

IP 19

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,  
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

# Mineralogie škvár ze spalování TKO

Bakalářská práce

Jana Šebestová



Vedoucí diplomové práce: RNDr. Vojtěch Ettler, Ph.D.

Praha 2006

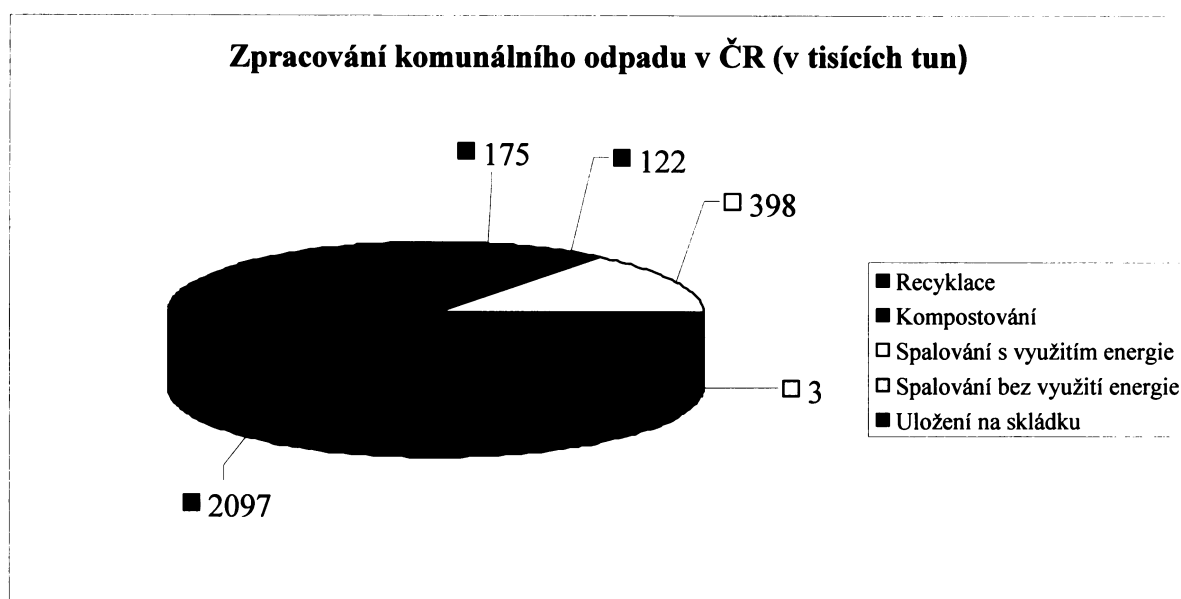
## **OBSAH**

1. Úvod	1
2. Zaměření bakalářské práce	2
3. Technologie spalovny	2
4. Chemismus škvár	4
5. Mineralogické složení škvár	5
5.1. Refraktorní produkty	6
5.2. Produkty tavení	7
6. Závěr	11
Přehled použité literatury	12

## 1. ÚVOD

Všeobecně se šířící modernizace společnosti s sebou přináší i řadu problémů a jedním z nich je i otázka odpadového hospodářství. V současné době množství odpadu neustále stoupá a problematika nakládání s odpady je proto velmi aktuální. Řada industrializovaných zemí si jako řešení zvolila likvidaci odpadu spalováním.

Spalování je z chemického hlediska termooxidační proces, při kterém se biogenní prvky (C, S, N, H) oxidují za uvolnění tepla (exotermická reakce). Při tomto způsobu zpracování odpadů se využívá jejich energetického potenciálu na výrobu energie a dosahuje se tak úspor primárních neobnovitelných zdrojů surovin a energií (fosilních paliv). Z obrázku 1 je patrné, jaké množství odpadu je v ČR likvidováno spalováním.



Obr. 1. Zpracování komunálního odpadu v ČR (zdroj: Eurostat, 2006)

Spalování odpadu má oproti jiným způsobům likvidace velkou výhodu, a to zejména z pohledu redukce jeho objemu. V případě tuhého komunálního odpadu (dále jen TKO) dochází při jeho spalování k redukci objemu až o 90% a k redukci hmotnosti až o 70% (Izquierdo et al., 2002). Kromě prostorové úspory má spalování TKO další přednosti, zejména rychlost procesu zneškodnění, sterilitu a fyzikální konzistenci odpadu.

Komunálním odpadem se rozumí veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a je zařazen do 20. skupiny Katalogu odpadů s výjimkou odpadů vznikajících u právnických nebo fyzických osob oprávněných k podnikání (czso, 2006).

Do kategorie TKO především spadají: uliční odpady a smetky, odpady ze zahrad a parků, kaly ze septiků a žump a tuhé odpady z domácností (enviweb, 2006).

## 2. Zaměření bakalářské práce

Tato práce se zabývá mineralogickým složením škvár, které vznikají při spalování TKO. Škvára je heterogenní odpadový materiál, jehož chemismus a fázové složení odráží kompozici odpadu vstupujícího do spalovacího kotle.

Škváry ze spalování TKO mohou být nebezpečné díky toxickým sloučeninám, kterými mohou být při svém vzniku obohaceny. Například těžké kovy (As, Pb), dioxiny a dibenzofurany se ve škvárách koncentrují a nastává u nich pak větší riziko úniku kontaminace při ukládání těchto produktů, než při ukládání původního TKO na skládce. 1 nej. Hájek

Je tedy zřejmé, že pro bezpečné a efektivní zacházení se škvárami ze spalování TKO jsou nutné znalosti o jejich vlastnostech. Cílem této práce je s pomocí dostupných literárních zdrojů popsat, jak vypadá mineralogické složení škvár ze spalování TKO.

Při studiích zaměřených na stanovení mineralogického složení škvár ze spalování TKO byly použity pouze částice škváry, které neprošly žádným následným procesem, který by vedl k poškození vnitřní textury částic (např. při alteraci). Zachování vnitřní textury umožňuje získat adekvátní popis tavení a krystalizačních procesů, ke kterým dochází během spalování a ochlazování.

Zkoumáním těchto částic škvár lze určit, které primární minerální fáze prošly spalovacím procesem beze změny jako refraktorní komponenty a které fáze vznikly krystalizací z taveniny vzniklé v peci spalovny (Eusden et al., 1999).

Například křemen ( $\text{SiO}_2$ ), živce  $((\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , ostrohranné fragmenty skla či kovů (např. konzerv), jsou typickým příkladem refraktorní složky a nevznikají krystalizací z taveniny po odstranění žhavého popele ze spalovací komory (Eusden et al., 1999).

## 3. Technologie spalování

Odpady určené pro likvidaci spalováním jsou sváženy do zásobníku odpadu, tzv. bunkru. Odpad lze na základě Katalogu odpadů dělit do dvaceti základních skupin a několika podskupin. Tabulka 1 je výčtem ze seznamu odpadů přijímaného libereckou spalovnou Termizo. V tabulce jsou uvedeny druhy odpadů zpracovávaných ve spalovně a jim odpovídající katalogová čísla.

Tab. 1. Výčet ze seznamu odpadů přijímaného spalovnami odpadů (Termizo, 2006)

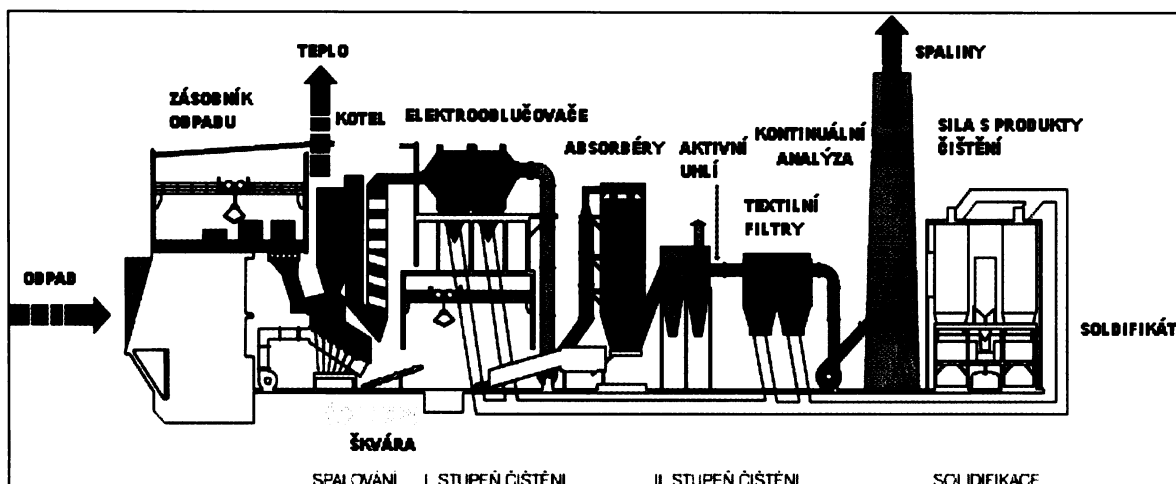
02 01	odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
02 02	odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
02 03	odpady z výroby a ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, kaka, kávy, a tabáku; odpady z konzervářského a tabákového průmyslu, z výroby droždí a kvasničného extraktu, z přípravy a kvašení melasy
02 05	odpady z mlékářského průmyslu
02 06	odpady z pekáren a výroby cukrovinek
02 07	odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů (s výjimkou kávy, čaje a kaka)
03 01	odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
03 03	odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
04 01	odpady z kožedělného a kožešnického průmyslu

04 02	odpady z textilního průmyslu
07 02	odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání plastů, syntetického kaučuku a syntetických vláken
07 05	odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání farmaceutických výrobků
08 01	odpady z výroby, zpracování, distribuce, používání a odstraňování barev a laků
08 03	odpady z výroby, zpracování, distribuce, používání tiskařských barev
08 04	odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání lepidel a těsnících materiálů (včetně vodotěsnících výrobků)
09 01	odpady z fotografického průmyslu
12 01	odpady z tváření a z fyzikální a mechanické povrchové úpravy kovů a plastů
15 01	obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu)
15 02	absorpční činidla, filtrační materiály, čisticí tkaniny a ochranné oděvy
16 01	vyřazená vozidla (autovraky) z různých druhů dopravy (včetně stavebních strojů) a odpady z demontáže těchto vozidel a z jejich údržby
16 02	odpady z elektrického a elektronického zařízení
17 02	dřevo, sklo a plasty
17 04	kovy (včetně jejich slitin)
17 06	izolační materiály s obsahem azbestu
17 09	jiné stavební a demoliční odpady
18 01	odpady z porodnické péče, z diagnostiky, z léčení nebo prevence nemocí lidí
18 02	odpady z výzkumu, diagnostiky, léčení a prevence nemoci zvířat
19 08	odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené
19 09	odpady z výroby vody pro spotřebu lidí nebo vody pro průmyslové účely
19 12	odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drcení, lisování, peletizace)
20 01	složky z odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01)
20 02	odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
20 03	ostatní komunální odpady

Zdroj: Termizo, 2006

Velkoobjemový odpad je v případě potřeby drcen hydraulickými nůžkami na drobnější strukturu. Obsah bunkru je neustále míchán jeřábem a nakládán do násypky kotle. V kotelně je instalováno spalovací zařízení, které se skládá z roštu, hydraulické stanice a topeniště. V samotném ohništi dosahuje teplota 950 - 1100°C, při které nastane proces termicko-oxidačního rozkladu odpadu na jednotlivé složky. Vzniklé spaliny jsou při prostupu parním kotlem postupně ochlazovány až na teplotu cca 200°C (výstupní teplota z kotle). Doba setrvání spalin při teplotě 850°C je asi dvě sekundy, aby došlo k dokonalému rozložení organických látek (Termizo, 2006).

Na konci roštu vypadne z kotle škvára, která je kontinuálně vyvážena do škvárového bunkru. Zde může být smíchána s popílkem. Tato směs se označuje jako popeloviny, které jsou následně dále upravovány. Drapákem se popeloviny podávají přes hřebenový rošt, který slouží k oddělení hrubých kovových částí, do násypky a pomocí transportního pásu se přivádějí k magnetickému separátoru. Zde se oddělí od popelovin železný šrot, který se využívá jako druhotná surovina. Popeloviny se v současné době často využívají jako stavební materiál (Termizo, 2006).



Obr. 2. Schéma spalovny Termizo v Liberci (Termizo, 2006)

#### 4. Chemismus škvár

Kirby a Rimstidt (1993) ve své studii porovnávají koncentrace prvků přítomných ve škváře a v průměrné půdě a z toho usuzují, které prvky mohou být největším potenciálním problémem. Pro zjištění obsahů hlavních a vedlejších prvků využívají celkovou chemickou analýzu.

Tab. 2. Příklad celkové chemické analýzy škváry ze spalování TKO (Kirby a Rimstidt, 1993)

Oxidy	% ± 2σ	Oxidy	% ± 2σ
SiO <sub>2</sub>	33,4 ± 0,8	MnO <sub>2</sub>	0,24 ± 0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,4 ± 6,6	Cu <sub>2</sub> O	0,22 ± 0,06
LOI	9,7 ± 4,6	BaO	0,12 ± 0,06
CaO	9,1 ± 1,0	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(5,5 ± 0,4) × 10 <sup>-2</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,7 ± 3,6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(5,0 ± 0,4) × 10 <sup>-2</sup>
Na <sub>2</sub> O	4,2 ± 0,2	SrO	(2,6 ± 0,2) × 10 <sup>-2</sup>
SO <sub>4</sub>	3,5 ± 0,8	CdO	(1,6 ± 0,6) × 10 <sup>-2</sup>
		SnO <sub>2</sub>	(1,4 ± 0,2) × 10 <sup>-2</sup>
K <sub>2</sub> O	1,7 ± 0,4	NiO	(1,4 ± 0,6) × 10 <sup>-2</sup>
TiO <sub>2</sub>	1,6 ± 0,1	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(1,1 ± 0,4) × 10 <sup>-2</sup>
MgO	1,5 ± 0,4	Ag <sub>2</sub> O	(3,0 ± 1,8) × 10 <sup>-3</sup>
ZnO	>1,25 ± ?	CoO	(2,3 ± 1,2) × 10 <sup>-3</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,1 ± 0,52	SeO <sub>2</sub>	2,0 × 10 <sup>-3</sup>
Cl	1,04 ± 0,08	Hg	5,0 × 10 <sup>-4</sup>
		Au	5,0 × 10 <sup>-5</sup>
PbO	0,41 ± 0,12		
		suma	91,3 ± 9,0

Škvára se utváří v oxidačních podmínkách. Tabulka 2 představuje chemickou analýzu typické škváry uvedenou v hmotnostních procentech oxidů. Nižší celková suma analýzy (91,3%) v sobě zahrnuje i hodnotu ztráty žháním (LOI-Loss on ignition), která činila cca 9,7%. Hodnota LOI představuje adsorbovanou vodu, strukturní vodu a organickou hmotu.

Nejvíce hmotnostních procent zaujímá SiO<sub>2</sub>, jelikož značná část škváry (až 72%) je tvořena převážně sklem. Z chemické analýzy matricového skla je patrné, že může být až ze 62% tvořeno SiO<sub>2</sub> (Eusden

et al., 1999). Zastoupení SiO<sub>2</sub> ve skle je několikanásobně (až 6krát) větší než zastoupení dalších významnějších oxidů.

V tabulce 3. jsou uvedeny obsahy hlavních, vedlejších a stopových prvků ve škváře. Izquierdo et al. (2002) pro svou studii používají vzorky ze sedmi spaloven ve Španělsku. Procentuální obsah hlavních prvků ve škváře je velice podobný ve všech spalovnách. Oproti tomu koncentrace vedlejších a stopových prvků ve škvářích z jednotlivých spaloven je velice proměnlivá (Izquierdo et al., 2002). Hodnoty obsahů některých vedlejších a stopových prvků značně překračují přípustná množství pro tyto prvky v půdách (af.mendelu., 2006).

Tab. 3. Rozsah obsahů hlavních, vedlejších a stopových prvků ve škváře ze sedmi spaloven ve Španělsku (Izquierdo et al., 2002)

Hlavní prvky (% hm)		Vedlejší a stopové prvky (µg/g)			
Si	14,9-24,5	Cu	750-4000	Sn	80-340
Ca	9,5-12,8	Mn	550-2800	V	40-302
Na	3,0-4,0	Ba	450-1300	Ni	38-140
Al	2,5-5,2	Zn	380-3400	Co	9,0-14
Fe	2,0-7,1	Pb	233-3500	As	7,0-20
Mg	0,8-1,4	Cr	240-450	Mo	3,0-11
K	0,8-1,3	Sr	200-450	Cd	<1,0-14
P	0,4-0,8				
S	0,2-0,4				

## 5. Mineralogické složení škvár

Škvára obsahuje široké spektrum fází, ale nízký detekční limit rentgenové difrakční analýzy cca (3%) umožňuje určení pouze těch významnějších. Škváry obsahují dvě základní skupiny složek: refraktorní odpadní produkty a produkty tavení. Lze je rozdělit na základě mineralogie, tvaru krystalů, textury a přítomnosti dutin v částicích (Eusden et al., 1999).

Hlavními složkami škváry jsou amorfni sklovitá matrice, křemen (SiO<sub>2</sub>) a kalcit (CaCO<sub>3</sub>). Menšinové podíly živce ((K,Na)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) jsou obvykle zastoupeny v hrubých frakcích.

Fáze s obsahem Fe jako hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) se běžně ve škvářích nalézají ve stopových příměsích. Ostatní minoritní fáze, které byly identifikovány, jsou diopsid (Ca(Mg,Fe)Si<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), wollastonit (CaSiO<sub>3</sub>), dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), cristobalit (SiO<sub>2</sub>) a jílové minerály. Čerstvě vyprodukovaná škvára dále ještě obsahuje stopová množství CaO a portlandit (Ca(OH)<sub>2</sub>), které jsou velice rychle přeměněny na kalcit nebo jinou novotvořenou fázi (Izquierdo et al., 2002).

Jemnozrné frakce škváry obsahují proměnlivé zastoupení sulfátů, jako sádrovec (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), bassanit (Ca(SO<sub>4</sub>)·0,5H<sub>2</sub>O) nebo anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) (Izquierdo et al., 2002).

Ve spalovacích pecích, kde byla teplota tavení relativně nižší, byly ve škváře přítomny i další refraktorní minerály – biotit (K(Mg,Fe)<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>), olivín ((Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), pyroxen (Ca(Mg,Fe)Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) (Eusden et al., 1999).

Mezi produkty tavení patří také fáze vykrystalizované z taveniny: fáze skupiny spinelu (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) a melilitu ((Ca,Na,K)<sub>2</sub>(Mg,Fe,Al)(Al,Si)SiO<sub>7</sub>).

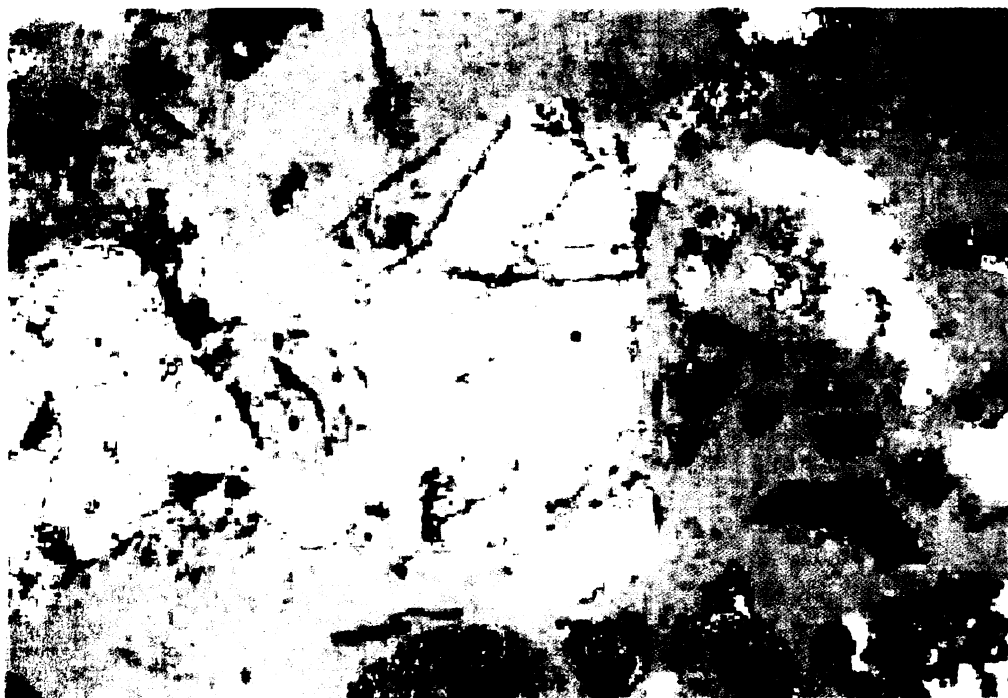
Produkty tavení tvoří značnou část celkového objemu škvár, často až 60 – 85 %. Výsledky studií ukázaly, že spalovny s vyšší teplotou a delší dobou spalování obsahují ve svých škvárách větší zastoupení produktů tavení (Eusden et al., 1999).

### 5.1. Refraktorní produkty

Refraktorní produkty jsou reziduální, anorganické materiály, které lze rozdělit do tří skupin: skla, kovy, úlomky hornin - minerály. Horninové fragmenty se vyskytují nejčastěji. Pocházejí z TKO obsahujícího stavební sutě a úlomky hornin. Podstatné je, že mají vyšší teploty tavení, než jsou teploty dosahované ve spalovací peci. Tudíž tyto částice škváry zůstávají neporušené nebo jen částečně natavené (Eusden et al., 1999).

Fragmenty jsou obvykle zasazeny do matrice tvořené buď isotropickým nebo opakním sklem, u kterého došlo k přetavení a následné solidifikaci na výstupu z pece spalovny. Horninové fragmenty obvykle obsahují agregáty živců a křemene. Tyto úlomky jsou často rozpuštěné a vytváří ostrohranná zrna, což značí, že částice v peci nedosáhly teploty tání. Nepřítomnost dutinek uvnitř fragmentů je také důkazem pro teplotní rezistenci těchto částic (Eusden et al., 1999).

Uprostřed snímku z optického mikroskopu (obr. 3) je zřejmé ostrohranné zrn<sup>e</sup> křemenu, obklopené sklovitou hmotou. Tmavé linie přetínající zrn<sup>e</sup> představují trhlinky, dokazující, že zrn<sup>e</sup> nebylo téměř vůbec porušeno tavením.



Obr. 3. Zrn<sup>e</sup> křemenu uvnitř sklovité matrice (obrázek z optického mikroskopu; zrn<sup>e</sup> ve středu má délku 1,5 mm; Eusden et al., 1999)

Ve škvárách byly nalezeny i různorodé kovové fragmenty: úlomky čistého železa nebo bronzu. V mnoha případech jsou fragmenty kovů částečně nataveny a obklopeny opakním sklem. Ojedinele se vyskytují i relikty skla ve tvaru ostrohranných fragmentů s četnými frakturami, které svědčí o tom, že tato skla nebyla vůbec v peci roztavena (Eusden et al., 1999).

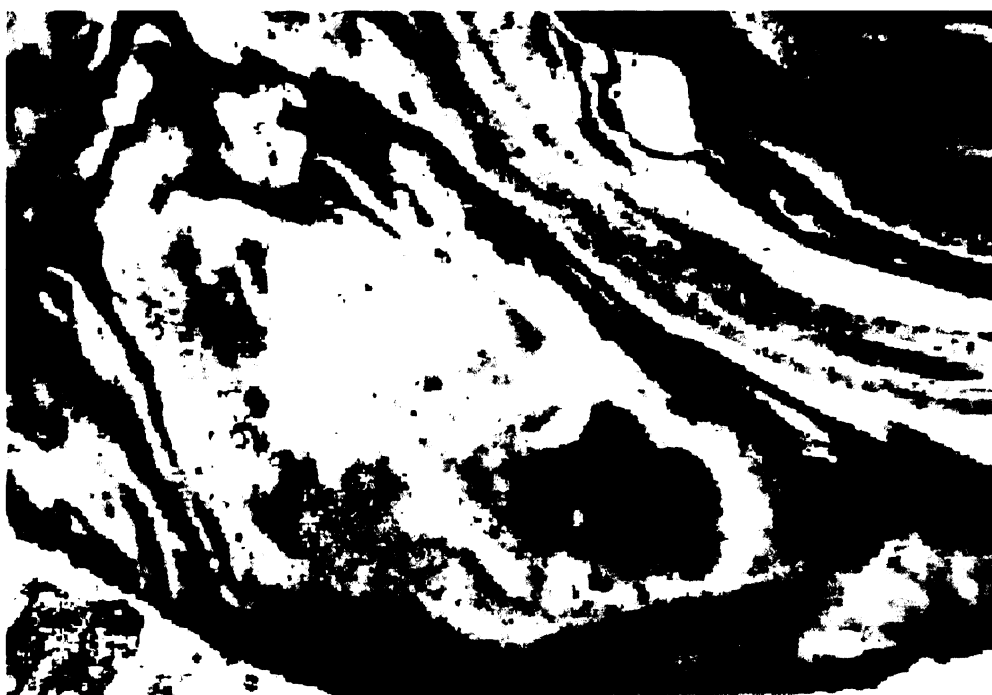


## 5.2. Produkty tavení

Skla patřící mezi produkty tavení mají vysoký obsah bublin a vyskytují se v podobě oválných zrn. Charakteristika v optickém mikroskopu a přítomnost typické textury, tzv. šlírů, slouží jako hlavní odlišovací znak mezi typy tavných skel. Jako šlírů se označují mikroskopické proužky černého nebo tmavě až světle hnědého zbarvení ve světlém skle. Tyto proužky mohou být různě deformované. Při velkém zvětšení v nich můžeme pozorovat krystaly skupiny melilitu, které jsou náhodně orientovány a mají jehlicovitý tvar (Eusden et al., 1999).

Barva vitrifikovaných fází závisí na jejich chemickém složení (zejména <sup>obsahu</sup> Fe, Cr), podle nějž se mění v rozsahu od hnědé po zelenou. Skelné fáze se také mohou jevit bezbarvé. Téměř vždy obsahují šlírů a zpravidla pouze fáze jemně krystalických silikátů (Speiser et al., 2001).

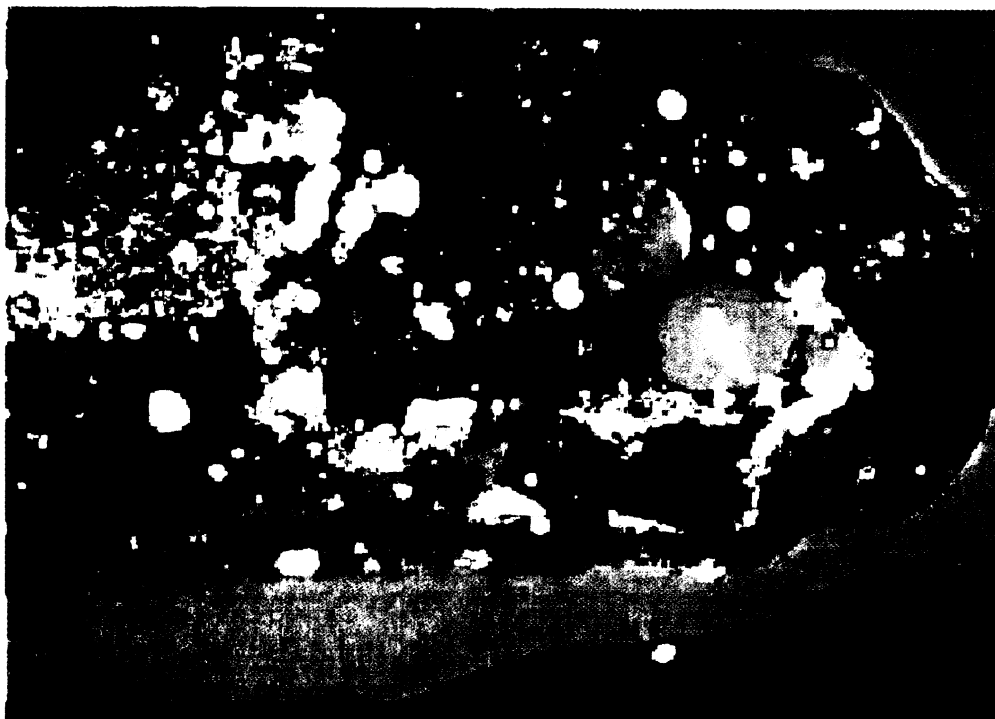
Na snímku z optického mikroskopu (obr. 4) je jasně zřetelná šlírůvá struktura. Tmavé melilitové pásy uvnitř povrchového skla mají proudovou strukturu. Skelná fáze je světlejších odstínů hnědé barvy.



Obr. 4. Šlírů v povrchovém skle (obrázek z optického mikroskopu; zobrazená část má napříč 1,2 cm; Eusden et al., 1999)

Oproti tomu matricová (opakní) skla nikdy neobsahují šlírů. Tato skla tvoří tmavou matrici, která obklopuje zrna dříve vykrystalizovaných fází a představují tak poslední fázi, která solidifikuje z taveniny. Opakně se navíc jeví díky hojným agregátům minerálních fází ze skupiny spinelu (Eusden et al., 1999).

Na snímku z optického mikroskopu (obr. 5) je znázorněno opakní sklo, uvnitř kterého se nachází množství bublin. Tyto vzduchové bubliny jsou stopy po úniku plynů při rychlé solidifikaci taveniny (Speiser et al., 2001).



Obr. 5. Opakní sklo s bublinami (obrázek z optického mikroskopu; zobrazená částice má na délku 1,2 cm; Eusden et al., 1999)

Je pravděpodobné, že tavenina a tedy i produkty tavení mohou být přesyceny  $\text{SiO}_2$ . K přesycení  $\text{SiO}_2$  může dojít díky přítomnosti křemene, živců a sklovitých částí odpadu, které se spolu s ostatním odpadem dostanou do pece, kde jsou částečně přetaveny. Výsledné mineralogické složení pak bude “posunuto“ k tavným produktům přesyceným vůči  $\text{SiO}_2$ , které se podobají systémům granit – ryolit. Ty totiž obsahují běžné horninotvorné minerály jako křemen, plagioklas a K–živec (Eusden et al., 1999).

Mezi produkty tavení patří také fáze vykrystalizované z taveniny. Jedná se především o dvě skupiny: silikáty skupiny melilitu a oxidy skupiny spinelu.

Melility jsou fáze odpovídající pevnému roztoku gehlenit  $\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{SiO}_7)$  - åkermanit  $\text{Ca}_2(\text{MgSiO}_7)$ , většinou s chybějící sodno-melilitovou složkou. Melility často tvoří prismatické krystaly o velikosti 20 až 50 mikrometrů ve sklovité matrici (Speiser et al., 2001).

Eusden et al. (1999) popisují krystaly melilitu jako paprskovité růžice, které často srůstají do trsovitých nebo lamelárních shluků. Tyto krystalové agregáty jsou obklopeny žluto-hnědým matricovým sklem (obr. 6).

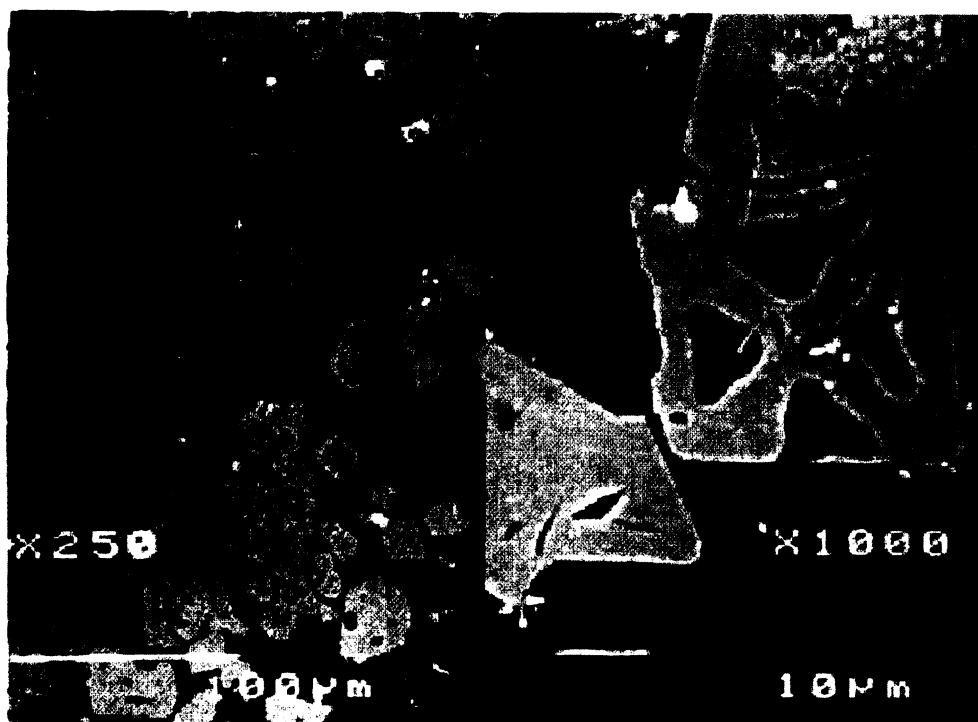


Obr. 6. Protáhlé lišty idiomorfních krystalů melilitu uvnitř matricového skla (obrázek z elektronového mikroskopu; zvětšeno 400x; Eusden et al., 1999)

Neobvyklou asociaci křemenu a minerálních fází skupiny melilitu lze vysvětlit následovně. Skla a melilitové minerální fáze jsou pravděpodobně ve stavu lokální rovnováhy a refraktorní křemenná zrna jsou analogií xenolitů, bloků cizorodého materiálu uvnitř magmatu. Tato zrna mohou být buď zcela, nebo jen částečně, postižena tavením (Eusden et al., 1999).

Fáze skupiny spinelu jsou v čerstvě vyprodukovaném popelu hlavní skupinou oxidů. Tvoří dendritické krystaly. Pozorovány byly také idiomorfnní krystaly. V důsledku nahromadění krystalů mohou spinely vytvářet zřetelné pruhy uvnitř sklovité matrice (Speiser et al., 2001).

Eusden et al. (1999) ve své studii rozlišují dva typy fází skupiny spinelu: magnetit ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$ ) a magnetit-spinel ( $\text{Fe}^{2+}_6\text{Fe}^{3+}_7\text{Ti}_4\text{Al}_5\text{O}_{32}$ ). Magnetit tvoří obdelníkové nebo mřížovité krystaly. Magnetit-spinel se vyskytuje ve formě osmistěnu nebo oddělených kubických krystalů (obr. 7) (Eusden et al., 1999).



Obr. 7. Kubické krystaly spinelidů v matrici tvořené lištovitým melilitem a matricovým sklem (obrázek z elektronového mikroskopu; levá část zvětšena 250x a pravá část 1000x; Eusden et al., 1999)

Eusden et al. (1999) ještě uvádějí fáze typické pro spalovací zařízení, ze kterých byly odebrány studované vzorky. Tyto spalovny se nacházejí ve Spojených státech a jedná se o spalovnu v Falls Township, Burnaby a o blíže neurčenou lokalitu, kde byl studován pod patronací EPA (Environmental Protection Agency) systém hromadné likvidace odpadu spalováním. Ve vzorcích z Falls Township byl pozorován plagioklas ((NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)-(CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)) a wollastonit (CaSiO<sub>3</sub>). Ve vzorcích z EPA byl detekován chromit (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) a vápenec (CaCO<sub>3</sub>) byl jako minoritní fáze zjištěn ve spalovně Burnaby. Některé fáze měly podobné petrografické vlastnosti jako běžné horninotvorné minerály, ale chemismus odlišný od běžně se vyskytujících přírodních analogů.

Studované vzorky škvár měly přibližné procentuální zastoupení produktů tavení 60 - 85 obj. % a 15 - 40 obj. % refraktorních produktů. Přítomnost nespáleného odpadu dokazuje, že ve spalovacích komorách nedochází k úplnému vyhoření vstupního odpadu. Tento fakt může být důsledkem mnoha faktorů, mezi které patří zejména konstrukce spalovací komory, délka trvání a teplota spalování a refraktorní povaha komponent odpadů, vstupujících do spalovací pece (Eusden et al., 1999).

## 6. Závěr

Škváry pocházející z různých spaloven TKO jsou složeny z refraktorních produktů a produktů tavení. Refraktorní částice, zahrnující fragmenty skel a kovů, minerály a horninové fragmenty, procházejí spalovacím procesem téměř nezměněny. Produkty tavení tvoří z velké části vitrifikovaná fáze a fáze krystalizující z taveniny. Většina fází je tvořena "běžnými" minerály, ačkoliv škvára může být až ze 70% tvořena přetaveným sklem (Eusden et al., 1999).

Značný podíl skla je důsledkem rychlého tunutí materiálu. Tavenina byla na výstupu z pece prudce ochlazená, což způsobilo, že jen málo fází stačilo úplně vykristalizovat. Zbytek utuhlé taveniny bez krystalové struktury pak tvoří sklo.

Krystalové fáze lze rozdělit na silikáty (například: pyroxen ( $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ ), monticellit ( $\text{CaMgSiO}_4$ ), melilit ( $(\text{Ca,Na,K})_2(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})\text{SiO}_7$ )), oxidy (například: spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ )) a méně běžné sulfidy (pentlandit ( $\text{Fe,Ni}_9\text{S}_8$ )) (Speiser et al., 2001).

Nově vzniklé fáze obklopuje sklovitá matrice, kterou lze podle charakteristických znaků dělit do dvou skupin na opakní a matricová skla (Eusden et al., 1999).

Chemické složení škvár je důležitým faktorem při vyhodnocení rizika jejich skládkování, kdy může dojít k uvolnění nakoncentrovaných nebezpečných prvků a následné kontaminaci okolního prostředí. Olovo se zdá být ve škvárách největším problémem vzhledem k jeho zvýšenému množství (Kirby et al., 1993).

Spalování TKO není jednoznačným pozitivem pro životní prostředí, ale <sup>přidávání</sup> zdá se představovat jednu z hlavních možností, jak se v budoucnosti vyrovnat se stále vzrůstající produkcí komunálního odpadu utvářeného současnou společností. Znalost spalovacího procesu a chemicko-mineralogických a technologických vlastností vznikajících škvár umožňuje efektivnější a bezpečnější likvidaci TKO a ukládání tuhých zbytků po spalování.

## PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Eusden J.D., Eighmy T.T., Hockert K., Holland E., Marsella K., 1999. Petrogenesis of municipal solid waste combustion bottom ash. *Appl. Geochem.*, 14: 1073-1091

Izquierdo M., López-Soler Á., Ramonich E.V., Barra M., Querol X., 2002. Characterisation of bottom ash from municipal solid waste incineration in Catalonia. *J Chem Technol Biotechnol.*, 77: 576-583

Kirby C.S., Rimstidt J.D., 1993. Mineralogy and surface properties of municipal solid waste ash. *Environ. Sci. Technol.*, 27: 652-660

Speiser C., Baumann T., Niessner R., 2001. Characterization of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash by scanning electron microscopy and quantitative energy dispersive X-ray microanalysis (SEM/EDX). *Fresenius J Anal Chem.*, 370: 752-759,

<http://www.termizo.cz/index.php?sekce=envi>, 3.7.2006

<http://www.sako.cz/spalovna/proces/>, 3.7.2006

[http://www.czso.cz/csu/edicniplan.nsf/o/2001-05-v\\_roce\\_2004-metodicke\\_vysvetlivky](http://www.czso.cz/csu/edicniplan.nsf/o/2001-05-v_roce_2004-metodicke_vysvetlivky), 3.7.2006

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?\\_pageid=1996,39140985&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&screen=detailref&language=en&product=Yearlies\\_new\\_environment\\_energy&root=Yearlies\\_new\\_environment\\_energy/H/H1/H12/ddb14096](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,39140985&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=detailref&language=en&product=Yearlies_new_environment_energy&root=Yearlies_new_environment_energy/H/H1/H12/ddb14096), 3.7.2006

[http://www.enviweb.cz/?env=odpady\\_katalog\\_jch](http://www.enviweb.cz/?env=odpady_katalog_jch), 6.7.2006

[http://www.af.mendelu.cz/agrochem/multitexty/images/agrochemie\\_pudy/Tab2\\_v.jpg](http://www.af.mendelu.cz/agrochem/multitexty/images/agrochemie_pudy/Tab2_v.jpg), 7.8.2006

