

GASFILTRASIE DEUR GRUISBEDDENS MET AANWENDING VAN 'N ELEKTRIESE VELD

G Kornelius, J C du Rand en K Bouchinger
 Departement Chemiese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria

INLEIDING

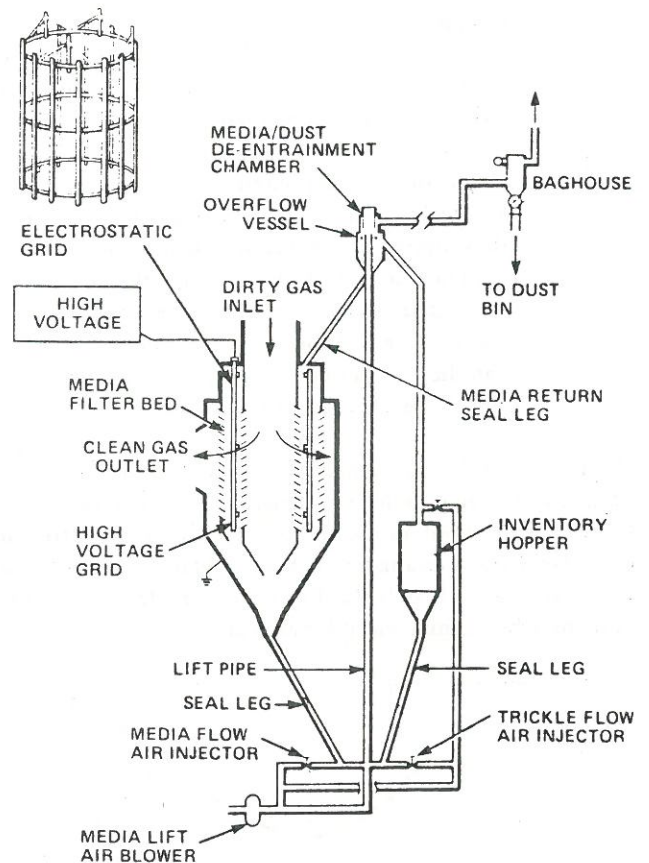
Die tegnologie vir die bestryding van partikulêre lugbesoedeling wêreldwyd en in Suid-Afrika het so 'n vlak van sofistikasie bereik dat die keuse van geskikte apparaat in die meeste gevalle op ekonomiese – eerder as tegnologiese oorwegings gegrond is. Daar is egter sekere spesifieke bronne van lugbesoedeling wat weens die aard van die gasstroom waarin die stof gedra word of die aard van die stof self meer noukeurige ondersoek verg. Hieronder is die reiniging van die afgas van sweefbedverbranders, wat dikwels by hoë druk en/of hoë temperatuur plaasvind; die filtrasie van die tipes stof wat nie maklik vanaf sakfilters of die plate van elektrostatische presipiteerders verwyder word nie; en laastens die verwydering van stof met 'n hoë resistiwiteit soos gevind word by die verbranding van sommige SA steenkole en die vervaardiging van sommige ferro-allooië. In laasgenoemde geval word die probleem verder gekompliseer deurdat die gasstroom aan temperatuurekursions onderhewig mag wees.

Gruisbedfilters, waarmee die stof uit die gasstroom verwyder word deur filtrasie met behulp van 'n granulêre medium, mag in sommige van bogenoemde gevalle 'n oplossing bied. Horisontale gruisbeddens word reeds etlike dekades in die Suid-Afrikaanse sementnywerheid aangewend. Meer onlangs is 'n ondersoek uitgevoer na die gebruik van vertikale gruisbeddens vir die filtrasie van sweefbedverbranding-afgas. 'n Optimisasie van die vloei patroon van gruis is ondersoek en 'n ekonomiese evaluasie is onderneem (Shaw et al. 1986).

Die doeltreffendheid van gruisbedfiltrasie kan aansienlik verhoog word deur die aanwending van 'n elektriese veld daarvoor. Die intergranulêre ruimtes tree op as kleinskaalse elektropresipiteerders. Slegs een elektrostatische-geaugmenteerde vertikale gruisbedfilter is tans in Suid-Afrika in bedryf (von Reiche en Kornelius, 1984) alhoewel daar in die VSA verskeie toepassings in die hout- en staal nywerheid bestaan.

Figuur 1 toon skematies hoe so 'n installasie daar uitsien (Combustion Power Co, 1983). Die vervoer van gebruikte medium kan pneumaties wees (soos in die skets), waardeur die stof tegelykertyd verwyder word, of deur middel van meer konvensionele metodes soos 'n bakkieshyser in welke geval besondere maatreëls vir die reiniging daarvan getref moet word.

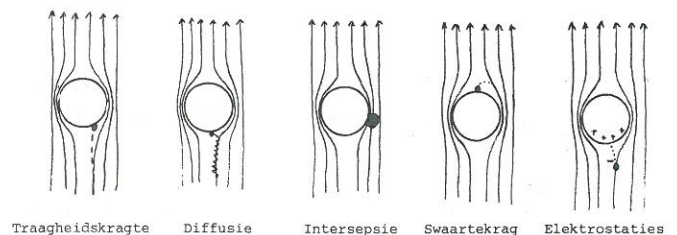
Die werk waaroor hier gerapporteer word het ten doel om die tegnologie van elektrostatische gruisbedfilters plaaslik te ondersoek en te vestig. Hier word gerapporteer slegs oor werk met 'n stilstaande bed, maar 'n bewegende bed is reeds opgestel en voorlopige ondersoekwerk word tans daarop gedoen.



Figuur 1 Elektrostatis geaugmenteerde gruisbedinstallasie.

TEORIE

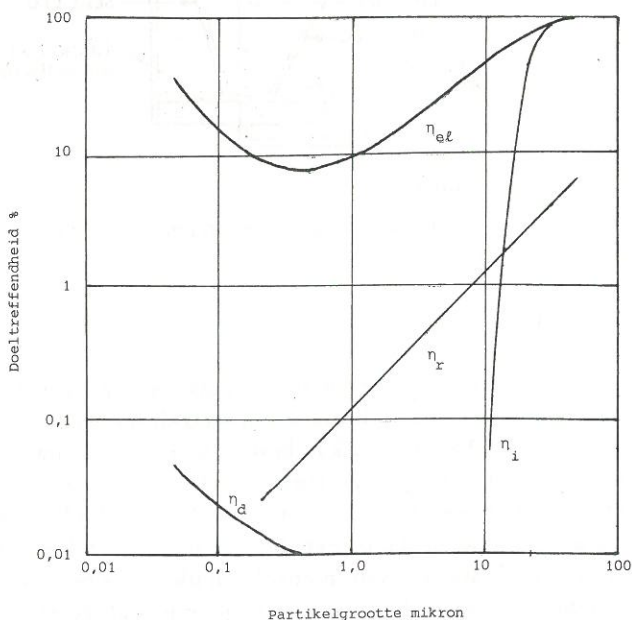
Die meganismes vir die onderskepping van fyn partikels deur granules kan aan die hand van verskeie modelle ondersoek word. Die gruisbed kan beskou word as 'n aantal granules in serie (Snaddon en Dietz, 1984) of as 'n aantal nou en vervormde kanale (Pendse en Tien, 1982a, 1982b). Die klassieke teorie vir die berekening van doeltreffendheid berus op die beskouing van 'n enkel granule in die bed en die stroomlyne daaromheen. Daar word normaalweg vier of vyf meganismes onderskei waarvolgens 'n stofpartikel deur 'n granule onderskep kan word (sien fig 2).



Figuur 2 Onderskeppingsmeganismes

- (i) Impaksie, waar 'n partikel deur traagheidskrag gedwing word om die stroomlyn waarin dit beweeg te verlaat en op die oppervlak van die granule impakteer.
- (ii) Diffusie, waar die partikel deur Brownbeweging vanaf die stroomlyn beweeg tot by die granule se oppervlak.
- (iii) Onderskepping, waar die partikel wel in die stroomlyn bly, maar die stroomlyn binne 'n halwe partikeldiameter vanaf die granule se oppervlak beweeg en so impakteer.
- (iv) Elektrostatiese deponering, waar 'n meganisme soortgelyk aan die in elektrostatiese presipiteerders optree om gelaaiede partikels na gelaaiede granules te laat beweeg. Hierdie meganisme tree op selfs al is die partikels nie gelaai voordat hulle in die bed inbeweeg nie, omdat die lading van die bed ladings op die partikels sal induuseer soos hulle deur die bed beweeg.

Dit is moontlik om benaderde doeltreffendhede vir die partikelversameling van 'n enkelgranule te bereken. Die basiese teorie word in die bylae beskryf. Die grootte van die verskillende meganismes is hoogs afhanklik van die diameter van die stofpartikels. Figuur 3 toon die resultaat van 'n monsterberekening vir 'n 6 mm granule.



- n_{el} : Deur elektrostatiese kragte
- n_r : Deur direkte onderskepping
- n_d : Deur diffusie
- n_i : Deur traagheidskragte (impaksie)

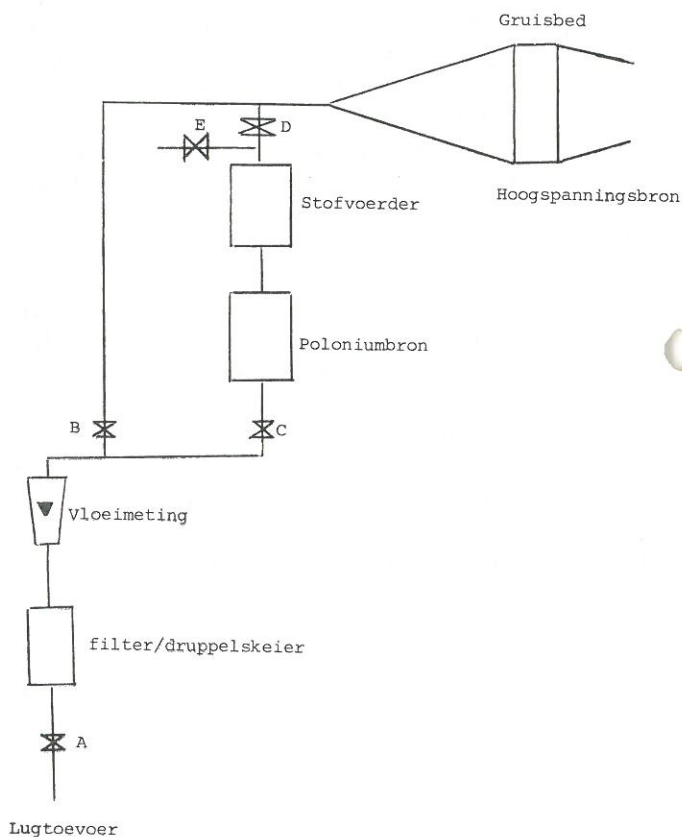
Figuur 3 Enkelgranule doeltreffendheid, 6 mm granule, 1 kV/cm spanningsval. Partikels gelaai deur 'n 5 kV/cm voorafslaai.

Hieruit blyk duidelik dat die elektrostatiese aksie ordes groter as die ander meganismes is. Dit vertoon egter dieselfde "venster" van lae doeltreffendheid in die gebied om 0,2 μm

wat ook in elektrostatiese presipiteerders gemeet word. Die verskynsel is te wyte aan die oorsakeling van diffusielading by partikels $< 0,05 \mu\text{m}$ na impaksielading vir partikels $> 5 \mu\text{m}$. Dit is verder duidelik dat alle onderskeppingsmeganismes behalwe diffusie relatief doeltreffend is in die gebied groter as 20 μm en in die werk waaroor hier gerapporteer word is daar daarom gekonsentreer op kleiner partikels.

EKSPERIMENTELE OPSTELLING

Die opstelling word skematies getoon in figuur 4. Die stof-toevoereenheid bestaan uit 'n skroefvoerder wat die toetsstof uit die voerbak direk in die toevoerlug stort, en 'n mengmondstuk waarin die stof gedispergeer word in die lugstroom (Yamamoto en Suganama 1984). Om eweredige toevoer van sommige tipes stof te verseker en verstopping van die skroefvoerder te vermy is dit nodig gevind om die toetsstof te meng met 'n glymiddel wat bestaan uit koloidale silika nl Degussa Sipernat 220S. Tydens sommige lopies is 'n ioniserende spuitstuk gebruik (20 mCi Polonium 210) in 'n poging om te verhoed dat die stofpartikels 'n onbekende lading tydens vloei deur die apparaat verkry. Die α -strale vanaf hierdie bron neutraliseer negatiewe ladings wat tribologies (deur wrywing) op die stofpartikels mag ontstaan.



Figuur 4 Skema van eksperimentele opstelling.

Die gruisbed het bestaan uit 'n seksie van 150 mm dia perspex buis, met 'n beddikte van 30 mm. Aan beide kante is 'n gaasdraad van roesvrye staal aangebring waaroor die hoogspanningsbron aangewend kan word. Afhangende van bedmedium is 'n spanning tot 25 kV oor die bed aangewend.

Die partikelkonsentrasie word verkry uit die tellings van 'n HIAC Royco 4100 teller gekoppel aan 'n model 1200 sensor gestel op 'n monsternemingstempo van $0,28 \text{ l min}^{-1}$. Die partikelteller gebruik die beginsel van die verstrooiing van sigbare lig, waar die verstrooiingshoek aan partikelgrootte gekoppel is. Die intervalgrense wat in hierdie studie gebruik is is 0,3; 0,5; 1,5; 3,0; 5,0 en 10,0 mikron. Die apparaat is nie geskik vir die bepaling van partikeldeursnê kleiner as 0,3 mikron nie, terwyl partikels groter as 10 mikron gereedlik deur middel van konvensionele skeidingsmetodes versamel word en uit die oogpunt van hierdie studie dus van minder belang is.

EKSPERIMENTELE PROSEDURES

Vir elke eksperimentele lopie word die bedmateriaal deeglik gewas met water en daarna gedroog. Deur kleppe C en D toe te hou word skoon lug vir 'n 30 min-periode deur die bed geblaas om moontlike residuele stof te verwyder. Daarna word B toegemaak en C en E geopen terwyl die stofvoerder aangeskakel word. Sodra die stofvoerder gestabiliseer het (dit is nodig gevind om die toevoerbak oor onderdruk te hou sodat stof nie langs die skroef teruggewaai word nie) is klep E toegemaak en D oopgemaak sodat stof tot die bed toegevoer is. Daarna is in- en uitlaatkonsentrasielesings met behulp van die partikelteller geneem. Monsternemingstyd was een minuut, met 'n stabiliseringsperiode van 30 sek. Ten minste drie lesings is per verstelling geneem om die gemiddelde doeltreffendheid te verkry. Vir elke verandering in eksperimentele parameters is 'n skoon bed gebruik.

RESULTATE

Eksperimentele resultate en toeretiese berekenings word grafies in figure 5 – 12 voorgestel. Dit blyk dat

- (i) Binne eksperimentele foutgrense die teorie wat vir die voorspelling van beddoeltreffendheid gebruik is aanvaarbare waardes lewer. 'n Uitsondering is die resultate by 25 kV met vliegass. 'n Moontlike verklaring is dat die veldsterkte ($\approx 8 \text{ kV/cm}$) so naby aan die deurbreekspanning van 26,5 kV was dat ontladingsverskynsels binne die bed reeds 'n rol begin speel het.
- (ii) Beddoeltreffendheid is sterk afhanklik van die lading op die stofpartikel. Dit blyk uit die berekende doeltreffendheidskurwes, waar die lading van $5,2 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$ min of meer ooreenstem met die versadigingslading wat groter partikels ($> 1,5 \text{ }\mu\text{m}$) in 'n laaiveld van 5 kV/cm sal opdoen.
- (iii) Vooraflading van die partikel kan groot voordele inhou. Hierdie gevolgtrekking blyk nie slegs uit

teoretiese berekeninge nie, maar ook uit die eksperimentele resultate wat in figuur 1⁷ getoon word. Die onderste lyn toon die skoonbed-doeltreffendheid vir die geval waar gepoog is om alle ladings van die stofpartikels voor die bed deur α -emissie vanaf 'n Po 210-bron te verwyder, terwyl die boonste lyn die resultate toon waar die stofpartikels 'n ewewiglading deur wrywing in die apparaat opgedoen het.

- (iv) Die doeltreffendheid van "nie-ideale" granules is effens laer as dié van sferiese granules. Drie faktore is ter sprake. Die nie-sferisiteit van die granules veroorsaak 'n versteuring in die veld, die porositeit van die bed is hoër en die diëlektriese eienskappe van die bedmateriaal verskil. Sommige van hierdie faktore kompenseer blykbaar. Alhoewel die diëlektriese eienskappe van die dolomiet sodanig is dat die spanning nie hoër as 17kV verhoog kan word nie (teenoor 26 kV vir silikasand) is die dolomietdoeltreffendheid by 15 kV vergelykbaar met dié van silikasand by 20 kV. 'n Moontlike verklaring is dat die "hoekiger" partikels hoër plaaslike veldsterktes binne die bed veroorsaak.
- (v) In 'n bewegende bed sal verskeie faktore teen mekaar opgeweeg moet word. Alhoewel die doeltreffendheid van die bed toeneem met die massa stof wat reeds ongevang is (fig 9, 10 en 11) veroorsaak 'n hoë stoflading 'n hoër drukval en 'n groter mate van stofverlies as die bed beweeg. Hierdie stof mag dan aan die stroomafkant verskyn en 'n laer skynbare doeltreffendheid veroorsaak.

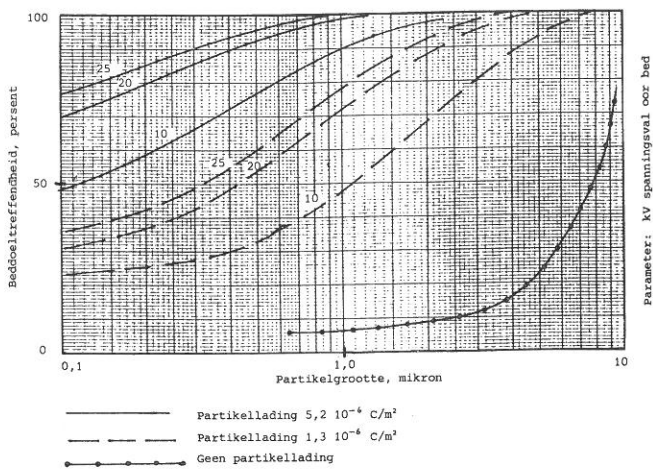
GEVOLGTREKKING

Gruisbedfilters kan weens die aard van die filtrasiemedium 'n rol speel by die oplossing van lugbesoedelingsbeheerprobleme wat nie met behulp van ander metodes bevredigend opgelos kan word nie. Die resultate waarvoor gerapporteer word toon dat elektrostatische augmentering 'n groot toename in filtrasiendoeltreffendheid meebring.

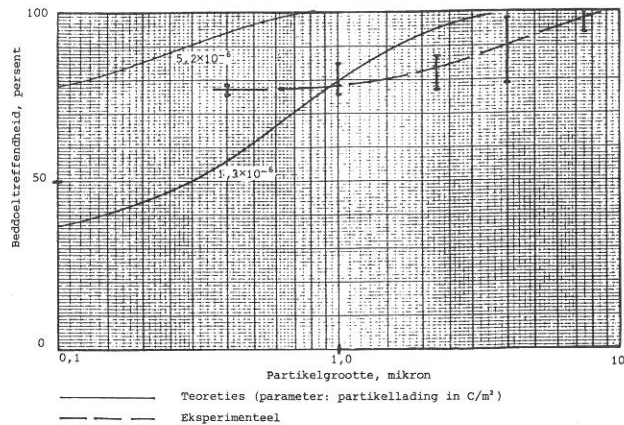
Alhoewel stofpartikels tydens beweging deur die gruisbed gelaai word deur die elektrostatische veld in die medium het die vooraflading van partikels voordele, en wel om die volgende redes.

- (i) deur die doeltreffendheid van bestaande gruisbeddens te verhoog
- (ii) of deur die gebruik van 'n dunner gruisbed met gepaardgaande laer drukval en laer energieverbruik moontlik te maak. (Voorbeeld hiervan word gegee in Von Reiche en Kornelius, 1984).

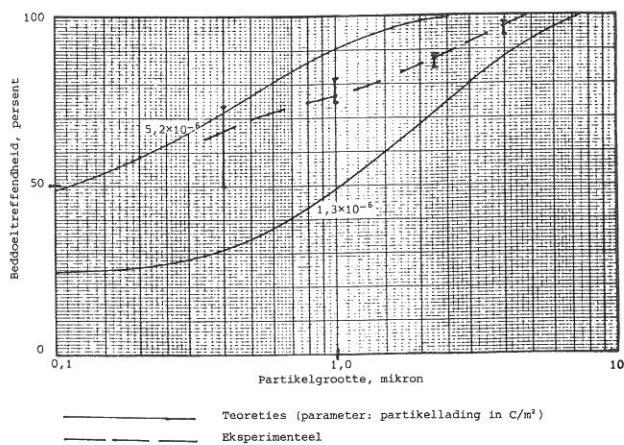
Bedryfsoorwegings maak egter die gebruik van bewegende beddens wenslik en die invloed van beide bed- en laaivelde op die doeltreffendheid van bewegende beddens is die onderwerp van 'n verdere studie wat tans bedryf word.



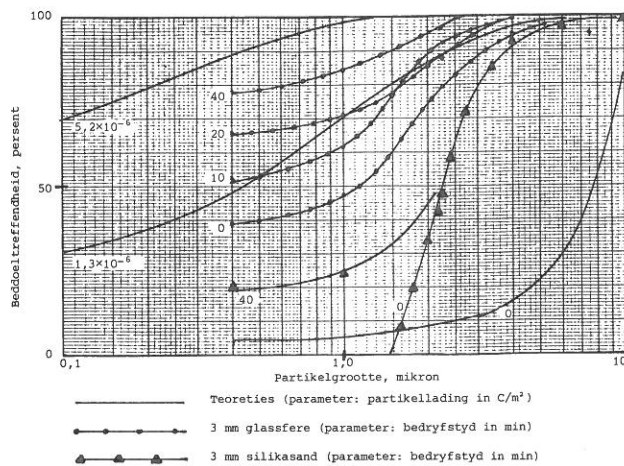
Figuur 5 Teoretiese beddoeltreffendheid, 3 cm bed, 3 mm glassfere



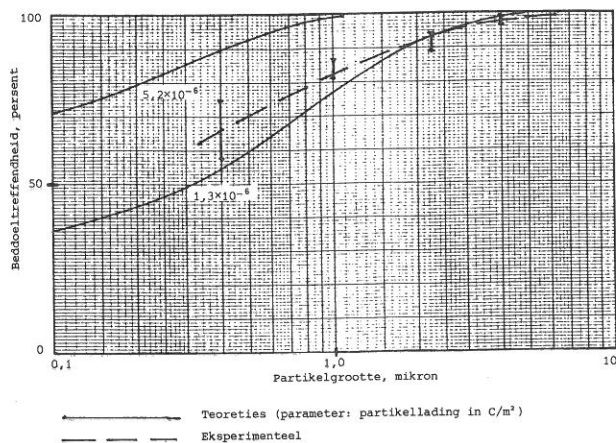
Figuur 8 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 3 mm glassfere (vliegass, triboelektries gelaai, 25 kV spanningsval)



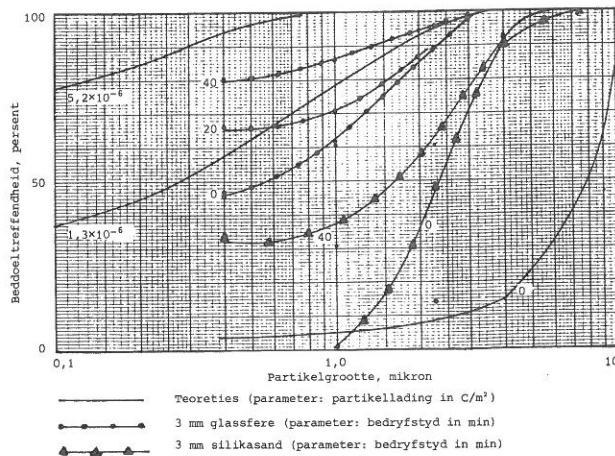
Figuur 6 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 3 mm glassfere (vliegass, triboelektries gelaai, 10 kV spanningsval)



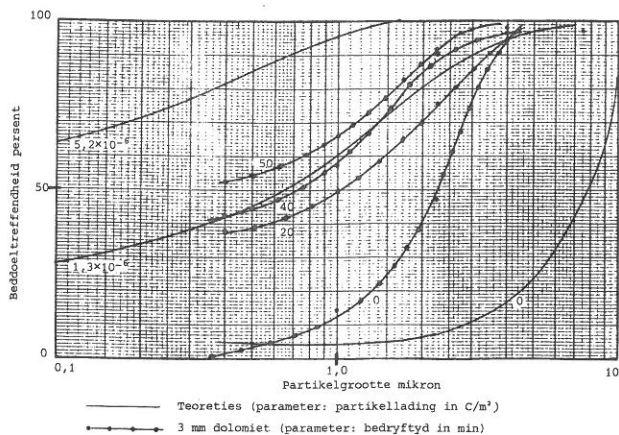
Figuur 9 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 20 kV spanningsval (aluminastof, partikels vooraf ontlai)



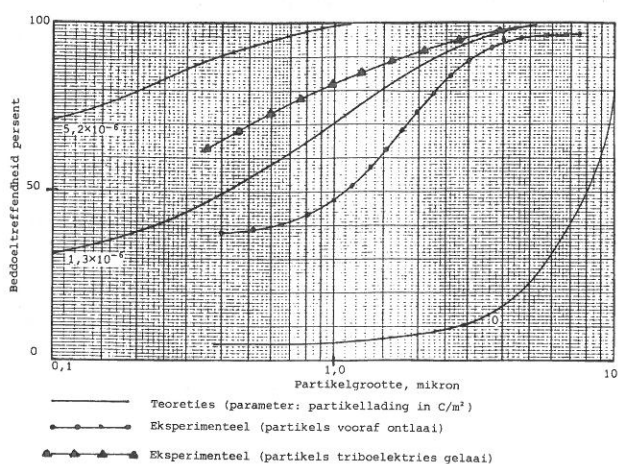
Figuur 7 Beddoeltreffendheid, 3 cm bed, 3 mm glassfere (vliegass, triboelektries gelaai, 20 kV spanningsval)



Figuur 10 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 25 kV spanningsval (aluminastof, partikels vooraf ontlai)



Figuur 11 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 15 kV spanningsval (aluminastof, partikels vooraf ontlai)



Figuur 12 Beddoeltreffendheid: 3 cm bed, 20 kV spanningsval (3 mm glassfere, aluminastof)

BYLAE

Benaderde berekenings vir partikelonderskeppingsdoeltreffendheid (Tardos et al. 1983)

Vir 'n enkelgranule:

1. Direkte onderskepping

$$\eta_r = \frac{3}{R_p}$$

waar

$$R_p = \frac{d_p}{2a}$$

2. Impaksie

$\eta_i = 11,137 St^3 + 6,048 St^2 + 0,083 St - 0,056$
in die gebied $0,05 < St < 0,3$ (partikels ongeveer 10–20 μm)

$$\text{met } St = \frac{2 C u_r^2}{9 a \mu} \quad (\text{die Stokes getal})$$

Hier is C die Cunningham-korreksiefaktor wat vir partikels in die gebied onder beskouing ongeveer gegee word deur

$$(C \approx 1 + 2 \lambda / d_p (1,257))$$

wat voorsiening maak daarvoor dat baie klein partikels die gas nie meer "sien" as 'n kontinue medium nie, maar as individuele molekule. Hier is die benaderde afstand tussen botsings

$$\lambda = \frac{\mu}{0,5 u'}$$

as die gemiddelde molekulêre snelheid gegee word deur

$$u' = \frac{8RT}{PM}$$

3. Diffusie

Daar word aangeneem dat die konsentrasie van partikels by die wand van die granule nul is. Hierdeur word 'n konsentrasiegradiënt veroorsaak. Daar word dan benaderd gevind

$$\eta_d = \frac{4(1,13 Pe^{-0,5})}{\alpha^{0,5}}$$

$$\text{met die Pecletgetal } Pe = \frac{2au}{D}$$

$$\text{en die diffusiwiteit } D = \frac{CKT}{6r_p}$$

4. Elektrostatiese aksie

Die berekening van dié doeltreffendheid word baie sterk beïnvloed deur die aannames wat gemaak word oor die grootte van die lading op die stofpartikel wat deur die bed beweeg. Benaderd geld

$$\eta_{el} = \frac{3K_{ex} A/B}{(1+K_{ex}(2+A))/B}$$

$$\text{met } A = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_o}$$

$$\text{en } B = 3 + \alpha(A-1)$$

$$K_{\text{ex}} = \frac{w_p E_o}{u}$$

met die partikelmigrasiesnelheid

$$w_p = \frac{CQ_p}{3\pi\mu d_p}$$

Vir die totale doeltreffendheid van 'n enkelgranule word opgetel deur

$$\eta_t = 1 - (1-\eta_r)(1-\eta_i)(1-\eta_{el})$$

Vir beddoeltreffendheid moet daar geïntegreer word oor die beddiepte en gewoonlik word aangegee

$$\eta_{\text{bed}} = 1 - \exp\left[-\frac{3\eta_t L(1-\alpha)}{4a}\right]$$

(Kallio en Dietz, 1980)

By al bogenoemde berekenings is aangeneem dat 'n partikel aan die granule sal veaskleef as dit eers daaraan geraak het. Intuitief voel mens dat hierdie aanname meer geldig is vir klein partikels as vir groter, en sowel teoretiese as praktiese werk het in hierdie verband verskyn. (Peters et al., 1985, Wang et al., 1977, Degani en Tardos, 1961).

NOMENKLATUUR

a	radius van die granule	m
C	Cunningham-korreksiefaktor	
d_p	diameter van partikel	m
L	beddiepte	m
M	molekulêre massa	
P	druk	kPa
Pe	Pecletgetal	
Q_p	Partikellading	C
r_p	radius van partikel	m
R	gaskonstante	
St	Stokesgetal	
T	temperatuur	K
u	skynbare gassnelheid	ms^{-1}
	(bereken op totale bedoppervlak)	
u'	gemiddelde molekulêre snelheid	ms^{-1}
w_p	partikelmigrasiesnelheid	ms^{-1}
α	bedporositeit	
η	doeltreffendheid	
γ	botsingsafstand	m
μ	gasviskositeit	Nsm^{-2}
D	gasdiffusiwiteit	ms^{-2}
ϵ_o	permittiwiteit van vakuum	Fm^{-1}
ϵ_s	permittiwiteit van vaste stof	Fm^{-1}

Voetskrifte

r	deur onderskepping
i	deur impaksie
d	deur diffusie
el	deur elektrostatiese kragte
t	totaal vir 'n enkelgranule
bed	totaal vir die gruisbed

VERWYSINGS

- Combustion Power Co, 1983: Inligtingsbrosjures.
- DEGANI, D D en G Tardos: Inertial deposition of small particles on a sphere at intermediate and high Reynolds numbers: A time-dependent study. *J APCA* 31 (1981) 9 p 981-986.
- KALLIO, G A en P W Dietz: Image charge collection of fine particles in granular bed. GE Report 80CR-DO96, 1980.
- PENDSE, H en C Tien: A simulation model of aerosol collection in granular media. *J Colloid and Interface Sc* 87 (1982) 1, p 225-241.
- PENDSE, H en C Tien: General correlation of the initial collection efficiency of granular bed filters. *AIChE Journal* 28 (1982) 4, p 677-686.
- PETERS, M H et al.: A dynamic simulation of particle deposition on spherical collectors. *ChEng Science* 40 (1985) 5, p 723-731.
- SHAW, G D H et al.: The application of a moving granular panel filter to flue gas cleanup. *ICHEME Symp. Series* 99.
- SNADDON, R W L en P W Dietz: Interstitial flow intensification within packed granular bed filters: Experiments and theory. *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 23 (1984), p 147-153.
- TARDOS G et al.: Filtration of airborne dust in a triboelectrically charged fluidized bed. *Ind. Eng. Chem. Fundam* 22 (1983), p 445-453.
- VON REICHE, F V K en G Kornelius: The application of gravel bed filters in air pollution control, 6de Int. Konf. oor Lugbesoedeling, Pretoria, 1984.
- WANG, C S et al.: Deposition of solid particles on a collector: Formulation of a new theory. *AIChE Journal* 23 (1977) 6, p 879-889.
- YAMAMOTO H en A Suganama: Dispersion of airborne aggregate dust by an orifice. *Int. Chem. Eng.* 24 (1984) 2, p 338 e.v.