

ELEKTROSTATIESE GRUISBEDDENS VIR GASFILTRASIE : DIE INVLOED VAN PARTIKELLADING OP DOELTREFFENDHEID

G Kornelius

Departement Chemiese Ingenieurswese,
Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

(Lesing gelewer by die 6de Nasionale Vergadering van die
SA Instituut van Chemiese Ingenieurs, Durban. 7-9 Augustus 1991)

OPSOMMING:

Eksperimentele resultate wat met 'n laboratoriumskaal-gruisbedfilter verkry is word aangebied. Die gruisbed is toegerus met 'n ioniseerder wat die stofpartikels laai voordat hulle die bed binnegaan. Gruis tussen 1,7 en 3,3 mm word gebruik om stof van 0,3 mikron tot 10 mikron uit 'n gasstroom te verwyder. Spannings van tot 10 kV word oor 'n 6 cm diep bed aangewend terwyl 'n laaiveld tot 4 kV per cm gebruik word. Aan die hand van grafiese voorstellings word die invloed van gasvloeiensnelheid, bedbeweging, bedspanning en ioniseerderspanning getoon. Die neiging in die resultate kan teoreties voorspel word. Verder werk is nodig om veral die invloed van gruiiseienskappe en stofeienskappe op die beddoeltreffendheid te bepaal.

SUMMARY:

Experimental results obtained on a laboratory-scale gravel bed filter are presented. An ioniser to pre-charge dust particles before they enter the bed is used. Gravel between 1,7 and 3,3 mm is used to remove particles between 0,3 and 10 micron in diameter from a gas stream. A potential of up to 10 kV is applied across a 6 cm deep bed while the ioniser uses a field strength of up to 4 kV per cm. The influence of gas flow speed, bed movement, bed potential and ioniser potential is shown graphically. Trends in results can be forecast theoretically. Further work is required to be able to predict the influence of the properties of the gravel and the dust on bed efficiency.

INLEIDING

Gruisbeddens word al etlike dekades in 'n aantal spesiale toepassings gebruik om stof uit gasstrome te verwyder, veral in dié toepassings waar die stof nie maklik met konvensionele toerusting verwyder kan word nie. Sulke toepassings sluit stof met hoë resistiwiteit, gas met hoë temperatuur en klewerige stof in. Vroeëre ontwerpe het horisontale beddens gehad wat meganies versteur is en terselfdertyd in omgekeerde rigting geblaas is om versamelde stof te verwyder. Bedryf was dus op 'n sikliese basis. Mettertyd is die beddens vertikaal geplaas, met 'n kontinue afwaartse beweging van die bed. Die skoonmaakaksie vind ook kontinu plaas deur gruis onder uit die bed te verwyder en nadat dit van gekollekteerde stof gereinig is bo terug te plaas.

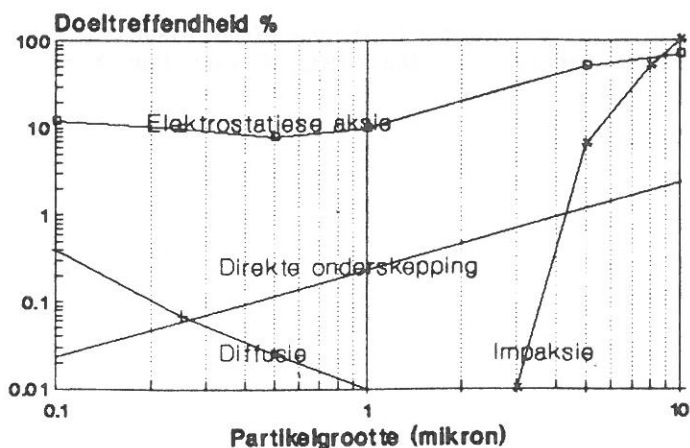
Reeds teen ongeveer 1970 is gevind dat die aanwending van 'n elektrostatiese veld oor die gruisbed die doeltref-

fendheid dramaties verhoog. Die rede daarvoor is dat die doeltreffendheid van die elektrostatiese meganisme vir partikelversameling ordes beter is as van die ander meganismes. Die gruisbed word in effek in 'n groot aantal elektrostatiese presipiteerders omskep. Die resultaat van 'n monsterberekening om die doeltreffendheid van die verskillende meganismes te verkry word in fig 1 getoon.

Berekeningsmetodes om die totale aksie van alle onderskeppingsmeganismes oor die diepte van 'n gruisbed te verkry is elders goed beskryf (Calvert en Englund (1), Kamffer en Kornelius (2)) en tipiese resultate word in fig. 2 vir 'n statiese bed getoon.

Dit is hieruit duidelik dat die lading van die partikels 'n baie groot invloed op beddoeltreffendheid het. Die invloed van partikellading op die doeltreffendheid is ook prakties aangetoon deur die gebruik van 'n Polonium 210-bron waarvan die α -strale negatiewe ladings wat deur wrywing

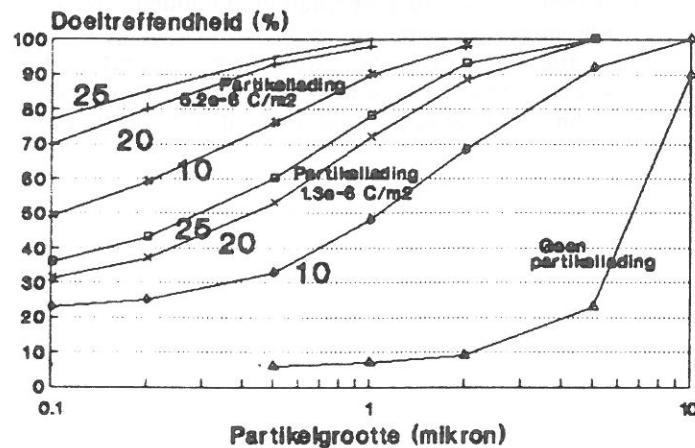
Doeltreffendheid van verskillende onderskeppingsmeganismes



6 mm granule, veld 1 kV/cm

Figuur 1

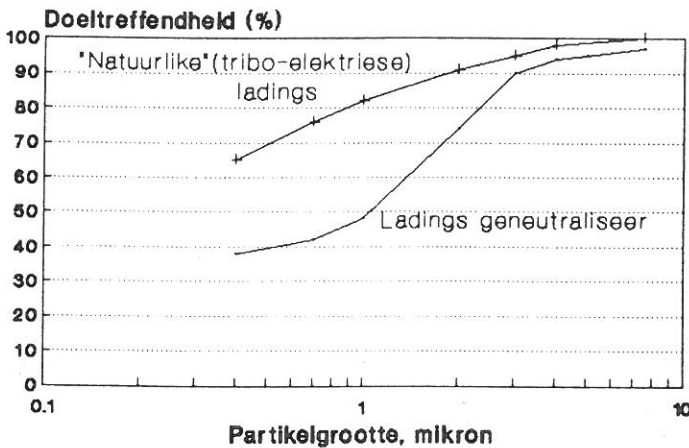
Teoretiese beddoeltreffendheid 3 cm bed, 3mm sterliese granules



Parameter: kV spanningval oor bed

Figuur 2

Doeltreffendheid met "natuurlike" lading 3 cm bed, 3mm glassfere



Alumina stof

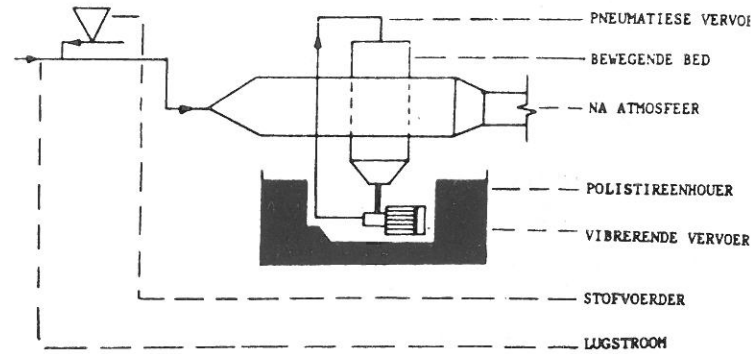
Figuur 3

op die partikels mag ontstaan neutraliseer (fig. 3). 'n Eksperimentele program is vervolgens onderneem om die invloed van 'n partikellading te ondersoek deur op 'n meetbare en herhaalbare manier partikels te laai voordat dit die bed binnegaan.

EKSPERIMENTEEL:

'n Skematiese voorstelling van die apparaat wat gebruik is word in fig. 4 gegee. Nadat die lug gedroog en die vloeï daarvan gemeet is word stof deur middel van 'n skroefvoerder en dispersiemondstuk by die lug gevoeg. In sommige gevalle is dit nodig om 'n glymiddel (Degussa Sipernat 220) by die stof te voeg om reproduseerbare voortempo's te verkry. Die dispersiemondstuk word benodig om te verseker dat die stof nie agglomerate vorm nie. (Yamamoto(3)). Nadat die lug verhit is word dit deur 'n ioniseerder of vooraflaai gestuur sodat die partikels gelaai kan word voordat dit die gruisbed binnegaan. Besonderhede oor die ontwerp van die ioniseerder word in anhangsel A verskaf. Die spanning oor die gruisbed en die ioniseerder kan afsonderlik verstel word. Die gruisbed is gebou uit 'n elektries-isolerende materiaal (Cerelon). Die beddikte is 60 mm en die filtrasië-area is 200 mm hoog en 100 mm wyd. Deur die amplitude van 'n vibrerende voerder aan die onderpunt van die gruisbed te verstel kan die vertikale bedsnelheid verstel word. Dolomietgruis word as filtrasiëmedium gebruik en in hierdie geval is fraksie 2,3 - 3,35 mm of 1,7 - 3,35 mm gebruik.

Die in- en uitlaatkonsentrasies van die stof in die lugstroom word deur middel van 'n optiese partikelsensor en -teller (HIAC-Royco 4100 en 1200 onderskeidelik) gemeet. Die klasintervalgrense is gestel op 0,3; 0,5; 1,5; 3,0; 5,0 en 10 mikron. Die sensor kan partikels kleiner as 0,3 mikron nie akkuraat sien nie, terwyl partikels groter as 10 mikron geredelik deur meganiese metodes verwyder word en dus vir die doel van die studie van minder belang is.



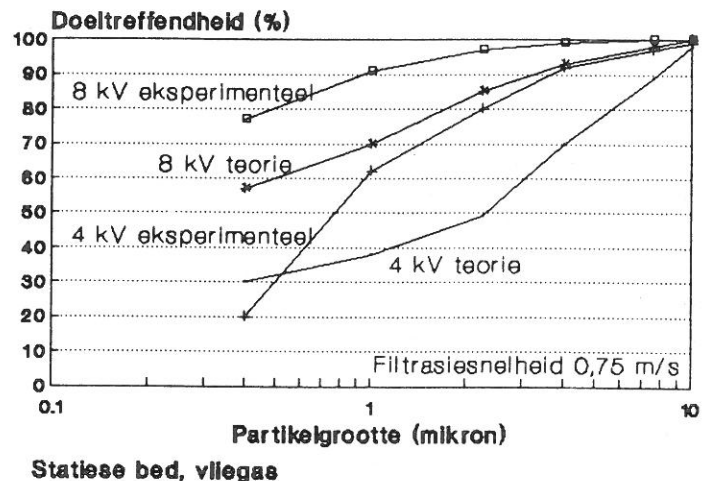
Figuur 4

Voor die aanvang van elke lopie word die opstelling eers m.b.v. saamgeperste lug uitgeblaas. Die partikelteller word aangeskakel om te stabiliseer terwyl die stof in die stofvoerder geplaas word. As 'n lopie by hoër as kamertemperatuur plaasvind word 30 minute toegelaat vir die gruismedium om werkteperatuur te bereik voordat stof gevoer word. Vervolgens word die stofvoerder aangeskakel en tot die verlangde tempo verstel. Stabiliseringstyd is ongeveer 10 minute, waarvan 10 konsentrasielesings van 1 minuut elk afwisselend by die in- en uitlaat geneem word om te verseker dat goeie gemiddeldes verkry word.

* Stilstaande bed

'n Vergelyking tussen tipiese resultate wat uit eksperimente verkry is en teoretiese berekenings vir dieselfde toestande verskyn in fig. 5.

Beddoeltreffendheid: Vergelyking van eksperiment met teorie



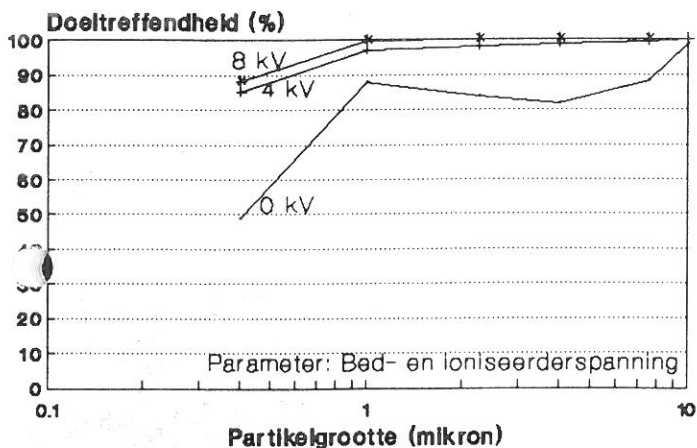
Figuur 5

Dit moet in gedagte gehou word dat sekere parameters wat 'n belangrike invloed op die teoretiese waardes het nie maklik gemeet kan word nie en daarom so goed as moontlik geskat is. Die belangrikste hiervan is die dielektriese eienskappe van die gruis en van die as- of stofpartikels. Verder is daar by die teoretiese berekenings aangeneem dat die gruismedium uit sferiese partikels bestaan, terwyl die dolomietgruis in werklikheid hoekig is. Laasgenoemde feit mag tot gevolg hê dat hoër plaaslike veldsterktes in die bed heers, wat lei tot beter as teoretiese onderskeppingsdoeltreffendhede. In die lig van

hierdie vereenvoudigings bestaan daar ten minste wat neigings betref redelike ooreenkom.

Uit 'n vergelyking van figure 6 en 7 blyk dit dat die gas-filtrasiesnelheid 'n baie groter invloed het by lae spannings. By hoë gassnelhede en lae spanning bereik die partikels in die ioniseerder 'n baie laer fraksie van hulle versadigingsspanning weens 'n kort retensietyd en die effek oorheers die verbetering in impaksie-doeltreffendheid wat met hoër gassnelheid gepaard gaan.

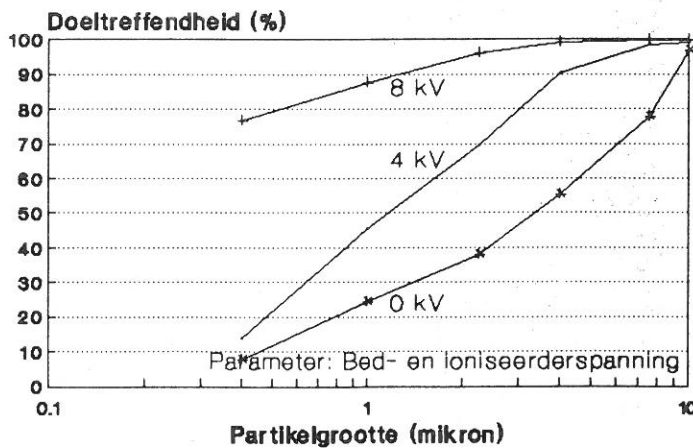
Statische bed:Doeltreffendheid
Filtrasiesnelheid 0,25 m/s



Dolomietgruis 2,3 - 3,3 mm, vliegias

Figuur 6

Statische bed:Doeltreffendheid
Filtrasiesnelheid 0,75 m/s



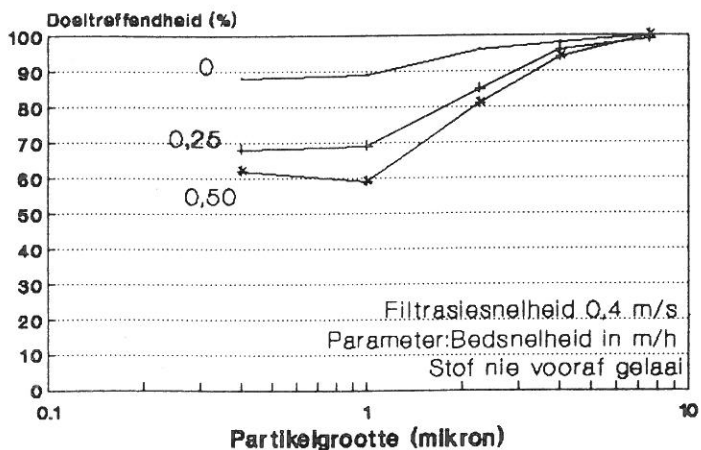
Dolomietgruis 2,3 - 3,3 mm, vliegias

Figuur 7

*** Bewegende bed**

Die invloed van die beweging van die bed word duidelik uit fig. 8 (Kornelius en Kamffer (4)). Die bedspanning in hierdie figuur is 10 kV. Die feit dat die bed beweeg het 'n groter invloed as die snelheid waarteen dit beweeg. Laasgenoemde is nog duideliker by laer filtrasiesnelhede, waar die lyne vir verskillende bedsnelhede byna op mekaar val.

Beddoeltreffendheid:Invloed van
bedsnelheid



Vliegias;2,3 - 3,3 mm dolomietgruis

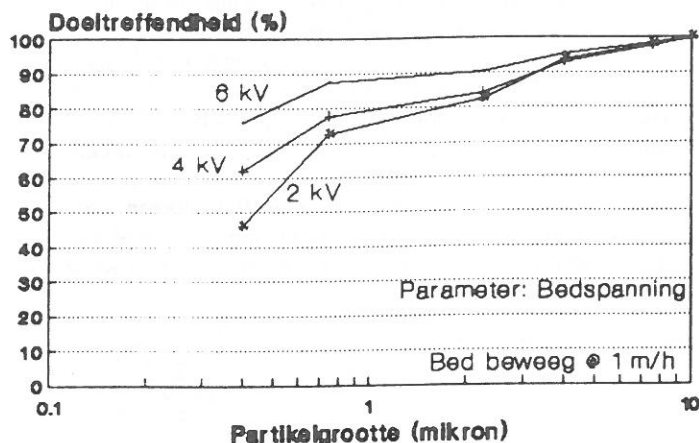
Figuur 8

Die afsonderlike invloede van die bedspanning en die ioniseerderspanning word getoon in fig. 9 en 10. Die invloed is die duidelikste merkbaar by partikelgroottes kleiner as 1 mikron, waar die elektrostatiese meganisme die belangrikste is. Hier blyk verder hoe 'n groot bydrae die vooraflading van die partikels werklik tot doeltreffendheid van die gruisbed maak. Die ferrosilikonstof wat hier gebruik is het 'n koolstofinhoud van ongeveer 1,5% wat die algehele doeltreffendheid laer maak as dié vir die vliegias in figure 6 - 8.

Figure 11 en 12 toon die invloed van die stofparameters self op die filtrasiedoeltreffendheid. Figuur 11 toon resultate vir ferrochroomstof, wat volgens die literatuur 'n baie hoë resistiwiteit het en daarom nie geskik is om in elektrostatiese presipiteerders verwyder te word nie weens die probleem van terugkorona. Ons het goeie resultate in die gruisbed verwag maar die teleurstellende waardes in die figuur verkry. 'n Chemiese analise het getoon dat die stof 'n gloeiverlies van 15% het en dus baie koolstof bevat. Dit is dus waarskynlik nie in staat om ladings te behou nie en word daarom nie elektrostaties deur gruispartikels aangetrek nie. Figuur 12 is die resultate wat verkry is uit 'n toetsloop wat op versoek van 'n baksteenvervaardiger uitgevoer is. Die stof wat by vervoerband-oordragpunte ontstaan is "klewerig" en word nie maklik van sakfilters afgeskud nie.

Dit is duidelik dat 'n baie goeie doeltreffendheid vir hierdie stof verkry kan word.

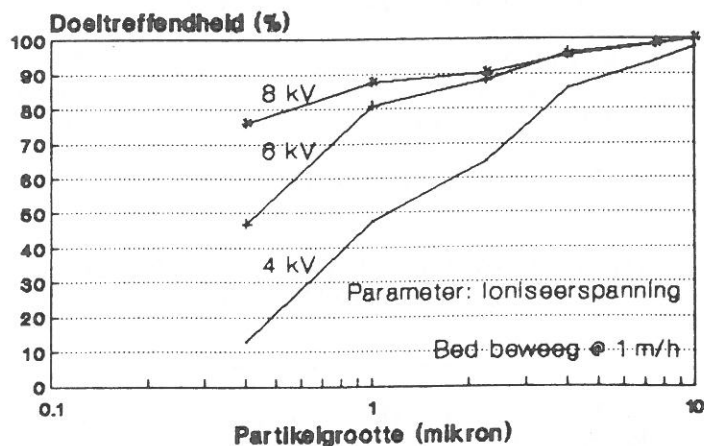
Bewegende bed: Doeltreffendheid
Ioniseerspanning 8 kV; dolomiet 1,7-3 mm



FeSi-stof; filtraasnelheid 0,25 m/s

Figuur 9

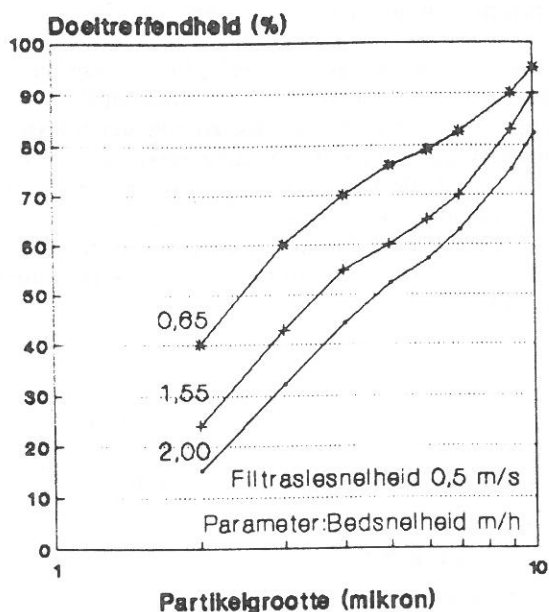
Bewegende bed: Doeltreffendheid
Bedspanning 6kV; dolomietgruis 1,7-3,3 mm



FeSi-stof; filtraasnelheid 0,25 m/s

Figuur 10

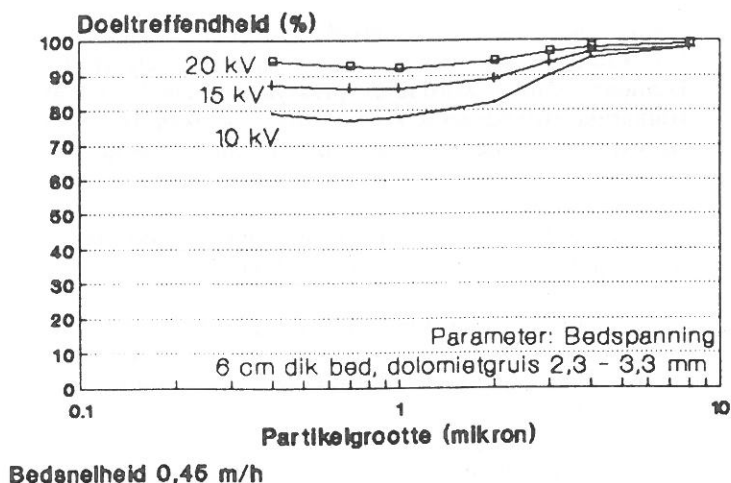
Beddoeltreffendheid: Ferrochroomstof
Bedspanning 20 kV, beddikte 6 cm



Dolomietgruis 2,3 - 3,3 mm.

Figuur 11

Beddoeltreffendheid: Baksteenkleistof
Filtrasiesnelheid 0,4 m/s



Bednelheid 0,45 m/h

Figuur 12

GEVOLGTREKKINGS:

Dit is duidelik dat neigings in die eksperimentele resultate ooreenstem met die wat uit eenvoudige vergelykings vir die onderskeppingsmeganismes vir stofpartikels in 'n granulêre bed verkry word. Die belangrikste tekortkomings is tans :

- verkryging van akkurate fisiese data (veral elektriese eienskappe) van beide die gruis en die stof

- die modifisering van die vergelykings om voorsiening te maak vir nie-sferiese granules
- die beskrywing van die invloed van bedbeweging op partikelretensie
- die invloed van die vulling van intergranulêre ruimtes deur stof (alle eksperimente is op relatief skoon beddens uitgevoer)

VERWYSINGS:

CALVERT, S., en ENGLUND, H.M. (eds) (1984). Handbook of air pollution technology. Wiley-Interscience new York.

KAMFFER, L., en KORNELIUS, G. (1988). 'n Gasfiltrasie deur elektrostatische gruisbeddens. 5de Nasionale Byeenkoms van die SAICHI, Pretoria.

- YAMAMOTO, H., en SUGANAMA, A. (1984). Dispersion of airborne aggregate dust by an orifice. Intern. Chem. Eng. 24 no 2 pp 338 ev.
- KORNELIUS, G., en KAMFFER, L. (1989). Finale verslag aan die NER: Elektrostatiese gruisbedfilters vir filtrasie van vliegias uit warm gasstrome. Pretoria.
- BOHM, J. (1982). Electrostatic Precipitators. Elsevier, Amsterdam.
- WHITE, H. (1963). Industrial Electrostatic Precipitation. Addison-Wesley Reading Massachusetts.

AANHANGSEL A: Die ontwerp van 'n ioniseerder (Bohm(4), White (5)).

In die ioniseerder word 'n elektriese ontlading tussen twee elektrodes geskep. In hierdie ontlading vorm gasione wat van die negatiewe elektrode na die positiewe elektrode beweeg. Stofpartikels wat deur hierdie ionenwolk beweeg word op hulle beurt weer negatief gelaai.

Die spanning waarby die ontlading (korona) begin plaasvind kan teoreties bereken word vir 'n gegewe elektrodekonfigurasie maar word in die praktyk ook beïnvloed deur stofkarakteristieke soos konsentrasie, partikelgrootte en -resistiwiteit en deur die aanpakking van stof binne die apparaat.

Partikels wat deur die ionenwolk beweeg word hoofsaaklik deur middel van twee meganismes gelaai.

- Veldlading: Gasione bots met partikels groter as ongeveer $0,5 \mu\text{m}$ totdat die elektriese veld wat deur die versamelde ione veroorsaak word verdere ione afstoot.

So 'n versadigingslading word gevind uit

$$q_s = 12 \pi \epsilon_o E_o r_p^2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 2} \right)$$

en lading op enige tydstip daarvoor uit

$$q = q_s \left(\frac{\tau}{\tau + \tau_o} \right)$$

waar τ_o 'n ladingstydkonstante is wat bepaal word deur die karakteristieke van die ionenwolk nl

$$\tau_o = \frac{4 \epsilon_o}{N_o e K}$$

Vir elke veranderlike in hierdie vergelyking kan waardes bereken of ten minste binne 'n orde geskat word, sodat bereken kan word hoe lank 'n gegewe partikel in die ioniseerder moet bly om sê 90% van versadigingslading te verkry.

- Diffusielading: Die gasione is onderhewig aan die wette van die kinetiese gasteorie en diffundeer dus na die oppervlakte van stofpartikels waar hulle deur "image" kragte, wat op baie kort afstand werksaam is, vasgehou word. Alhoewel 'n elektriese veld partikellading volgens hierdie meganisme sal aanhêp is dit nie 'n voorvereistes daarvoor nie en teoreties bestaan daar nie 'n limiet op partikellading wat deur hierdie meganisme opgebou kan word nie. Dit is die belangrikste meganisme vir partikels kleiner as 0,2 mikron. Die aantal elektronladings wat oor tyd t opgebou word kan deur middel van die kinetiese gasteorie bereken word uit

$$n = \frac{4 \pi \epsilon_o k T r_p}{e^2} \ln \left(1 + \frac{e^2 \bar{V} r_p N_o t}{4 \epsilon_o k T} \right)$$

Indien lading teen tyd geplot word vir partikels in die groottebereik wat van belang is word gevind dat die diffusieladingstempo op tyd $t = 10 \tau_o$ baie stadig verloop.

Daar kan nou vir elke partikelgrootte 'n tyd bereken word waarin die partikel sê 90% van die versadigingslading as gevolg van die veldladingsmeganisme bereik. Uit hierdie tyd en die lineêre gassnelheid kan vervolgens 'n ioniseerderlengte bereken word.

By 'n filtrasiesnelheid van $0,25 \text{ ms}^{-1}$ (die ioniseerder het dieselfde deursnee-oppervlak as die gruisbed) word 'n plaatlengte van 5 cm in die vloei rigting gevind vir 'n spasiëring van 2,5 cm tussen ontladings elektrode en plaat. By hoër gassnelhede sal die partikel dus 'n laer fraksie van die versadigingslading bereik. Die laaikrommes loop asimptoties na die versadigingslading en die vermindering in versadigingsfraksie is nie eweredig aan die verkorting in retensietyd nie.

SIMBOLELYS:

		Eenhede
E_o	Veldsterkte	V m^{-1}
e	elektronlading	C
k	Boltzmann-konstante	-
N_o	Ioondigtheid	m^{-3}
n	aantal elektronladings	-
q	partikellading	C
q_s	versadigde partikellading	C
r_p	partikelstraal	C
t	tyd	s
τ_o	tydkonstante	s
T	temperatuur	k
V	ioonsnelheid (gemiddeld)	ms^{-1}
ϵ	relatiewe diëlektriese konstante	-
ϵ_o	permittiwiteit van 'n vakuum	Fm^{-1}