

Bestrijding van luchtverontreiniging: gas- en luchtwassers

De zich duidelijk aftekenende strijd tegen de luchtverontreiniging plaatst de natwasser voor lucht- en procesgassen, ook wel scrubber genoemd, weer in een actueel daglicht. Het onbehandeld afvoeren van lucht- of procesgassen met schadelijke en / of hinderlijke stoffen vanuit werkruimten naar buiten is niet langer toegestaan. Behalve eisen ten aanzien van het binnenklimaat worden er ook eisen gesteld met betrekking tot de uitstoot (emissie) van schadelijke en hinderlijke stoffen in de omgeving.

De hinderwet, de wet op de luchtverontreiniging en de richtlijnen met betrekking tot geurnormering zijn voorbeelden van instrumenten die ten dienste staan om te komen tot een schoner en leefbaar milieu.

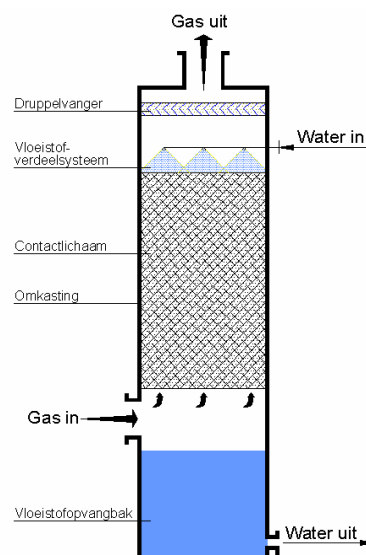
In dit artikel worden de uitvoering, de toepassing en de dimensionering van gas- en luchtwassers besproken.

Van de methoden om luchtstromen en procesgassen van schadelijke en / of hinderlijke stoffen te ontdoen kunnen worden genoemd: de gas- of luchtwasser, de venturiscrubber, het actief koolfilter en het microbiologisch filter. Van al deze methoden wordt de gas- of luchtwasser vanwege de relatief eenvoudige werking en gunstige exploitatie nog steeds het meest toegepast. Daarnaast is de microbiologische absorber (compostfilter) in opkomst, omdat blijkt dat micro-organismen een steeds omvangrijker scala van schadelijke en hinderlijke stoffen kunnen omzetten tot milieuvriendelijke afbraakproducten. Nadelen zijn echter de lage belastbaarheid van dergelijke filters en de relatief hoge luchtzijdige weerstand.

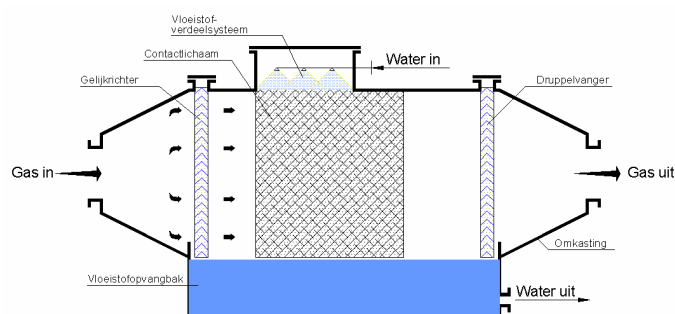
Uitvoering

Een gas (lucht) wasser is een apparaat waarin gas intensief met vloeistof in contact wordt gebracht om overdracht van stoffen uit het gas naar de vloeistof tot stand te brengen. Het gas is meestal lucht en de vloeistof meestal water. Aan het water worden vaak chemicaliën toegevoegd om de in het water geabsorbeerde stoffen chemisch te kunnen binden. Een gaswasser bestaat uit een omkasting, een vloeistof verdeelsysteem, een contactlichaam ter vergroting van het uitwisselingsoppervlak tussen gas en vloeistof, een vloeistof opvangbak, een druppelvanger en gastoevoer- en afvoeropeningen. Er bestaan tegenstroomwassers (figuur 1a) en kruisstroomwassers (figuur 1b), die ieder hun specifiek toepassingsgebied hebben.

Gaswassers worden, gelet op het meestal agressieve karakter van de schadelijke stoffen, bij voorkeur in kunststof uitgevoerd (glasvezel versterkt polyester of thermoplasten zoals polypropyleen). Nadeel van deze uitvoeringsvorm is het door de temperatuur begrensde toepassingsgebied (maximaal 100°C)



Figuur 1a



Figuur 1b

Voor systemen boven 100°C kan de gaswasser uitgevoerd worden in metaal of glas met een keramisch, glazen of metalen binnenwerk (de zogenaamde internals).

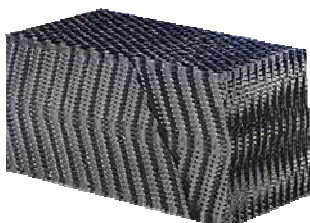
Afhankelijk van het type contactlichaam kunnen in een gaswasser gassnelheden van 3 tot 4 meter per seconde (berekend op het lege doorsnede oppervlak) worden toegelaten en vloeistofbelastingen tot circa 50 m³/uur (m³/m²/uur)

Gaswassers kunnen onder overdruk of onder onderdruk werken. Bij voorkeur wordt het onderdruk systeem toegepast, omdat hierbij de ventilator niet in aanraking komt met het verontreinigde gas en omdat eventuele lekken in het systeem niet leiden tot diffuse verspreiding van schadelijke stoffen in de directe omgeving van de wasser.

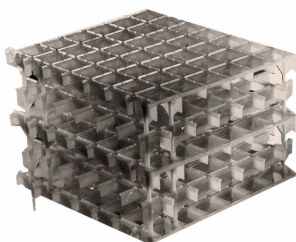
Bij gaswassersystemen worden twee typen ventilatoren toegepast: de axiaalventilator en de centrifugaalventilator. Voorkeur verdient de centrifugaalventilator vanwege het doorgaans hogere rendement, een betere beheersbaarheid van het geluidsniveau

en vanwege de ruimere keuze in opvoerhoogte. Ook de materiaalkeuze-mogelijkheden en de buiten de gasstroom geplaatste aandrijving zijn vaak doorslaggevend bij de selectie.

Er bestaan vele soorten contactlichamen (figuur 2). Bij voorkeur worden de zogenaamde film-typen (figuur 2a) toegepast vanwege de hoge belastbaarheid met vloeistof en gas en daarbij toch een relatief lage gaszijdige weerstand. Is er sprake van met vaste stof verontreinigd gas of indien er vervuiling van het contactlichaam kan worden gevreesd, dan kan het zogenaamde splash-bar type (figuur 2b) worden ingezet. Niet gestructureerde contactlichamen zoals Raschigringen, Pall-ringen, Berl-zadels en Tellerettes (figuur 2c) vinden meer toepassing in de procestechnologie (destillatiekolommen en rectificatiekolommen) dan bij de behandeling van relatief grote gas- of luchtstromen. De film-type contactlichamen zijn vrijwel altijd van kunststof (PVC, PP, PVDF) terwijl de niet gestructureerde typen leverbaar zijn in kunststof, glas, keramisch materiaal en metaal.



Figuur 2a



Figuur 2b



Figuur 2c

Tot de basisuitrusting van gaswasinstallaties behoren meestal: een pH-gestuurde chemicaliëndosering met hieraan gekoppeld vloeistof verversings- en suppletiesysteem. Verder gangbare meetapparatuur waaronder druk- en temperatuurmeters, vloeistofmeters, niveauregeling etc. De capaciteit van gas- en luchtwassers is onbeperkt. Tot ca. 10.000

$m^3/$ uur als nog transportabele units, daarboven com-binaties van meerdere units.

Gas- en luchtwassers kunnen uitgevoerd worden in ééntraps- en meertrapsuitvoering, afhankelijk van de toe te passen behandeling. Het kruisstroom systeem leent zich constructief het beste voor meertraps uitvoering (figuur 3).

Het prijsniveau van een gas- of luchtwas installatie met een capaciteit tot ca. 10.000 $m^3/$ uur wordt in eerste instantie bepaald door de vereiste basisvoorzieningen, zoals: ventilator, pompen, pH-besturing, dosering, verversing, schakelkast etc.

In tweede instantie is de hoeveelheid te behandelen lucht bepalend voor het prijsniveau. Bij capaciteiten groter dan ca. 100.000 $m^3/$ uur wordt de omvang van de wasser prijsbepalend.

Toepassing

Het toepassingsgebied van gas- en luchtwassers kan globaal verdeeld worden in:

- behandeling van procesgas of proceslucht
- behandeling van ruimtelucht



Figuur 3: meertraps kruisstroomwasser (4 units)

Is de keuze voor een gas- of luchtwassersysteem nog vrij dan moet altijd gestreefd worden naar bron afzuiging om de gas- of luchthoeveelheden zo beperkt en daardoor de behandeling zo effectief mogelijk te houden. Dikwijls vraagt dit extra voorzieningen aan de procesapparatuur, bijvoorbeeld een omkasting, terwijl procesmodificatie ook noodzakelijk kan zijn voor een optimale afgas- of luchtbehandeling. Gelet op het gegeven dat het absorberend vermogen van water voor de meeste stoffen afneemt bij stijging van de temperatuur moet ervoor gezorgd worden, dat de temperatuur van gas- en luchtwassersystemen zo laag mogelijk blijft (20..40°C). Gaswassers zijn in principe geen warmtewisselaars. Systemen waarbij warmtewisseling (bijvoorbeeld condensatie) en absorptie gecombineerd zijn, komen haast niet voor omdat bijna niemand grote hoeveelheden eenmalig te gebruiken water ter beschikking heeft vanwege winnings- en/of lozings problemen. Het merendeel van de gas- en luchtwassers draait dan ook voor wat betreft de wasvloeistof in circulatiesysteem.

Dit type wasser wordt chemische wasser genoemd, omdat chemische binding van de geabsorbeerde stoffen in de wasvloeistof ervoor moet zorgen dat de

betrekkelijk geringe hoeveelheid circulerende wasvloeistof kan blijven absorberen.

Heet afgas of aflucht moet dan ook eerst voorgekoeld worden alvorens het in een gas- of luchtwasstelsel behandeld kan worden. Dit voorcoelen kan op directe (adiabatische verdamping), dan wel op indirecte wijze plaatsvinden. Soms is hier energiebesparing te realiseren door warmteterugwinning. Een goed praktijkvoorbeeld hiervan is de behandeling van de dampen die vrijkomen bij het industrieel voorbakken van frites in hete olie. Door de dampen via een condensor te leiden condenseert het meeste vocht, waarbij een aanzienlijk deel van de geurstoffen overgaat naar de vloeistoffase. Bovendien wordt het volume van de luchtstroom aanzienlijk kleiner.

Het warme koelwater kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld ruimteverwarming. De na condensatie resterende non-condensables vormen slechts een klein deel van de oorspronkelijke dampstroom en kunnen in een betrekkelijk compacte luchtwasser verder ontgeurd worden alvorens naar de omgeving afgevoerd te worden. Tenslotte moet de te behandelen gas- of afluchtstroom eerst ontdaan worden van vaste stof.



Figuur 4. Kruisstroomwasser

Alhoewel een gas- of luchtwasser in principe ongevoelig kan zijn voor vaste stof en deze ook redelijk tot zeer goed uit de gas- of luchtstroom verwijderd, ontstaan er toch problemen vanwege het circulatiesysteem door opeenhoping van vaste stof in de wasvloeistof, wat belemmerend kan werken op het behandelingseffect, in het bijzonder bij stankbestrijdingsinstallaties. Het is ook mogelijk in het circulatiecircuit een vaste stofafscheider op te nemen. Gedacht kan worden aan sedimentatie-, flocculatie- en flotatieafscidders.

Bij ruimteluchtafzuiging en -behandeling is vaak het ventilatievoud van de werkruimte bepalend voor de dimensionering van de installatie. Een goed gedimensioneerd afzuigstelsel is net zo belangrijk als de behandelingsinstallatie!

Immers, afluchtbehandelingsinstallaties draaien doorgaans zeer veel uren en een laag energieverbruik en een werkbaar arbeidsklimaat zijn dan belangrijke facetten van de exploitatie.

Bouwtechnisch moeten er ook voorzieningen getroffen worden bij afzuiging van bedrijfsruimten. Een goed gesloten gebouw met gecontroleerde luchttoetreding via speciale roosters met terugslagklep is de basis voor een goed behandelingseffect.

Vaak kan door een verstandige combinatie van afzuiging, ventilatie en afluchtbehandeling voor een investeerder toch nog een rendabel project ontstaan; pure afluchtbehandeling wordt immers nog in veel gevallen als een weliswaar noodzakelijke, maar onrendabele investering beschouwd.

Praktijkvoorbeelden

Gerichte afzuiging van filterpersen voor anaëroob vergist rioolwaterslib. De ammoniakhoudende lucht wordt afgezogen en in een ééntraps-tegenstroomwasser met effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie gewassen. De ammoniak wordt door het water geabsorbeerd en in de rioolwaterzuiveringsinstallatie genitriciseerd.

Ontgeuring van aflucht uit een uiedroger in een meertraps-kruisstroomwasser met natriumhypochloriet-oplossing, gevolgd door nawassing met water.

Verwijdering van zoutzuur uit pyrolysegas afkomstig uit een ontlakoven met behulp van loogwassing. Adiabatische voorcoeling van ca. 900°C tot ca. 50°C.

Verwijdering van zoutzuur uit lucht die verdrongen wordt uit zoutzuurtanks bij het vullen hiervan.

Absorptie van methanol en cellosolve door afgewerkt koelwater uit lucht afkomstig van een fabricageproces van fotografische producten: Eéntraps tegenstroom-absorber met eenmalig te gebruiken water.



Figuur 5. Tegenstroomwasser

Verwijderen van broom, zoutzuur en zwaveldioxide uit aflucht van een graveerindustrie. Eéntraps tegenstroomstelsel met loogdosering.

Vangen van ammoniak die vrij kan komen bij calamiteiten die kunnen ontstaan bij grote koel- en vriesinstallaties. Tegenstroomwater met verdund zuur als vloeistoffase.

Ontgeuring van lucht uit een aromatiseringsproces voor tabak. Tweetraps kruisstroomwater met loog en zuur.

Emissienormen

Toelaatbare uitstootconcentraties zijn onontbeerlijk bij het dimensioneren van gas- en luchtwas installaties. Voor de meeste te definiëren stoffen zijn maximale uitstootconcentraties aan te geven in ppm (part per million) of maximaal uit te stoten hoeveelheden per tijdseenheid (kg per 24 uur). Vaststelling van deze normen is afhankelijk van de vergunningverlener (gemeente, provincie of rijk) die zich zal richten naar wettelijk vastgestelde eisen, dan wel naar ministeriële richtlijnen of naar adviesnormen uit de vakliteratuur.

En dit in samenhang met de eisen die de situatie ter plaatse stelt. Voor het meten van de emissieconcentratie is een groot aantal methoden beschikbaar. De methode met Dräger-buisjes is eenvoudig en relatief goedkoop.

Geurnormering is veel gecompliceerder omdat hier sprake is van een mengsel van niet of nauwelijks te definiëren stoffen.

Geuruitstoot wordt vastgelegd in de zogenaamde geureenheden. Vaststellen van het aantal geureenheden vindt plaats met behulp van een zogenaamd geurpanel (5-9 personen) dat de stinkende lucht in toenemende verdunning met reukloze lucht ter beoordeling krijgt aangeboden. De verdunningsfactor op het moment dat de helft van het panel plus één geen verschil meer constateert tussen het mengsel en schone lucht is een maat voor het aantal geureenheden van het oorspronkelijke monster. De toelaatbare geurconcentratie op het emissiepunt wordt via het zogenaamde verspreidingsmodel in relatie gebracht met de geurconcentratie gedurende 95 of 97% van de tijd van het jaar aan de grens van de inrichting [1].

Dimensioneren

Zolang er sprake is van bekende en chemisch-fysisch definieerbare stoffen verloopt het dimensioneren van gas- en luchtwassers volgens methoden die in de literatuur worden beschreven [2,3]. Geheel anders wordt het dimensioneren van stankbestrijdingsinstallaties. Dit blijft voorlopig nog een proefondervinderlijke aangelegenheid omdat, zoals eerder opgemerkt, de te verwijderen stankstoffen meestal niet of niet voldoende bekend zijn voor een rekenkundige benadering.

Bij grote projecten is het opstellen van een proefinstallatie ter bepaling van het toe te passen bestrijdingssysteem de enige verantwoorde methode om tot een goede oplossing te komen, tenzij uit ervaring met gelijksoortige gevallen voldoende gegevens bekend zijn.

De basis voor het dimensioneren van gas-vloeistof systemen is het zogenaamde dunne laag principe. De vloeistof wordt in het contactlichaam over een groot oppervlak in een dunne stromende laag verdeeld en is over hetzelfde oppervlak in contact met de stromende gasfase.

De in de gasfase aanwezige verontreiniging heeft, afhankelijk van de concentratie, een bepaalde partiële dampspanning. Bepaald door temperatuur en totaal druk van het systeem en door fysisch-chemische eigenschappen van de te absorberen stof (verdelings-coëfficiënt) lost een deel ervan op in de vloeistoffase (absorptie) en vormt boven de vloeistoflaag ook een partiële (evenwichts) dampspanning. Het verschil in beide partiële dampspanningen vormt de drijvende kracht van het uitwisselingsproces (absorptiepotentiaal), vergelijkbaar met het (logaritmisch gemiddelde) temperatuurverschil in warmtewisselaars (zie ook figuur 6).

Is de partiële dampspanning in de gasfase groter dan de evenwichtsspanning boven de vloeistoflaag dan treedt massatransport naar de vloeistoflaag op (absorptie). Is het omgekeerde het geval dan spreken we van desorptie of strippen. Bij dit type overdrachtsprocessen is het van belang de grootte vast te stellen van de diffusiesnelheid van de verontreiniging in de gasfase en in de vloeistoffase.

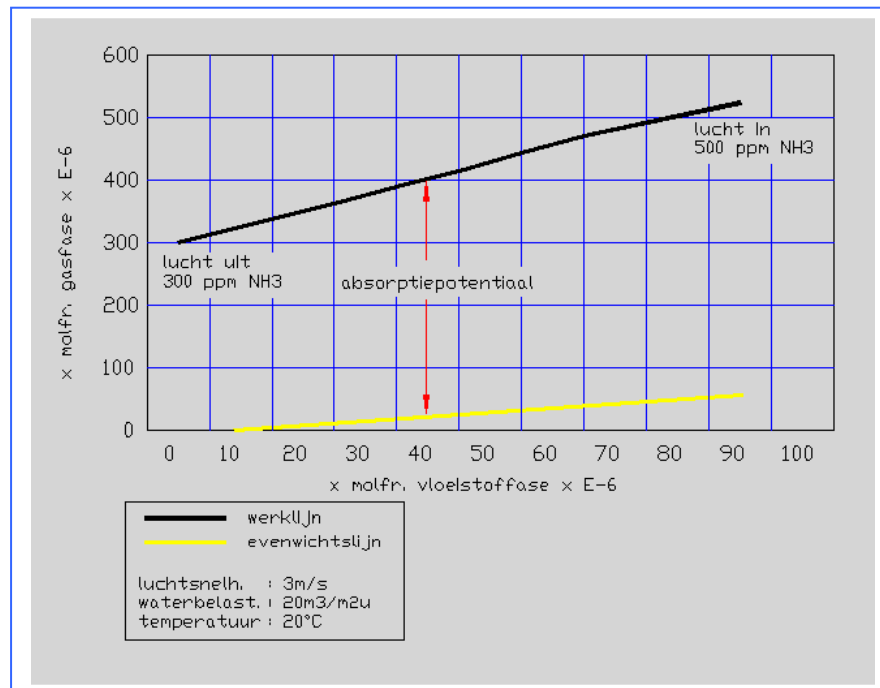
Heeft de te absorberen stof een duidelijke affiniteit tot de vloeistoffase, zoals bijvoorbeeld het geval is bij ammoniak, dan wordt het overdrachtsproces bepaald door de diffusiesnelheid in de gasfase. Is de affiniteit minder dan hebben we bij het dimensioneren te maken met de diffusiesnelheden in beide fasen. Nemen we de in de vloeistoffase geabsorbeerde verontreiniging door middel van een chemische reactie onmiddellijk weg, dan ontstaat er uiteraard ook geen evenwichtsspanning boven de vloeistoflaag en wordt de drijvende kracht van het overdrachtsproces aanzienlijk vergroot.

Van belang hierbij is echter ook de snelheid van de chemische reactie. Men spreekt in dit soort gevallen niet meer van een absorber maar van een chemische wasser.

De wijze waarop de gasfase met de vloeistoffase in contact wordt gebracht (tegenstroom, gelijkstroom of kruisstroom) staat in feite los van het principe van de massa overdracht; de aard van het contactstelsel is bepalend voor de grootte van de drijfkracht van het proces, vergelijkbaar met de dimensioneringssystematiek van warmtewisselaars. Bij het ontwerp van een gaswasser zijn vaak de hoeveelheid te wassen gas, de ingangconcentratie van de verontreinigingen en de gewenste uitgangconcentratie bekend. De keuze welk type contactlichaam gebruikt moet worden wordt bepaald door de omstandigheden waaronder de installatie zal moeten gaan functioneren (temperatuur, agressieve stoffen, kans op vervuiling enz.)

Het probleem bij het ontwerp van een gaswasser is dan ook altijd het dimensioneren van het contactlichaam en de keuze van de te gebruiken hoeveel-

heid waswater. De dimensionering van het contactlichaam is in twee delen te onderscheiden:
 Bepaling van de stromingseigenschappen; bepaling van de hoogte.



Figuur 6. Werklijn, evenwichtslijn, absorptiepotentiaal

Bepaling stromingseigenschappen

Flooding snelheid

Het is gebleken dat bij een bepaalde superficiële gassnelheid de drukval over het contactlichaam sterk toeneemt en een deel van de vloeistof door het gas wordt meegevoerd. De snelheid waarbij dit verschijnsel optreedt noemt men de flooding snelheid. Deze flooding snelheid (V_f) is betrekkelijk eenvoudig te berekenen uit het verband tussen:

$$\frac{\phi_{mg}}{\phi_{ml}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \quad \text{en} \quad \frac{V_f a \rho_g}{g \epsilon^3 \rho_l} \left(\frac{V_1}{V_w} \right)^{0,2} \quad (1)$$

Dit empirisch vastgestelde verband wordt weergegeven in [3] figuur 99.

De term $\left(\frac{a}{\epsilon^3} \right)$ wordt vaak vervangen door de zogenaamde packingfactor F . Deze packingfactor is gelijk aan $\frac{a}{\epsilon^3}$. De gassnelheid waarmee in de

praktijk gewerkt wordt is 80% van de flooding-snelheid:

$$V_g = 0,8V_f \quad (2)$$

Uit de gassnelheid kan ook het doorsnede-oppervlak van het contactlichaam bepaald worden.

$$A = \phi_{mg} / (\rho_g V_g) \quad (3)$$

Drukval

Ook voor de bepaling van de drukval per meter pakkethoogte bestaat een empirisch vastgesteld verband tussen twee termen en wel:

$$\frac{\phi_{ml}}{\phi_{mg}} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right)^{0,5} \quad \text{en} \quad \frac{V_g \rho_g F}{(\rho_l - \rho_g) g} \left(\frac{V_1}{V_w} \right)^{0,1} \quad (4)$$

(zie verder [2] figuur 4.29)

Bepaling hoogte contactlichaam

Een veel gebruikte methode bij de bepaling van de vereiste hoogte is die waarbij het benodigde aantal overdrachtstrappen en de hoogte van een overdrachtstrap berekend worden:

$$N_{og} = \int_{Y1}^{Y2} \frac{DY}{Y^* - Y} \quad (5)$$

en

$$Z_t = \frac{Vg}{K_G a} \quad (6)$$

De totale hoogte is dan gelijk aan het product van het benodigde aantal overdrachtstrappen N_{og} en de hoogte van 1 overdrachtstrap Z_t . Voor het eenvoudige geval van een chemische wasser volgt uit bovenstaande formules:

$$Z = \frac{V_g}{K_G a} \text{ in } \frac{Y1}{Y2} \quad (7)$$

In bovenstaande formule is in het rechterlid alleen de stofoverdrachtscoëfficiënt K_G onbekend. De bepaling van deze K_G is een van de grootste problemen bij het dimensioneren van contactlichamen.

Bepalen stofoverdrachtscoëfficiënt

De totale stofoverdrachtscoëfficiënt K_G is opgebouwd uit partiële stofoverdrachtscoëfficiënten voor gas- en vloeistoffase.

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_g} + \frac{m}{k_1} \quad (8)$$

In deze formule is k_g maat voor de stofoverdrachtsweerstand van de gasfase naar de grenslaag en is k_1 maat voor de weerstand van de grenslaag naar de vloeistof. Is k_g (of k_1) groot, dan is de weerstand klein. Is de verontreiniging goed oplosbaar in de vloeistof (zoals bij een chemische wasser) dan vervalt de laatste term van formule 8 en gaat deze over in

$$K_G = k_g \quad (9)$$

De waarde van k_g is ondermeer afhankelijk van de gas- en vloeistofsnelheden, de diffusiecoëfficiënt, temperatuur en systeemdruk. Er zijn verschillende methodes in gebruik om de waarde van k_g voor een gegeven stelsel van twee stoffen en voor een bepaald contactlichaam bij bekende druk en temperatuur en bij verschillende gas- en vloeistofsnelheden te beschrijven. Echter bij het gebruik van rekenprogramma's voor dimensioneringsberekeningen is het zaak dat men over een standaard rekenmethode beschikt die in alle situaties te gebruiken is. Men kan kiezen voor een methode waarbij de waarde van k_g voor een contact-

lichaam gerelateerd wordt aan de waarde van k_g in een standaard van 'wetterd wall' kolom k_g .

$$k_g = R_g * k_g \quad (10)$$

De waarde van constante R_g is afhankelijk van het type contactlichaam. De waarde van k_g kan met onderstaande formule berekend worden:

$$k_g = 12,1 * 10^{-6} \frac{V_w^{0,75} \rho_g^{0,25} \Delta^{0,5}}{\mu_g T} \quad (11)$$

In deze formule is V_w de snelheid van het gas ten opzichte van de vloeistof. Hieruit volgt voor tegenstroomkolommen:

$$V_w = V_g + V_1$$

Bepalen vloeistofbelasting

Tenslotte komt de bepaling van de vloeistofbelasting aan de orde. Door gebruik te maken van snelle rekenprogramma's is het mogelijk voor een reeks van water debieten de benodigde kolomhoogten uit te rekenen en hierbij de meest gunstige te kiezen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de minimale waterbelasting waarbij het contactlichaam nog geheel bevochtigd wordt.

Uit het voorgaande blijkt dat de eigenschappen van een contactlichaam door middel van vier kengetallen te beschrijven zijn, te weten:

- het specifiek oppervlak (a)
- de fractievrije ruimte (ϵ)
- de pakkingsfactor F
(constante * ($\frac{a}{\epsilon^3}$))
- de stofoverdrachtsconstante van het contactlichaam (R_g)

Rekenprogramma's

Voor het optimaliseren van de dimensionering van gaswassers is het toepassen van rekenprogramma's onontbeerlijk. Bij de optimalisering zijn de volgende aspecten, die in belangrijke mate de kostprijs en de exploitatiekosten bepalen, van belang:

- Afmetingen van de wasser, mede tegen de achtergrond van de constructieve mogelijkheden
- Gaszijdige weerstand, ventilatorvermogen
- Vloeistofbelasting, pompvermogen

Het voert in het kader van dit artikel te ver nader in te gaan op de structuur en de werking van deze rekenprogramma's. Verwezen wordt naar [4] en [5], waarin soortgelijke programma's worden toegelicht.

Tegenstroomprocessen zijn zonder rekenprogramma's nog enigszins handmatig te berekenen; kruisstroomsystemen echter niet meer.

Kosten

De meeste gas/luchtbehandelingsystemen zijn 'taylor-made' en geheel toegesneden op de situatie ter plaatse. Een algemene aanduiding van de kosten per 1000 m³ per uur kan dan ook moeilijk gegeven worden.

De exploitatiekosten worden voornamelijk bepaald door het energieverbruik van ventilator(en) en pomp(en) en dat is weer in hoge mate afhankelijk van het afzuigstelsel en de dimensionering van de wasser. Verder door het chemicaliënverbruik, dat wordt bepaald door de aard en de hoeveelheid van de uit de luchtstroom te verwijderen verontreiniging(en). Tenslotte door zaken als: waterverbruik, lozingskosten, geluidseisen.

Afschrijving en onderhoud van de installatie vormen doorgaans een kostenpost van relatief ondergeschikte grootte-orde, vooropgesteld dat een goede installatie wordt aangeschaft.



Figuur 7. Ammoniakstripper en -absorber



Figuur 8. Biofilter met voorgeschakelde luchtbevochtiger

Gebruikte symbolen

A	= dwarsdoorsnede pakket	m^2
a	= specifiek oppervlak contactlichaam	m^2 / m^3
ε	= fractievrije ruimte contactlichaam	-
F	= packingfactor	m^{-1}
g	= zwaartekracht versnelling (9,81)	m / s^2
K_G	= totale stofoverdrachtcoëfficiënt	m / s
k_g	= partiële stofoverdrachtcoëfficiënt betreffende de gasfilm	m / s
k_g'	= k_g van een wetted wall kolom	m / s
k_1	= partiële stofoverdrachtscoëfficiënt betreffende de vloeistoffilm	m / s
m	= verdelingscoëfficiënt	-
N_{og}	= benodigd aantal overdrachtstrappen	-
R_g	= stofoverdrachtconstante contactlichaam	-
T	= temperatuur	K
V_f	= flooding snelheid	m / s
V_g	= superficiële gassnelheid	m / s
V_1	= vloeistofsnelheid	m / s
V_w	= snelheid van het gas ten opzichte van vloeistof	m / s
Y	= molfractie opgelost gas	-
Y^*	= molfractie opgelost gas in evenwicht met vloeistof	-
Z	= hoogte contactlichaam	m
Z_t	= hoogte van een overdrachtstrap	m
ϕ_{mg}	= massastroom gas	kg / s
ϕ_{ml}	= massastroom vloeistof	kg / s
μ_g	= viscositeit gas	$Pa.s$
μ_w	= viscositeit water bij 20°C (10^{-1})	$Pa.s$
μ_1	= viscositeit vloeistof	$Pa.s$
ρ_g	= dichtheid gas	kg / m^3
ρ_1	= dichtheid vloeistof	kg / m^3
D	= diffusiecoëfficiënt	m^2 / s