UDK 621.359.48:66.067.3

Osnove delovanja in razvoj elektrostatičnih filtrov

ROMAN POVŠE

1. UVOD

Oljna kriza je sprožila ponovno zanimanje za izkoriščanje domačih virov energije, v prvi vrsti premoga. Nadomeščanje uvoženih tekočih goriv z domačim premogom pa ima poleg osnovne pozitivne zamisli tudi negativne posledice.

To je v prvi vrsti povečanje emisije škodljivih snovi v okolje. Med te štejemo zgorevalni produkt SO_2, ki povzroča nizkotemperaturno korozijo v parnih kotlih ter škodljivo vpliva na okolje, dušikove okside NO_x in pa trdne delce, ki jih dimni plini emitirajo v okolico. Vzporedno z naraščajočim zanimanjem za energetsko izkoriščanje premoga se je naglo povečalo tudi število raziskav na področju izločanja trdnih delcev iz dimnih plinov kakor tudi popolnoma nove zamisli za izboljšanje delovanja že preizkušenih naprav.

Za izločanje prašnih delcev iz nosilnega dimnega plina uporabljamo:

— silo težnosti (vsedalna komora),
— vztrajnostno silo (udarni odpraševalniki),
— centrifugalno silo (ciklonski izločevalniki),
— zadrževalne sile (vrečasti izločevalniki),
— elektrostatične sile (elektrofiltri).

V tem prispevku so podana novejša dognanja na področju elektrostatičnega izločanja trdnih delcev iz nosilnega plina.

Elektrofilter sodi že desetletja med najpomembnejše naprave za izločanje trdnih delcev in kapljic iz plinov. Pri ogromnih količinah dimnih plinov, ki so produkt zgorevanja velikih zgorevalnih naprav, je elektrostatični filter najbolj primerna rešitev. To napravo odlikuje tudi velika stopnja izločanja, kar je pri današnji obremenitvi okolja izrednega pomena.

Ob prednostih elektrofiltra:

— velike stopnje izločanja, ki dosežejo tudi nad 99,9 % in
— čiščenja velikih pretokov 500 m^3/s in več,

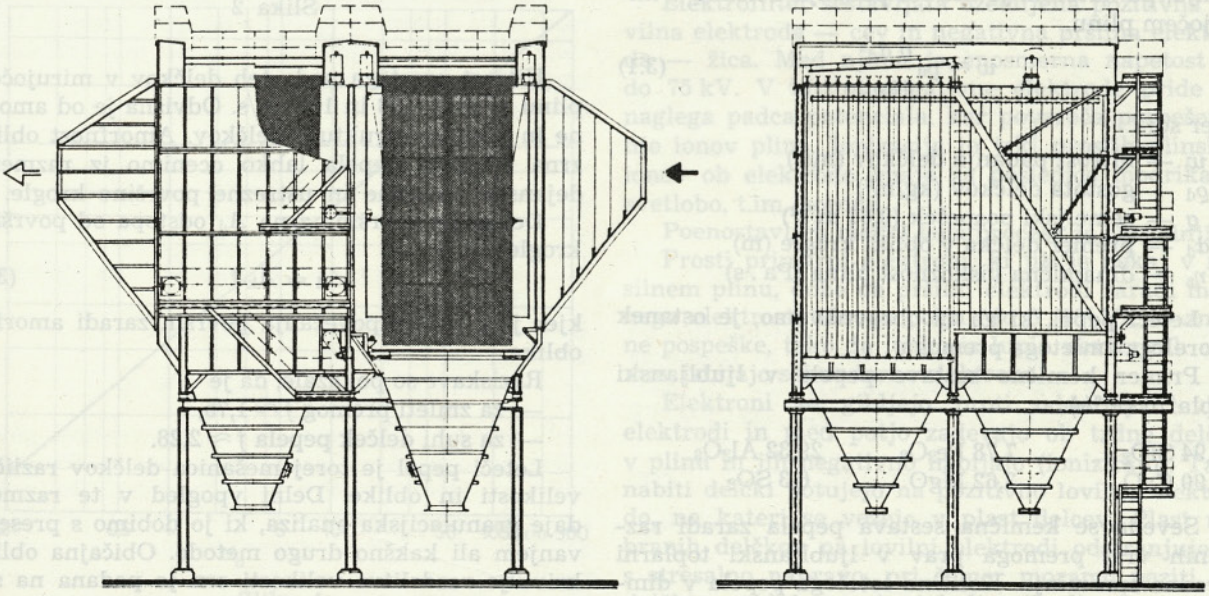
lahko naštejemo še nekaj dobrih lastnosti, ki so:

— majhna poraba električne energije za čiščenje (med 0,07 in 0,35 kWh na 1000 m^3/h plina),
— majhni pretočni odpori pri pretoku skozi napravo, ki znašajo med 1 in 2,5 mbar (100 in 250 Pa),
— majhni stroški za vzdrževanje naprave,
— velika zanesljivost v obratovanju (razpoložljivost teh naprav je danes med 98 in 99 %),
— doba trajanja elektrofiltra (ki se — ob primernem vzdrževanju — ujema z dobo trajanja naprave, kateri je priključena).

Med najbolj boleče pomanjkljivosti elektrofiltrov sodi njihova cena, saj presega ceno drugih čistilnih naprav, npr. ciklonskih, vrečastih in drugih izločevalnikov.

Elektrofilter lahko uporabljamo na različnih industrijskih področjih: v industriji cementa za odpraševanje peči in mlinov, v železarnah pri napravah za sintranje ter pri martinovkah in konvektorjih, v industriji nekovin za pridobivanje cinka in svinca, v koksarnah, industriji celuloze ipd.

Pričujoči prispevek se ukvarja pretežno z uporabo elektrofiltrov v toplotnih elektrarnah, in to pri parnih kotlih, ki uporabljajo premog ali pa gospodinjske ter industrijske odpadke.



Slika 1

2. ZGRADBA ELEKTROFILTROV

Sodobni elektrofilter je prikazan na sliki 1.

Dimni plini vstopajo skozi difuzor, v katerem se zmanjšuje hitrost plinov. Posebne smerne pločevine skrbijo za to, da se dimni plini enakomerno porazdelijo po prerezu in se tok ne odlepi od sten.

Oblika elektrod je različna. Novejše pršilne elektrode so opremljene s konicami. Razdalja med pršilno in lovilno elektrodo je običajno do 20 cm. Tudi lovilne elektrode morajo izpolnjevati določene zahteve: oblika mora biti taka, da jo je mogoče z udarci intenzivno in enakomerno zanihati. Prerez te elektrode ne sme imeti ostrih prehodov, da tako preprečimo visokonapetostne preboje. Lovilna elektroda mora s svojo obliko omogočati odvajanje nabranega pepela v jašek pod elektrofiltrom.

Za stresanje lovilnih elektrod skrbijo mahalna kladiva, ki so nameščena na pogonski gredi pod različnimi koti. Vrtilna hitrost gredi se lahko spreminja in s tem se spreminja tudi intenzivnost čiščenja elektrod. Sodobni čistilni sistemi za elektrode omogočajo spreminjanje ritma čiščenja.

Elektrofilter je običajno razdeljen v več zaporednih čistilnih polj. Posamezna polja so sposobna izločati okoli 85 % trdnih delcev, ki prilete v čistilno polje. Iz tega je razvidno, da lahko z večanjem števila zaporednih polj dosegamo poljubno stopnjo izločanja.

3. OSNOVE DELOVANJA

3.1. Osnove odpraševanja

Prah v plinih je dvofazni tok trdnih delcev v nosilnem plinastem mediju. Za prah je značilen majhen vpliv težnostnih sil na delčke v primerjavi z vztrajnostno silo gibanja delčkov v nosilnem plinu. Zato lahko pričakujemo Stokesov režim gibanja, po katerem je hitrost padanja delčkov v mirujočem plinu.

$$w \approx \varrho_d \frac{g\, d_d^2}{18 \eta_p} \tag{3.1}$$

kjer so:

w — hitrost padanja delčkov (m/s)
ϱ_d — gostota delčkov (kg/m³)
g — zemeljski pospešek (9,81 m/s²)
d_d — premer delčka v obliki krogle (m)
η_s — dinamična viskoznost plina (Pa . s)

Leteči pepel, ki ga tu obravnavamo, je ostanek zgorelega zmletega premoga.

Primer kemične sestave pepela v ljubljanski toplarni (v %):

44,94 SiO_2	7,78 Fe_2O_3	29,32 Al_2O_3
7,90 CaO	3,62 MgO	6,3 SO_2

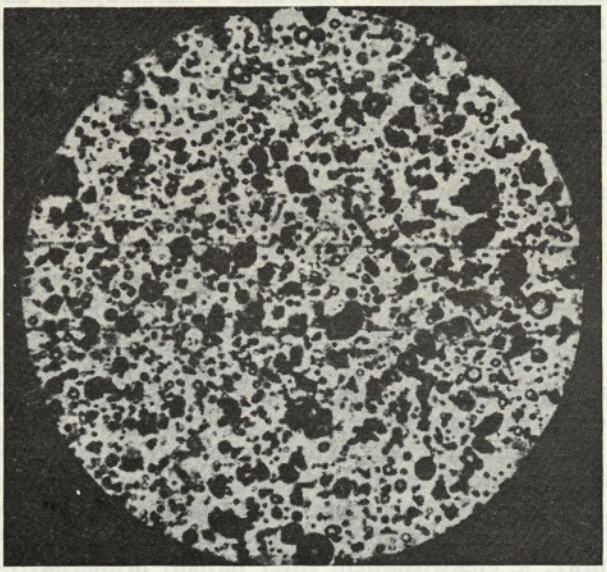
Seveda se kemična sestava pepela zaradi različnih vrst premoga prav v ljubljanski toplarni izredno spreminja. Količina letečega pepela v dimnih plinih je odvisna na eni strani od deleža pepela v premogu, na drugi strani pa od vrste kurjave. Tu navajam le dva ekstremna primera za količino pepela v dimnih plinih:

— pri parnem kotlu na prašno kurjavo z odvzemanjem žlindre v neraztaljenem stanju 70 . . . . . 80 %,

— pri parnem kotlu s kurjavo na rešetko 10 . . . . . 20 %.

Med parametri, ki vplivajo na delovanje elektrofiltra, sta tudi oblika in velikost delčkov.

Slika 2 prikazuje v povečanem merilu (63 : 1) porazdelitev in obliko delčkov v dimnih plinih. S slike je razvidno, da so delčki različni po velikosti in obliki, da imajo amorfno strukturo, ki je povrhu še porozna. Kot prah definiramo delce velikosti 0 . . . 100 μm.



Slika 2

Hitrost prostega pada teh delčkov v mirujočem plinu je med 0,03 in 100 cm/s. Odvisna je od amorfne in porozne strukture delčkov. Amorfnost oblike zrna letečega pepela lahko ocenimo iz razmerja dejanske površine in ustrezne površine krogle.

Dejanska površina zrna A_d odstopa od površine krogle A_k

$$A_d = A_k f \tag{3.2}$$

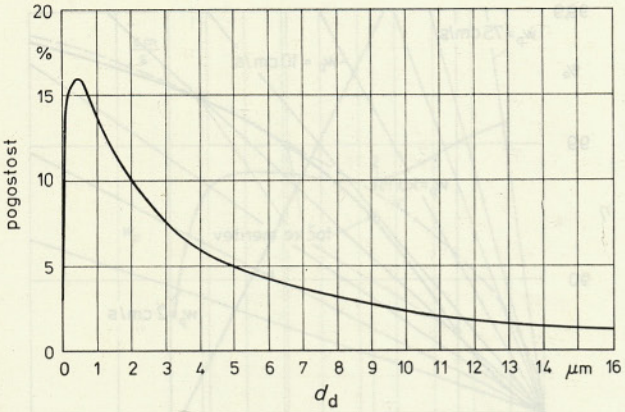
kjer je f faktor povečanja površin zaradi amorfne oblike.

Raziskave so pokazale, da je

— za zmleti premog $f \approx 1{,}75$,

— za suhi delček pepela $f \approx 2{,}28$.

Leteči pepel je torej mešanica delčkov različne velikosti in oblike. Delni vpogled v te razmere daje granulacijska analiza, ki jo dobimo s presejavanjem ali kakšno drugo metodo. Običajna oblika krivulje razdelitve velikosti zrn je podana na sliki 3.



Slika 3
d_d — velikost zrna

Maksimum granulacijske krivulje je v bližini ordinate in je odvisen od vrste goriva in kakovosti mletja.

Po statistični verjetnosti se v praksi uporablja enačba po ROSIN-RAMMLERJU

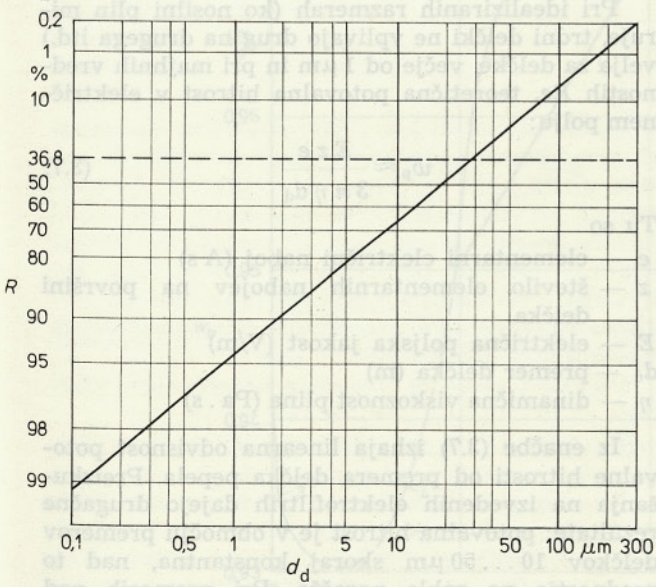
$$R = 100 \,.\, e^{-(x/\bar{x})^n} \qquad (3.3)$$

v kateri pomenijo:

R — ostanek na situ (%)
x — velikost zrna (μm)
$\bar{x}$ — referenčna velikost zrna (μm), $R(\bar{x}) = 36{,}8$ %
n — karakteristični eksponent prahu (0,65 . . . 1,35)

Z dvakratnim logaritmiranjem enačbe (3.3) dobimo

$$\ln \ln \frac{100}{R} = n(\ln x - \ln \bar{x}) \qquad (3.4)$$

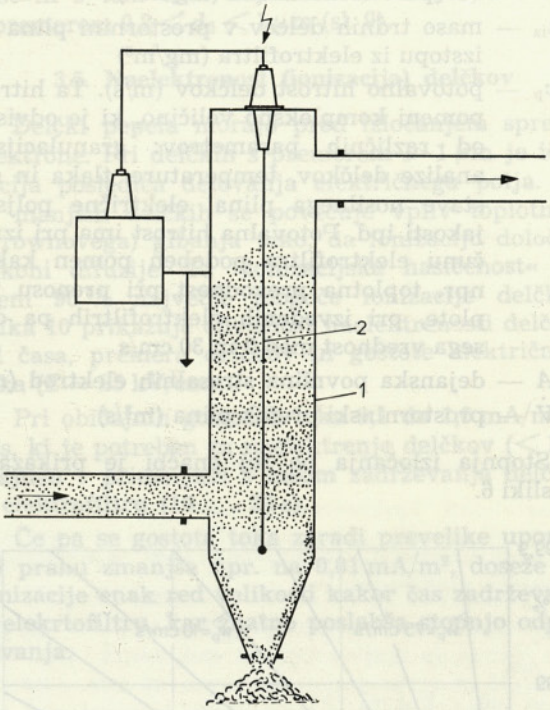


Slika 4

Na ta način lahko lineariziramo krivuljo R, pri čemer daje eksponent n nagib premice. Pri predpostavki take razdelitve zrnatosti potrebujemo dva merilna rezultata za granulacijsko analizo. Na sliki 4 je primer krivulje porazdelitve zrnatosti (ostankov na normiranih sitih) po Rosin-Rammlerju.

3.2. Načelo delovanja

Načelo delovanja elektrostatičnega izločevalnika je prikazano na sliki 5.



Slika 5
1 — lovilna elektroda, 2 — pršilna elektroda

Elektrofilter sestavljata ozemljena pozitivna lovilna elektroda — cev in negativna pršilna elektroda — žica. Med njima je enosmerna napetost 30 do 75 kV. V bližini negativne elektrode pride do naglega padca potenciala, kar povzroča pospeševanje ionov plina. Ionizacija in trki prostih plinskih ionov ob elektrodo imajo za posledico modrikasto svetlobo, t.im. korono.

Poenostavljen model tega procesa je naslednji:

Prosti primarni elektroni, ki jih je nekaj v nosilnem plinu, dobe ob pršilni elektrodi zaradi močnega elektrostatičnega polja (do $5 \,.\, 10^5$ V/cm) znatne pospeške, tako da lahko iz lupin nevtralnih atomov izbijajo sekundarne elektrone.

Elektroni se gibljejo proti oddaljeni lovilni elektrodi in med potjo zadevajo ob trdne delčke v plinu in jih negativno nabijajo (ionizirajo). Tako nabiti delčki potujejo na pozitivno lovilno elektrodo, na kateri se vežejo v plast delcev. Plast nabranih delčkov na lovilni elektrodi odstranjujemo s stresalno napravo, pri čemer moramo paziti, da delčki ne uidejo nazaj v tok dimnih plinov.

3.3. Osnove izračuna

Enačba za izračun velikosti elektrofiltra po DEUTZU se glasi

$$\eta = \frac{m_v - m_{iz}}{m_v} = 1 - e^{-w_p \frac{A}{\dot{V}}} \qquad (3.5)$$

Tu pomenijo

η — stopnjo izločanja

m_v — maso trdnih delcev v prostornini plina pri vstopu v elektrofilter (mg/m³*)

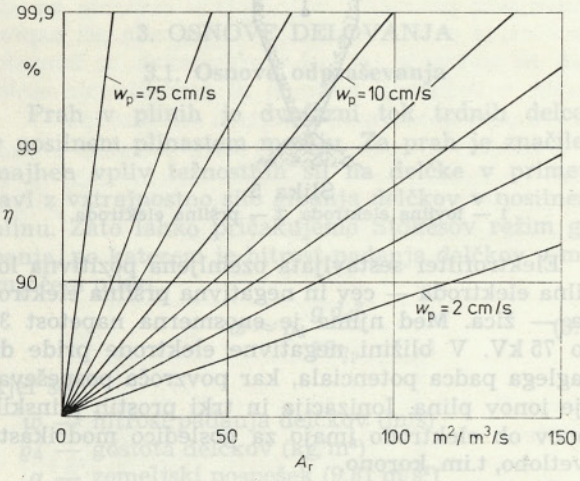
m_{iz} — maso trdnih delcev v prostornini plina na izstopu iz elektrofiltra (mg/m³)

w_p — potovalno hitrost delčkov (m/s). Ta hitrost pomeni kompleksno veličino, ki je odvisna od različnih parametrov: granulacijske analize delčkov, temperature, tlaka in sestave nosilnega plina, električne poljske jakosti ipd. Potovalna hitrost ima pri izračunu elektrofiltra podoben pomen kakor npr. toplotna prevodnost pri prenosu toplote, pri izvedenih elektrofiltrih pa dosega vrednost med 2 in 30 cm/s

A — dejanska površina stresalnih elektrod (m²)

$\dot{V}$ — prostorninski pretok plina (m³/s)

Stopnja izločanja po tej enačbi je prikazana na sliki 6.



Slika 6

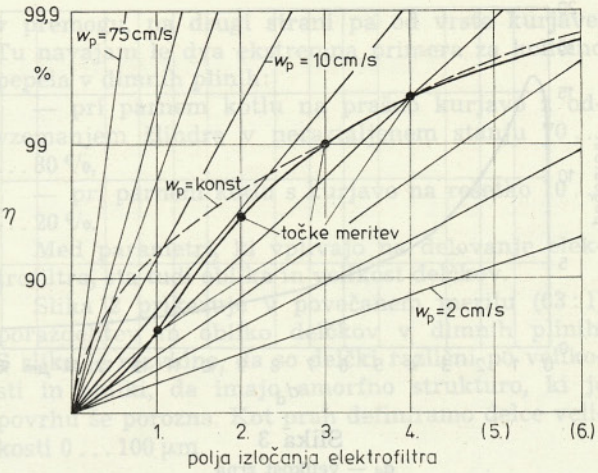
η — stopnja izločanja,
A_r — razmerna površina stresalnih elektrod

Meritve na vrsti obratujočih elektrofiltrov pa so pokazale, da potovalna hitrost w_p in razmerna površina A/V nista konstantni veličini. Ta opazovanja so vodila do modifikacije DEUTZOVE enačbe v

$$\eta = 1 - e^{-(w_p \cdot A/\dot{V})^p} \qquad (3.6)$$

Vrednost dodatnega eksponenta p, določenega na osnovi več meritev, je 0,4 . . . 0,7.

* Pri normalnem stanju 0 °C in 1013 mbar.



Slika 7

η — stopnja izločanja

Na sliki 7 je prikazana primerjava stopnje izločanja v posameznih zaporednih čistilnih poljih, izračunane po modificirani enačbi (3.6) za $p = 0{,}5$ in rezultatov meritev. Iz diagrama je razvidno, da se izločanje v prvih dveh poljih približno ujema z enačbo (3.5), naslednje stopnje pa z modificirano enačbo (3.6).

Vzroke za tako obnašanje elektrofiltrov iščemo lahko v spremembi fizikalnih lastnosti trdnih delčkov vzdolž posameznih čistilnih polj. Te lastnosti so opisane v nadaljnjih poglavjih.

3.4. Potovalna hitrost delčkov

Potovalno hitrost delčkov jemljemo kot integralno povprečno vrednost hitrosti izločanja delčkov v elektrofiltru.

Pri idealiziranih razmerah (ko nosilni plin miruje, trdni delčki ne vplivajo drug na drugega itd.) velja za delčke, večje od 1 μm in pri majhnih vrednostih *Re*, teoretična potovalna hitrost v električnem polju:

$$w_p \approx \frac{E\,z\,e}{3\,\pi\,\eta\,d_d} \qquad (3.7)$$

Tu so

e — elementarni električni naboj (A s)

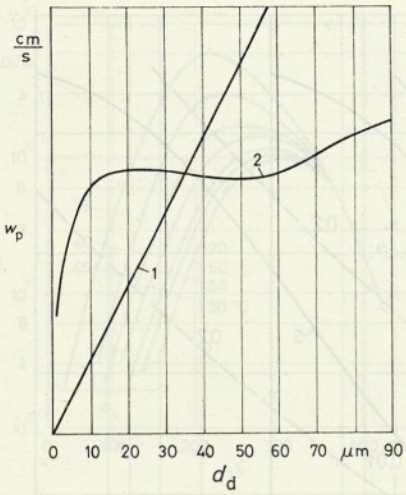
z — število elementarnih nabojev na površini delčka

E — električna poljska jakost (V/m)

d_d — premer delčka (m)

η — dinamična viskoznost plina (Pa . s)

Iz enačbe (3.7) izhaja linearna odvisnost potovalne hitrosti od premera delčka pepela. Preizkušanja na izvedenih elektrofiltrih dajejo drugačne rezultate: potovalna hitrost je v območju premerov delčkov 10 . . . 50 μm skoraj konstantna, nad to vrednostjo pa rahlo narašča. Pri premerih pod 10 μm potovalna hitrost delčkov naglo pojema.



Slika 8
1 — teorija, 2 — preizkus

Na sliki 8 je prikazana odvisnost potovalne hitrosti od premera delčkov po enačbi (3.7) ter na osnovi preizkusov.

Pri delčkih s premerom $d_d < 0{,}2$ μm, to je pri tistih, pri katerih je gibanje delčkov posledica toplotnega (Brownovega) gibanja, je potovalna hitrost delčkov [4]

$$w_p \approx \frac{E \,.\, T\, Cu}{\eta} \qquad (3.8)$$

Tu sta

T — absolutna temperatura (K)
Cu — Cunninghamov faktor:

$$Cu = 1 + \frac{2\,\lambda_M}{d_d}\,(1{,}257 + 0{,}4\,e^{-1{,}1 d_d/2\lambda_M}) \qquad (3.9)$$

λ_M — srednja prosta pot molekule ($\approx 10^{-9}$ m)

Zanimivo je, da daje enačba (3.9) za majhne premere delčkov s Cunninghamovo korekturo obratno odvisnost: zmanjšanje premera delčka povečuje potovalno hitrost delčka.

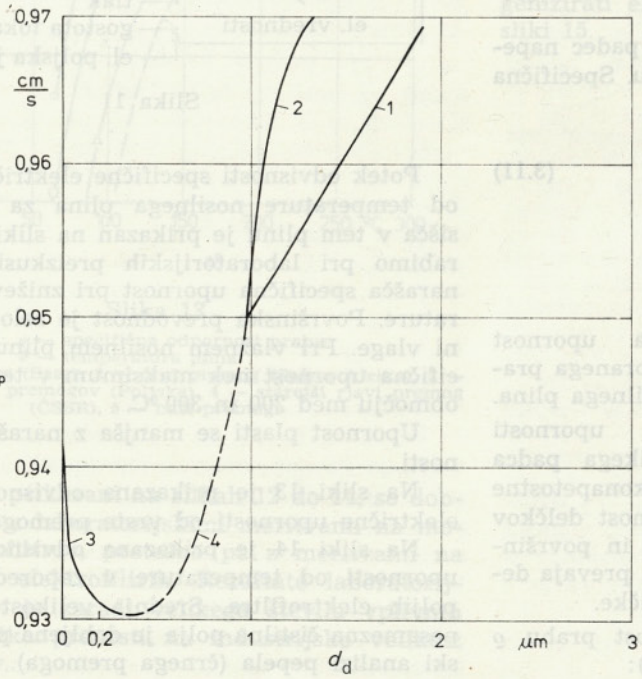
Iz navedenega izhaja najmanjša potovalna hitrost in s tem tudi najslabše izločanje za delčke s premerom $0{,}2 < d_d < 1$ μm (sl. 9).

3.5. Naelektrenost (ionizacija) delčkov

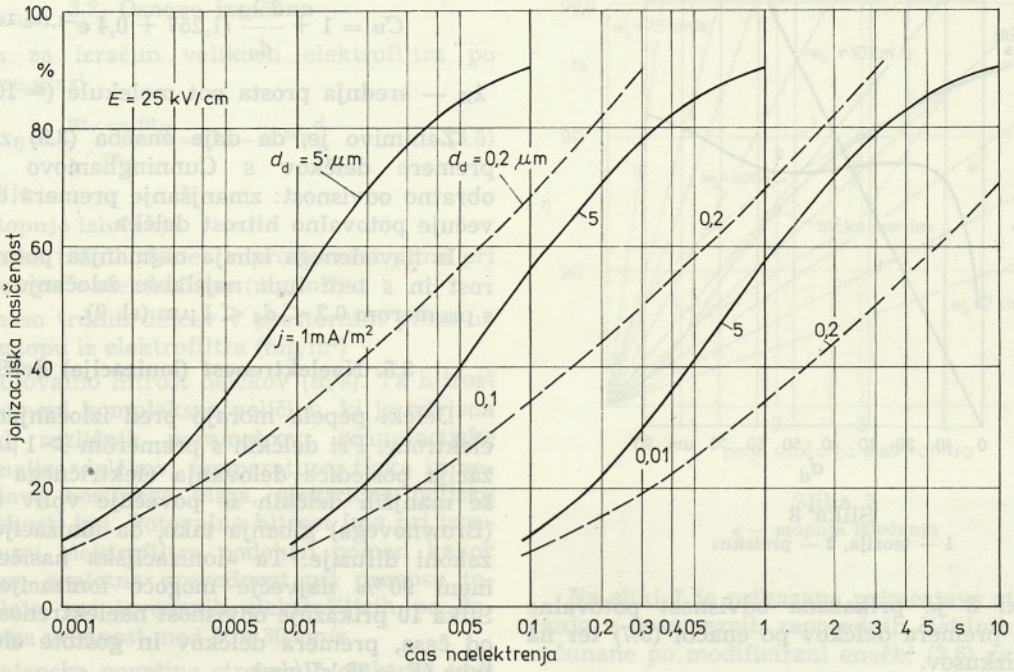
Delčki pepela morajo pred izločanjem sprejeti elektrone. Pri delčkih s premerom > 1 μm je ionizacija posledica delovanja električnega polja. Pri še manjših delčkih se povečuje vpliv toplotnega (Brownovega) gibanja tako, da ionizacijo določajo zakoni difuzije. Ta »ionizacijska nasičenost« pomeni 90 % največje mogoče ionizacije delčkov. Slika 10 prikazuje odvisnost naelektrenosti delčkov od časa, premera delčkov in gostote električnega toka ($E = 25$ kV/cm).

Pri običajnih gostotah toka 0,1 do 1,0 mA/m² je čas, ki je potreben za naelektrenje delčkov (< 1 s), majhen v primerjavi s časom zadrževanja delčkov v elektrofiltru (10 . . . 20 s).

Če pa se gostota toka zaradi prevelike upornosti prahu zmanjša npr. na 0,01 mA/m², doseže čas ionizacije enak red velikosti kakor čas zadrževanja v elekrtofiltru, kar znatno poslabša stopnjo odpraševanja.



Slika 9
1 — po enačbi (3.7)
2 — na podlagi meritev
3 — po enačbi (3.8)
4 — nedefinirano področje $0{,}2 < d_d < 1$ μm



Slika 10

3.6. Električna upornost prahu

Padec napetosti v plasti prahu, ki se nabira na stresalnih elektrodah je

$$U_p = I_k \, R_p \tag{3.10}$$

kjer sta

I_k — tok v koroni (A)

R_p — električna upornost plasti (Ω)

Pri konstantnem toku v koroni je padec napetosti sorazmeren upornosti plasti prahu. Specifična električna upornost ϱ je

$$\varrho = \frac{A}{s} R_p \tag{3.11}$$

kjer sta

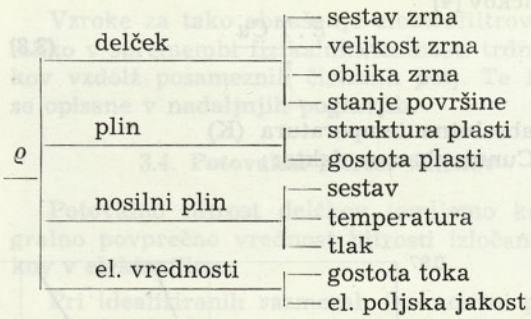
A — površina lovilne elektrode (m²)

s — debelina plasti prahu (m).

Premajhna specifična električna upornost ($< 10^5 \, \Omega$ cm) povzroča vračanje že nabranega prahu na stresalnih elektrodah v tok nosilnega plina.

Prevelike specifične električne upornosti ($> 10^{11} \, \Omega$ cm) povzročajo zaradi velikega padca napetosti v plasti prahu lokalne visokonapetostne preboje. Specifična električna prevodnost delčkov prahu je sestavljena iz prostorninske in površinske prevodnosti, kar pomeni, da se tok prevaja deloma po površini, deloma pa skozi delčke.

Na specifično električno prevodnost prahu ϱ vpliva vrsta vplivnih dejavnikov (sl. 11):



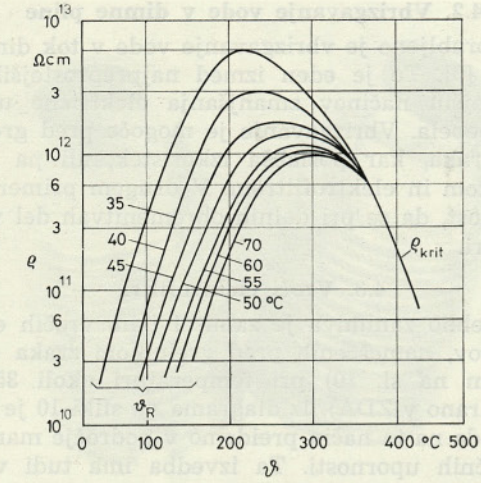
Slika 11

Potek odvisnosti specifične električne upornosti od temperature nosilnega plina za različna rosišča v tem plinu je prikazan na sliki 12. Če uporabimo pri laboratorijskih preizkusih suh zrak, narašča specifična upornost pri zniževanju temperature. Površinska prevodnost je zelo majhna, ker ni vlage. Pri vlažnem nosilnem plinu doseže specifična upornost nek maksimum v temperaturnem območju med 200 in 300 °C.

Upornost plasti se manjša z naraščanjem vlažnosti.

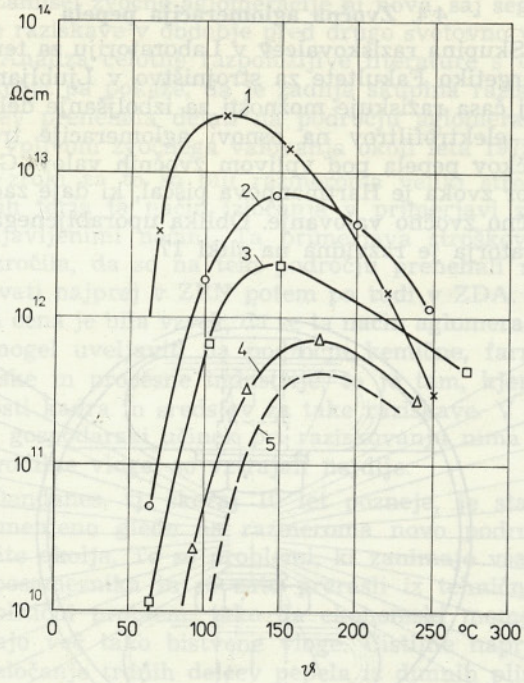
Na sliki 13 je prikazana odvisnost specifične električne upornosti od vrste premoga.

Na sliki 14 je prikazana odvisnost specifične upornosti od temperature v zaporednih čistilnih poljih elektrofiltra. Srednja velikost zrna x_{50} za posamezna čistilna polja je dobljena po granulacijski analizi pepela (črnega premoga).



Slika 12

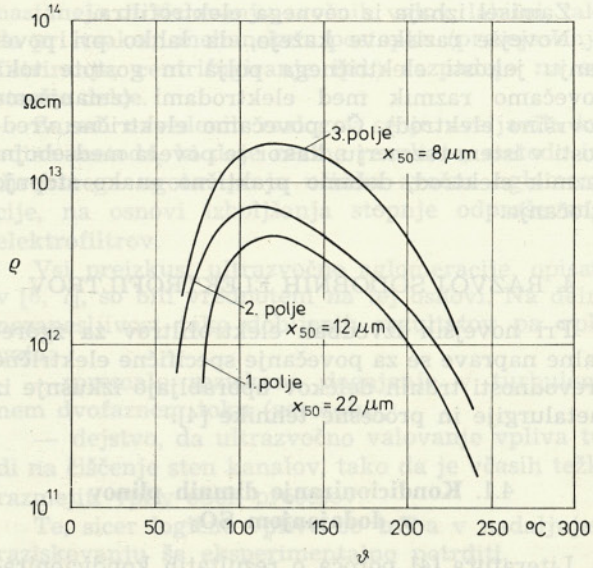
ϑ_R — temperatura rosišča



Slika 13

ϱ — specifična odpornost prahu
ϑ — temperatura plina
1 — črni premog (Saar), 2 — črni premog (Južna Afrika), 3 — mešanica črnih premogov (Poljska), 4 — starejši rjavi premog (ČSSR), 5 — naši premogi

Rezultati, prikazani na slikah 12 do 14, so dobljeni deloma z laboratorijskimi meritvami na modelih elektrofiltrov, pretežno pa z meritvami na že izvedenih elektrofiltrih. Rezultate laboratorijskih meritev je zaradi velikega števila vplivnih faktorjev težko prenesti na industrijsko velikost elektrofiltrov.



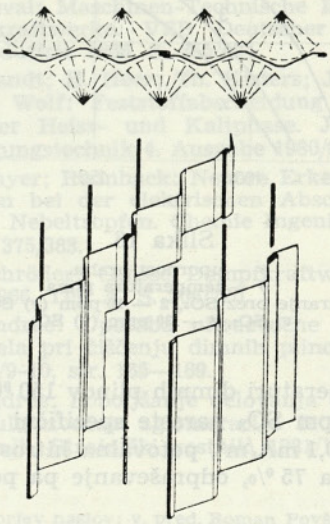
Slika 14

ϱ — upornost prahu,
ϑ — temperatura plina

3.7. Oblika in medsebojna razdalja elektrod

Optimalna stopnja odpraševanja je odvisna od homogenosti električnega polja. Idealni primer je cevni elektrofilter, prikazan na sliki 5.

Ploščati elektrofiltri (sl. 1), ki se danes pretežno uporabljajo, imajo nehomogeno električno polje. Namesto tanke žice se uporabljajo elektrode z bodicami, kar še povečuje nehomogenost. Najnovejše konstrukcije ploščatih elektrod skušajo homogenizirati električno polje v obliko, prikazano na sliki 15.



Slika 15

Zamisel izhaja iz cevnega elektrofiltra.

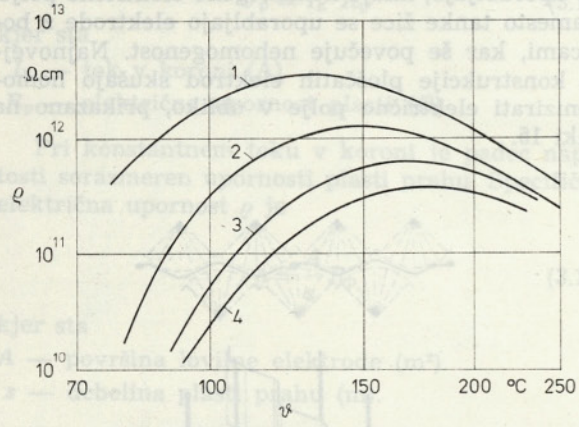
Novejše raziskave kažejo, da lahko pri povečanju jakosti električnega polja in gostote toka povečamo razmik med elektrodami (zmanjšamo površino elektrod). Če povečamo električne vrednosti v istem razmerju, kakor se poveča medsebojni razmik elektrod, dobimo praktično enako stopnjo izločanja.

4. RAZVOJ SODOBNIH ELEKTROFILTROV

Pri novejših izvedbah elektrofiltrov za zgorevalne naprave se za povečanje specifične električne prevodnosti trdnih delčkov uporabljajo izkušnje iz metalurgije in procesne tehnike [4].

4.1. Kondicioniranje dimnih plinov z dodajanjem SO_3

Literatura [4] poroča o rezultatih kondicioniranja SO_3 v dimne pline. Z dodajanjem SO_3 v dimne pline se že pri majhnih količinah znatno zmanjša specifična upornost plasti. Zaradi nevarnosti pri uskladiščenju SO_3 gre dandanes razvoj v smeri neposrednega pridobivanja SO_3 ob elektrofiltru na osnovi tekočega žvepla. Kurivo je črni premog s pepelom, ki brez kondicioniranja povzroča v zadnjem polju t.im. povratno pršenje elektronov zaradi prevelike upornosti. V diagramu na sliki 16 so specifične upornosti brez dodajanja in z dodajanjem različnih količin SO_3 v dimne pline.



Slika 16

ϱ — upornost prahu,
ϑ — temperatura plina
1 — kondicioniranje brez SO_3, 2 — 10 ppm (v) SO_3, 3 — 20 ppm (v) SO_3, 4 — 30 ppm (v) SO_3

Pri temperaturi dimnih plinov 150 °C in z dodajanjem 30 ppm SO_3 naraste specifični tok v plasti od 0,03 na 0,1 mA/m², potovalna hitrost delčkov w se poveča za 75 %, odpraševanje pa poboljša za 6 do 13 %.

Kot optimalno koncentracijo priporočajo 10 do 15 ppm SO_3.

4.2. Vbrizgavanje vode v dimne pline

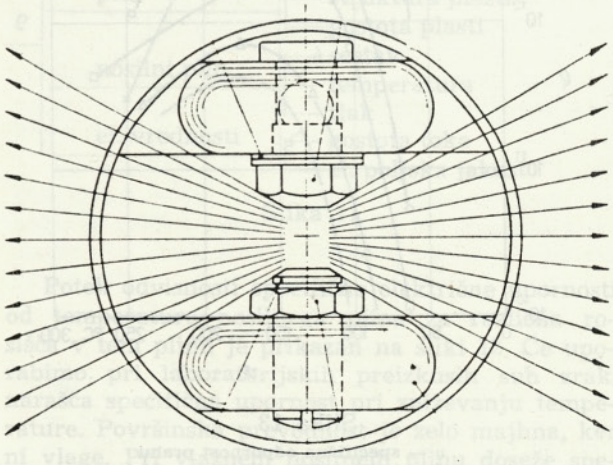
Uporabljeno je vbrizgavanje vode v tok dimnih plinov [3]. To je eden izmed najpreprostejših in najcenejših načinov zmanjšanja električne upornosti pepela. Vbrizgavanje je mogoče pred grelnikom zraka, kar poslabša izkoristek, ali pa med grelnikom in elektrofiltrom. V drugem primeru je nevarnost, da se pri delnih obremenitvah del vode ne upari.

4.3. Vroči elektrofiltri

Posebno zanimiva je zamisel t. im. vročih elektrofiltrov, nameščenih pred grelnikom zraka (glej diagram na sl. 10) pri temperaturi okoli 350 °C (realizirano v ZDA). Iz diagrama na sliki 10 je razvidno, da na ta način preidemo v področje manjših specifičnih upornosti. Ta izvedba ima tudi vrsto negativnih učinkov (zmanjšano odpornost proti preboju, povečanje prereza elektrofiltra za 40 do 60 %, probleme materialov za te temperature, večje toplotne izgube, večjo ceno, ipd.).

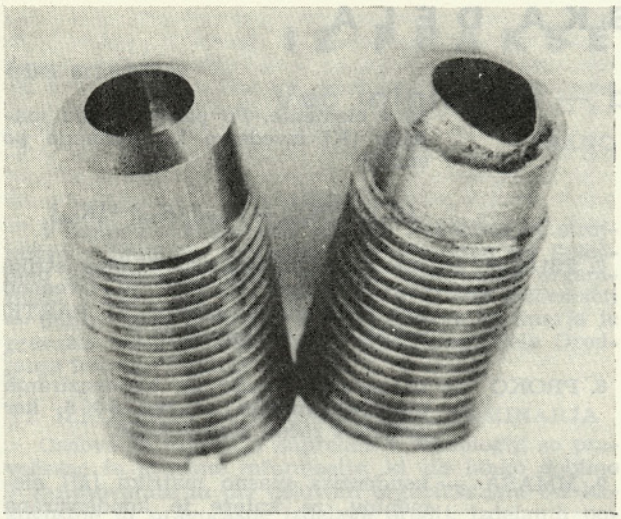
4.4. Zvočna aglomeracija pepela

Skupina raziskovalcev v Laboratoriju za termoenergetiko Fakultete za strojništvo v Ljubljani že dalj časa raziskuje možnosti za izboljšanje delovanja elektrofiltrov na osnovi aglomeracije trdnih delčkov pepela pod vplivom zvočnih valov. Generator zvoka je Hartmannova piščal, ki daje zadosti močno zvočno valovanje. Oblika uporabljenega generatorja je razvidna na sliki 17.



Slika 17

Pogonski medij, ki ekspandira v šobi generatorja, je bil pri začetnih preizkusih stisnjen zrak, pri sedanji fazi preizkušanja pa pregreta vodna para. Le-ta je uporabljena zaradi znatno nižje cene, čeprav povzroča večje obratovalne težave. Pri preizkusih v TE Šoštanj je namreč ekspanzija pare pod rosišče povzročila, da so kapljice v pari znatno poškodovale rezonator. Na sliki 18 je nov in erodiran rezonator po nekajurnem obratovanju.



Slika 18

Zamisel zvočne aglomeracije ni nova, saj segajo prve raziskave v obdobje pred drugo svetovno vojno. Analiza celotne razpoložljive literature s tega področja pa pokaže, da je zadnja skupina raziskovalcev prenehala delati na področju aglomeracije pod vplivom zvočnega valovanja okoli leta 1975.

Vzroki za to so bili razmeroma veliki stroški, ki jih terja ta način izločanja v primerjavi z že uveljavljenimi načini. Ta primerjava stroškov je povzročila, da so na tem področju prenehali raziskovati najprej v ZRN potem pa tudi v ZDA. Visoka cena je bila vzrok, da se ta način aglomeracije ni mogel uveljaviti na področju kemične, farmacevtske in procesne industrije, to je tam, kjer je zadosti kadra in sredstev za take raziskave. V SZ, kjer gospodarski učinek pri raziskovanju nima tako vodilne vloge, so vztrajali najdlje.

Dandanes, tj. skoraj 10 let pozneje, je stanje spremenjeno glede na razmeroma novo področje zaščite okolja. To so problemi, ki zanimajo vsakega posameznika in so zato prerasli iz tehničnega v politični problem, tako da ekonomski momenti nimajo več tako bistvene vloge. Čistilne naprave za izločanje trdnih delcev pepela iz dimnih plinov (elektrofiltri), za čiščenje odpadnih voda, za kurjenje odpadkov, posebno pa naprave za razžveplavanje dimnih plinov so že izredno drage, pa jih kljub temu gradijo. Zato je področje zaščite okolja tisto, pri katerem se lahko zvočna aglomeracija ponovno uveljavi.

Nadaljnji verjetni vzrok za zmanjšanje zanimanja za to področje je dejstvo, da je eksperimentalno dokazovanje zvočne aglomeracije izredno težavno, saj terja ne le kontrolo koncentracije trdnih delčkov, temveč tudi hkratno kontrolo spremenjene granulacije (velikosti) delčkov. Uporabo običajnih metod poznejše granulacijske analize delčkov onemogoča dejstvo, da so sprimki (aglomerati) ki nastanejo ob delovanju zvočnih valov, labilni, tako da pri vsakem mehanskem postopku (presejavanje, filtriranje, centrifugiranje ipd.) razpadejo na sestavne delce.

Zaradi navedenih razlogov se je uveljavila kot edina metoda, ki daje realne rezultate, metoda indirektnega ugotavljanja učinka zvočne aglomeracije, na osnovi izboljšanja stopnje odpraševanja elektrofiltrov.

Vsi preizkusi ultrazvočne aglomeracije, opisani v [6, 7], so bili vrednoteni na tej osnovi. Na delno nezanesljivost tako dobljenih rezultatov pa vplivajo:

— premalo raziskano dogajanje v turbulentnem dvofaznem toku (aerosolu);

— dejstvo, da ultrazvočno valovanje vpliva tudi na čiščenje sten kanalov, tako da je včasih težko razmejiti vpliv obeh procesov.

Te, sicer logične vplive bo treba v nadaljnjem raziskovanju še eksperimentalno potrditi.

Pričakovani učinek zvočne aglomeracije je tudi povečanje izločanja za delčke $0{,}2 > d_d > 10\ \mu m$, ki po novejših raziskavah pomenijo dokaj nevarno frakcijo. Ti delčki se namreč zaradi svoje majhne mase slabo izločajo iz ozračja, tako da zmanjšujejo prepustnost zraka za svetlobno in toplotno sevanje.

Zaradi aglomeracije delčkov pričakujemo spremembo granulacijske sestave pepela v očiščenih dimnih plinih in s tem spremembo nagiba granulacijske premice v Rosin-Rammlerjevem diagramu (glej poglavje 3.1.).

Dosedanje preizkušanje nakazuje, da je mehanizem zvočne aglomeracije splet različnih vplivov in terja zato veliko eksperimentalnega dela.

LITERATURA

[1] R. Manz; W. Frank: Experimentalle Arbeiten als Grundlage für die Dimensionierung von Elektrofiltern. Technische Mitteilungen und Forschungsberichte. Nov. 1981. S. 61/77.

[2] A. Levai: Maschinen-Technische Einrichtungen der Wärmekraftwerke. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1966. S. 355/424.

[3] J. Brandt; H. Heer; Th. Kisters; J. Matten; H. Schrade; R. Wolf: Feststoffabscheidung aus Rauchgassen in der Heiss- und Kaltphase. Jahrbuch der Dampferzeugungstechnik 4. Ausgabe 1980/81. S. 736/746.

[4] G. Mayer; Rennhack: Neuere Erkenntnisse und Anwendungen bei der elektrischen Abscheidung von Stäuben und Nebeltropfen. Chemie Ingenieur Technik. Maj 1980. S. 375/383.

[5] K. Schröder: Grosse Dampfkraftwerke. Springer Verlag 1966. Teil A. S. 206/220.

[6] L. Andrée: Uporaba ultrazvočne aglomeracije letečega pepela pri čiščenju dimnih plinov, Strojniški vestnik, 1978/9-10, str. 165—169.

[7] L. Andrée: Poboljšanje delovanja elektrofiltrov s pomočjo ultrazvočne aglomeracije letečega pepela v dimnih plinih, Strojniški vestnik, 1981/10-12, str. 263 do 270.

Avtorjev naslov: v. pred. Roman Povše, dipl. ing.
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani