

FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI PRACHŮ Z ELEKTRICKÝCH ODLUČOVAČŮ

MARTIN MARYŠKA^a a JAROSLAV HOFMANN^b

^a Ústav skla a keramiky, Fakulta chemické technologie,

^b Ústav fyziky a měřicí techniky, Fakulta chemicko-inženýrská, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

Martin.Maryska@vscht.cz, Jaroslav.Hofmann@vscht.cz

Došlo 13.9.05, přijato 19.12.05.

Klíčová slova: elektrický odlučovač, chemické a fázové složení prachů

Obsah

1. Úvod
2. Metody určování fyzikálních a chemických vlastností odlučovaných částic
 - 2.1. Metody užívané pro zjišťování chemického složení
 - 2.2. Metody používané pro zjišťování fázového složení prachů
 - 2.3. Metody používané pro měření velikosti částic a pro určení rozdělení velikosti částic
 - 2.4. Metody stanovení rezistivity částic
3. Vliv fyzikálních a chemických vlastností částic na účinnost elektrického odlučování
 - 3.1. Vliv velikosti částic
 - 3.2. Vliv rezistivity částic
 - 3.3. Vliv chemického a mineralogického složení částic
4. Příklad výsledků experimentálního studia vlastností prachů
 - 4.1. Výsledky měření chemického složení vzorku popílku pomocí rentgenové fluorescenční analýzy
 - 4.2. Výsledky měření mineralogického složení vzorku popílku pomocí rentgenové difrakce
 - 4.3. Výsledky měření distribuce velikosti částic vzorku popílku
5. Závěr

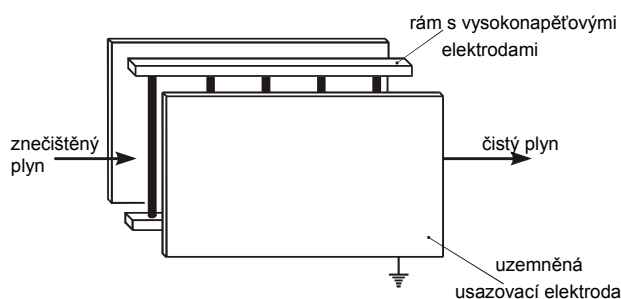
1. Úvod

Zařízení s elektrickým odlučovačem patří mezi nejnúčinnější prostředky pro odstranění pevných exhalací v kouřových plynech při spalování uhlí v elektrárenských a teplárenských kotlích a při odlučování prachů vznikajících

např. při výrobě stavebních hmot, v hutích a ve spalovnách odpadků. Při elektrickém odlučování se využívá rozdílných dielektrických vlastností nosného plynu a odlučovaných částic. Znečištěné plyny vstupují vstupním dílem řídicím rychlostní profil proudění plynu a prachu do skříně odlučovače a procházejí systémem tvořeným usazovacími elektrodami, mezi něž jsou zavěšeny elektrody vysokonapěťové. Ty jsou připojeny na záporný pól zdroje usměrněného velmi vysokého napětí. Schematický náčrt jednostupňového komorového odlučovače je na obr. 1.

Vlivem silného nehomogenního elektrického pole dochází v ionizační oblasti v okolí vysokonapěťových elektrod k ionizaci plynu a v transportní oblasti odlučovače k nabití částic prachu zápornými ionty. Nabité částice prachu jsou převážně účinkem sil elektrického pole přitahovány k usazovacím elektrodám, na nichž se shromažďují. K čištění usazovacích i vysokonapěťových elektrod slouží oklepávací zařízení. Oklepaná vrstva prachu padá do výsypek a odtud je prach odběrovým zařízením dopravován k další úpravě nebo na skladiště. Výhodou elektrického odlučování je zejména vysoká účinnost procesu (až 99,9 %), vysoká provozní spolehlivost a nízká tlaková ztráta čištěného plynu. K nevýhodám patří velké pořizovací náklady a závislost účinnosti odlučování (zpravidla definované pomocí tzv. odlučivosti) na fyzikálních a chemických vlastnostech odlučovaných částic, zejména na rezistivitě částic, distribuci velikostí částic a na jejich chemickém a mineralogickém složení. Fyzikální principy elektrického odlučování, mechanické a elektrické součásti zařízení s elektrickým odlučovačem, výsledky měření na odlučovačích i na jejich laboratorních modelech a výsledky matematického modelování odlučovačů jsou popsány v řadě publikací. K základním patří monografie^{1,2}.

S rostoucími požadavky na čistotu ovzduší jsou v současné době teoretické a vývojové práce v oblasti elektrického odlučování soustředěny zejména na zvýšení odlučivosti ultrajemných částic (menších než 0,5 μm) a na



Obr. 1. Schematický náčrt jednostupňového komorového odlučovače

zvýšení odlučivosti částic s extrémně nízkou rezistivitou (menší než $10^4 \Omega \text{ cm}$) a extrémně vysokou rezistivitou (přesahující $10^{12} \Omega \text{ cm}$)^{3–5}. Teoretické studium a zejména matematické modelování elektrických odlučovačů se zaměřuje zpravidla na následujících dílčí etapy při elektrickém odlučování⁶:

- řízení toku plynu,
- rozložení elektrického pole mezi elektrodami a vlastnosti korónového výboje,
- nabíjení částic a jejich pohyb mezi elektrodami,
- usazování částic na uzemněných elektrodách.

Odlučivost elektrického odlučovače je závislá na vstupních a operačních parametrech a na veličinách, které souvisí s prostorovým uspořádáním odlučovače. Ke vstupním parametrům patří aerodynamické veličiny, které popisují kinematické vlastnosti vstupujícího plynu, jeho teplota a dále fyzikální a chemické vlastnosti částic, které vstupující plyn unáší. K nejdůležitějším operačním parametrům patří hodnota a časový průběh provozního napětí mezi elektrodami a frekvence oklepávání elektrod. Prostorové uspořádání odlučovače je charakterizováno zejména tvarem a velikostí vysokonapěťových a usazovacích elektrod, roztečí elektrod, uspořádáním vstupního dílu a výstupního dílu.

Príspevek je zaměřen na metody posuzování fyzikálních a chemických vlastností odlučovaných částic a na vyhodnocení jejich vlivu na účinnost odlučovacího procesu.

2. Metody určení fyzikálních a chemických vlastností odlučovaných částic

K chemickým a fyzikálním vlastnostem odlučovaných částic, které významně ovlivňují odlučivost, patří chemické a mineralogické složení částic, rezistivita částic a distribuce jejich velikostí. Metody, které jsou vhodné a prakticky realizovatelné pro zjištění požadovaných údajů, jsou:

pro zjištění chemického složení:

- rentgenová mikroanalýza (pro pevné vzorky),
- rentgenová fluorescenční analýza (pro pevné vzorky),
- atomová absorpční popř. emisní spektroskopie (pro analýzu vzorků převedených do roztoku),
- klasická chemická analýza (pro analýzu vzorků převedených do roztoku),

pro určení fázového (mineralogického) složení:

- rentgenová difrakční analýza,
- rentgenová mikroanalýza (v kombinaci s dalšími metodami),
- jako doplňkové lze použít metody termické analýzy, která poskytuje informace o chování látek při proměnné teplotě (teploty rozkladu, slinování, dehydratace atd.) a o modifikačních přeměnách krystalických látek,

pro stanovení distribuce velikostí částí:

- optický mikroskop (pro částice větší než 1 μm),

- elektronový mikroskop (pro částice větší než 2 nm),
- laserové přístroje pro měření velikosti částic (částice jsou obvykle v suspenzi), které pracují obvykle v oblastech 0,1 až 1200 μm ,

pro stanovení rezistivity částic:

- laboratorní metody,
- provozní metody (*in situ*),
- výpočet pomocí empirického vztahu.

2.1. Metody užívané pro zjišťování chemického složení

Výše uvedené metody pro zjišťování chemického složení jsou uvedeny v pořadí, podle jejich vhodnosti pro měření prachů.

Rentgenová mikroanalýza je vhodná pro zjišťování prvků od sodíku výše (běžně), popřípadě v závislosti na kvalitě přístroje od bóru výše (nelze stanovit např. obsah lithia). Tato metoda vyžaduje vodivý vzorek nebo u nevodivých vzorků jejich pokovení (obvykle uhlíkem, který pak není stanovován). Analyzovaný objem je kolem 3 μm^3 . Kvantitativní stanovení je závislé na kvalitě použitých standardů.

Rentgenová fluorescenční analýza stanoví i obsah lithia. Pracuje se obvykle se vzorky ve formě tablet a pro kvantitativní vyhodnocení jsou opět důležité použité standardy. Ve srovnání s rentgenovou mikroanalýzou je třeba větší množství vzorku.

Analýzy vzorků převedených do roztoků jsou srovnatelné s instrumentálními metodami, ale největší jejich slabinou je právě převod vzorku do roztoku a podstatně větší pracnost a časová náročnost.

2.2. Metody používané pro zjišťování fázového složení prachů

Pro tento účel se používají především dvě metody – rentgenová difrakční analýza a rentgenová mikroanalýza. Rentgenová difrakční analýza je dnes standardní metodou pro určování mineralogického složení částic o velikosti kolem 10 μm a větších. Tato metoda poskytuje významné výsledky a u komplikovaných systémů (jakými jsou úlety z komínů) se užívá ve spojení s chemickou analýzou vzorku. Rentgenová mikroanalýza umožňuje stanovit mineralogické složení nepřímo, tj. přepočtem prvkového chemického složení stanoveného touto metodou na předpokládané minerály. Pro odhad přítomných mineralogických fází se využívají další znaky zjistitelné touto metodou – morfologie krystalů, změny v morfologii při proměnné teplotě apod. Pro doplnění vlastností prachů lze využít i metody termické analýzy, jak je uvedeno výše.

Zjištění fázového (mineralogického) složení úletu umožňuje i odhadnout podmínky vzniku minerálních fází a hodnotit například průběh spalovacího procesu. Výsledky jsou závislé na aktuálnosti databází použitých pro vyhodnocování naměřených spekter a na zkušenosti toho, kdo spektra vyhodnocuje. Z mineralogického rozboru lze

odhadovat chování částic popela při různé teplotě, slinovací pochody, vyhodnocovat elektrické vlastnosti a další.

2.3. Metody používané pro měření velikosti částic a pro určení rozdělení velikosti částic

Částice popela se dělí podle své velikosti do tří skupin. První skupina se označuje jako ultrajemné a jejich velikost je pod 0,5 μm . Druhá skupina částic je označována jako jemné a jejich velikost je v rozmezí 0,5–4 μm . Tyto dvě skupiny mají největší vliv na účinnost odlučovače, protože významně ovlivňují průběh nabíjení částic. Do třetí skupiny patří hrubé částice o velikosti větší než 4 μm (udává se rozmezí 4–10 μm).

Výběr metody pro měření velikosti částic je závislý na předpokládané velikosti částic. Relativně nejjednodušší je optická mikroskopie, kdy lze vzorek připravit s minimální časovou ztrátou. Problémem může být tvorba shluků částic a tím se prodlužuje doba pro vyhodnocení.

Elektronová mikroskopie vyžaduje poněkud složitější přípravu vzorku (především elektricky nevodivých, kdy je třeba je pokovit (nejvhodnější je zlato, které se nanáší ve vakuu), ale získané obrazové informace mají ve srovnání s optickou mikroskopií nesrovnatelně vyšší hloubku ostrosti a není problém vyhodnocovat i velice reliéfní vzorky. Pro vyhodnocení rozdělení velikosti částic optickou i elektronovou mikroskopií se v současnosti s výhodou používá počítačová analýza obrazu, která umožňuje vyhodnotit v relativně krátké době velké množství částic a tím získat přesnější výsledky.

Laserové metody pracují se suspenzí vzorku. Výhodou jsou minimální požadavky na přípravu vzorků, nevýhodou je (u vzorků vytvářejících shluky) obtížná rozlišitelnost shluků částic od jednotlivých částic. U těchto metod probíhá vyhodnocení s využitím komerčního softwaru dodávaného se zařízením.

Pro určení velikosti částic lze využít i jiných metod, pro ultrajemné částice například diferenciální analyzátor mobility částic (metoda DMA), pro větší částice cyklony nebo vícestupňový Bernerův nízkotlaký dělič částic (metoda BLPI) vhodný i pro vysoké teploty plynů.

2.4. Metody stanovení rezistivity částic

Rezistivita vrstvy prachových částic se stanovuje jako minimální hodnota elektrického odporu vrstvy prachu naměřená mezi elektrodami, které jsou od sebe vzdáleny na jednotkovou vzdálenost a obě mají ve styku s prachem jednotkovou plochu. Mezi nejpropracovanější laboratorní metody stanovení rezistivity patří laboratorní metody založené na IEEE Standardu 548 z roku 1984 (cit.⁷). V našich podmínkách platí pro tento účel ČSN EN 61241-2-2 z roku 1997 (cit.⁸). V laboratorních podmínkách se rezistivita určí na základě změřeného proudu, který prochází prachovou vrstvou za předepsaných podmínek a stavu prachové vrstvy. Obvykle se měří podle požadavku zadavatele i závislost rezistivity na teplotě, případně na intenzi-

tě elektrického pole, ve kterém se měřený vzorek nachází. Jednotlivé laboratorní metody se liší zejména tvarem elektrod a způsobem prezentace výsledku měření.

Pro provozní měření rezistivity prachových částic bylo vyvinuto několik typů přístrojů s různým typem elektrod. Řada prací je věnována vývoji software pro výpočet rezistivity prachu v závislosti na jeho chemickém složení a fyzikálních vlastnostech.

3. Vliv fyzikálních a chemických vlastností částic na účinnost elektrického odlučování

Prachy, které produkuje průmyslová výroba, jsou směsí nejrůznějších chemických sloučenin s rozdílnou velikostí částic. V případě spalování paliva je popel vznikající ve spalovací zóně směsí sloučenin převážně na bázi hlinitokřemičitanů se střední velikostí kolem 15 μm . Kondenzací v chladnějších částech však vznikají vedle částic popela i submikronové částice. Fyzikální a chemické vlastnosti odlučovaných částic významně ovlivňují provoz a účinnost elektrických odlučovačů. V současnosti platí pro nové kotle spalující fosilní paliva emisní standard 20 až 50 mg m^{-3} spalin. V budoucnu se očekává výrazné zprůšnění této normy na 5 mg m^{-3} a méně.

3.1. Vliv velikosti částic

Účinnost elektrického odlučování je vyšší než 99 %, je-li posuzována na základě hmotnosti částic v jednotce objemu plynu (mg m^{-3}). Zjišťujeme-li ale počet částic v jednotce objemu plynu, může být účinnost elektrického odlučování výrazně nižší. Je to způsobeno tím, že je problematické elektrické odlučování submikronových částic, zejména v důsledku jejich nedostatečného nabití v prostoru mezi elektrodami a možného stržení z usazovací elektrody okolním proudícím plynem. Zlepšení účinnosti odlučování ultrajemných částic je možno dosáhnout několika opatřeními⁵, ke kterým se řadí zejména fyzikální nebo chemická aglomerace částic a použití pulzního napájení. Při pulzním napájení se vytvoří vyšší hustota elektronů než při stejnosměrném napájení a zlepší se nabíjení částic.

3.2. Vliv rezistivity částic

Rezistivita odlučovaných částic má významný vliv na účinnost elektrického odlučování. Ze zkušenosti s provozem odlučovačů vyplývá, že kritickou hodnotou rezistivity částic je $10^{10} \Omega \text{ cm}$. Pro vyšší hodnoty rezistivity se uplatní ve vrstvě částic na usazovací elektrodě jev označovaný jako zpětná koróna^{1,2}, který vede ke snížení účinnosti odlučování. U částic, jejichž rezistivita je menší než zhruba $10^6 \Omega \text{ cm}$, dochází naopak k nabíjení velice snadno. V odlučovači však dochází k několikanásobnému nabití a vybití těchto částic při kontaktu s dalšími prachovými částicemi nebo se částice usazují na povrchu jiných prachových částic jako neutrální částice a dostávají se zpět do proudu plynů procházejících odlučovačem. Účinnost

odlučování přitom klesá.

Rezistivita vrstvy závisí na následujících vlastnostech částic²:

- prostorové vodivosti jednotlivých částic, ovlivňované druhem částic a teplotou,
- povrchové vodivosti částic ovlivňované adsorpcí, resp. chemisorpcí látek obsažených v plynu na částicích,
- morfologickém složení vrstvy, tj. na velikosti, tvaru a uspořádání částic ve vrstvě.

Rezistivitu vrstvy odlučovaných částic je možné zmenšit změnou vlhkosti plynu nebo kondicionováním plynu prostřednictvím látek přirozeně vznikajících nebo záměrně přiváděných.

3.3. Vliv chemického a mineralogického složení částic

Jak bylo uvedeno, rezistivita částic závisí mimo jiné i na chemickém složení částic. Pro posouzení účinnosti elektrického odlučování je proto třeba sledovat množství uhlíku, alkálií a solí, které snadno přijímají vodu (SO_4^{2-} , Cl^- apod.). Tyto částice mají velice rozdílnou rezistivitu a výrazně mění proces nabíjení částic a tím i možnost jejich efektivního zachycení v odlučovači. Prach s částicemi o rezistivitě mezi 10^8 až 10^{11} Ω cm (při teplotách kolem 130 °C) nepředstavuje pro elektrické odlučovače žádné provozní nebezpečí. Tyto hodnoty mají částice, které vznikají při spalování uhlí s obsahem síry do 1 %, popel obsahuje 0,5 až 1 % sodíku a obsah nespáleného uhlíku v popelu je do 4 %.

Analýza chemických a mineralogických vlastností paliva a popela poskytuje významné údaje pro projektanty odlučovačů při návrhu velikosti odlučovače pro požadovanou účinnost a umožňuje i odhad hodnoty rezistivity odlučovaných částic. Obecně lze konstatovat, že součástí popela a uhlí, které zvyšují rezistivitu, jsou oxid hlinitý a oxid křemičitý (oba výborné izolanty), zatímco síra z uhlí a sodík z popela rezistivitu snižují. Ačkoliv během hoření většina pyritické síry shoří za vzniku oxidu siřičitého, malé procento se přemění na oxid sírový, který je důležitou látkou s významným účinkem na rezistivitu prachu. V horkých spalinách reaguje tento oxid sírový s vodou za vzniku kyseliny sírové. Částice úletu pak jsou vhodnými nukleji pro kondenzaci kyseliny sírové a tím dojde k poklesu rezistivity těchto částic. Tento efekt je závislý na množství oxidu sírového, teplotě a tlaku par.

Na hodnotu rezistivity odlučovaného prachu má vliv i přítomnost iontů sodíku v popelu, která je však velice proměnlivá a závisí na stavu povrchu popela. Ionty sodíku působí jako přenašeče náboje a snižují rezistivitu v celém objemu. Podobně jako sodík působí i ionty lithia, které však bývají obsaženy pouze v malém množství. Draslík, i když má podobné chemické vlastnosti jako sodík, neovlivňuje chod odlučovače stejně jako sodík. Vápník a hořčík, které jsou přítomné v popílku, mají tendenci tvořit

sírany, které nejsou dobrými vodiči a tak zvyšují rezistivitu prachu (částečně eliminují působení oxidu sírového).

Jestliže jsou ve spalinách obsaženy chloridy alkalických kovů, vznikají vločkovité útvary. Tyto útvary se vyskytují často ve spalinách z cementářských výrob, jsou-li používány suroviny s vyšším obsahem vody. Pro bezchybný chod odlučovače je důležité tyto „vločky“ odstraňovat samostatně.

Zvláštní pozornost si při návrhu odlučovače zaslouhují hydroskopické a nízkotající sloučeniny, které způsobují problémy především při nabíhání a vypínání odlučovačů. Vytvářejí totiž elektricky vodivé lepkavé sloučeniny, které brání správné údržbě zařízení. Částečně lze těmto problémům předcházet předehříváním odlučovačů.

U železa má velký vliv na odlučování Fe_3O_4 a naproti tomu malý vliv má Fe_2O_3 (rezistivita pro Fe_3O_4 je $4 \cdot 10^6$ Ω cm a Fe_2O_3 je $1,7 \cdot 10^9$ Ω cm). V popelu, který prochází odlučovačem, je obvykle směs těchto sloučenin a rezistivita částic popela odpovídá poměru mezi nimi (koncentrace sloučenin železa se v popelu pohybuje mezi 3–35 hm.%). Při poklesu rezistivity pod $1 \cdot 10^8$ Ω cm nastávají problémy při odlučování.

Vlastnosti uhlíku, který prochází odlučovačem, se pohybují na hranici mezi vlastnostmi vodivých, polovodivých a nevodivých látek. Vlastnosti uhlíku silně závisí na jeho krystalové struktuře. Rezistivita částic popela z dobře prouhelněného uhlí se pohybuje kolem hodnoty 10^5 Ω cm a obsah uhlíku ve spalinách se pohybuje v rozmezí 5–25 hm.%. Pro špatně prouhelněné uhlí je rezistivita částic mnohem vyšší a tyto částice výrazně neovlivňují chování odlučovače. Množství uhlíku v popelu nižší než 8 hm.% není kritické pro provoz odlučovače. Potíže nastávají při množství vyšším než 10 hm.%.

Přítomnost alkalických iontů a iontů alkalických zemin v popelu ovlivní především elektrickou pevnost prostředí mezi elektrodami odlučovače.

Chemické složení částic v různých velikostních frakcích je velice rozdílné. Široký okruh vlastností částic popela ve spalinách (velikost částic, jejich chemické složení, rezistivita, přilnavost apod.) společně s chemickým složením nosného plynu (SO_3 , vodní pára, NO_x , apod.) a teplotou jsou hlavní faktory, které ovlivňují účinnost odlučovače.

Významným faktorem pro odhad chování popela při odlučování je znalost nejen chemického složení částic, ale také znalost jejich mineralogického složení. Určení mineralogického složení částic popela má velký význam, jestliže jsme schopni určit mineralogické složení v různých třídách velikosti částic. Velikost vznikajících částic je přitom do značné míry ovlivněna právě mineralogickým složením a velikostí jednotlivých minerálních fází. Všeobecně lze říci, že větší částice se tvoří při vyšších teplotách spalování, kdy dochází snáze k větší kondenzaci vypařených složek a k jejich koagulaci (důležitým faktorem je mineralogické složení nespalitelných látek v palivu a jejich chování za vysokých teplot).

4. Příklad výsledků experimentálního studia vlastností prachů

Jako příklad výsledků experimentálního studia vlastností odlučovaných částic uvádíme chemické složení, fázové složení a rozdělení velikosti částic vzorku popílku z teplárny. Měření byla provedena na Ústavu skla a keramiky a v Centrálních laboratořích VŠCHT v Praze.

Chemická složení vzorku popílku byla měřena metodou rentgenové fluorescenční analýzy (XRF). Výhodou určení chemického složení metodou XRF je zachycení i malých koncentrací stopových prvků, které mohou být pro vlastnosti popílků velice důležité.

Fázové složení bylo zjišťováno metodou rentgenové difrakce. Tato metoda zachytí krystalické fáze, jejichž obsah ve vzorku je většinou alespoň 3 % (stanovitelný obsah může být pro jednotlivé fáze odlišný).

Rozdělení velikosti částic bylo provedeno na laserovém analyzátoru FRITSCH 22, který umožňuje stanovit částice o minimálním rozměru 0,1 μm .

4.1. Výsledky měření chemického složení vzorku popílku pomocí rentgenové fluorescenční analýzy

Vzorek byl před měřením zhomogenizován a byla z něj vytvořena tableta, která byla umístěna do XRF analyzátoru Philips PW 2000. V tabulce I jsou uvedeny prvky, jejichž obsah ve vzorku popílku vyjádřený v hmotnostních procentech oxidů těchto prvků byl významný ($> 0,1\%$). Z výsledků je zřejmé, že vzorek popílku obsahuje především hliníkokřemičitany a v menší míře prvky Fe, Ti, K, Na, Mg, Ca, P, S a Ba.

4.2. Výsledky měření mineralogického složení vzorku popílku pomocí rentgenové difrakce

Pro toto měření byl vzorek ve formě prášku nanesen na podložku a zafixován. Dále bylo provedeno rutinní měření pomocí XRD analyzátoru Seifert v rozsahu úhlů, které poskytnou dostatečně přesné informace pro identifikaci fází (obvykle v rozsahu $2\text{--}60^\circ$). Na obr. 2 je uveden pořízený rentgenový záznam s vyznačením pozadí, kde šedá pole ukazují, kterým píkům byly přiřazeny některé z níže identifikovaných fází.

Jednotlivým píkům jsou přiřazeny karty minerálů obsažených v použité databázi a identifikují se příslušné fáze a jejich semikvantitativní obsah ve vzorku popílku. Bližší informace o nalezených fázích jsou uvedeny v tabulce II.

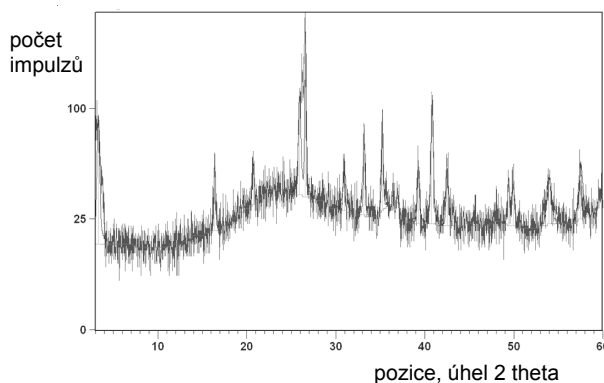
Tabulka I

Výsledky měření chemického složení popílku rentgenovou fluorescenční analýzou

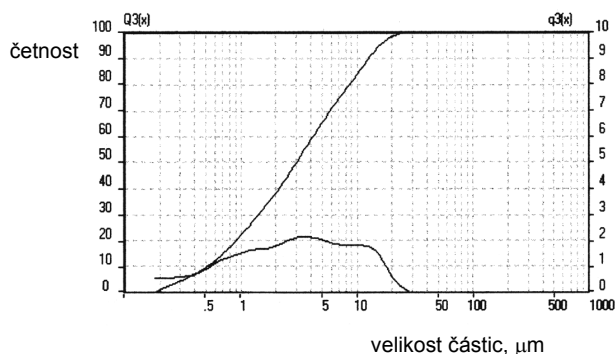
Oxid	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO
hm. %	0,4	0,3	34,1	57,1	0,5	0,2	0,4	0,9	1,3	4,5	0,2

4.3. Výsledky měření distribuce velikosti částic vzorku popílku

Měření bylo provedeno pomocí analyzátoru FRITSCH 22 v imerzní kapalině, která nesmí reagovat se vzorkem. V kombinaci s optickou či elektronovou mikroskopií lze odhalit shluky částic, které tato metoda nerozezná a tak korigovat získané výsledky. Výsledky měření jsou znázorněny na obr. 3.



Obr. 2. Rentgenový záznam pořízený při měření mineralogického složení vzorku popílku metodou rentgenové difrakce



Obr. 3. Výsledky měření distribuce velikostí částic vzorku popílku pomocí analyzátoru FRITSCH

Tabulka II
Identifikované fáze ve vzorku popílku

Číslo karty minerálu	Pravděpodobnost výskytu [%]	Relativní intenzita píku	Chemický vzorec	Semikvantitativní obsah [%]	Název minerálu
79-1455	83	0,988	Al _{4,59} Si _{1,41} O _{9,7}	56	mullit
83-2467	43	0,548	SiO ₂	42	křemen
79-1741	19	0,154	Fe ₂ O ₃	2	hematit

5. Závěr

V příspěvku jsou popsány fyzikální a chemické vlastnosti částic, které výrazně ovlivňují účinnost jejich elektrického odlučování. Jsou uvedeny nejpoužívanější metody pro stanovení jejich chemického a mineralogického složení, měření rezistivity a distribuce velikostí. V závěru jsou uvedeny experimentální výsledky měření uvedených vlastností vzorku popílku z teplárny. Z uvedené studie je zřejmý význam znalostí o fyzikálních a chemických vlastnostech příměsí pro optimální návrh a bezproblémový provoz elektrického odlučovače.

Práce vznikla s podporou výzkumných záměrů MSM 6046137306 a MSM 6046137302.

LITERATURA

1. Parker K. R.: *Applied Electrostatic Precipitation*. Chapman & Hall, London 1997.
2. Böhm J.: *Elektrické odlučovače*. SNTL, Praha 1977.
3. Kulkarni P., Namiki N., Otani Z., Biswas P.: *J. Aerosol Sci.* 33, 1279 (2002).
4. Zhuang Y., Kim Y. J., Lee T. G., Biswas P.: *J. Electrostatics* 48, 245 (2000).
5. Zukeran A., Looy P. C., Chakrabarti A., Berezin A., Jayaram S., Gross J. D., Ito T., Chang J.: *IEEE Transactions on Industry Applications* 5, (1999).
6. Gallimberti I.: *J. Electrostatics* 43, 219 (1998).
7. IEEE Standard 548: *Criteria and Guidelines for the Laboratory Measurement and Reporting of Fly Ash Resistivity* (1984).
8. ČSN EN 61241-2-2 *Elektrická zařízení pro prostory s hořlavým prachem - Část 2: Zkušební metody, oddíl 2: Elektrická rezistivita prachu* (1997).
9. Bickelhaupt R. E.: *Fly Ash Resistivity Prediction Improvement With Emphasis on Sulfur Trioxide*. Final Report July 1983-July 1984. Southern Research Institute Birmingham. EPA 600/7-86/010, NTIS PB86-178126.

M. Maryška^a and J. Hofmann^b (^a*Department of Glass and Ceramics, Faculty of Chemical Technology,* ^b*Department of Physics and Measurements, Faculty of Chemical Engineering, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Physical and Chemical Properties of Particles Removed by Electrostatic Precipitator**

Methods of estimation of dust particle size distribution, electric resistivity and chemical composition of dust particles are described and results of measurement are presented. Physical and chemical properties of dust particles affecting the performance of electric precipitation are discussed.