	8–10	10–15	15–20	>20
Sklo a porcelán	17	22	32	34	34	28	3,7
Keramika	0,22	0,15	0,55	1,5	3,6	10	11
Nedopal	2,6	1,5	1,5	1,6	1,2	1,5	1,0
Magnetická frakce	45	25	23	19	23	24	24
Z toho železný šrot	0,78	1,3	2,3	2,8	6,2	4,4	1,0
Neželezné kovy	2,1	2,9	2,9	3,2	3,3	1,6	3,4
Zbytek	33	48	40	41	36	35	57

Celkové složení strusky uvedené v Tab. 5 je vypočítáno na základě rozboru frakcí nad 0,2 mm. Z Tab. 5 vyplývá obsah skla ve strusce v rozpětí 15-22 %, obsah keramiky 2,0-3,5 %, obsah neželezných kovů okolo 2 %, magnetických podíl strusky v rozmezí 15-20 %.

Tab. 5 Celkové složení analyzovaných vzorků strusky (v %)

	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4
Sklo a porcelán	18	22	20	15
Keramika	2,7	3,3	3,4	2,0
Magnetická frakce	15	18	20	19
Z toho železný šrot	0,8	1,8	3,7	1,4
Neželezné kovy	1,9	2,1	1,8	1,8
Zbytek	38	34	25	26
Frakce do 2 mm	23	20	31	33
Nedopal	2,7	2,1	2,4	2,3

5. 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 (kovy a sklo) dochází i k odstranění některých nežádoucích komponent strusky z pohledu stavebního průmyslu, jako je např. elementární hliník.

Byl proveden rozbor vzorků strusky ze ZEVO Malešice, sledován byl obsah železných a neželezných kovů, obsah skla, keramiky, nedopalu a zbytkový podíl. Bylo zjištěno, že ve strusce je průměrný obsah skla 15-20 %, obsah keramiky 2-4 %, magnetická frakce tvoří 15-20 % strusky (z toho tvoří železný šrot do 4 %) a neželezné kovy okolo 2 %. Zjištěné hodnoty jsou v souladu s publikovanými výsledky ze zahraničí a v hrubém rozsahu je složení strusky podobné. V další fázi bude sledován vliv ročního období na celkové složení strusky, tak ať je reálně stanoven potenciál strusky s ohledem na recyklaci vybraných složek. Proveden bude také detailnější rozbor kovové frakce (magnetické frakce i neželezných kovů). Na základě zjištěného složení strusky budou také prověřeny a navrženy vhodné technologických postupy zpracování strusky včetně vyhodnocení reálné ekonomické aplikovatelnosti zvolených postupů.

6. Poděkování

Práce vznikla v rámci Centra kompetence pro energetické využití odpadů (projekt TE02000236) s podporou Technologické agentury České republiky.

7. Literatura

Berkhout S.P.M., Oudenhoven B.P.M., Rem P.C. Optimizing Non-Ferrous Metal Value from MSWI Bottom Ashes, Journal of Environmental Protection, 02 (2011) 564-570.

Bunge R. Wertstoffgewinnung aus KVA-Rostasche. In: KVA-Rückstände in der Schweiz. Der Rohstoff mit Mehrwert (Schenk K., ed.). Bundesamt für Umwelt, Bern, 2010, 170–184.

Chimenos J., Segarra M., Fernández M., Espiell F., Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator, Journal of Hazardous Materials, 64 (1999) 211-222.

Del Valle-Zermeno R., Giró-Paloma J., Prieto M., Formosa J., Chimenos J.M. Glass Content in MSWI Bottom Ash. Effectiveness Assessment of Recycling Over Time. Second Symposium on Urban Mining, Bergamo, Italy, 2014.

Inashco Presentation. [Online]. Available: http://www.aebamsterdam.nl/media/1323/04-presentatie-bodemas.pdf. [Accessed 16.12. 2014].

KEZO. Wir nennen es Thermorecycling, AT Recovery, 2012, 01. Available: http://zar-ch.ch/fileadmin/user_upload/Contentdokumente/Medien/recovery_12_01.pdf

Kleppmann F. Current developments in European Waste-to-Energy. In: Waste Management Volume 4 Waste-to-Energy, Eds.: Thomé-Kozmiensky K.J., Thiel S., ISBN 978-3-944310-15-2.

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.

Makari C. Optical sorting for recovery of glass from WIP Slags - Pilot plant in Bratislava. In: Waste Management – Waste-to-Energy (Thomé-Kozmiensky Karl J.; Thiel, S., Ed.). TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, 345-354.

Martin Dry Discharge. [Online]. Available:http://www.martingmbh.de/en/dry-discharge-system.html. [Accessed 11.4. 2014].

Morf L.S., Gloor R., Haag O., Haupt M., Skutan S., Di Lorenzo F., Boni D., Precious metals and rare earth elements in municpal solid waste – Sources and fate in a Swiss incineration plant, Waste Management, 33 (2013) 634–644.

Muchová L., Rem P. Metal content and recovery of MSWI bottom ash in Amsterdam. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 92 (2006) 211–216.

Muchová L. Wet Physical Separation of MSWI Bottom Ash, PhD Thesis, TU Delft, 2010.

van der Sloot H., Municipal solid waste incinerator residues. New York: Elsevier, 199, 974 p. ISBN 04-448-2563-0

Walker B. Sortierung und Ablagerung von KVA-Schlacke. In: KVA-Rückstände in der Schweiz. Der Rohstoff mit Mehrwert (Schenk K., ed.). Bundesamt für Umwelt, Bern, 2010, 165–169.

Wei Y., Takayuki S., Amirhomayoun S., Fumitake T. Mineralogical characterization of municipal solid waste incineration bottom ash with an emphasis on heavy metal-bearing phases. Journal of Hazardous Materials. 187 (2011) 534-543.

ZAR Dry Discharge. [Online]. Available: http://zar-ch.ch/en/home/competencesprojects/dry-discharge. [Accessed 11.4. 2014].