

# De toepassing van venturibuis-beluchting voor gesloten filters in buitenopstelling

## 1. Inleiding

In het kader van uitgevoerde experimenten met de techniek van de 'droog-filtratie' als een methode van enkelvoudige snelfiltratie voor de zuivering van grondwater met een hoog ammoniakgehalte, heeft ir. H. A. D. Linn omstreeks 1950 de venturibuis-beluchting in Nederland geïntroduceerd. Sindsdien heeft deze methode van beluchting bij de zuivering van grondwater middels 'gesloten' filterinstallaties een veelvuldige toepassing verkregen. Daarbij gold op grond van energetische



ING. J. H. SIMHOFFER  
Hoofd afd. Productie -  
Nieuwe Werken  
NV Waterleiding Mij  
Gelderland

overwegingen de algemene regel dat de gunstigste plaats voor het opstellen van de venturibuis in het zuiveringssysteem het hoogste punt in de ruwwater aanvoerleiding naar de filters is, dus daar waar de druk in de aanvoerleiding het laagst is.

Bij filterinstallaties uitgevoerd met gesloten stalen filterketels die in een gebouw staan opgesteld, wordt de venturibuis derhalve *boven* de filterketel geplaatst, c.q. boven het zich in de ketel bevindende filterbed. De NV Waterleiding Mij Gelderland heeft op een dergelijke wijze talloze venturibuizen toegepast.

De stijgende bouwkosten zijn aanleiding geweest om de gesloten stalen filterketels niet meer in een gebouw onder te brengen, doch geheel of gedeeltelijk in de buitenlucht op te stellen.

Aanvankelijk werd een 'buiten' opstelling van de filterketels voor tijdelijke pompstations (provisoria) toegepast. De hiermede opgedane ervaringen hebben geleid tot de overweging om ook voor grotere definitieve

pompstations de filterketels geheel of gedeeltelijk 'buiten' op te stellen. Het plaatsen van een venturi-beluchter boven een buiten opgestelde filterketel is evenwel een minder aantrekkelijke zaak, zowel uit een oogpunt van bevroeringsgevaar als vanwege de gewenste goede bereikbaarheid van dit installatie-onderdeel dat periodiek (1 à 2 maal per jaar) moet worden schoongemaakt.

Toen dan ook bij het ontwerpen van ons pompstation 'Fikkersdries' te Driel gekozen werd voor gesloten stalen filterketels met een diameter van 5,50 m, in buitenopstelling (zie afb. 1), deed zich de vraag voor of een venturibuis-beluchting geplaatst *boven* het filterbed in de ketels uit een oogpunt van bedrijfsvoering wel aanvaardbaar zou zijn.

Alvorens evenwel dit beluchtingssysteem — waarvan de voordelen bij filtratie door gesloten druklifters op grond van een ruime ervaring worden onderkend — af te wijzen voor bovenvermeld pompstation, werd besloten eens nader te onderzoeken in hoeverre het technisch mogelijk en ener-

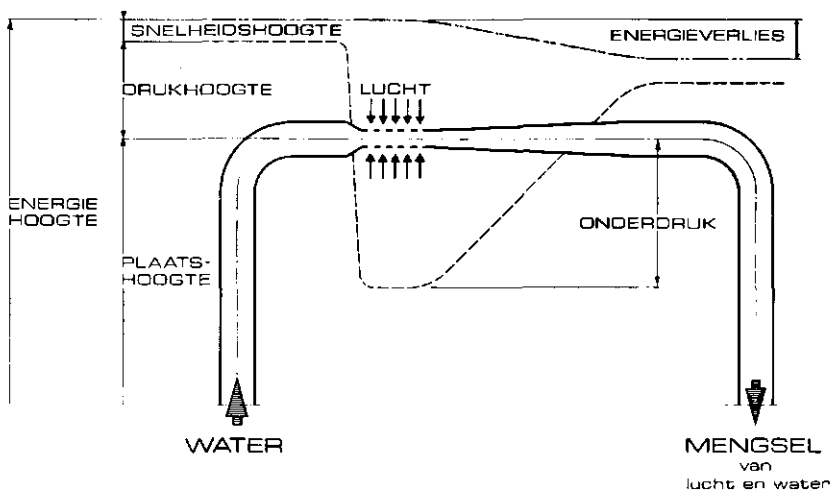
getisch aanvaardbaar zou zijn om de venturibuis *onder* de filterketel — en daarmee *in* het gebouw — op te stellen. De tot dit doel uitgevoerde proefnemingen en de resultaten hiervan worden hierna-volgend nader besproken.

## 2. Principe van de venturibuis-beluchting

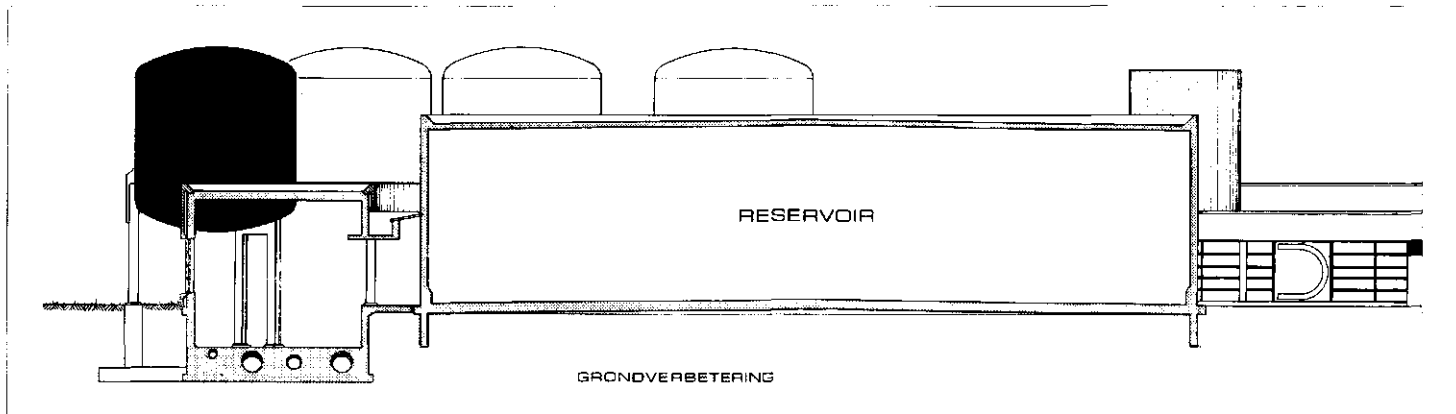
De energiehoogte van het door een leiding stromende water bestaat uit drie delen: de plaatshoogte, de drukhoogte en de snelheidshoogte. De drukhoogte kan worden verkleind door vergroting van de plaatshoogte en door vergroting van de snelheidshoogte. Brengt men in de leiding een vernauwing aan, dan is het hierdoor mogelijk in de leiding een onderdruk t.o.v. de atmosfeer te creëren.

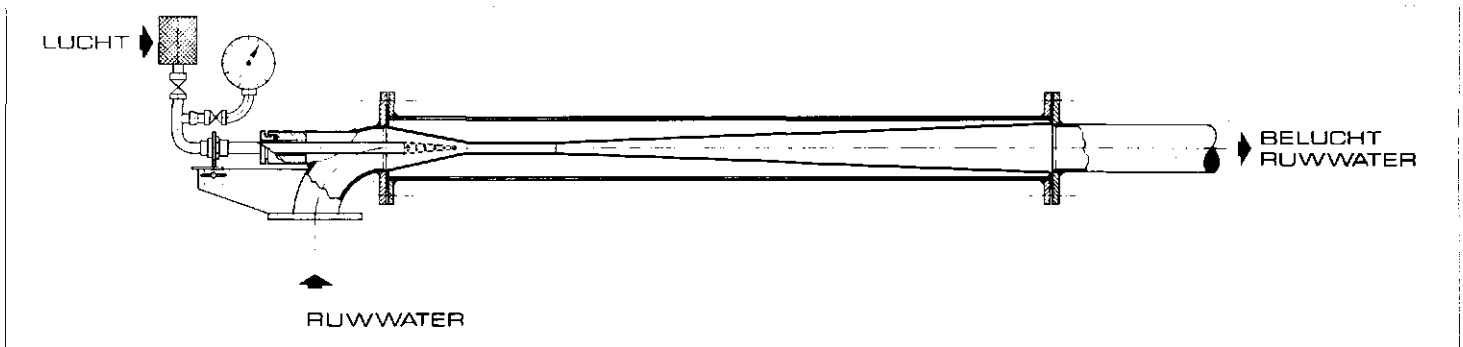
Worden nu in het vernauwde buisgedeelte openingen aangebracht, dan kan buitenlucht worden aangezogen, die zich met het water vermengt (afb. 2). Om na de vernauwing de snelheidshoogte weer zo goed mogelijk in drukhoogte om te zetten en het energieverlies te beperken, wordt een gelei-

Afb. 2 - Principe venturibuisbeluchting.

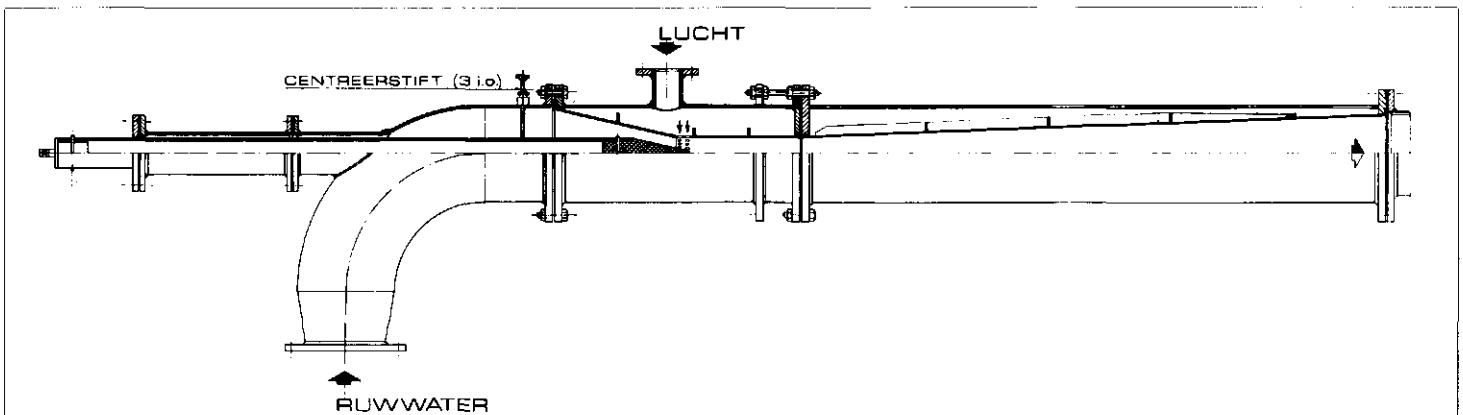


Afb. 1 - Opstelling filterketels pompstation 'Fikkersdries'.





Afb. 3 - Door ir. Linn geconstrueerde venturibuis.



Afb. 4 - Constructie van door WMG toegepaste venturibuizen (druk achter de venturibuis 0 - 4 mwk)

delijke (venturivormige) verwijding toegepast.

Volgens het bovenvermelde principe werkt de venturibuis-beluchting. De in de keel aangezogen lucht wordt in de venturivormige verwijding intensief met het water vermengd, waarbij een emulsie van fijne luchtbelletjes wordt verkregen, die door het water worden meegevoerd.

Het contactoppervlak en de contacttijd lucht-water zijn dan ook groot.

Hoewel het energieverbruik tamelijk hoog is, kan als voordelen van de venturibeluchting worden genoemd de geringe benodigde plaatsruimte, de lage installatie- en onderhoudskosten en het feit dat de venturibuis tevens als een goede debietregelaar kan worden beschouwd.

Dit laatste is als volgt te verklaren.

Het verlangde debiet van de venturibuis dient te worden ingesteld wanneer de druk achter de venturi het hoogst is, dus vlak vóór het spoelen van het filter. Bij een schoon filter zal de druk achter de venturibuis dus ca. 1,5 à 2 mwk lager zijn, waardoor de snelheidshoogte in de nauwste doorsnede van de venturibuis wordt verhoogd. Dit zou tot een groter debiet kunnen leiden, ware het niet dat door de ontstane grotere onderdruk meer lucht wordt aangezogen die een sterk 'smorend' effect heeft op de debietsvergroting van de venturibuis.

### 3. Constructie en werkwijze van de venturibuis

Bij het construeren van een venturibuis is het van essentieel belang dat in de zgn. 'keel' een sterk turbulente waterstroom ontstaat, die over een betrekkelijk korte afstand constant wordt gehouden.

Zoals bekend treedt bij het overschrijden van een bepaalde kritische snelheid — nl. bij een Reynolds-getal = 2300 — in het water turbulentie op, waarbij de stroomdraden niet meer evenwijdig doch door elkaar lopen. In een buis begint deze werveling nooit bij de inloop, doch op een zekere afstand daarvan, welke afstand bij vergroting van de snelheid kleiner wordt. De werveling groeit niet geleidelijk aan, maar treedt plotseling in alle sterkte op. Bij een gladde inloop ontstaat een laminair gedeelte, aan het einde waarvan turbulentie optreedt. Voor grote Reynolds-getallen is de lengte van deze storingsloze toestroming:

$$l = 500.000 \times \frac{d}{Re}$$

$d$  = diameter van de keel van de venturibuis

$l$  = minimale keel-lengte van de venturibuis

Bij het dimensioneren van de keel van de venturibuis dient dus voor het opwekken van een turbulente waterstroom met dit vertragsverschijnsel rekening te worden gehouden. Het is overigens van belang de keel zo kort mogelijk te houden om de

energieverliezen zo gering mogelijk te doen zijn.

Bij een goed functionerende venturibuis wordt in het algemeen een watersnelheid in de keel aangehouden van ca. 6 - 10 m/sec. Het Reynolds-getal van het water-luchtmengsel zal daarbij 150.000 tot 250.000 bedragen. Dit betekent dat de keel tenminste een lengte van ca.  $3 \times d$  moet hebben.

In een divergerend conisch gedeelte achter de keel wordt daarna de snelheid geleidelijk teruggebracht tot de normale waarde van ca. 1 à 1,5 m/sec.

In dit gedeelte wordt een deel van de energie teruggewonnen. Hiertoe mag de hoek van het conische gedeelte niet meer bedragen dan 7,5°, daar anders de turbulente waterstroom de wand loslaat, waardoor de energie-terugwinning goeddeels verloren gaat.

Om de drukhoogte vóór de venturibuis in snelheidshoogte om te zetten, wordt een verstelbare buis gemonteerd waarmee de mate van beluchting, c.q. de optredende onderdruk en de weerstand kan worden geregeld.

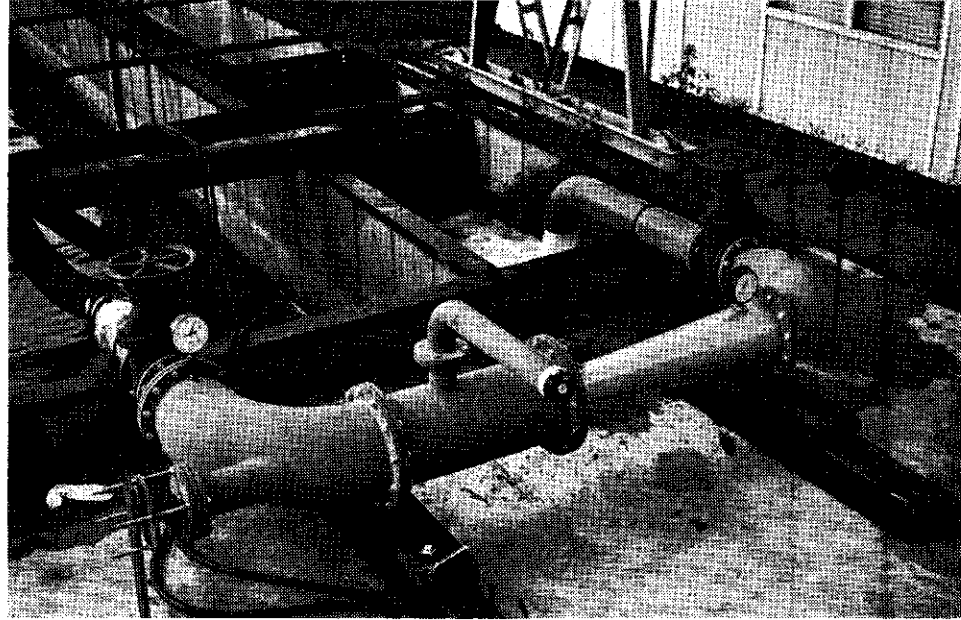
Bij de eerste door ir. Linn geconstrueerde venturibuizen had de verstelbare buis tevens de functie van lucht-injectiebuis, door in de omtrek van de conus van de buis één of meerdere rijen gaatjes aan te brengen waardoor lucht kan worden aangezogen (afb. 3).

Door de WMG is in de jaren zestig een gewijzigde constructie ingevoerd, zoals afb. 4 laat zien. De voordelen van deze wijzigingen waren: een betere instelling van de gewenste water-luchtverhouding en een makkelijker reinigen van de venturibuis door het aanbrengen van een demontabel tussenstuk. De hier besproken constructies hebben betrekking op venturibuizen die *boven* het filterbed van een gesloten filterketel zijn opgesteld. De druk *achter* de venturibuis varieert — afhankelijk van de weerstand in het filter — van 0 tot ca. 4 mwk. De druk *vóór* de venturibuis komt daarbij niet hoger dan ca. 10 mwk. De diameter van de keel werd gedimensioneerd op een watersnelheid van 6 à 7 m/sec.

De venturibuizen zijn toegepast voor capaciteiten van 60 m<sup>3</sup>/h tot 200 m<sup>3</sup>/h.

**4. Proefnemingen met het venturibuis beluchtingssysteem**

Het opstellen van een venturibuis-beluchting voor de filters van het pompstation Fikkersdries in het gebouw betekent dat de druk *achter* de venturibuis — afhankelijk van de filterweerstand — tenminste 6 mwk en ten hoogste 8 mwk zal bedragen. De consequentie hiervan is dat in de venturibuis meer drukhoogte omgezet moet worden in snelheidshoogte ter verkrijging



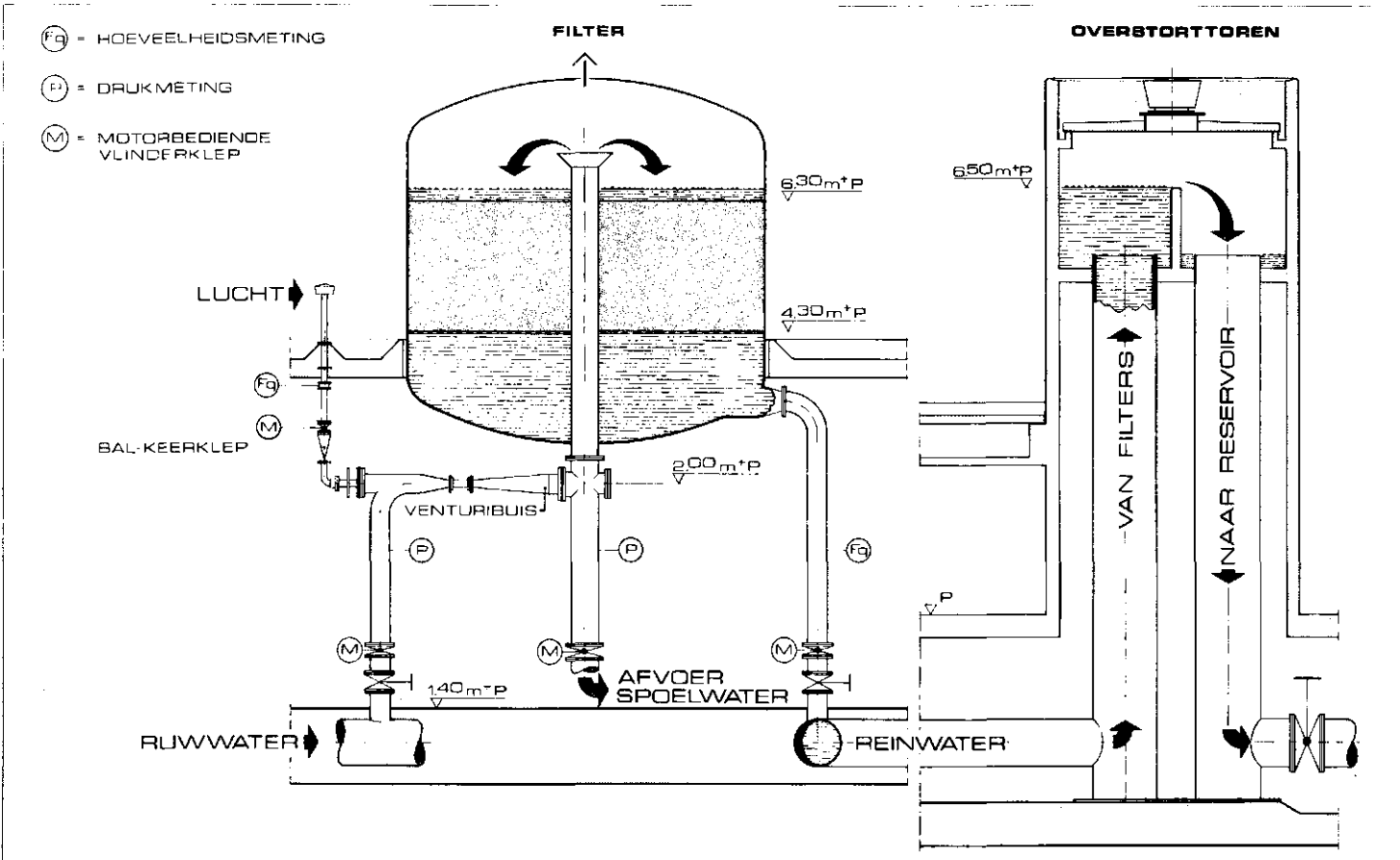
Afb. 5 - Opstelling van een venturibuis op de proefstand van de pompfabriek Delta te Hengelo.

van onderdruk voor de luchtaanzuiging dan tot nu toe gebruikelijk was. De vraag doet zich hierbij voor: met welke drukverliezen moet rekening worden gehouden bij een opstelling van de venturibuizen als hierboven aangegeven. De eerste proefnemingen die zijn uitgevoerd waren er derhalve op

gericht om hierop een antwoord te kunnen geven.

Tot dit doel kon bij de pompfabriek Delta te Hengelo van een "buiten" proefstand voor pompbeproevingen gebruik worden gemaakt waar het mogelijk was

Afb. 6 - Opstelling venturibuizen in het pompstation 'Fikkersdries'.



water met een capaciteit van ca. 400 m<sup>3</sup>/h rond te pompen.

Een 2-tal venturibuizen zijn gemaakt, resp. een venturibuis met een keeldiameter voor een watersnelheid van 6 m/sec. en een venturibuis met een keeldiameter voor een watersnelheid van ca. 10 m/sec.

De bedoeling hiervan was om een vergelijkende proef te kunnen doen met:

- een venturibuis met een druk achter de buis van 0 - 4 mwk (6 m/sec.) en
- een venturibuis met een druk achter de buis van 4 - 12 mwk (10 m/sec.).

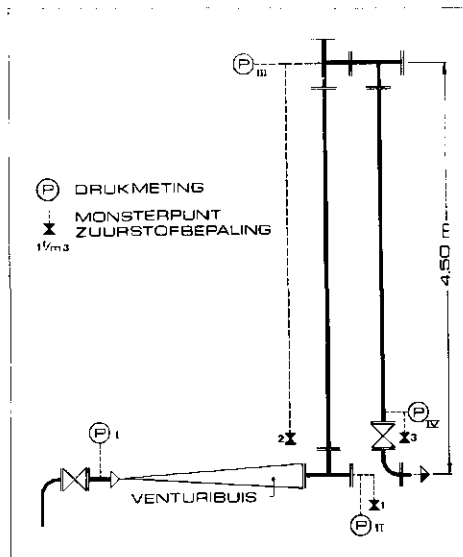
De constructie van deze venturibuizen was in principe gelijk aan die zoals weergegeven in afb. 4.

Afb. 5 geeft een indruk van de opstelling van de venturibuizen op de proefstand bij Delta te Hengelo. De resultaten verkregen uit deze proefnemingen gaven duidelijk aan dat de venturibuis met een druk achter de buis van meer dan 5 mwk, wat betreft de optredende drukverliezen, gunstiger werkte dan voorhands op grond van extrapolatie van de bedrijfsgegevens van de bestaande venturibuizen (druk achter de buis maximaal ca. 4 mwk) werd verwacht. Klaarblijkelijk wordt bij het opvoeren van de werkdrukken van de venturibuis een gunstiger rendement verkregen wanneer de benodigde doorsnedevermindering ter plaatse van de luchtaanzuiging niet wordt gezocht in een verder afknijpen van de doorsnede door middel van de pen, maar in een verkleining van de keeldiameter, c.q. opvoeren van de watersnelheid in de keel. Opmerkelijk was tevens dat bij de venturibuis met een druk achter de buis van  $\geq 4$  mwk een nog nauwkeuriger debietregeling werd verkregen dan in de praktijk met de venturibuizen met een druk achter de buis tot maximaal ca. 4 mwk is waargenomen.

Een voorbehoud t.a.v. de gunstige resultaten van deze proefnemingen moest worden gemaakt met betrekking tot de zuurstofopname.

Bij de uitgevoerde proeven is alleen de luchtaanzuiging gemeten; bepalen van het zuurstofgehalte van het water had geen enkele zin omdat het water op de proefstand werd rondgepompt en derhalve snel verzadigd raakte met zuurstof. De resultaten waren echter van dien aard, dat besloten werd in het nieuwe pompstation Fikkersdries de venturibuizen onder de filterketels op te stellen, in het gebouw (zie afb. 6).

Tevens werd het gewenst geacht om de proeven met de venturibuis met een druk achter de buis van  $\geq 4$  mwk voort te zetten met onbelucht grondwater, ten einde uitsluitel te verkrijgen over de relaties tussen de aangezogen lucht en de opgenomen



Afb. 7 - Schematische voorstelling van de proefstand voor de venturibuisopstelling in het pompstation 'Fikkersdries'.



Afb. 8 - Proefstand voor venturibuisbeluchting op het waterwinterrein van het pompstation 'Fikkersdries'.

zuurstof. Nadat enkele nieuwe pompputten op het waterwinterrein van het pompstation Fikkersdries gereed waren gekomen, kon met behulp van deze putten een hoeveelheid grondwater van ca. 400 à 500 m<sup>3</sup>/h voor de proefnemingen worden onttrokken. Ten einde de proeven zoveel mogelijk af te stemmen op de bedrijfssituatie die straks in het nieuwe pompstation Fikkersdries zou gelden (afb. 6), werd een proefstand gebouwd volgens het in afb. 7 weergegeven principeschema. Van de werkelijke aanblik van deze proefstand geeft afb. 8 een indruk. Bij de proefnemingen werden dezelfde venturibuizen gebruikt als op de proefstand van Delta te Hengelo (afb. 4). Al spoedig bleek dat er geen éénduidig verband bestond tussen de hoeveelheid aangezogen lucht en

de hoeveelheid opgenomen zuurstof. Geconstateerd werd dat de aangezogen lucht door de in de omtrek van de keel aangebrachte gaatjes als een schil aan de buitenomtrek van de venturibuis bleef hangen, waardoor een onvoldoende menging met het water ontstond.

Om te trachten hierin verbetering te brengen door een zo fijn mogelijke verdeling van de lucht te verkrijgen en daardoor een innige menging met het water te bevorderen, werd met kleinere luchtgaatjes geëxperimenteerd en eveneens door het aantal gaatjes te laten variëren.

Deze maatregelen gaven echter weinig of geen rendement.

Vervolgens werd een propeller in de keel van de venturibuis gebouwd, teneinde een betere menging van water en lucht te verkrijgen. Ook dit gaf geen bevredigende resultaten.

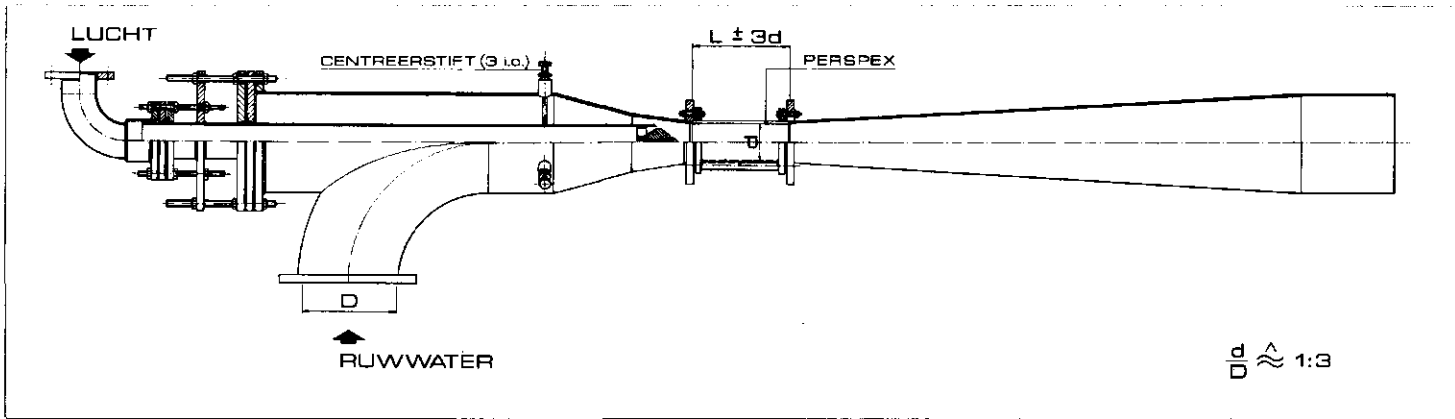
Doordat hogere vóór-drukken noodzakelijk waren, ontstonden extra energieverliezen die niet in verhouding waren met de verhoging van de zuurstofopname in het water. Nadat nog getracht was door het plaatsen van leidschoepen in het leidingstelsel achter de venturibuis verbetering te brengen in de zuurstofopname en ook deze maatregel alhoewel een geringe verbetering t.o.v. de propeller werd geconstateerd — niet het gewenste resultaat opleverde, werd uiteindelijk besloten de constructie van de venturibuis ten aanzien van de wijze van luchtaanzuiging te wijzigen.

In de in afb. 9 weergegeven constructie van een venturibuis voor een druk achter de buis van  $\geq 4$  mwk, zijn de volgende wijzigingen t.o.v. de bestaande door de WMG toegepaste venturibuizen aangebracht.

a. De luchtaanzuiging vindt niet meer plaats door gaatjes in de omtrek van de keel, maar wordt thans verkregen door middel van een instelpen die tot dat doel is voorzien van een kegelvormige kop. Deze kop is demontabel en zodanig gedimensioneerd dat een ringvormige spleet ontstaat waardoor de lucht kan toetreden in de keel van de venturibuis.

De luchtstroming is thans evenwijdig met de waterstroom en kan middenin de waterstraal worden geïnjecteerd. Dit bevordert een goede water-lucht menging, terwijl tevens de intredeweerstand van de lucht minder zal zijn, hetgeen een geringer energieverlies betekent.

b. Door de vernauwing van het instroomgedeelte van de venturibuis vlak vóór de keel onder een kleinere hoek te laten verlopen, kan worden bereikt dat bij de gegeven penconstructie de in te stellen nauwste doorsnede zich steeds juist vóór de luchtaanzuiging bevindt. De vereiste onderdruk in de venturibuis zal daardoor niet groter worden dan strikt nodig.



Afb. 9 - Constructie venturibus voor een druk achter de buis  $\geq 4$  mwk.

Op grond van de overweging dat de produktie van het pompstation 'Fikkersdries' de eerste jaren lager dan  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$  zal zijn en dan venturibuisen met een capaciteit van  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  teveel zouden moeten worden 'afgeknepen', is allereerst een venturibus volgens de gewijzigde constructie van afb. 9 vervaardigd voor een capaciteit van ca.  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ . Deze buis is op de proefstand (afb. 7 en 8) uitvoerig beproefd, zowel in de functie als zgn. 'hoge-druk venturibeluchter' (druk achter de buis  $\geq 4$  mwk) als van 'lage-druk venturibeluchter' (druk achter de buis  $0 - 4$  mwk).

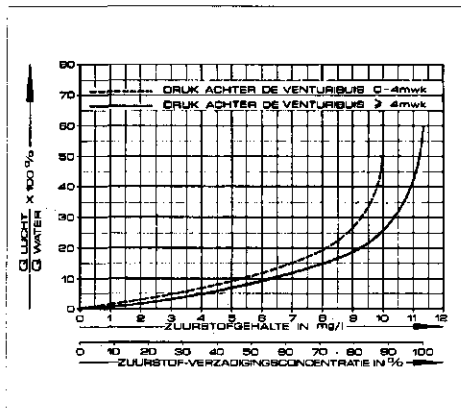
Direct al bleek dat de aangebrachte wijzigingen een duidelijke verbetering betekenden in de water-lucht menging van de venturibus. De uitkomsten van de proefnemingen zijn weergegeven in de grafieken van de afb. 10 en 11.

Hieruit valt af te leiden dat de 'hoge-druk' venturibus betere resultaten geeft dan de 'lage-druk' venturibus. Een volledige zuurstofverzadiging van het beluchte water kan zelfs worden bereikt.

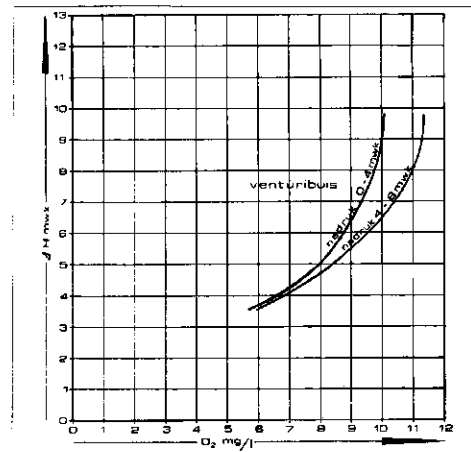
Verondersteld wordt dat de hogere druk achter de venturi en de door de lagere opstelling van de venturi t.o.v. het filterbed ontstane langere reactietijden hierbij een rol spelen, alhoewel dit moeilijk expliciet is vast te stellen.

Voor een praktisch gebruik van de verkregen inzichten in de toepassing van venturibuisen met een druk achter de buis van  $\geq 4$  mwk, is de in afb. 12 getoonde grafiek samengesteld.

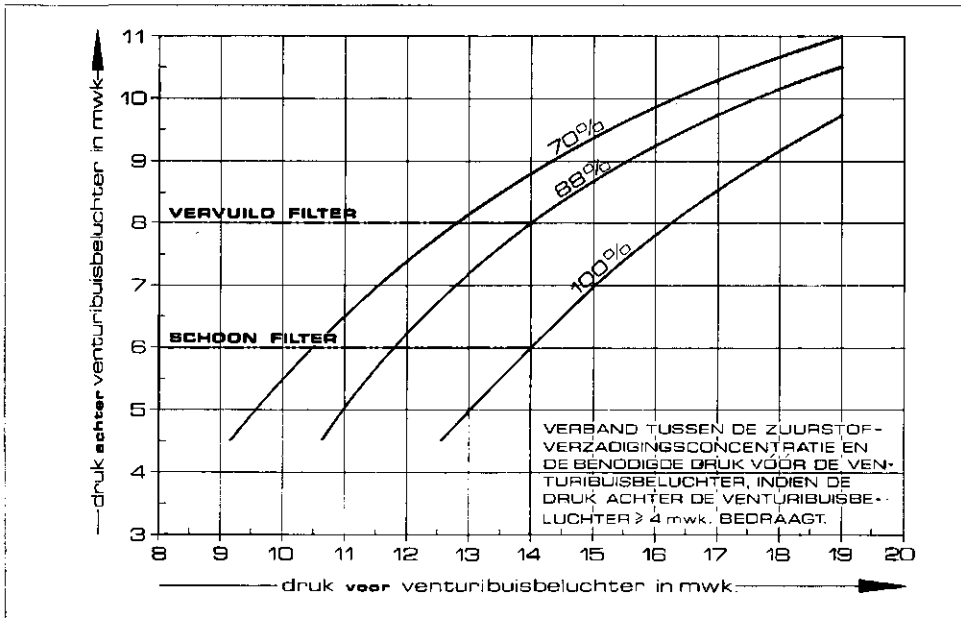
Met behulp van deze grafiek kan bij een ontworpen opstelling van de venturibus t.o.v. het filter, c.q. de bovenkant van het filterbed, en een gewenste minimale zuurstof-verzadigingsconcentratie van het te zuiveren water, worden bepaald wat dan de benodigde druk vóór de venturibus zal moeten zijn. Of anders gezegd, welke opvoerhoogte de ruwwaterpompen in een dergelijk geval moeten hebben. Voor de venturibuisen opgesteld in het pompstation 'Fikkersdries' (afb. 6) betekende



Afb. 10 - Verband tussen de zuurstof-verzadigingsconcentratie en de water-lucht verhouding van een venturibusbeluchter.



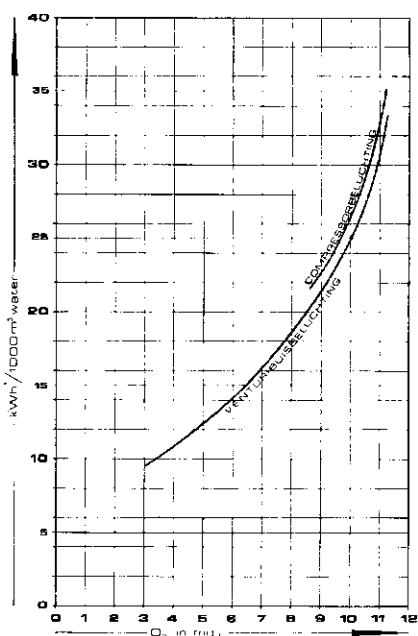
Afb. 11 - Drukverlies venturibuisen.



Afb. 12 - Verband tussen de zuurstof-verzadigingsconcentratie en de benodigde druk vóór de venturibusbeluchter, indien de druk achter de venturibusbeluchter  $\geq 4$  mwk bedraagt.

dit dat wanneer bij een vervuild filter — dus vlak vóór het spoelen van het filter — nog een zuurstofgehalte van het beluchte ruwe water van ca.  $10 \text{ mg/l}$  (verzadigingsconcentratie 88 %) wordt verlangd, de druk

vóór de venturibus ca.  $14 \text{ mwk}$  zal moeten bedragen. Tot slot zij nog opgemerkt dat het energieverbruik voor het beluchten van water bij gesloten — onder druk staande — filters



Afb. 13 - Benodigde hoeveelheid energie voor het beluchten van water onder druk.

tamelijk hoog is. In de afb. 13 wordt dit nog eens nader aangeduid. Daaruit blijkt tevens dat de venturibuis als beluchtings-systeem voor gesloten drukfilters energetisch gezien beslist niet ongunstiger is dan de alternatieve druk-beluchting door middel van compressoren.

De geringe benodigde plaatsruimte, de lage installatie- en onderhoudskosten en de goede debietregeling van de venturibuis-beluchter maken dit beluchtingssysteem beslist aantrekkelijk voor toepassing bij gesloten drukfilters.

## 5. Samenvatting

De hiervoor vermelde onderzoeken hebben geleid tot het inzicht dat het opstellen van een venturibuisbeluchter enkele meters beneden de bovenkant van het filterbed, zoals dit bijv. bij een *buiten*-opstelling van gesloten filterketels gewenst zou zijn, zowel uit een oogpunt van energieverlies als van beluchtingseffect geen enkel bezwaar hoeft te zijn.

Uit de proefnemingen is tevens gebleken dat de constructie van de venturibuis, voor wat betreft de wijze van luchtaanzuiging en de instelling van de gewenste watercapaciteit, van grote invloed is op het rendement van dit type beluchter.

