

28/5/76

2428^{Nr.}

Laboratorium voor Chemische Technologie

Verslag behorende
bij het fabrieksvoorontwerp
van

T.P.P.Jurgens J.K.Visser

onderwerp:

Proefinstallatie voor de zuivering van
oppervlaktewater ter bereiding van drinkwater.

adres: Hammarskjöldplaats 320, R.dam.
Sportlaan 117, Vlaardingen.

opdrachtdatum: Feb. 1976.
verslagdatum: April 1976.

PROEFINSTALLATIE
VOOR DE ZUIVERING VAN OPPERVLAKTEWATER
TER BEREIDING VAN DRINKWATER

FABRIEKSVORONTWERP

VAN

T.P.P. Jurgens,
Hammarskjöldplaats 320,
Rotterdam.

EN

J.K. Visser
Sportlaan 117,
Vlaardingen.

Delft, april 1976.

INHOUDSOPGAVE

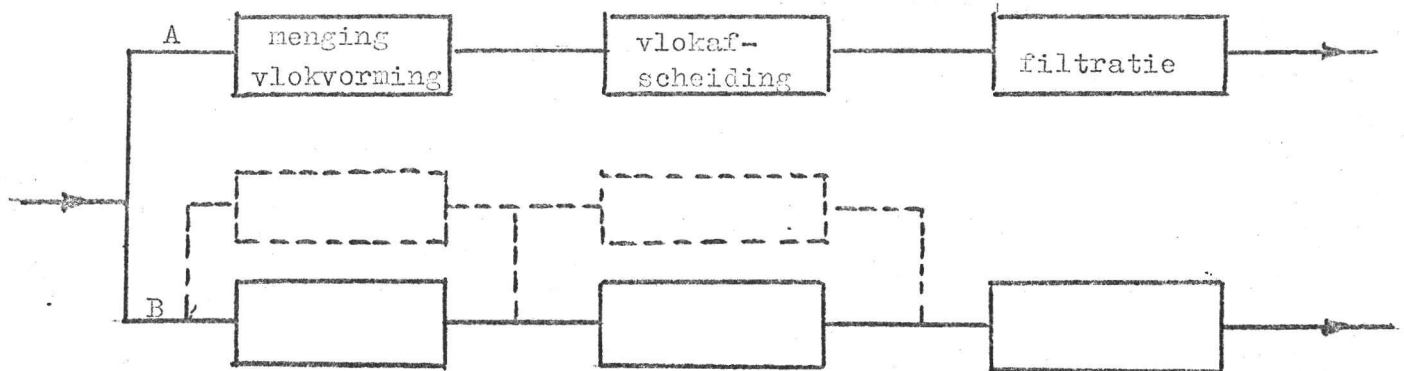
		Pagina
	Samenvatting	2
Hoofdstuk 1	Inleiding	4
2	Procesbeschrijving	5
3	De desinfectie	7
3.1	Doel	7
3.2	Theorie	7
3.3	Andere mogelijkheden voor desinfectie.	11
3.4	Uitvoering.	12
4	Chemische en fysische behandeling van het water.	15
4.1	Aard van de verontreinigingen.	13
4.2	De coagulatie.	13
4.3	Hydrolyse van Fe(III)-zouten.	16
4.4	De menging van de chemikaliën.	17
4.5	De vlokvorming.	17
4.6	Uitvoering van de vlokvorming.	18
4.7	Berekening van de apparatuur.	20
5	Sedimentatie en flotatie.	27
5.1	Sedimentatie.	27
5.2	Flotatie.	29
5.3	Uitvoering en berekening apparatuur.	30
6	Filtratie	38
6.1	Inleiding	38
6.2	Theorie.	38
6.3	Uitvoering.	41
6.4	Berekening apparatuur.	41
	Symbolenlijst	44
	Literatuuroverzicht	46
Bijlage 1	Kwaliteit en kwaliteitscontrôle	48
2	Schets van de vlokvormingsapparatuur.	49
3 t/m 7	Specificaties apparaten.	50
8	Processchema	55

S A M E N V A T T I N G

De in dit rapport beschreven proef-installatie is ontworpen voor de zuivering van oppervlakte-water, ter bereiding van drinkwater.

Bij de opzet is uitgegaan van het feit, dat zoveel mogelijk vormen van onderzoek moeten kunnen worden uitgevoerd.

De installatie is daarom opgebouwd als in onderstaande figuur is weergegeven.



Twee volledig identieke zuiveringsstraten zijn parallel aan elkaar geplaatst. Het ene gedeelte (A) wordt geoptimaliseerd en werkt continu, zonder ingrijpende wijzigingen in de procesvoering aan te brengen.

Met het andere gedeelte (B) kunnen dan de gewenste experimenten worden uitgevoerd. De invloed daarvan op de kwaliteit van het behandelde water kan worden vergeleken met de kwaliteit van het met behulp van A verkregen water.

Op deze manier wordt de invloed van eventuele veranderingen van de kwaliteit van het ruwe water opgeheven.

Het ontwerp is gebaseerd op de behandeling van 50m^3 oppervlakte-water per uur. Als kwaliteit van het water is genomen de kwaliteit waar door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat op korte termijn naar wordt gestreefd. (1)

De belangrijkste eigenschappen zijn vermeld op bijlage 1. De toegepaste zuiveringstrappen, die zijn berekend, zijn:

- a. Chloring door toevoeging van chloorbleekloog.
- b. Menging van chemicaliën, die voor uitvlokking van de in het water voorkomende verontreinigingen zorgdragen.
- c. Vlokvorming van de verontreinigingen
- d. Afscheiden van de gevormde vlokken
- e. Filtratie van het water in een zand-hydr-anthraciet filter.

Daarnaast zijn een aantal nieuwe ontwikkelingen in toepasbare apparatuur bestudeerd met name het gebruik van statische mengelementen voor de menging van de chemicaliën en flotatie als vlokafscheidingsproces.

Bij het ontwerp is, wegens tijdgebrek, geen aandacht besteed aan de op zich belangrijke aspecten van bijvoorbeeld:

- ozonisatie
- filtratie over actieve kool
- slib-verwerking

De in het ontwerp opgenomen zuiveringstrappen zijn echter de belangrijkste processen bij de bereiding van drinkwater. Andere technieken kunnen gezien worden als het "polijsten" van het reeds gezuiverde water, terwijl de slibverwerking (o.a. bestaande uit filtratie, afvoer van vaste afvalprodukten) een min of meer op zichzelf staande techniek is, die niet specifiek bij de waterzuivering voorkomt.

Hoofdstuk 1. Inleiding.

De in de loop der jaren sterk toegenomen bevolking en de sterk uitgebreide industrialisatie hebben tot gevolg, dat een sterke toename is opgetreden in de hoeveelheid af te voeren afvalstoffen. Een groot gedeelte daarvan wordt geloosd in oppervlakte-wateren, waardoor deze in toenemende mate verontreinigd worden.

Aangezien voor de drinkwater-voorziening veelal gebruik gemaakt moet worden van dit oppervlakte-water, is een goede zuivering dus noodzakelijk.

Daartoe staan een aantal reeds lang bekende zuiveringstrappen ter beschikking, die in dit rapport zullen worden beschreven.

Echter vooral in de laatste jaren is door de diverse drinkwaterbedrijven steeds meer onderzoek verricht naar het gebruik van nieuwe technieken, die energie- en/of ruimte-besparend zijn. Daardoor zijn bij een relatief groot aantal bedrijven proefinstallaties gebouwd, waarin diverse soorten onderzoek wordt verricht. De reden dat dit soort onderzoek niet of nauwelijks centraal wordt uitgevoerd is, dat er een groot verschil bestaat in de kwaliteit van het door diverse bedrijven te behandelen oppervlakte-water.

Zo zal een bedrijf, dat Rijnwater verwerkt met geheel andere problemen worden geconfronteerd (bijvoorbeeld hoog slib-gehalte door intensieve scheepvaart) dan een bedrijf bijvoorbeeld in Friesland, dat water uit de Friese meren als grondstof heeft (sterke algenbloei).

Dit houdt tevens in dat het ontwerpen van een installatie in de praktijk vaak gepaard gaat met experimenten op pilot-plant schaal.

Bij dit ontwerp is getracht een installatie te ontwerpen, die niet aan een bepaalde type water is gebonden. Gewerkt is met een waterkwaliteit, die door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1) in een meerjarenplan als streefkwaliteit op korte termijn wordt voorgesteld.

Tenslotte dient vermeld te worden, dat het ontwerp niet alle in de praktijk toegepaste zuiveringstrappen omvat. Zo is bijvoorbeeld een belangrijke stap als aktieve-kool-filtratie of ozonisatie niet behandeld, aangezien dit in de ter beschikking staande tijd niet gerealiseerd kon worden.

De meest essentiële zuiveringstrappen zijn echter uitvoerig bestudeerd en in dit rapport beschreven.

Aan de hand van het bijgevoegde processchema zal de ontworpen installatie worden beschreven.

Door middel van een pomp (P1) wordt het oppervlakte-water naar een buisreactor (R7) gevoerd, waarin de chloringsreacties plaatsvinden. Het chloorbleekloog wordt, nadat de pH op de gewenste waarde is gebracht, uit voorraadvat (V5) via een membraanpomp (P6) in de hoofdleiding gedoseerd. Na de reactor wordt de hoofdstroom (8) verdeeld in twee stromen (10 en 11), waarvan het debiet gemeten en geregeld wordt.

Stroom (10) wordt gevoerd naar het mengvat (R9), nadat allereerst de pH op de gewenste waarde is gebracht met NaOH (via V15 en P17) of met HCl (via V19 en P21) en vervolgens het vlokmiddel (FeCl_3) via V23 en P25 wordt toegevoegd. Na de menging stroomt het water naar het vlokvormingsbassin (T25) en vervolgens naar het bezinkingsbassin (T28). Na de bezinking wordt het geklaarde water via stroom (38) naar het diep-bed-filter (F3) gevoerd. Dit filter is voorzien van een overloop en de filtraatstroom (2) wordt zodanig geregeld, dat continue een hoeveelheid van $1 \text{ M}^3/\text{h}$ overstort. Het filtraat wordt via pomp (P2) naar een verzamelvat (V13) gepompt. Dit water wordt gebruikt als spoelwater om het vervuilde filterbed in tegengestelde richting via (18) en pomp (P14) te laten fluidiseren, waardoor een effectieve reiniging optreedt.

Volgen we nu stroom (11) dan wordt een zelfde installatie doorstroomd als boven is beschreven, nl. via stroomnummers 11, 25, 28, 40, 7 en 14 en via de apparaten R12, T26, T29, F4, P8 en V13.

Nu is echter de mogelijkheid aanwezig om via meer geavanceerde technieken tot de gewenste eindkwaliteit te komen. In plaats van een mengvat (R12) wordt dan de statische menger (R18) doorstroomd. In plaats van gebruik te maken van de conventionele vlokvormings-installatie kan via stroom (24) een zgn. Couette-flocculator of een golfplaten-flocculator (T27) worden gebruikt. Ook kan nu flotatie als vlokafscheidingsproces worden toegepast, nl. in (T30). In dat geval wordt het gereinigde water via stroom 35 en 40 naar filter F4 gevoerd. Via 34 wordt dan een gedeelte van de afvoerstroom m.b.v. pomp (P33) op druk gebracht en in een gepakte kolom (R32) versproeid. In die kolom wordt het water bij verhoogde druk met lucht verzadigd, waartoe de lucht via 41, C35, 36, drukvat (V34) en 31 eveneens in de gepakte kolom gevoerd wordt. Om een beter contact tussen water en lucht te bewerkstelligen wordt via 29 en P31 een relatief grote hoeveelheid lucht gecirculeerd. Het met lucht verzadigde water wordt tenslotte in T30 versproeid waarbij t.g.v. de dan optredende expansie het water plotseling oververzadigd wordt aan lucht, zodat de lucht in de vorm van kleine belletjes "uit oplossing treedt".

Stroom (39) is de slibafvoer afkomstig van T28 via stroom (32) en van T29 via 33 of van T30 en via 37. In sommige gevallen wordt ook het vervuilde spoelwater uit de beide filters (6) aangesloten op de slibafvoer 39.

Het gezuiverde water (32) wordt afhankelijk van de omstandigheden (locatie t.o.v. het produktie-proces, kwaliteit) gevoerd naar de produktie-installatie of teruggevoerd naar het inname-punt van het oppervlakte-water.

α_r , k , k_1 en k_2 zijn allemaal constanten specifiek voor het systeem.

2. De concentratie aan desinfectiemiddel.

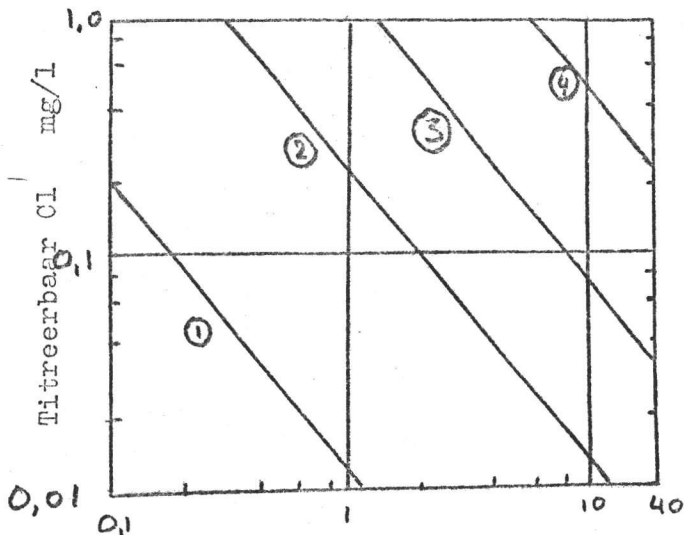
Het verband tussen desinfectiemiddel-concentratie en de vereiste tijd om een gegeven percentage aan organisme te doden wordt gewoonlijk gegeven door de experimentele vergelijking:

$$C^n t = \text{constant} \quad (3-4)$$

Combinatie van 2 constanten?

In kinetisch gedefinieerde systemen stelt n de empirische reactie-orde voor.

(3)



1. Adenovirus 3
 $C^{0,86} t = 0,098$
2. Esch. coli
 $C^{0,86} t = 0,24$
3. Poliomyelitis virus 1
 $C^{0,86} t = 1,2$
4. Coxsackie virus A2
 $C^{0,86} t = 6,3$

Contacttijd voor 99% doden in minuten

Figuur 3-1 Tijd-concentratie-verband bij desinfectie.

3. De invloed van de temperatuur.

De temperatuur kan op 2 manieren de desinfectiesnelheid beïnvloeden.

Ten eerste kan de temperatuur zeer veel verschillen van de normale omgevings-temperatuur; hierdoor zullen de organismen zelf direct beïnvloed worden.

Ten tweede kan de temperatuur de snelheid van één van de reactiestappen beïnvloeden.

Deze laatste temperatuur-effecten kunnen beschreven worden door:

$$k_T = k_{20} \beta (T - 20) \quad (3-5)$$

$k_T = 1$ in 20°C

Hierin is k_T de snelheidsconstante bij temperatuur T ; k_{20} is de snelheidsconstante bij 20°C , β is een empirische constante en T is de temperatuur in $^\circ\text{C}$.

4. De invloed van de pH.

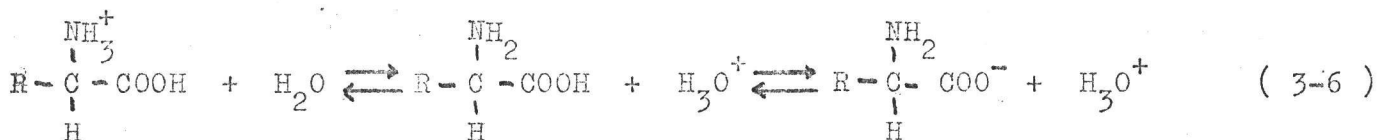
Vele micro-organismen worden effectief gedood bij extreme pH waarden.

($\text{pH} < 3$ of $\text{pH} > 11$)

Als de pH ligt tussen 4 en 10 zal de pH een merkbaar effect hebben op het des-

infectiemiddel en/of het micro-organisme.

Omdat celwanden een functie bezitten en bestaan uit chemische stoffen zullen bacteriën oppervlakte-lading bezitten, zoals colloïden. De lading, die karakteristiek is voor deze micro-organismen kan vergeleken worden met die van amfotere aminozuren (4).



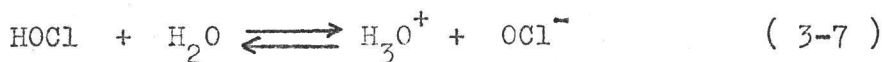
Deze zijn anionen in basisch milieu, kationen in zuur milieu en neutraal in tussenliggende pH-waarden.

Dus biologische celwanden kunnen geladen of ongeladen zijn, afhankelijk van de pH van de omgeving. Dus de nadering van desinfectiemoleculen kan beïnvloed worden door de oppervlakte-lading.

b. De chemie.

Hoewel er vele chemische desinfectiemiddelen zijn zal hier uitsluitend de chloring behandeld worden met behulp van chloorbleekloog (NaOCl).

Bij dosering van NaOCl stelt zich een evenwicht in tussen HOCl en OCl⁻ afhankelijk van de pH.



met

$$K_p = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} \quad (3-8)$$

Omdat HOCl als molecuul een sterker desinfectiemiddel is dan het OCl⁻-ion kunnen deze in verhouding geschreven worden als functie van de pH:

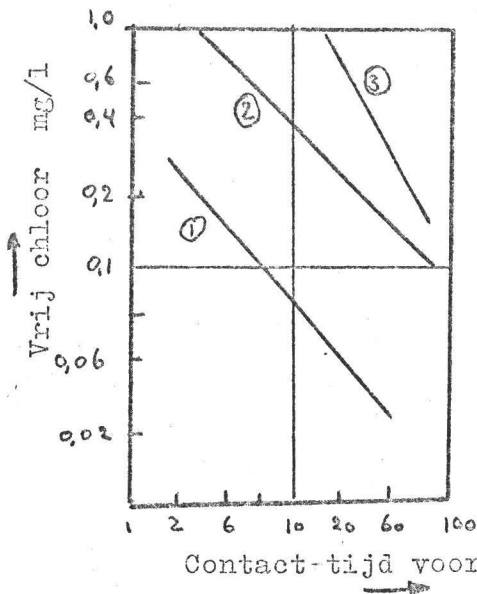
$$\frac{\%[\text{HOCl}]}{\%[\text{HOCl}] + \%[\text{OCl}^-]} = \frac{100}{\frac{K_p}{[\text{H}_3\text{O}^+]} + 1} \quad (3-9)$$

K_p is afhankelijk van de temperatuur volgens: (5)

Temperatuur °C	0	10	20	25	
K _p x 10 ⁸ (mol/l)	1,5	2,0	2,5	2,7	Zie figuur 3-2

Bij 0°C is bij voorbeeld bij pH = 8 60% als OCl⁻ en 40% als HOCl aanwezig, Bij 20°C en pH = 8 is 71% als OCl⁻ en 29% als HOCl aanwezig.

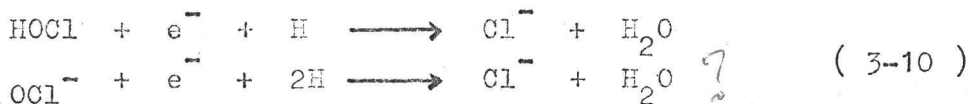
Door oxydatieprocessen bij afbraak van organische materialen en de desinfectie wordt het in water aanwezige chloor verbruikt.



- 1. n = 1,4 pH = 8,5
- 2. n = 1,3 pH = 9,8
- 3. n = 0,8 pH = 10,7

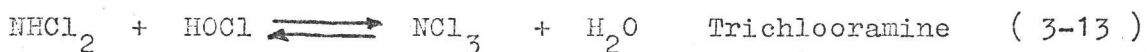
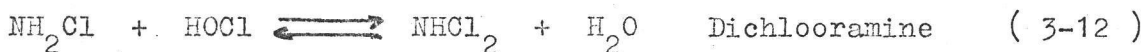
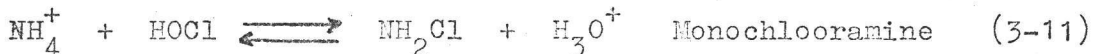
Figuur 3-2 Tijd-concentratie verband bij desinfectie als functie van de pH.
(6)

Daarbij wordt het chloor tot chloride gereduceerd. Globaal kan dit als volgt omschreven worden.



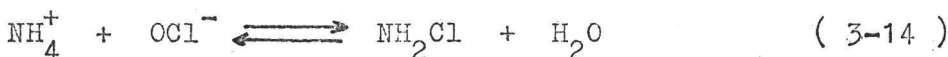
De organische stof dient dan als H-donor.

Daarnaast spelen zich in het water substitutieprocessen af met het in water aanwezige ammoniak. (Afkomstig van hydrolyse van ureum en als afbraakproducten van eiwithoudende organische verontreinigingen)



Afhankelijk van de pH kan in plaats van NH_4^+ , NH_3 aanwezig zijn. Omdat de K_p van NH_4^+ bij 20°C , 5×10^{-10} is zal voornamelijk NH_4^+ aanwezig zijn.

Voor OCl^- geldt een dergelijke reactie:



Slechts bij te lage pH waarden ($< 6,5$) worden de dichlooramines gevormd.

Bij een $\text{pH} < 4$ worden pas de trichlooramines gevormd.

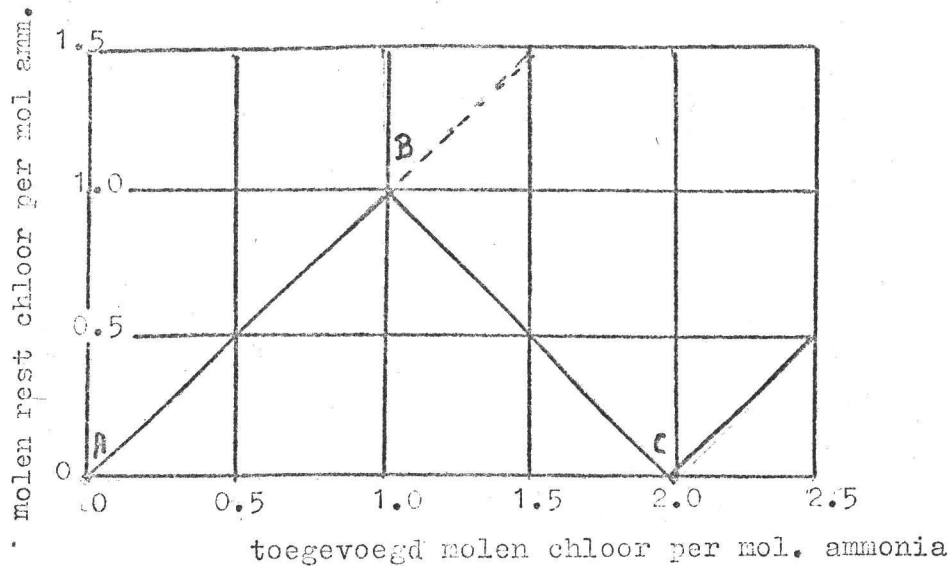
De nadelen van deze substitutiereacties zijn:

- Di- en trichlooramines veroorzaken het zogenaamde "chloorluchtje".
- Trichlooramine heeft een sterk prikkelende werking op slijmvliezen en bindweefsel.
- Chloorsubstitutieverbindingen hebben een geringere oxyderende en desinfecterende werking dan vrij chloor en deze verbindingen dragen dus nauwelijks bij tot de waterzuivering.

Dit heeft geleid tot de zogenaamde breekpuntschlooring.

De reactie van chloor met ammonia levert in de praktijk problemen op voor de chloring van het water.

De dosering van toenemende hoeveelheden chloor aan water, gevolgd door meting van het "rest" chloor na een periode van bijvoorbeeld 30 minuten levert de volgende grafiek op:



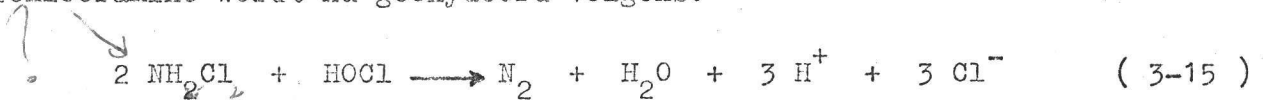
Figuur 3-3 De geïdealiseerde breekpunts-curve.

Tussen A en B wordt voornamelijk monochlooramine gevormd. Punt B treedt op als de gewichtsverhouding chloor-stikstof gelijk is aan 5.

Lijn BC wordt voornamelijk veroorzaakt door de reactie waarbij dichlooramine optreedt. Per stikstofatoom worden twee chlooratomen gebonden.

In punt C is de gewichtsverhouding chloor-stikstof gelijk aan 10.

Het dichlooramine wordt nu geoxydeerd volgens:



Wordt de gewichtsverhouding van 10 overschreden, dan stijgt het gehalte vrij chloor.

De vorming van trichlooramine treedt nauwelijks op omdat de pH te hoog is. Omdat het monochlooramine een slechtere desinfecterende werking heeft dan het HOCl zal voor een goede desinfecterende werking een breekpuntschloring toegepast moeten worden.

De breekpuntsreactie wordt reeds binnen de 30 minuten bereikt. (2)

3.3

Andere mogelijkheden voor desinfecteren.

Andere mogelijkheden voor desinfectering, die hier echter niet zijn toegepast, zijn:

A. chemisch.

Inplaats van NaOCl kan ook gebruikt worden: Ozon, Cl_2 en ClO_2

B. Fysische methoden.

Warmte, U-V-straling, gamma en röntgenstraling, ultra-sonor trillen.

3.4

UITVOERING:

De dosering van het NaOCl geschiedt continu door een doseerpomp in de leiding juist voor de reactor.

De reactie vindt plaats in een buisreactor. De reactor die hier voor nodig is is als volgt gedimensioneerd:

Uitgaande van ideale propstroom (7) : $L/d = 50$

L is de lengte van de reactor en d is de diameter.

Het debiet bedraagt $50 \text{ m}^3/\text{uur}$, de verblijftijd is een half uur. Het volume van de reactor bedraagt dus 25 m^3 .

$$\left. \begin{array}{l} L = 50 d \\ \frac{1}{4} \pi d^2 L = 25 \end{array} \right\} \Rightarrow d = 0,84 \text{ meter en } L = 4,2 \text{ meter.}$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} = 2,1 \times 10^4$$

Brekening van de voorraadvaten

Stel dat de chloring plaats vindt bij pH = 8. De pH van het water varieert tussen pH 6,5 en pH 8,5 (1).

De concentratie NaOH in het voorradvat bedraagt 0,1 N. De maximale dosering zal 0,05 mol/u bedragen, dus 0,5 liter per uur.

Stel dat het vat 1 maal per week bijgevuld moet worden, dan zal een vat nodig zijn van $24 \times 7 \times 0,5 = 109$ liter.

Idem voor het zuurvast.

Beide vaten worden gekozen op 100 liter.

NaOCl-voorradvat.

Het aanwezige ammoniak bedraagt ongeveer 0,2 mgN per liter.

*Ammoniak
0,2 mg N → 0,2 mg N*

$$0,2 \text{ mg N} / 1 = \frac{0,2}{14} \text{ mmol NH}_3$$

In verband met breekpuntschloring is dus nodig $\frac{0,4}{14}$ mmol Cl_2

Dit komt overeen met $\frac{0,8}{14}$ mmol NaOCl = $4,26 \text{ g} / \text{m}^3 = 212,9 \text{ g/uur}$

De stamoplossing NaOCl bevat 150 g /l werkzaam chloor.

Er moet dus 1,4 liter NaOCl per uur worden gedoseerd.

NaOCl ontleeft onder invloed van licht. Dus zal het inlichtondoorlatend vat bewaard moeten worden. Gekozen is een zwart vat van 100 liter.

4.1 Aard van de verontreinigingen.

De verontreinigingen van oppervlaktewater manifesteren zich als troebeling- en kleurveroorzakende bestanddelen.

Troebeling wordt veroorzaakt door:

- a. Suspensies van vaste deeltjes, voornamelijk bestaande uit anorganische slib- en kleideeltjes met een deeltjesgrootte groter dan $0,2 \mu\text{m}$.
Ook kunnen suspensies ontstaan van complexe organische verbindingen en emulsies van olie ten gevolge van de lozing van huishoudelijk en industrieel afvalwater. Ten gevolge van de zelfreinigende werking zal een groot gedeelte van deze laatste verontreinigingen echter snel afnemen.
- b. Verbindingen, die op grond van hun afmetingen ($5 \text{ nm} - 0,2 \mu\text{m}$) kolloïdaal worden genoemd. De belangrijkste kolloïdale stoffen zijn anorganische kleimineralen (met vaak aan het oppervlak geadsorbeerde organische stoffen) en bestanddelen van organische aard.

Naast de troebeling-veroorzakende verontreinigingen komen ook kleurvormende bestanddelen voor. Deze zijn voornamelijk afkomstig van afbraakprocessen van plantaardig materiaal. De belangrijkste produkten zijn de fulvinezuren met daarnaast humuszuren en hmatomelaninezuren.

Aangezien kolloïden en andere kleine deeltjes niet door bezinking of filtratie verwijderd kunnen worden, dienen de deeltjes gedestabiliseerd te worden, zodat uitvlokking kan optreden.

De zuivering vindt plaats in twee fasen te weten:

1. De coagulatiefase, waarbij het destabilisatieproces van de kolloïdale deeltjes wordt bewerkstelligd door middel van chemikaliën-dosering.
2. De vlokvormings- (flocculatie-) fase, gedurende welke de deeltjes tot bezinkbare en / of filtreerbare vlokken aangroeien ten gevolge van botsingen (Brownse beweging) en snelheidsgradiënten.

4.2 De coagulatie.

Alvorens enkele soorten coagulatie-processen, te beschrijven, die in de literatuur als mogelijk worden genoemd, dient eerst nader te worden ingegaan op de oppervlaktelading van de diverse verontreinigingen. In het begin van de 19^e eeuw werd ontdekt, dat kleideeltjes in water een negatieve elektrische lading bezitten. Door de wederzijdse afstoting zal het uitvlokkingsproces worden tegengegaan.

Aangezien de kolloïdale oplossing als geheel elektrisch neutraal is, dient de oppervlaktelading gekompenseerd te worden door een tegenlading aan of in de omgeving van het deeltje. Zo ontstaat het beeld van de elektrische dubbellaag

In figuur 4.1 is het potentiaalverloop in de omgeving van een deeltje schematisch weergegeven als functie van de afstand.

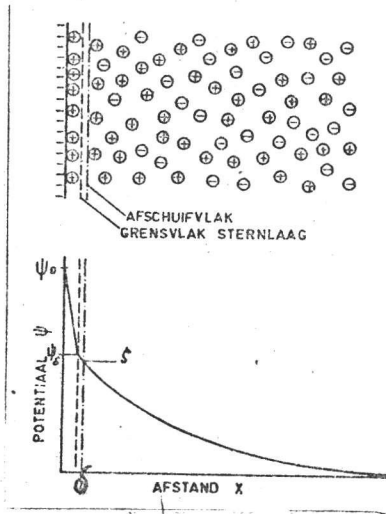


Fig. 4.1 Potentiaalverloop als functie van de afstand in de omgeving van het deeltje.

- Hierin kunnen de volgende gebieden worden onderscheiden:
- Aan het grensvlak bevindt zich een gefixeerde laag van geadsorbeerde ionen. Dit is de zogenaamde Sternlaag, waarover de potentiaal vervalt van Ψ_0 naar Ψ_s over een afstand ter grootte van de diameter van de ionen.
 - Een laag met dikte d , die gevormd wordt door de vloeistof en die als het ware aan het deeltje gebonden is. Deze vloeistoflaag tot aan het hydrodynamisch afschuifvlak wordt de Smoluchowsky-laag genoemd. De potentiaal, die daar heerst wordt de zeta-potentiaal genoemd.

-Tenslotte een gebied, waarin de potentiaal asymptotisch afneemt tot nul. Deze afname kan mathematisch weergegeven worden door de volgende formule:

$$\Psi = \Psi_s \cdot e^{-Kx} \quad (4-1)$$

- Hierin is:
- Ψ de potentiaal op afstand x (in volts)
 - Ψ_s de potentiaal op afstand δ (in volts) (Stern-potentiaal)
 - K de reciproke dubbellaagdikte
 - x de afstand tot het deeltje in meters.

Voor K geldt de betrekking:

$$K = \sqrt{\frac{8\pi e^2 \sum n z^2}{\epsilon k T}}$$

- waarin:
- e voorstelt de lading van het electron in Coulomb
 - n het aantal ionen per m^3 in meter^{-3}
 - z de valentie van het ion
 - ϵ de dielektrische konstante in $\text{Coulomb.Volt}^{-1}.\text{meter}^{-1}$
 - k de konstante van Boltzmann in Joule.Kelvin^{-1}
 - T de absolute temperatuur in Kelvin.

Uit deze betrekkingen kan afgeleid worden, dat toevoegen van elektrolyten (dus een toename van de ionensterkte $\sum n z^2$) resulteert in een snellere afname van de potentiaal, met andere woorden de dubbellaag wordt ingedrukt. Dit is van belang, omdat ten gevolge van die kleinere dubbellaag de deeltjes elkaar zo dicht kunnen naderen, dat de van der Waals-aantrekkingskrachten gaan

overheersen boven de afstotingskrachten ten gevolge van de gelijke lading. Daardoor kan dus verkleefing optreden tussen de deeltjes.

Er zijn een aantal mogelijke mechanismen voor het coagulatieproces, die allen min of meer optreden. Deze mechanismen zullen in het kort worden aangegeven.

a. Elektrostatische coagulatie.

Door toevoegen van elektrolyten wordt de dubbellaag zover ingedrukt, dat de attractiekrachten gaan overheersen. Hierbij is de vereiste dosering onafhankelijk van de concentratie van de kolloïdale deeltjes.

b. Adsorptieve coagulatie.

Hieronder wordt verstaan de destabilisatie van kolloïden ten gevolge van adsorptie van vlokmiddelen of de reactieproducten daarvan op het oppervlak van de kolloïdale deeltjes.

De adsorptie vindt plaats in de Sternlaag, waardoor de negatieve lading van de kleideeltjes wordt geneutraliseerd.

Uit experimenten is gebleken, dat hierbij wel een zekere stoichiometrie optreedt. De adsorptie-coagulatie is voor de waterzuivering de belangrijkste en wordt verkregen door toevoegen van Fe- of Al-zouten (Zie hoofdstuk 4.3.)

c. Wederzijdse coagulatie.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van poly-elektrolyten. Dit zijn moleculen die bestaan uit lange ketens met geioniseerde groepen. Dit is in feite een bijzondere vorm van de onder b genoemde adsorptieve coagulatie, omdat hier ook sprake is van adsorptie op het oppervlak van de kolloïdale deeltjes. Enige voorbeelden van deze poly-elektrolyten zijn polyacrylzuur, polyacrylamide en gemodificeerde zetmeelderivaten.

d. Een geheel van de vorige drie mechanismen afwijkende theorie, is dat verwijdering van kolloïdale deeltjes door precipitatie plaats vindt.

Berusten de vorige methoden op het indrukken van de elektrische dubbellaag, de theorie van de precipitatie zegt, dat de kleideeltjes in de massa van uitvlokkende hydrolyse-producten van Fe- of Al- zouten worden ingesloten.

Welke van de mechanismen optreedt hangt af van de parameters: kolloïdkoncentratie en vlokmiddel-dosis.

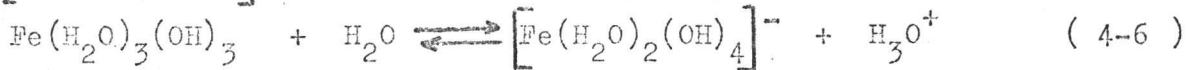
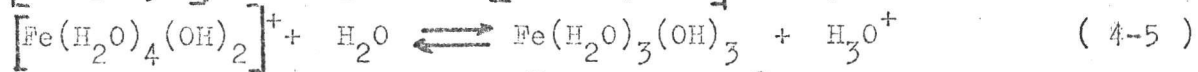
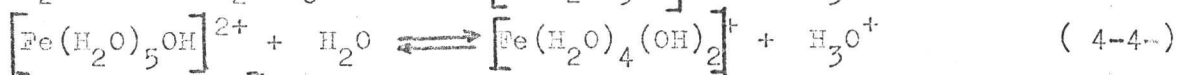
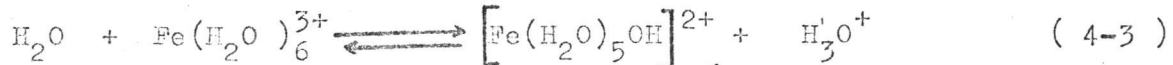
Bij lage concentratie is de kans op botsing na destabilisatie relatief gering, zodat hier precipitatie beter zal werken. (meer Fe-oplossing toevoegen dan die volgens het oplosbaarheidsprodukt.)

Bij hoge concentraties is al een hoge dosis nodig voor adsorptieve coagulatie, zodat het oplosbaarheidsprodukt in elk geval wordt overschreden.

Uit praktische overwegingen wordt bij de waterzuivering meestal overgedoseerd, zodat precipitatie optreedt, hetgeen snel plaatsvindt en waarbij grote vlokken ontstaan.

4.3 Hydrolyse van Fe(III)-zouten.

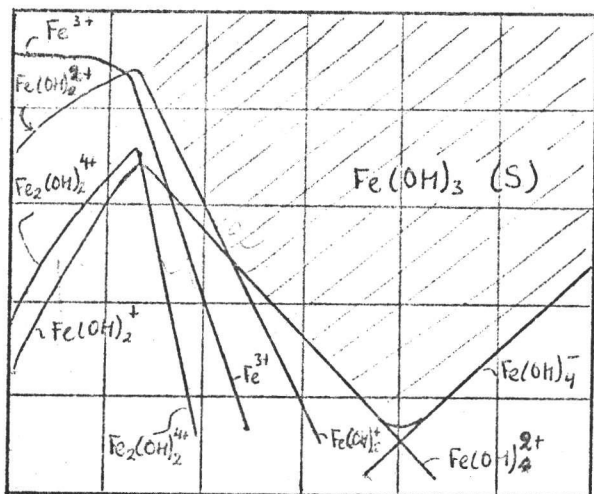
De coagulatie vindt in Nederland plaats door gebruik te maken van ferrizouten (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Volgens van der Giessen (8) is het Fe^{3+} -ion in waterige oplossing gehydrateerd. In de coördinatie-sfeer bevinden zich zes H_2O -moleculen in octaëdrische omringing. In sterk zure oplossingen zijn dan $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ -complexen aanwezig. Afhankelijk van de pH treden de volgende hydrolyse-stappen op:



Het zal duidelijk zijn, dat het verschuiven van bovenstaande evenwichten kan worden bewerkstelligd door toevoeging van OH^- -ionen (pH verhoging).

Figuur 4.2 toont het concentratie-pH-diagram voor de hydrolyse produkten van Fe(III).

Naast de bovenstaande evenwichten hebben de gevormde hydrolyse-produkten een sterke neiging tot polymeriseren. In eerste instantie worden OH-bruggen gevormd tussen twee Fe-atomen (olatie-reactie), waarna onder afgifte van een proton oxolatie optreedt. Via diverse tussenstappen wordt tenslotte (indien de pH en de totale Fe^{3+} -concentratie hoog genoeg zijn) een groot aantal hydrolyse-produkten gevormd variërend van de



monomere hydroxokomplexen (bijvoorbeeld $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$) via kolloïdale hydroxometaal-polymeren tot het metaalhydroxyde-neerslag. De gevormde complexen worden gemakkelijk geadsorbeerd aan de kolloïdale deeltjes, waardoor destabilisatie en vlok-vorming kan optreden. De polymeren hebben echter minder sterke neiging tot adsorptie. De vorming van bovenstaande monohydroxykomplexen gebeurt zeer snel.

Fig. 4.2 Concentratie-pH-diagram voor de hydrolyseprodukten van Fe^{3+} . Weber (2) noemt een tijd van 10^{-10} sec. De polymerisaties verlopen trager, maar toch nog binnen 1 seconde. Bovendien zijn deze reacties onomkeerbaar. Deze grote reactiesnelheden hebben consequenties voor het uitvoeren van de coagulatie, zoals in het volgende hoofdstuk zal blijken.

4.4 De menging van de chemikaliën.

Omdat de hydrolyse- en polymerisatiereacties van het metaalion zeer snel resp. onomkeerbaar verlopen, dient zo snel mogelijk een homogene verdeling van de Fe^{3+} -oplossing over de vloeistofstroom plaats te vinden. Temeer daar de gepolymeriseerde produkten geen destabilisatie- of adsorptieverschijnselen te zien geven. Dit betekent, dat bij het ontwerp gestreefd moet worden naar een zo kort mogelijke mengtijd, waarbij tevens de hoeveelheid ingebrachte energie van belang is.

Bij de waterzuivering wordt vaak het begrip "gemiddelde snelheidsgradiënt" gehanteerd als maat voor de energie-inbreng. Het symbool hiervoor is G en de dimensie is sec^{-1} . Over de optimale waarde van G bestaat bij de diverse onderzoekers nogal verschil van mening. Camp (9) heeft veel experimenten uitgevoerd en hij konkludeerde, dat een G -waarde van $1000 sec^{-1}$ gedurende een mengtijd van 2 minuten resulteert in een goede vlokvorming na de mengfase.

Latere onderzoekingen, vermeld door van Melick (10), evenals gegevens van bestaande installaties, die ook door van Melick worden genoemd, laten zien, dat de mengtijden af kunnen nemen tot ca 30 seconden zonder dat dit een negatieve invloed heeft op het vlokformingsproces. Toen bleek dat zulke korte mengtijden mogelijk waren, lag de weg open naar het gebruik van andere mengprocessen.

Op min of meer kleinere schaal worden op dit moment zogenaamde statische mengers beproefd met veelbelovende resultaten. In hoofdstuk 4.6 zal een ontwerp-berekening van zowel een konventionele als van een meer geavanceerde menginstallatie worden beschreven.

4.5 De vlokvorming.

Het doel van de vlokvorming is, dat de gedestabiliseerde deeltjes aangroeien tot vlokken van een zodanige grootte en dichtheid, dat een efficiënte scheiding van vlok en water kan plaats vinden. In de literatuur (16) worden twee processen vermeld, die optreden bij de vlokvorming namelijk de perikinetische en de orthokinetische flocculatie. Beide processen zijn uitvoerig bestudeerd door vele onderzoekers, die tevens matematische modellen hiervoor hebben opgesteld. Een uitvoerige beschrijving hiervan zou te ver voeren, zodat volstaan zal worden met de volgende karakterisering van beide processen.

De perikinetische flocculatie wordt beschreven als een transportproces ten gevolge van de Brownse beweging van de kleine deeltjes. Deze beweging wordt echter zeer gering als de deeltjes-grootte groter dan $10\mu m$ wordt. De vlokvorming zou dan tot stilstand komen, tenzij door kunstmatige agitatie de botsingskans van de deeltjes wordt verhoogd. In de praktijk gebeurt dit door gebruik te maken van vlokformingsbassins, waarin langzaam geroerd wordt, zodat snelheidsgradiënten ontstaan. De vlokvorming ten gevolge van snelheidsgradiënten noemt men

de orthokinetische flocculatie en deze is in de waterzuivering het belangrijkste vlokformingsproces.

Camp en Stein hebben de vlokformingsprocessen in meer praktische vorm geïntroduceerd namelijk als:

$$N = \frac{1}{6} n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3 G \quad (4-7)$$

Hierin is: N de afname van het aantal deeltjes per seconde en per volume-eenheid

n_1 het aantal deeltjes met diameter d_1

n_2 het aantal deeltjes met diameter d_2

G de gemiddelde snelheidsgradiënt in sec^{-1}

Hieruit blijkt, dat de vlokformingsnelheid recht evenredig is met de snelheidsgradiënt, zodat een grote G-waarde een kleine vlokformingsstijd oplevert.

Toch kan G niet zonder meer verhoogd worden omdat de wrijvingskrachten op de vlokken groter worden als G groter wordt. Dit blijkt uit het volgende:

G is gedefinieerd als snelheidsgradiënt dus $G = \frac{dv}{dx}$ Algemeen geldt voor de schuifspanning ten gevolge van snelheidsprofielen: $\tau = \eta \frac{dv}{dx}$

Kombinatie levert: $\tau = \eta G$ (4-8)

waarbij de viscositeit van de vloeistof dus de evenredigheidsfactor is.

Nu zullen de wrijvingskrachten groter worden naarmate de deeltjes groter worden, zodat toepassing van een te hoge G-waarde resulteert in afbraak van de reeds gevormde vlokken. De maximaal toelaatbare G-waarde wordt dus bepaald door de gewenste grootte van de vlokdeeltjes.

4.6 Uitvoering van de vlokvorming.

4.6.1. Konventionele methode.

De tot voor kort meest gebruikte vlokformingsapparaten zijn geroerde tanks. Figuur 1 op bijlage 2 geeft een schematisch overzicht van de gebruikelijke procesvoering. Menging van de chemikaliën vindt plaats in een vat met een zodanig volume, dat een gemiddelde verblijftijd van $\frac{1}{2}$ -3 minuten wordt verkregen. In de regel wordt deze menging uitgevoerd bij een G-waarde van ca. 1000 sec^{-1} .

Vervolgens stroomt het water via een overstortrand naar het vlokformingsbassin. Camp (9) heeft gevonden, dat voor verkrijging van goed afscheidbare vlokken een G.T-waarde (produkt van G-waarde en gemiddelde verblijftijd (dimensieloos)), van 10^4 - 10^5 nodig is.

Uit literatuur 10 (pag. 118) blijkt, dat de gemiddelde verblijftijd ca. 20 minuten moet bedragen. Oskam (11) tenslotte vermeldt, dat 4 - 6 kompartimenten voor vlokvorming in verreweg de meeste gevallen voldoet.

In Nederland wordt in het algemeen met 4 kompartimenten gewerkt, waarbij het principe van de "tapered stirring" wordt toegepast. Dat wil zeggen dat in elk volgend kompartiment steeds een lagere G-waarde wordt gekreëerd door variatie

van het toerental van de menger en het bladoppervlak van de roerder.

Uit de schets blijkt, dat het water de bassins verticaal doorstroomt in afwisselend neerwaartse en opwaartse richting om tenslotte in het vlokafscheidings-systeem te stromen.

4.6.2. Nieuwe technieken.

Voorals de laatste 2 à 3 jaar wordt door de waterleidingbedrijven steeds meer geëxperimenteerd met nieuwe systemen. De aandacht is daarbij gericht op energiebesparing, zodat gezocht wordt naar vervangende processen, waarbij geen roerwerken meer nodig zijn.

Een ander belangrijk aspect is, dat bij gebruik van geroerde tanks altijd een verblijftijdsspreiding zal optreden. Dit betekent, dat een aantal deeltjes niet de gelegenheid krijgen om tot vlokken aan te groeien en deze kleine deeltjes kunnen moeilijkheden veroorzaken bij de vlokafscheiding en de filtratie. Voor de menging van de chemicaliën zijn vrij veel experimenten uitgevoerd met de zogenaamde statische mixers. Het principe hiervan is niet nieuw, maar in de waterzuivering verkeert het gebruik van deze statische mixers in een onderzoek stadium.

Ondanks enige problemen (o.a. vervuiling door afzetting van ijzerzouten) zijn uit de experimenten zeer gunstige resultaten verkregen. Tauscher (12) geeft in zijn artikel richtlijnen voor de berekening van statische mengelementen. (zie hoofdstuk 4.7).

De menging vindt plaats, doordat het medium opgesplitst wordt in open, elkaar snijdende kanalen. Bij ieder snijpunt wordt een gedeelte van de stroom afgenomen en in dwarskanaal gevoerd. Door na een element een volgend element 90 graden ten opzichte van ^{het eerste} te verdraaien vindt zeer snel een volledige homogenisatie plaats. Bij de vlokvorming is het echter moeilijker vervangende apparaten te gebruiken. Wel wordt veel onderzoek gedaan naar verbetering van de reeds bestaande verticaal doorstroomde bassins door gebruik te maken van horizontaal doorstroomde bassins met horizontaal geplaatste roerwerken. Het principe is echter niet wezenlijk anders dan de al gedurende vele jaren toegepaste methode. Wel nieuw is het gebruik van de zogenaamde platenfloculator, Dit is een bak, waarin verticaal geplaatste golfplaten zijn aangebracht. Door de botsingen met de platen en de steeds veranderende stromingsrichting moeten zodanige condities geschapen worden, dat een goede vlokvorming optreedt. Met behulp van drukvalberekeningen is dit echter niet te verklaren. Ook konden geen ontwerpcriteria worden verkregen van de firma, die deze apparaten ontwikkelt (Pielk enrot - Vinitex in Assendelft) aangezien voor dit ontwerp patent is aangevraagd. Het enige dat bekend is, is dat twee waterleidingbedrijven in Nederland experimenteren met dit soort apparatuur

Een ander in de literatuur beschreven apparaat is de zogenaamde "Couette-flow-through-flocculator" (13). Hierbij stroomt het water tussen twee concentrische buizen, waarbij de buitenste roteert en de binnenste een geleidelijk afnemende diameter heeft. Zodoende wordt een G-waarde gekreëerd, die continu afneemt en die o.a. bepaald wordt door de rotatiesnelheid van de buitenste cylinder.

Het onderzoek bevindt zich nog in het laboratorium-stadium en de beschreven proeven zijn uitgevoerd met zeer kleine modellen. Met de beschikbare gegevens (lit. 13 en 15) is schaalvergroting niet zonder meer mogelijk gebleken.

4.7 Berekening apparatuur.

4.7.1. Snelmenger.

Uitgangspunten zijn:

- gemiddelde verblijftijd τ : 30 seconden
- gemiddelde snelheidsgradiënt G : 1000 sec^{-1} .
- volumestroom $\phi_v = 25 \text{ m}^3/\text{h} = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Voor het volume van de tank geldt:

$$V = \phi_v \times \tau$$

$$= 6,9 \cdot 10^{-3} \times 30 = 0,207 \text{ m}^3.$$

Camp heeft afgeleid (9), dat voor G geldt:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\eta \cdot V}} \quad (4-9)$$

waarin P het toegevoerde vermogen en η de viscositeit van het medium voorstelt. Omwerking levert:

$$P = G^2 \cdot \eta \cdot V \quad (4-10)$$

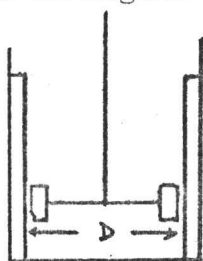
Bij 10°C is $\eta = 1,307 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$, zodat

$$P = 10^6 \times 1,307 \cdot 10^{-3} \times 0,287$$

$$= 0,271 \cdot 10^3 \text{ Watt}$$

$$= 0,271 \text{ kWatt.}$$

In literatuur 17, fig 39 is een nomogram weergegeven voor het type menger als in figuur 4.3 schematisch is weergegeven.



Figuur 4.3

In het vat moet turbulente menging optreden.

Daarom wordt gekozen $Re = 2 \cdot 10^5$

Uit het nomogram volgt dan dat het energie-invoer getal N_p gelijk is aan 5.

$$Re = \frac{D^2 \cdot N \cdot \rho}{\eta} \text{ met } D = \text{diameter in meters}$$

$$N = \text{toerental in } \text{sec}^{-1}$$

ρ = de dichtheid van het medium in kg.m^{-3}

η = de viscositeit in N.s.m^{-2}

N_p is als volgt gedefinieerd: $N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$, waarbij het toegevoerde vermogen P is in Nm.s^{-1}

Invullen levert: $N \cdot D^2 = \text{Re} \cdot \frac{\eta}{\rho} = 2 \cdot 10^5 \times \frac{1,307 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 0,26$

$$N^3 \cdot D^5 = \left[\frac{N_p \cdot \rho}{P} \right]^{-1} = \left[\frac{5 \times 10^3}{271} \right]^{-1} = 5,42 \cdot 10^{-2}$$

Hier uit volgt dat $D = 0,32 \text{ m}$

$$N = 2,5 \text{ omw/s} = 150 \text{ omw/min.}$$

Voor de berekende menger moet verder gelden:

$$D_{\text{tank}} = 2D = 0,64 \text{ m}$$

$$\text{Hoogte roerblad } W = 0,2D = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Breedte keerschotten } b = 1/12 D_{\text{tank}} = 0,05 \text{ m}$$

4.7.2. Vlokvorming.

De uitgangspunten hierbij zijn:

-totale gemiddelde verblijftijd τ : 20 minuten

-G.T-waarde tussen 10^4 - 10^5

-4 even grote kompartimenten

-4 identieke roermotors

-de vereiste G-waarde wordt verkregen door aanpassing van het roerbladenoppervlak en het toerental.

-daarom worden zogenaamde hekroeders toegepast.

Bij een $\tau = 20$ minuten en $\phi_v = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ volgt dat het totale volume $V_{\text{tot.}}$

$$V_{\text{tot.}} = \frac{25}{60} \times 20 = 8,3 \text{ m}^3.$$

Per kompartiment is dus beschikbaar $2,1 \text{ m}^3$.

Indien de hoogte op $1,5 \text{ m}$ wordt gesteld en bovendien wordt aangenomen, dat de kompartimenten vierkant zijn volgt:

$$L \times B = L^2 = B^2 = \frac{2,1}{1,5} : \text{ dus } L = B = 1,20 \text{ meter.}$$

Een redelijke aanname voor de G-waarde in de kompartimenten is de volgende:

Kompartiment 1	:	G	=	70	sec ⁻¹
kompartiment 2	:	G	=	60	sec ⁻¹
kompartiment 3	:	G	=	40	sec ⁻¹
kompartiment 4	:	G	=	30	sec ⁻¹

Hierbij is de $G_{\text{totaal}} = 200 \text{ sec}^{-1}$

Aangezien $\tau = 300$ seconden per kompartiment, geldt:

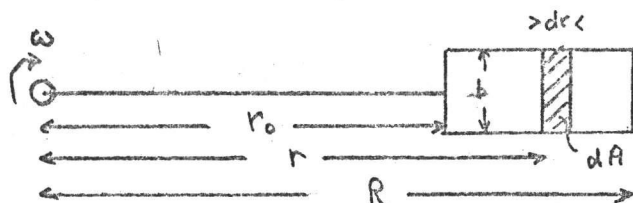
$\Sigma G.T = \Sigma G. \tau = \tau . \Sigma G = 300 \times 200 = 6.10^4$ dus binnen de gestelde grenzen.

Bovenstaande waarden dienen als richtgetallen bij de berekening van het benodigde bladoppervlak.

Pair, Geyer en Okun (14) geven de volgende methode voor de berekening van het totaal bladoppervlak. Uitgangspunt is de door Camp opgestelde relatie:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\eta V}} \quad (4-9)$$

waarin P het toegevoerde vermogen voorstelt. Voor een roerder als in fig. 4.4. geldt, dat het afgegeven vermogen is:



$$P = F_D \cdot v \quad \text{met} \quad (4-11)$$

F_D = de wrijvingskracht die de roerder ondervindt.

v = de relatieve snelheid van de roerder ten opzichte van de vloeistof.

Figuur 4.4

Voor F_D geldt: $F_D = C_D \cdot F_1$ (4-12)

als C_D de wrijvingsfactor en F_1 de kracht op de roerder ten gevolge van de vloeistof voorstelt. F_1 is daarom gedefinieerd als:

$$F_1 = A \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (4-13)$$

Substitutie van de diverse betrekkingen levert:

$$P = F_D \cdot v = C_D \cdot F_1 \cdot v = C_D \cdot A \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot v$$

$$P = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4-14)$$

Ingevuld in (4-9) geeft dit: $G = \sqrt{\frac{C_D \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}{2 \eta V}}$ (4-15)

Stel nu, dat $k = \frac{v_L}{v_r}$, dus de verhouding tussen de vloeistof- en de roerdersnelheid, dan geldt:

$$v = v_r - v_L = v_r - k v_r = (1-k) \cdot v_r \quad (4-16)$$

Op een afstand r van de as geldt voor v_r :

$$v_r = \omega \cdot r = 2\pi \cdot r \cdot \frac{n}{60} \quad (4-17)$$

waarin ω = de hoeksnelheid in rad/sec.

n = toerental in omw./sec.

Substitutie in (4-16) levert ten slotte:

$$v = (1-r) \frac{2\pi r n}{60} \quad (4-18)$$

Substitutie in (4-15) levert ten slotte:

$$G = \sqrt{\frac{8\pi^3}{2 \cdot 60^3} \frac{c_D \cdot \rho \cdot n^3}{\eta V} r^3 \cdot A} \quad (4-19)$$

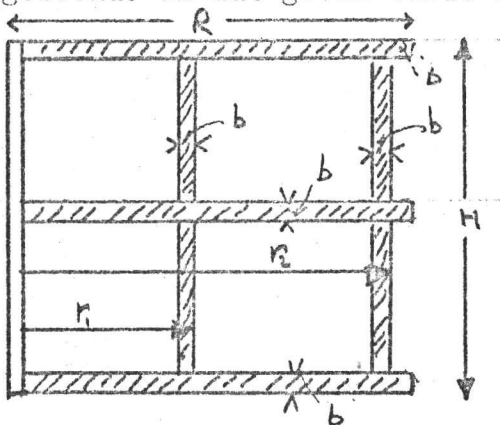
Voor de roerder van figuur 4.4 geldt voor $r^3 \cdot A$ de volgende relatie:

$$r^3 \cdot A = \int_{r_0}^R r^3 \cdot dA = \int_{r_0}^R r^3 \cdot b \cdot dr = \frac{1}{4} b (R^4 - r_0^4) \quad (4-20)$$

zodat uiteindelijk voor de G-waarde wordt gevonden:

$$G = \sqrt{5,74 \cdot 10^{-4} \frac{c_D \rho n^3}{\eta V} \frac{1}{4} b (R^4 - r_0^4)} \quad (4-21)$$

Bij het ontwerp is gekozen voor een helwerkroerder, zoals in figuur 4.5 is afgebeeld. In dat geval wordt dA als volgt: voor één gedeelte



$$dA = 3b \cdot dr \Big|_0^R + H \cdot dr \Big|_{r_2-b}^{r_2} + H \cdot dr \Big|_{r_1-b}^{r_1}$$

Voor 4 helwerken 90 graden t.o.v. elkaar gedraaid wordt vergelijking (4-20):

$$\begin{aligned} r^3 A &= \int r^3 dA = 4 \int_0^R 3br^3 dr + 4 \int_{r_2-b}^{r_2} Hr^3 dr + 4 \int_{r_1-b}^{r_1} Hr^3 dr \\ &= 12b \int_0^R r^3 dr + 4H \int_{r_2-b}^{r_2} r^3 dr + 4H \int_{r_1-b}^{r_1} r^3 dr \\ &= 3bR^4 + H \left\{ r_2^4 - (r_2-b)^4 \right\} + H \left\{ r_1^4 - (r_1-b)^4 \right\} \end{aligned} \quad (4-22)$$

Fair, Geyer en Okun geven de volgende ontwerpkriteria:

- roedersnelheid v_R aan buitenomtrek moet liggen tussen 0,3 en 3 ft/s
($\approx 0,1 - 1$ m/s) (met $v_R = v_r$ voor $r = R$)
- $k \approx 0,25$
- $C_d = 1,8$ voor water van 10°C

Bij het ontwerp zijn de volgende afmetingen gekozen:

R = 0,5 meter ; b = 0,05 meter en H = 1,30 meter.

Het hokwerk wordt geplaatst in een bak van 1,20 x 1,20 meter.

Afhankelijk van de gewenste G-waarde wordt v_r , r_1 en r_2 gekozen.

Daarmee kan berekend worden:

a. toerental n m.b.v. (4-17) : $v_R = 2\pi R \frac{n}{60}$

b. $r^3 A$ m.b.v. (4-22) $r^3 A = 3bR^4 + H \left\{ r_2^4 - (r_2 - b)^4 \right\} + H \left\{ r_1^4 - (r_1 - b)^4 \right\}$

c. De G-waarde m.b.v. (4-19) : $G = \sqrt{\frac{8 \pi^2}{2.60^3} \times \frac{C_D \rho n^3}{\eta V} x r^3 A} = C \sqrt{r^3 A}$

De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven:

	Kompartment			
	1	2	3	4 *
v_r (m.s ⁻¹)	0,45	0,45	0,30	0,30
n (s ⁻¹)	8,6	8,6	5,7	5,7
b (m)	0,03	0,03	0,03	0,03
r_2 (m)	0,45	0,40	0,48	0,40
r_1 (m)	0,25	0,15	0,25	0,15
C (m ^{-2$\frac{1}{2}$} .s ⁻¹)	489	489	264	264
$r^3 a$ (m ⁵)	2,05.10 ⁻²	1,49.10 ⁻²	2,33.10 ⁻²	1,31.10 ⁻²
G (s ⁻¹)	70	60	40	30

* In het 4e kompartment is de middelste horizontale zijarm weggelaten.

Op bijlage 2 is een schets van de vlokformingsapparatuur weergegeven.

4.7.3 De statische menger.

Deze ^emengers worden meestal in bestaande leidingen ingebouwd.

Wordt in de leiding een vloeistofsnelheid van 2 m/s toegelaten, dan volgt hieruit voor de leidingdiameter bij een debiet van 25 m³/h :

$$\phi_v = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \phi v}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 25}{2 \times \pi \times 3600}}$$

$$D = 65 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Voor vloeistofstroming geldt, dat de lengte van de menger ongeveer gelijk moet zijn aan 3-5 maal de diameter (12) Bij dit ontwerp is gekozen voor 0,30m. Voor bepaling van de G-waarde kan als benadering gebruikt worden het feit, dat het toegevoerde vermogen P uitgedrukt kan worden in de volumestroom (m³/s) en de drukval (N/m²), dus:

$$P = \phi_v \cdot \Delta P \quad (4-23)$$

Dit ingevuld in vergelijking 4-9 levert:

$$G = \sqrt{\frac{\phi_v \cdot \Delta P}{\eta v}} \quad (4-24)$$

Het drukverlies ΔP in N/m² over de menger wordt weergegeven in (12) als

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot \frac{L}{D_H}$$

- met
- λ : de wrijvingsfactor
 - ρ : de dichtheid van het medium in kg/m³
 - v ; de superficiële snelheid in m/s
 - L : de lengte van de menger in meter
 - D_H : de hydraulische diameter in meter.

λ is een functie van het Re-getal, betrokken op de vloeistofsnelheid in de lege buis en de hydraulische diameter van het mengelement.

Voor het gekozen type is $D_H = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$

Dus $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_H}{\eta}$

Bij 10 graden celsius is $Re = \frac{10^3 \times 2 \times 7 \cdot 10^{-3}}{1,307 \cdot 10^{-3}} = 1,0 \cdot 10^4$

Uit de grafiek van figuur 3.6 volgt dan : $\lambda \approx 0,8$

Invullen geeft dan:

$$\Delta P = 0,8 \times 10^3 \times 2^2 \times \frac{0,3}{7 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta P = 6,9 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2.$$

Voor G wordt dus gevonden:

$$G = \sqrt{\frac{\phi_v \cdot \Delta P}{\eta v}}$$

$$G = \sqrt{\frac{25/3600 \times 6,9 \cdot 10^4}{1,307 \cdot 10^{-3} \times \frac{\pi}{4} \times 65^2 \cdot 10^{-6} \times 0,3}} = 1,9 \cdot 10^4 \text{ sec}^{-1}$$

De verblijftijd in de menger $\tau = \frac{\pi/4 \times D^2}{\phi_v} = \frac{\pi/4 \times 65^2 \times 10^{-6}}{25/3600} = 0,48 \text{ sec.}$

Hieruit volgt: $G \cdot \tau = 0,48 \times 1,9 \cdot 10^4 = 9 \cdot 10^3$

Hoofdstuk 5 Sedimentatie en flotatie.

De vlokken, die bij de flocculatie zijn ontstaan moeten worden afgevangen. Dit kan op twee totaal verschillende manieren geschieden. Te weten sedimentatie of flotatie.

5.1 Sedimentatie.

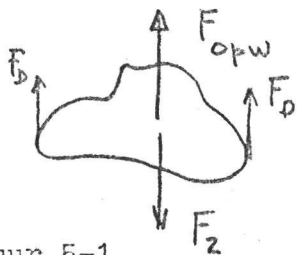
De sedimentatie, die hier behandeld zal worden is de sedimentatie onder invloed van de zwaartekracht.

Deeltjes uit een suspensie bezinken op verschillende manieren, afhankelijk van de concentratie en de aard van de deeltjes.

Deeltjes kunnen bijvoorbeeld tijdens het bezinken wel of niet de neiging hebben om te flocculeren.

Uitgegaan zal worden van de bezinking van deeltjes, die geen neiging (meer) hebben om te flocculeren. Als er in de praktijk toch enige flocculatie optreedt, heeft dit een positieve invloed op de bezinking.

De bezinking kan in een krachtendiagram als volgt weergegeven worden



Figuur 5-1

met:

F_{opw} is de opwaartse kracht

F_D is de weerstandskracht

F_z is de zwaartekracht.

Volgens de tweede wet van Newton zal:

$$m \cdot \frac{dv_s}{dt} = F_z - F_{opw} - F_D \quad (5-1)$$

Waarin v_s de bezinksnelheid is van het deeltje en m de massa van het deeltje.

De zwaartekracht F_z is gelijk aan $\rho_s \cdot V_p \cdot g$ (5-2)

met ρ_s de dichtheid van het deeltje in kg/m^3

en V_p het volume van het deeltje in m^3 en g is de valversnelling in m/s^2

De opwaartse kracht is volgens de wet van Archimedes gelijk aan:

$$F_{opw} = \rho_1 \cdot V_p \cdot g \quad (5-3)$$

waarin ρ_1 de dichtheid van de vloeistof is.

De weerstandskracht F_d is een functie van de ruwheid, afmeting, vorm en snelheid van het deeltje en van de dichtheid en viscositeit van de vloeistof.

Experimenteel kan worden aangetoond dat:

$$F_D = \frac{C_D \cdot A_p \cdot \rho_1 \cdot v_s^2}{2} \quad (5-4)$$

met C_D als dimensieloze weerstandsfactor en A_p het geprojecteerde deeltjesoppervlak in de richting van de snelheid.

Ingevuld in vergelijking 5-1 levert dit op:

$$m \frac{dv_s}{dt} = g (\rho_s - \rho_1) V_p - \frac{C_D A_p \rho_1 v_s^2}{2} \quad (5-5)$$

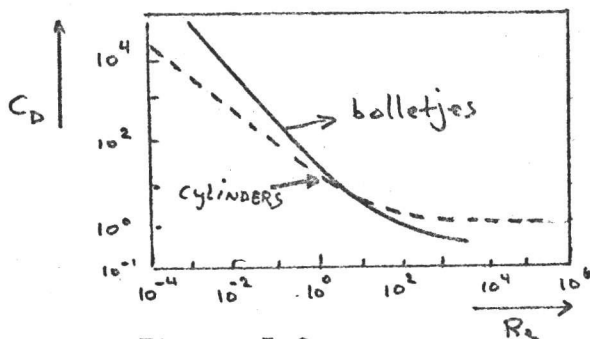
Na een bepaalde tijd zal de snelheid constant worden en $\frac{dv_s}{dt}$ wordt dus nul, zodat de bezinksnelheid v_t :

$$v_t = \sqrt{\frac{2g (\rho_s - \rho_1) V_p}{C_D \rho_1 A_p}} \quad (5-6) \text{ met } \bar{v}_t \text{ als eindsnelheid.}$$

Voor bolvormige deeltjes met diameter d_p zal deze vergelijking overgaan in:

$$v_t = \sqrt{\frac{4g}{3C_D} \cdot \frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1} \cdot d_p} \quad (5-7)$$

C_D is een functie van het Reynoldsgetal en de vorm van het deeltje zoals als uit figuur 5-2 blijkt.



Figuur 5.2

Als Re kleiner is dan 1 kan C_D benaderd worden door:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (5-8)$$

Deze vergelijking gesubstitueerd in 5-7 levert de volgende vergelijking op:

$$v_t = \frac{g}{\eta^{18}} (\rho_s - \rho_1) d_p^2 \quad (5-9)$$

Bij waarden groter dan $Re = 1$ wordt de verandering van C_D met Re steeds minder sterk.

In het turbulente gebied ($2000 < Re < 25000$) is C_D ongeveer constant.

v_t kan hier beschreven worden als:

$$v_t = 1,82 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1} d_p g} \quad (5-10)$$

Hazen en Camp hebben betrekkingen ontwikkeld om de afname van discrete deeltjes in een ideale bezinktank te beschrijven, waarbij zij veronderstelden dat:

- deeltjes en snelheidsvectoren gelijk verdeeld zijn over de tankdoorsnede.
- de vloeistof beweegt zich als een ideale propstroom.
- ieder deeltje, dat de bodem heeft bereikt, wordt effectief verwijderd.

Zij veronderstelden, dat de snelheid van een deeltje, dat over een afstand bezinkt, die gelijk is aan de effectieve diepte van de tank, in een bepaalde periode gedacht kan worden als een oppervlaktestroomsnelheid (= oppervlaktebelasting). Dus

$$v_t = \frac{\text{tankdiepte}}{\text{tijd}} = \frac{\text{tankdiepte}}{\text{tankvolume/debiet}}$$

$$= \frac{\text{tankdiepte}}{\text{oppervlakte \times diepte / debiet}} = \frac{\text{debiet}}{\text{oppervlakte}} = \frac{\phi_v}{A} \quad (5-11)$$

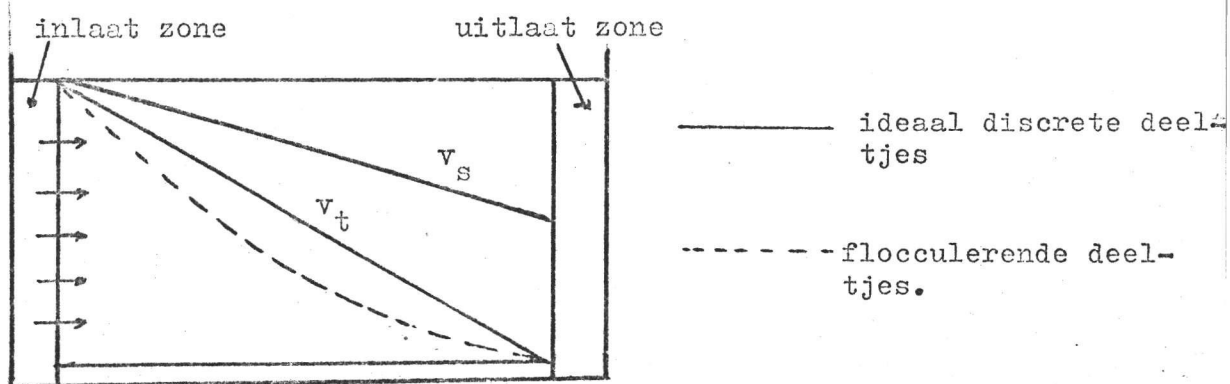
ϕ_v/A noemt men de oppervlakte belasting, toegepast voor deeltjes met de kleinste v_t .

Ideale discrete deeltjes, die een bezinksnelheid hebben groter dan v_t zullen compleet verwijderd worden.

Deeltjes met bezinksnelheden kleiner dan v_t zullen verwijderd worden in de verhouding v_s/v_t .

Deeltjes, die de neiging hebben te flocculeren wijken af van dit model.

Figuur 5-3 toont de verwijdering van vaste stofdeeltjes uit een suspensie.



Figuur 5-3
5.2 de flotatie.

Een nieuwere techniek om vlokken te verwijderen uit water is de flotatie. Flotatie is eigenlijk het omgekeerde proces van sedimentatie.

Flotatie is een methode voor scheiden en verwijdering van vaste deeltjes uit vloeistoffen door gesuspendeerde deeltjes naar het oppervlak te brengen voor

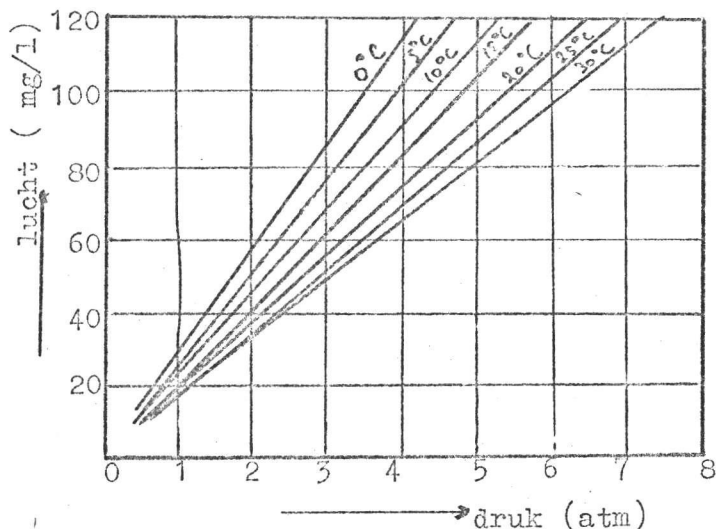
verwijdering.

Er zijn twee soorten flotatie:

- a. flotatie met gedispergeerd lucht in de vloeistof
- b. flotatie met opgeloste lucht in de vloeistof (bekend als dissolved air flotation).

Deze laatste methode is gekozen voor het fabrieksplan.

De hoeveelheid gas, dat kan worden opgelost in water voldoet aan de wet van Henry ($P = H \cdot x$) Zie figuur 5.4



Figuur 5.4

Door met lucht verzadigd water bij een lagere druk te laten expanderen, ontsnapt de opgeloste lucht en stijgt als belletjes naar het oppervlak.

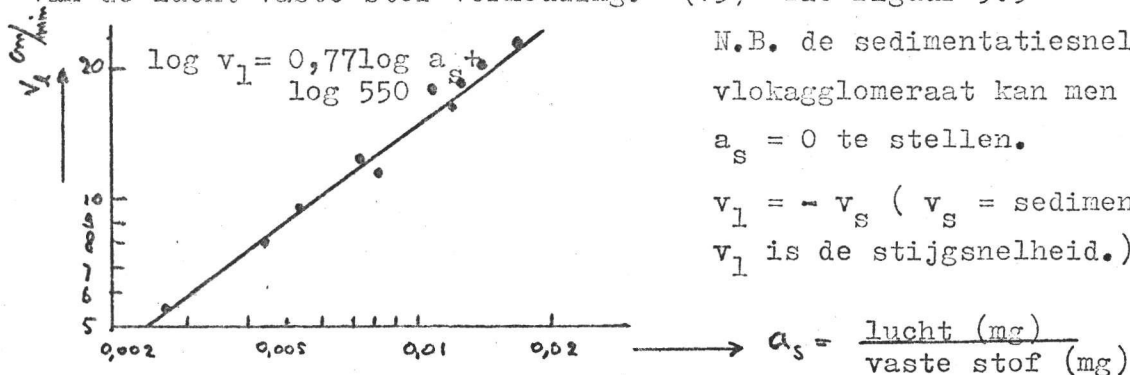
De belletjes, die een kleine negatieve lading bezitten (18), zullen tegen de deeltjes uit de suspensie botsen en aan deze deeltjes hechten door adhesie of adsorptie.

Daardoor zal de dichtheid van het deeltje met lucht minder worden dan de dichtheid van de vloeistof, waardoor het deeltje

zal opstijgen en van de oppervlakte verwijderd kan worden.

Een opvallend verschil met sedimentatie is, dat de scheiding veel sneller tot stand komt.

De stijgsnelheid van de lucht-vlokagglomeraten blijkt afhankelijk te zijn van de lucht-vaste stof verhouding. (19) Zie figuur 5.5



N.B. de sedimentatiesnelheid van een vlokagglomeraat kan men vinden door $a_s = 0$ te stellen.

$v_l = -v_s$ (v_s = sedimentatiesnelheid en v_l is de stijgsnelheid.)

5.3 Uitvoering, berekening apparatuur.

5.3.1 Sedimentatie

De sedimentatie wordt uitgevoerd in een bezinkbak. Het water met vlokken komt via een overstortrand in deze bak terecht.

Uit de literatuur (20) blijkt, dat een geschikte oppervlakte belasting S_0 is 1,25 m/h. Met een bezinktijd van 2 uur is een hoogte van 2,5 meter noodzakelijk.

$$\text{Inners } S_o = \frac{\text{tankdiepte}}{\text{bezinktijd}}$$

Met een debiet van 25 m³/h is een volume van 50 m³ nodig.

Volume = breedte x lengte x hoogte

$$50 = B \times L \times 2,5 \quad \text{dus } B \times L = 20 \text{ m}^2.$$

Criteria voor stabiele stroming zijn (20) :

$$\text{Re } 2000$$

$$\text{Re} = \frac{v_o \cdot \rho \cdot R}{\eta}$$

R is de hydraulische
straal in meters

$$\text{Fr } 10^{-5}$$

$$\text{Fr} = \frac{v_o^2}{g \cdot R}$$

Dat wil zeggen dat $\text{Re} \times \text{Fr} = 2 \cdot 10^{-2}$ of:

$$\frac{v_o^3 \cdot \rho}{g \cdot \eta} = 2 \cdot 10^{-2}$$

v_o is de vloeistofstroomsnelheid in m/s; ρ is de dichtheid van de vloeistof in kg/m³; η is de viskositeit in N.s.m⁻².

Ingevuld voor water:

$$v_o^3 = \frac{2 \cdot 10^{-2} \times 1,307 \cdot 10^{-3} \times 9,8}{10^3}$$

$$= 6,4 \cdot 10^3 \text{ m/s.}$$

Deze waarde ingevuld in het Re-getal levert de Hydraulische straal R

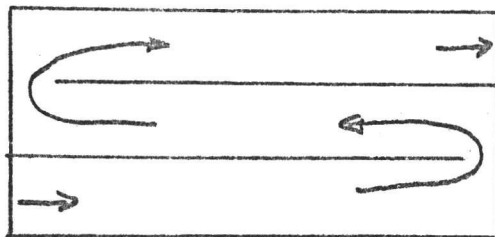
$$R_{\text{hydr.}} = 0,41 \text{ meter.}$$

$$R_{\text{hydr.}} = \frac{2,5 B}{B + 5} = 0,41$$

Hieruit volgt, dat B = 1 meter en L is 20 meter.

Deze 20 meter wordt opgedeeld in 3 stromen van elk ca. 6,5 meter.

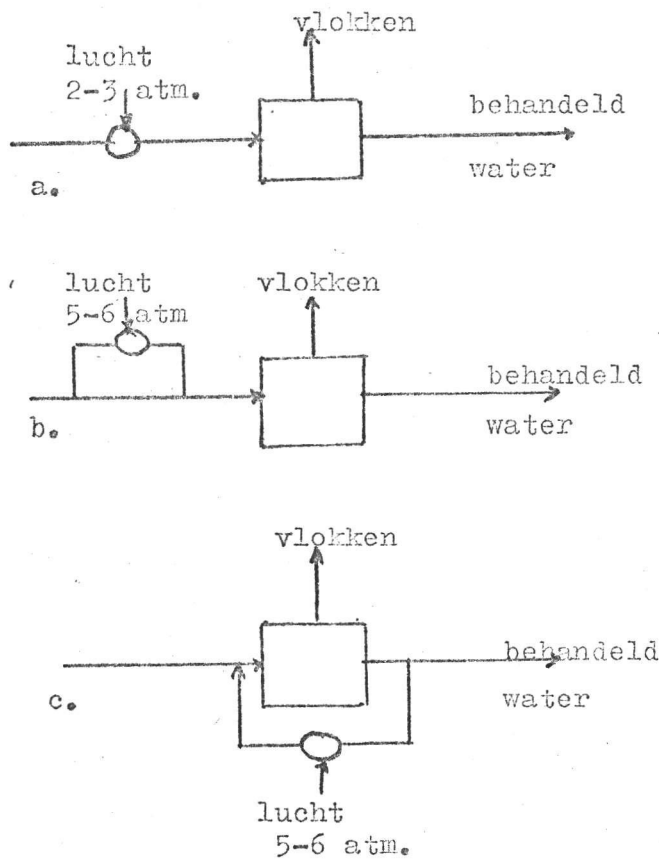
Schematisch:



Figuur 5.4

5.3.2 Flotatie.

Voor het flotatieproces komen 3 uitvoeringsvormen in aanmerking (21)



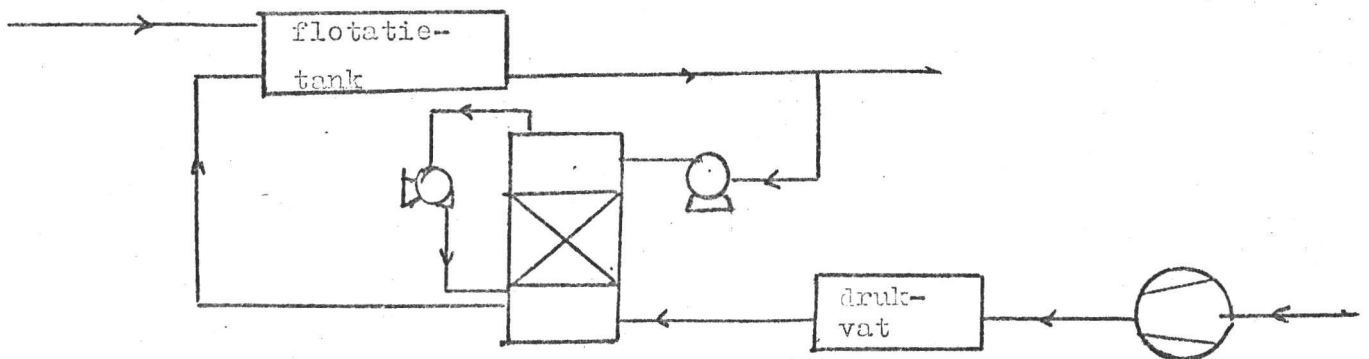
Figuur 5.5

Voor het ontwerp is een deelstroom gekozen van maximaal 10% van de hoofdstroom. De maximale druk voor verzadiging bedraagt 8 atmosfeer, de normale werkdruk zal ca. 5 atmosfeer bedragen.

De deelstroom zal via een pomp boven in een gepakte kolom worden gebracht, waarna deze na verzadiging de kolom aan de onderzijde zal verlaten om in de flotatietank te worden geleid.

De lucht zal door middel van een compressor op maximaal 8 atmosfeer gebracht worden en zal onder in de kolom worden geleid. Daar de luchtstroom door de kolom veel groter is dan de lucht nodig voor verzadiging zal de lucht met behulp van een ventilator worden rondgepompt. Er wordt er van uitgegaan dat er zoveel lucht door de kolom stroomt, dat de hoeveelheid nodig voor verzadiging ten opzichte van deze stroom is te verwaarlozen.

Schematische voorstelling verzadiging en flotatie.



Figuur 5.6

Bij de methode in fig 5.5.a wordt de lucht in de hoofdstroom geïnjecteerd, bij een druk van 2 tot 3 atmosfeer.

Een slechte controle over de belletjesgrootte en hoge kosten maken dit proces onaantrekkelijk.

Bij de methode in fig 5.5.b wordt de lucht in een deelstroom geïnjecteerd bij 5 tot 6 atmosfeer en daarna weer in de hoofdstroom gebracht. Het grote nadeel van dit principe is, dat reeds gevormde vlokken weer worden gebroken.

De meest bevredigende oplossing is de methode volgens fig 5.5.c

Een gedeelte van het reeds behandelde water wordt bij 5 à 6 atmosfeer verzadigd en volgens recycling in de hoofdstroom gebracht.

Uitgangspunten voor de berekening:

- Lichtverzadiging bij maximaal 8 atmosfeer
- Deelstroom maximaal 10% van de hoofdstroom
- Compressor slaat bij 8 atmosfeer 1 keer per 10 minuten aan
- De drukval in het druk vat mag niet meer dan 0,2 atmosfeer bedragen
- 90% verzadiging wordt bereikt
- Verblijftijd in flotatietank bedraagt 15 minuten.

De maximale belasting (10% hoofdstroom) bedraagt $2,5 \text{ m}^3/\text{h} = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

De maximale druk bedraagt $8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ en de temperatuur bedraagt 10°C .

De hoeveelheid opgeloste lucht is te berekenen met de wet van Henry:

$$P = H \cdot x \quad \text{Met } H_{100} = 5,49 \cdot 10^4 \quad (22)$$

De hoeveelheid lucht bij 8 atm. bedraagt $x = \frac{8}{5,49 \cdot 10^4} = 1,46 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmol lucht}}{\text{kmol water}}$

De hoeveelheid lucht bij 1 atm. bedraagt $x' = \frac{1}{5,49 \cdot 10^4} = 1,82 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmol lucht}}{\text{kmol water}}$

$$\phi_{v, \text{water}} = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = \frac{6,9 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3}{18} \text{ kmol/s} = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ kmol/s}$$

De hoeveelheid lucht in water bij 8 atm is dus $1,46 \cdot 10^{-4} \cdot 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ kmol/s}$
 $= 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}$

De hoeveelheid lucht in water bij 1 atm is dus $1,82 \cdot 10^{-5} \cdot 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ kmol/s}$
 $= 0,69 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}$.

Dus aan het water moet $4,86 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s} = 1,40 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$ lucht worden toegevoerd. 1 kmol lucht heeft bij 0°C en 1 atm. een volume van $22,4 \text{ m}^3$.

Bij 20°C en 8 atm. is dit volume $22,4 \times \frac{293}{273} \times \frac{1}{8} = 3,0 \text{ m}^3$

Dus luchtdebiet bedraagt $\phi_{v,L} = 4,86 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 1,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (20° , 8 atm.)
 of $\phi_{v,L} = 4,86 \cdot 10^{-6} \cdot 22,4 = 1,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (0° , 1 atm.)

Drukvat en compressor:

Stel, dat de compressor 1 x per 10 minuten aanslaat, De druk in het vat mag variëren tussen de 7,9 en 8,1 atmosfeer.

n_1 is het aantal kmol lucht bij 8,1 atmosfeer en n_2 is het aantal kmol bij 7,9 atmosfeer. Als x het aantal afgevoerde kmol is dan geldt $n_2 = n_1 - x$

In 10 minuten wordt er $10 \cdot 60 \cdot 4,86 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$ afgevoerd $= 2,92 \cdot 10^{-3} \text{ kmol}$

Stel dat dit in 30 seconden wordt toegevoerd met de kompressor, dan is

$$\phi_m = \frac{2,92 \cdot 10^{-3} \cdot 28,84}{30} = 2,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} = 2,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 7,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

n_1 is te berekenen uit de spanningswet van Gay-Lussac: $P/T = \text{Constant}$ (5-12)

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_1 - 2,92 \cdot 10^{-3}} = \frac{8,1}{7,9}$$

Hieruit volgt, dat $n_1 = 118,26 \cdot 10^{-3}$ kmol.

Ingevuld in de algemene gaswet $P \cdot V/T = n_1 R$ (5-13) geeft het volume van het drukvat:

$$V_{\text{drukvat}} = \frac{118,26 \cdot 10^{-3} \times 8,31 \cdot 10^3 \times 293}{8,1 \cdot 10^5} = 355 \text{ liter.}$$

Worden deze waarden omgerekend naar een werkdruk van 5 atmosfeer dan blijkt:

$$n_1 = \frac{5,1 \cdot 10^5 \cdot 0,355}{293 \cdot 8,31 \cdot 10^3} = 74,35 \cdot 10^{-3} \text{ kmol.}$$

De drukvariatie bedraagt 4,9-5,1 atmosfeer Ingevuld in (5-12)

$$\frac{5,1}{4,9} = 1,041 = \frac{74,35 \cdot 10^{-3}}{74,35 \cdot 10^{-3} \cdot x}$$

Hieruit volgt, dat $x = 2,92 \cdot 10^{-3}$ kmol.

De hoeveelheid lucht opgelost bij 5 atm bedraagt $\frac{5}{5,49 \cdot 10^4} = 9,1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmol lucht}}{\text{kmol water}}$

Bij 1 atmosfeer is deze hoeveelheid $\frac{1}{5,49 \cdot 10^4} = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmol lucht}}{\text{kmol water}}$

Als de deelstroom 5% van de hoofdstroom is dan is $\phi_{v,w} = 1,92 \cdot 10^{-2} \text{ kmol/s}$

De hoeveelheid lucht bij 1 atmosfeer is dus $0,35 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}$

en bij 5 atmosfeer $1,74 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}$.

Er moet dus $1,39 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$ lucht worden aangevoerd per seconde.

Er wordt $2,92 \cdot 10^{-3} \text{ kmol}$ lucht gebruikt tijdens de drukdaling. De tijd tussen het aanslaan van de kompressor bedraagt dus:

$$\frac{2,92 \cdot 10^{-3}}{1,39 \cdot 10^{-6}} = 2100 \text{ sec.} = 35 \text{ minuten}$$

De flotatietank.

Criteria voor de flotatietank:

- Verblifftijd van 15 minuten

- Debiet is $25 \text{ m}^3/\text{h}$

- Stabiele stroming (zie sedimentatie) dus $R_{\text{hydr}} = 0,41 \text{ meter}$

Het volume van de tank bedraagt $\phi_v \cdot \tau = 6,25 \text{ m}^3$

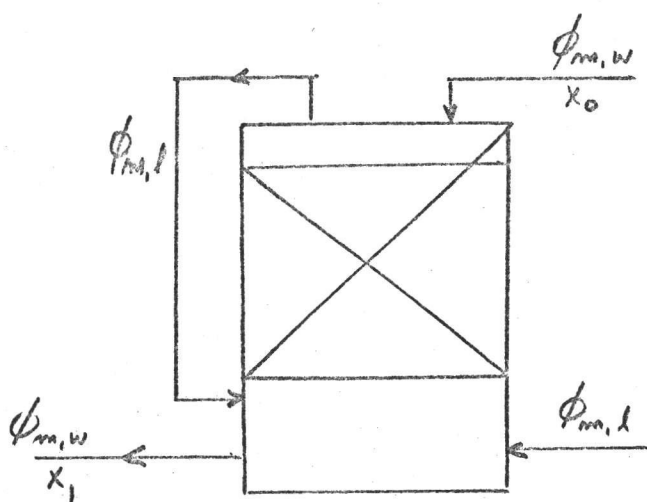
Stel de hoogte van de tank op 1,25 meter, dan is de breedte van de tank 1,33 m en de lengte 4 meter.

De gepakte kolom.

Voor de gepakte kolom zijn de volgende voorwaarden gesteld:

- het water wordt voor 90% verzadigd
- de kolom wordt gevuld met $\frac{1}{2}$ " keramische Raschig-ringen
- 60% flooding velocity

De volgende stromen komen in de kolom voor Figuur 5.7



Figuur 5.7

Zoals eerder gemeld wordt de stroom door de kolom zo groot genomen (hier 100x) dat de benodigde lucht voor verzadiging is te verwaarlozen dus:

$$\phi_{m,L} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s} = 4,86 \cdot 10^{-4} \text{ kmol/s}$$

De index L heeft betrekking op de lucht de index w op het water

Uit lit. (22) tabel 18-6 blijkt dat voor de gekozen Raschig-ringen geldt:

$$a_p = 112 \text{ ft}^2/\text{ft}^3 = 368 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\epsilon = 64\%$$

a_p is de specifieke pakking oppervlak
 ϵ is de porositeit.

Uit lit. (22) fig. 18-38 volgt dat:

$$\frac{u_t^2 \cdot a_p}{g \cdot \epsilon^3} \times \frac{\rho_l \mu^{0,2}}{\rho_w} = 3,5 \cdot 10^{-3} \quad (5-14)$$

waarin u_t is de flooding velocity

g is de valversnelling = 32,2 ft/s²

μ is de dynamische viscositeit = 1,31

Ingevuld in 5-14 levert u_t op

$$u_t = 0,16 \text{ ft/s} = 4,84 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

Aangenomen wordt een snelheid, die 60% van de flooding-velocity is.

$$\text{Dus } v = 0,6 \cdot 4,84 \cdot 10^{-2} = 2,91 \cdot 10^{-2} \text{ m/s.}$$

Het oppervlak van de kolom is te berekenen uit:

$$A = \frac{\phi_v}{v}$$

$$\phi_{v,l} = \frac{\phi_{m,l}}{\rho_l} = \frac{1,46 \cdot 10^{-3}}{9,9} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dus het oppervlak A is : $A = \frac{1,41 \cdot 10^{-3}}{2,91 \cdot 10^{-2}} = 0,0485 \text{ m}^2$

De diameter van de kolom is dan 0,25 meter.

$G = \frac{1,4 \cdot 10^{-2} \cdot 3600}{0,0485 \cdot 4,882} = 213 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$ G = de gasstroom

en

$L = \frac{0,69 \cdot 3600}{0,0485 \cdot 4,882} = 10,49 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$ L = de vloeistofstroom

Uit lit. (22) fig. 18-62 volgt dan dat:

$H_{25} = 1,4 \text{ ft}$, bij 10°C is dit $1,89 \text{ ft} = 0,58 \text{ meter}$.

H is de hoogte van een transporteenheid.

Uit lit. (22) vergelijking 18-50 volgt tevens:

$$H = \frac{L}{k \cdot a_p \cdot w} \quad k \text{ is de stofoverdrachtscoëfficiënt} \quad (5-15)$$

Invullen levert k

$$k = \frac{10,49}{1,89 \cdot 112 \cdot 62,43} = 0,79 \text{ ft/hr}$$

$$= 6,72 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

De stoftransportvergelijking luidt: (23)

$$\phi_{\text{mol,in}}^w \cdot dx' = k \cdot a_p \cdot A (x - x_i) dh \cdot C_T \quad (5-16)$$

A is het oppervlak van de kolom in m^2

x' is de verhouding kmol lucht en kmol water

x is de molfractie d.w.z. kmol lucht/ kmolwater+kmol lucht.

x_i is de evenwichts molfractie

C_T is gedefinieerd als:

$$C_T = \frac{\text{totaal aantal molen}}{\text{volume vloeistof}} = \frac{\text{kmol lucht} + \text{kmol water}}{\text{m}^3} \approx \frac{\text{kmol water}}{\text{m}^3}$$

dus $C_T \approx 55,56 \text{ kmol/m}^3$

Oplossing van vergelijking 5-16 levert:

$$\int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x-x_i} = \int_0^H \frac{k \cdot a_p \cdot A \cdot C_T}{\phi_{\text{mol,in}}^w} dh \text{ of}$$

$$\ln \frac{x_1 - x_i}{x_0 - x_i} = \frac{k \cdot a_p \cdot A \cdot C_T \cdot H}{\phi_{\text{mol,in}}^w} \quad (5-17)$$

Bij 90% verzadiging is $x_1 = 0,9 \cdot 1,46 \cdot 10^{-4} = 1,31 \cdot 10^{-4}$

$x_0 = 1,82 \cdot 10^{-5}$ en $x_i = 1,46 \cdot 10^{-4}$

Ingevuld in 5-17 levert dit op:

$$\frac{6,72 \cdot 10^{-5} \cdot 368 \cdot 0,0485 \cdot 55,56 \cdot H}{3,8 \cdot 10^{-2}} = 2,14$$

Dus $H = 1,23$ meter. (hetgeen overeenstemt met $2,14 \times 0,58!$)

H is de hoogte van de pakking.

De totale hoogte van de kolom wordt gekozen op 2,00 meter, zodat onderin de kolom een zekere verblijftijd voor het water gekreëerd wordt. Het niveau in die ruimte wordt constant geregeld, om te voorkomen dat er alleen lucht naar de flotatie-tank stroomt.

Hoofdstuk 6 Filtratie.

6.1 Inleiding.

Filtratie is het zuiveringsproces, waarbij het te behandelen water door een poreuze substantie loopt. Gedurende de doorstroming verbetert de waterkwaliteit door:

- a. gedeeltelijke verwijdering van gesuspendeerde- en colloïdale deeltjes.
- b. vermindering van het aantal bacteria en andere organismen.
- c. verandering van de chemische samenstelling.

Als poreuze substantie kan in principe ieder stabiel materiaal gebruikt worden (zand, steen, anthraciet, glas, plastic etc.)

Zand als filtermateriaal is bij zonder geschikt om zijn relatief lage kosten en zijn goede filterresultaten.

6.2 Theorie

6.2.1 Filtratie.

Als gesuspendeerde deeltjes of colloïdale deeltjes worden verwijderd door een filter, dan zal de lege ruimte, die beschikbaar is voor de vloeistofstroom afnemen en de stroomsnelheid door de "holten" zal daarom toenemen. Om een gewenste filtratiesnelheid te handhaven zal meer en meer energie vereist worden om het water door het filter te drijven en het wrijvingsverlies in het filterbed te overwinnen.

Dit is te merken als een afname in de totale energie van het water van de influent- naar de effluentzijde van het filter.

Wanneer deze energie-afname, of drukverlies, oneconomisch groot wordt of wanneer de gewenste stroomsnelheid niet meer gehandhaafd kan worden met de beschikbare apparatuur of wanneer de kwaliteit van het effluent slechter wordt, doordat gesuspendeerde deeltjes passeren, dan zal het filter uit bedrijf genomen moeten worden en het medium worden vervangen of gereinigd.

Het drukverlies, dat optreedt bij laminaire stroming door korrellagen kan worden weergegeven met de Carman-Kozeny vergelijking:

$$\Delta P = \frac{180 \nu}{g} \times \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \times \frac{u}{d_h^2} \times L \quad (6-1)$$

waarin ΔP het drukverlies is in meter waterkolom

ν de kinematische viscositeit in $m^2 \cdot s^{-1}$

g de valversnelling in $m \cdot s^{-2}$

- ϵ de porositeit (dimensieloos)
 u de superficiële snelheid in $m.s^{-1}$
 d_h de hydraulische straal van de korrels in meter
 L de hoogte van het filterbed.

Voor d_h kan geschreven worden: (20)

$$d_h = \phi d_s \quad (6-2)$$

met ϕ als de vormfactor en d_s de specifieke diameter.

Wordt in plaats van 1 laag filtermateriaal, 2 of meer lagen gebruikt (met bijvoorbeeld een verschillende porositeit), dan is de drukval gelijk aan de som van de drukvallen over de afzonderlijke lagen.

Men onderscheidt twee soorten filtraties:

1. Langzame filters, omdat de filtersnelheid laag is ($0,03 \cdot 10^{-3}$ - $0,15 \cdot 10^{-3}$ m/s, een m/s is gelijk aan : m^3/s per m^2 filterbedeopeervlak.)

Het filterbed bestaat uit fijn zand (0,15-0,35 mm).

2. snelle filters. Het filterbed bestaat uit zorgvuldig gesorteerd zand met korrels van ongeveer gelijke afmetingen. (0,5-2,5mm).

De filtratiesnelheid bedraagt ongeveer $1,5 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Deze filters kunnen zowel open als gesloten zijn. Deze laatste noemt men wel de drukfilters.

Snelle filters zijn niet zo effectief (80% bij schoon bed) in de bacterieverwijdering als de langzame filters (98-99%), zodat desinfectering bij snelle filters altijd noodzakelijk is.

6.2.2 . Spoelen van de filters

Wanneer de effluent-kwaliteit terugloopt of de drukval te hoog wordt, moet het filtermateriaal gespoeld worden.

Het filter wordt gewoonlijk gespoeld door de waterstroom om te keren met een zodanige snelheid, dat er fluïdisatie in het filter optreedt.

Als er fluïdisatie is opgetreden zal de reiniging op twee manieren tot stand komen:

- Het water neemt de verontreinigingen mee. Door de expansie van het bed, die optreedt bij fluïdisatie worden de kanalen, waardoor het water stroomt groter, zodat het vuil gemakkelijk meegevoerd kan worden.
- de deeltjes botsen tegen elkaar, waardoor het vuil eraf geschuurd wordt, dus een mechanische reiniging.

Zoals bij de filtratie gemeld is, geldt voor laminaire doorstroming van korrellagen de Carman-Kozeny vergelijking (6-1). Vult men hier het Re-getal in ~~dit~~ deze vergelijking over in:

$$Re = \frac{1}{1-\epsilon} \times \frac{U \cdot d}{\nu} \quad (6-3)$$

$$\Delta P = \frac{360}{Re} \times \frac{L}{d} \times \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \times \frac{U^2}{2g} \quad (6-4)$$

De snelheden, die voor spoelen gebruikt worden zijn echter zo groot, dat van laminaire stroming geen sprake meer is.

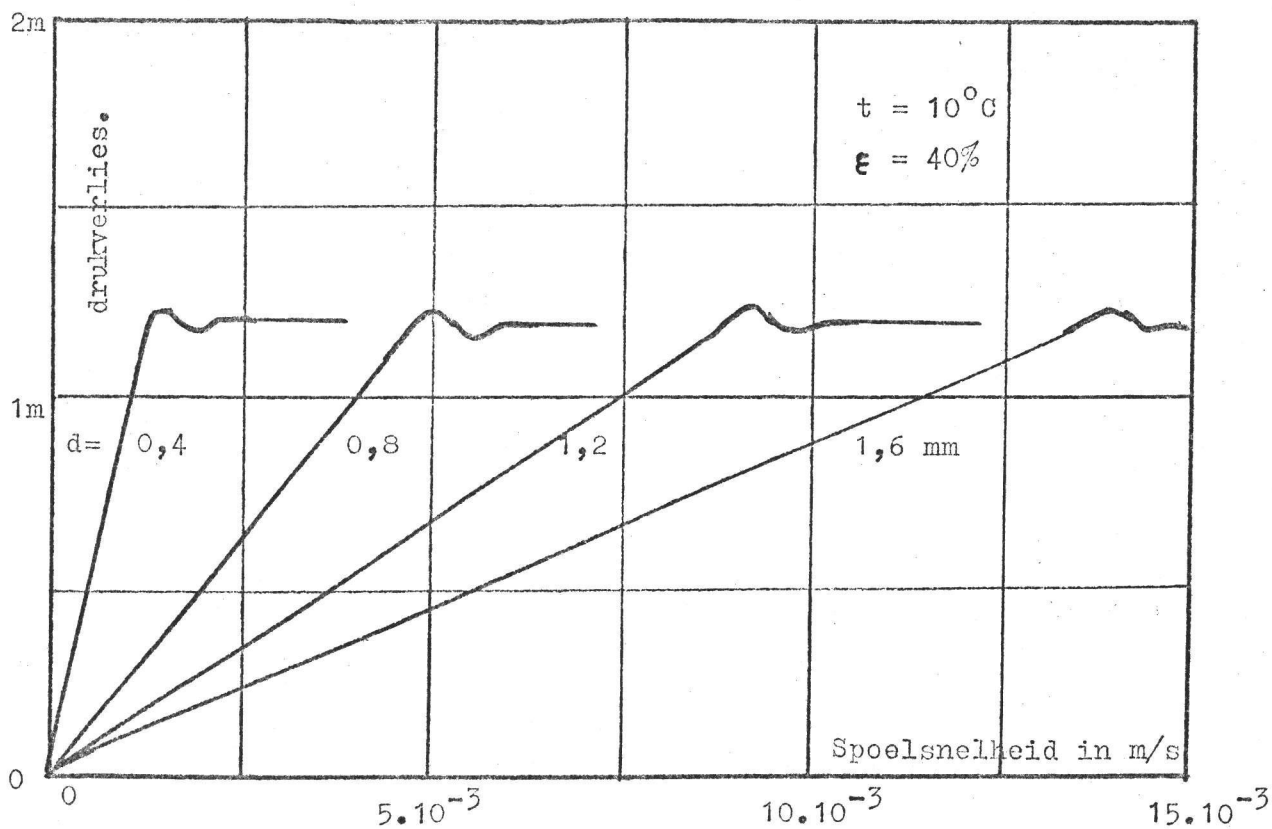
De beste benadering kan voor het drukverlies met deze spoelsnelheden gegeven worden door : (20 pag.3-4)

$$\Delta P = \frac{260}{Re^{0,8}} \times \frac{L}{d} \times \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \times \frac{U^2}{2g} \quad (6-5)$$

Na invulling van het Re-getal:

$$\Delta P = 130 \times \frac{\nu^{0,8}}{g} \times \frac{(1-\epsilon)^{1,8}}{\epsilon^3} \times \frac{U^{1,2}}{d^{1,8}} L \quad (6-6)$$

In figuur 6-1 is dit voor verschillende d-waarden aangegeven.



Drukkerlies in een zandbed gedurende spoelen.

Figuur 6-1

6.3 De uitvoering.

Het water uit de sedimentatie- of flotatietank komt via een overstortrand in het filter terecht. Het filterbed is opgebouwd uit 2 lagen. De onderste laag is een zandlaag ($d = 0,84-1,20$ mm $d_{gem} = 1$ mm) met een hoogte van 0,6 meter. Daarboven bevindt zich een laag hydro-anthraciet ($d = 1,6-2,5$ mm $d_{gem} = 2$ mm) met een hoogte van 0.9 meter. De laag hydro-anthraciet vangt het grofste vuil af. De fijnere deeltjes zullen door het zand worden afgevangen.

Een constante vloeistofhoogte wordt in stand gehouden, doordat van het debiet van 25 m³/u, steeds 1 m³/u via een overstort wordt afgevoerd.

Een constante effluentstroom wordt verkregen door in de effluentleiding een afsluiter te plaatsen. Deze regelbare afsluiter is meer open naarmate het bed vuiler is.

Het spoelen van het bed geschiedt door gezuiverd water uit een voorradvat onder in het bed te pompen, waar het door spoelkoppen wordt verdeeld.

6.4 Berekening apparatuur.

Voor de berekening is van de volgende criteria uitgegaan:

- de filtratiesnelheid bedraagt $4,17 \cdot 10^{-3}$ m/s = 15 m/u (24)
- het debiet bedraagt $25-1 = 24$ m³/u = $6,67 \cdot 10^{-3}$ m³/s
- er wordt 1x per 24 uur gespoeld
- de spoelsnelheid bedraagt max. 100 m/u = $2,78 \cdot 10^{-2}$ m/s (24)
- de expansie bij spoelen bedraagt ca. 40% (24 , afbeelding 10)
- het totale spleetoppervlak van de spoelkoppen bedraagt 1% van het filteroppervlak (24)
- de dichtheid van de spoelkoppen is 36 koppen / m² (24)
- het spoelwaterverbruik is 0,5-3% van de wateropbrengst (24)

Het filteroppervlak bedraagt (A)

$$A = \frac{\phi_v}{U} = \frac{24}{15} = 1,60 \text{ m}^2.$$

$$\text{Als } L = B \rightarrow L^2 = 1,60 \text{ m}^2$$

$$L = B = 1,26 \text{ meter.}$$

De hoogte van het filter bedraagt $0,9 + 0,6 + 0,4 \cdot 1,5 = 2,1$ meter
(40% expansie)

Gekozen wordt een hoogte van 3,0 meter.

Spoelen:

De spoelsnelheid bedraagt max. $100\text{m/u} = 2,78 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

Het max.debiet bij spoelen bedraagt $\phi_v = u \cdot A = 2,78 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 = 4,40 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$

Het totale spleetoppervlak = 1% van $1,60\text{m}^2 = 0,016 \text{ m}^2$.

Met een dichtheid van 36 koppen per m^2 betekent dit dat er 64 spoelkoppen nodig zijn. Per kop is dus de spleetoppervlakte 250mm^2

Stel dat de spleetbreedte 0,5mm bedraagt (24) en dat de hoogte van de spleet 25 mm is dan bedraagt het aantal spleten per spoelkop (n):

$$250 = 0,5 \cdot 25 \cdot n$$

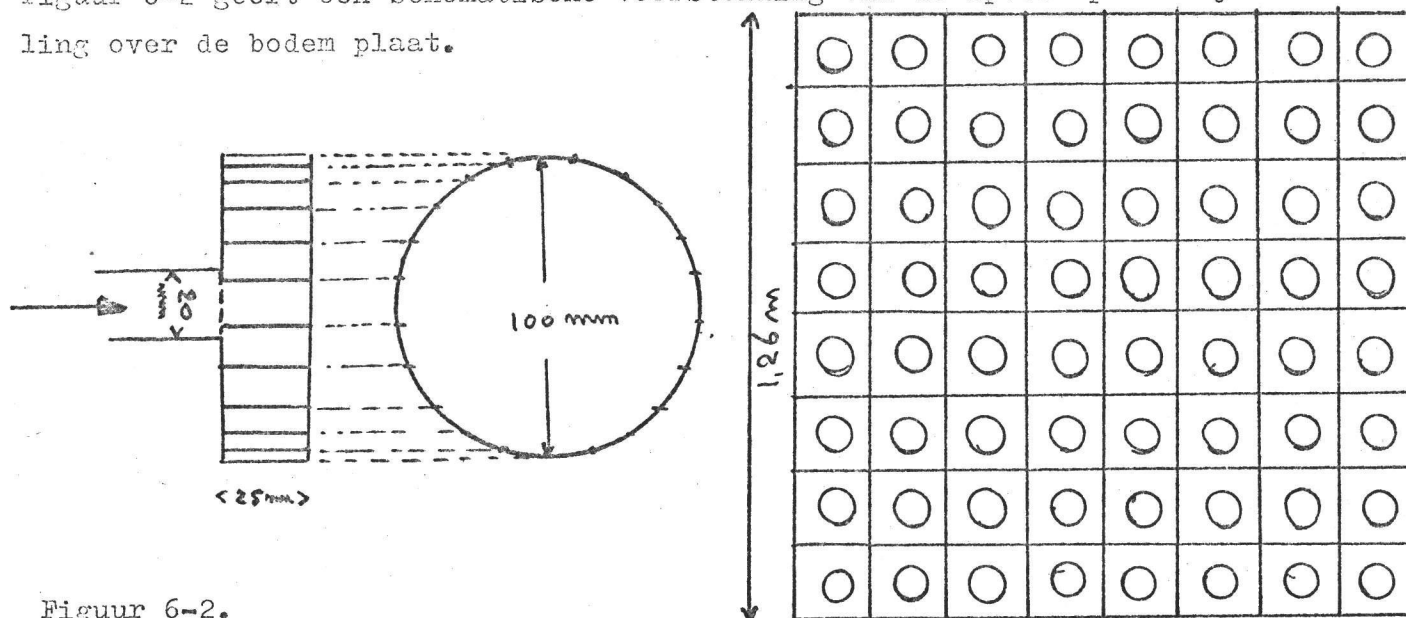
$$n = 20 \text{ spleetjes.}$$

Als in de buis naar de kop een vloeistofsnelheid van 2 m/s wordt aangenomen, dan is de diameter van deze buis d:

$$d = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,45 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Hierin is A de doorsnede van de buis. $A = \frac{\phi_v}{v} = \frac{6,9 \cdot 10^{-4}}{2} = 3,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Figuur 6-2 geeft een schematische voorstelling van de spoelkop en zijn verdeling over de bodem plaat.



Figuur 6-2.

Voor het spoelen moet de maximale drukval over het vervuilde bed bekend zijn, in verband met de keuze van de pomp.

Deze drukval kan berekend worden met vergelijking 6-6.

De maximale waarde, die kan optreden is als het bed nog net niet geëxpandeerd is, zodat

$$\Delta P_{\text{zand}} = 130 \times \frac{(1,307 \cdot 10^{-6})^{0,8}}{9,8} \times \frac{0,7^{1,8}}{0,3^3} \times \frac{(100/3600)^{1,2}}{(10^{-3})^{1,8}} \times 0,6 = 10,5 \text{ mwkr}$$

$$\Delta P_{ha} = 130 \times \frac{(1,307 \cdot 10^{-6})^{0,8}}{0,8} \times \frac{(0,6)^{1,8}}{(0,4)^3} \times \frac{(100/3600)^{1,2}}{(2 \cdot 10^{-3})^{1,8}} \times 0,9 = 5 \text{mwk}$$

(als $E_{ha} = 50\% \rightarrow \Delta P = 1,9 \text{mwk}$)

Aangenomen is dus dat de porositeit van het zand daalt van 40 naar 30% en van het hydro-anthraceut (ha) van 65 naar 40%.

De drukval over de spleten bedraagt bij spoelen enige tientallen cmwk (24), zodat een pomp met een persdruk van 3 bar. voldoende is.

Het spoelwaterverbruik mag 0,5-3% van de opbrengst bedragen.

De waterproduktie van het filter is $24 \text{m}^3/\text{u} = 576 \text{m}^3/\text{dag}$.

Dus een verbruik van $3-18 \text{m}^3$ is toegestaan.

Met een spoelsnelheid van 100 m/uur (= 160 m³/uur) bedraagt de spoeltijd:

$$\text{spoeltijd} = 18/160 = 0,11 \text{ uur} = 7 \text{ minuten.}$$

Een voorraadvat van 50m^3 is dus meer dan voldoende.

Gekozen wordt Hoogte = 2 meter

Lengte= breedte= 5 meter.

Lijst van teketsymbolen.

symbool	omschrijving	eenheid
a_B	lucht/vaste stof-verhouding	kg/kg
a_p	uitwisselend oppervlak	m^2/m^3
A	oppervlakte	m^2
B, b	breedte	m
c	concentratie	kg/m^3
C_D	weerstandscoefficiënt	-
D, d	diameter	m
d_p	deeltjesdiameter	m
e	lading van een elektron	C
F	kracht	N
g	versnelling zwaartekracht	m/s^2
G	snellheidsgradiënt	1/s
G	gasbelasting	$lb/ft^2.h$
H	constante van Henry	-
H, h	hoogte	m
k	constante van Boltzman	J/K
k	reactiesnelheidsconstante	-
K_p	evenwichtsconstante voor protolyse	-
K	constante	-
L, l	lengte	m
L	vloeistofbelasting	$lb/ft^2.h$
n	aantal	-
n	toerental	1/s
n	reactieorde	-
N	aantal (grammol of molekulen of deeltjes)	$1/m^3$
P	druk	N/m^2
P	vermogen	W
R, r	straal	m
S_0	oppervlaktebelasting	m/s
t	tijd	s
t	temperatuur	$^{\circ}C$
T	temperatuur	K
u	superficiële snelheid	m/s
u_t	"flooding-velocity"	ft/s
v	snelheid	m/s
V	volume	m^3

vervolg: Lijst van tekensymbolen

symbool	omschrijving	eenheid
W	hoogte van een roerblad	m
x	lengte-parameter	m
x	molfractie	-
Z	chemische valentie	-

Griekse symbolen

symbool	omschrijving	eenheid
α	constante	-
β	constante	-
ϵ	diëlektrische constante	C/V.m
η	dynamische viscositeit	N.s/m ²
λ	weerstandscoefficiënt	-
ν	kinematische viscositeit	m ² /s
ρ	dichtheid	kg/m ³
τ	schuifspanning	N/m ²
$\bar{\tau}$	gemiddelde verblijftijd	s
ϕ	volumestroom	m ³ /s
ψ	potentiaal	V
ω	hoeksnelheid	1/s

L I T E R A T U U R O V E R Z I C H T.

1. De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater.
Indicatief meerjarenplan 1975-1979. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
2. Weber jr, W.J., Physicochemical processes for water quality control,
J.Wiley and sons, New York, 1972
3. Berg, G., The Virus Hazard in water supplies, J.New England Water Works Assoc.
78 (1964) 79.
4. Salle, A.J., Fundamental Principles of Bacteriology, McGraw-Hill Book Co.,
New York, 1961.
5. Pöpel, H.J., Zwembaden, Technische Hogeschool Delft, Afdeling Weg- en water-
bouwkunde, September 1971.
6. Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okun, D.A., Water and Waste Engineering, J.Wiley
and sons Inc., New York 1968.
7. van den Berg, P.J., and de Jong, W.A., Chemische reactorkunde, Technische
Hogeschool Delft, 1970.
8. v.d.Giessen, Hydrolyse van oplossingen van Fe(III)nitraat.
Chemisch weekblad, 62, (1966), 305.
9. Camp, T.R., Flocc volume Concentration, Journ.A.W.W.A.; 60, (1968), 656.
10. v.Melick, M.J., Praktijk van de vlokvorming, KIWA-mededeling no.39
December 1975.
11. Oskam, G., Coagulatie en Flocculatie. Uit: Fysische technologie van de water-
zuivering. 20 ste vakantiecursus in drinkwaterbereiding, Januari
1968.
12. Tauscher, W.A., Statische mengelementen. Polytechnisch Tijdschrift (proces-
techniek) 11 juli 1973, pag.458.
13. Ives, K.J., and Bhole, A.G., Study of Flowthrough Couette Flocculators I,
Design for uniform and tapered Flocculator Water Research,
9, (1975) 1085.
14. Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okun, D.A. Water and Wastewater Engineering
(vol.2) J.Wiley and sons Inc., New York, 1968.
15. Ives, K.J., and Bhole, A.G., Theorie of flocculation for Continuous Flow
System. Journ.Env.Eng.Div., 99 (1973) 17
16. Meijers, A.P., Theorie van de vlokvorming, KIWA-mededeling, no. 33, juni 1974.
17. Sterbacek, Z., and Tausk, P., Mixing in the Chemical Industry, Pergamon
Press, 1965.
18. Lundgren, H., Theory and Practice of Dissolved Air Flotation, Filtration
and separation, January/February 1976.

19. Bratby, J., and Marais, G.V.R., Dissolved Air Flotation, Filtration and Separation, November/December 1974.
20. Huisman, L., Rapid Filtration Part 1, Technische Hogeschool Delft, 1974.
21. Morse, J.J., Dissolved Air Flotation in Water Treatment, Water and Water Engineering, Mei 1973.
22. Perry, R.H., Chilton, C.H., Chemical Engineers' Handbook, (1973), 5th ed.
23. de Leeuw den Bouter, J.A. en de Nie, L.H., Fysische Technische Scheidingsmethoden voor Homogene en Heterogene Systemen, Delftsche Uitgevers Maaatschappij N.V., Delft 1967.
24. de Lathouder, A., en Sollman, M., Richtlijnen ten dienste van het ontwerpen en de behandeling van snelfilters, Kiwa-mededeling no.9, 1965.

Waterkwaliteit en kwaliteitscontrôle.

Bij het in dit rapport beschreven ontwerp is uitgegaan van een kwaliteit van het onbehandelde water, die door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (lit.1) gezien wordt als de waterkwaliteit waarnaar op korte termijn dient te worden gestreefd.

De belangrijkste eigenschappen zijn dan:

pH	6,5-8,5	
totaal N-gehalte	3	mg/l
NH ₃ -gehalte	2	mg/l (berekend als N)
fosfaat-gehalte	0,3	mg/l (berekend als P)
sulfaat	150	mg/l
chloride	200	mg/l
zwevende stof	80	mg/l

Bij de technologische uitvoering van de waterzuivering zijn de volgende kwaliteitsparameters van belang.

1. Troebelheid.

Dit is een maat voor de hoeveelheid colloïdale en zwevende stof in het water. Deze grootte wordt uitgedrukt in Formazine Turbidity Units (FTU). Eén FTU komt dan overeen met de troebelheid van een oplossing, die een bepaalde hoeveelheid formazine bevat.

Het principe van de meting berust op het meten van de verstrooiing, die een lichtbundel t.g.v. de deeltjes in het watermonster ondervindt.

De troebelheid van oppervlakte-water kan van plaats tot plaats sterk variëren en wel zodanig dat waarden van 10 tot 100 FTU optreden.

Na het vlokafscheidingsysteem wordt gestreefd naar een troebelheid van 1 tot 5 FTU, en na de filtratie van 0,1 tot 1 FTU.

2. pH van het water.

Deze is van belang bij het chlorings- en het vlokformingsproces.

3. Temperatuur.

Deze beïnvloedt voornamelijk de vlokvorming en de filtratie (ook het spoelen van de filters) i.v.m. de invloed op de viscositeit van het water.

Bij het "sturen" van het proces wordt voor het grootste gedeelte afgegaan op de troebelheid en op de pH, aangezien dit vrij eenvoudig te bepalen grootheden zijn.

toerental

150

omw/min

8,6

8,6

5,7

5,7

$R=0,5m$

r_1

r_2

vloeistofniveau

1500

1200

1200

1200

1200

kompartment

1

2

3

4

250
450
70

150
400
60

250
480
40

150
400
30

mm
mm



FIG.1

SCHEMA VLOKVORMINGS APPARATUUR

Apparatenlijst voor pompen, blowers, kompressoren

Apparaat No:	P1	P2 en P3	P6	P10, P16, P17	P11, P20, P21
Benaming, type	ruw-water pomp centrifugaal	filtraat pomp centrifugaal	doseer pomp membraan	doseer pomp membraan	doseer pomp membraan
te verpompen medium	water	water	verdunde NaOCl-opl.	verdunde NaOH-opl.	verdunde HCl-opl.
Capaciteit in t/d of kg/s ^{*†}	kg/s 14	kg/s 6,7	kg/s max. 2,25 min. 0,23	kg/s max. 0,65 min. 0,07	kg/s max. 0,65 min. 0,07
Dichtheid in kg/m ³	1000	1000	1000	1000	1000
Zuig-/persdruk in bar(abs.of eff. [‡])	1/2 abs.	1/1,5 abs.	1/7(max) abs.	1/7(max) abs.	1/7(max) abs.
temp. in °C in / uit	10/10	10/10	20/20	20/20	20/20
Vermogen in kW theor./ prakt.	1,4	0,33	0,1	0,1	0,1
Speciaal te ge- bruiken mat,			teflon-gecoa- membraan	teflon-gecoa- membraan	teflon-gecoa- membraan
aantal slagen per min.			200	200	200

* aangeven wat bedoeld wordt

Apparatenlijst voor pompen, blowers, kompressoren

Apparaat No	P14	P22 en P24	P311	P35	O35
Benaming, type	spoelwater pomp centrifugaal	doseer pomp membraan	ventilator centrifugaal	circulatie pomp centrifugaal	lucht compressor met koeling
te verpompen medium	water	FeCl ₃ -opl.	lucht	water	lucht
Capaciteit in t/d of kg/s [⊠]	kg/s 44,4	kg/s max. 2,25 min. 0,23	kg/s 0,014	kg/s 0,69	kg/s 0,03
Dichtheid in kg/m ³	1000	1000	1,29 NTP	1000	1,29 NTP
Zuig-/persdruk in bar (abs. of eff.) [⊠]	1/3 abs.	1/7(max) abs.	8/ca. 8,3 abs.	1/8 abs.	1/8 abs.
Temp. in °C in/uit	10/10	20/20	10/10	10/10	20/20
Vermogen in kW theot./prakt.	3,8 (theor.)	0,1 (prakt.)	0,5 (theor.)	0,49 (theor.)	1,52 (theor.)
Speciaal te gebr. mat.		teflon- gecoat membraan			
aantal slagen per min.		200			
Opmerking					werkt inter- mitterend.

[⊠] aangeven wat bedoeld wordt

Apparatenlijst voor reaktoren, kolommen, vaten

Apparaat No:	V5	R7	R9 en R12	V13	V15
Benaming, type	voorraad vat NaOCl	reactie reservoir. chloring buisreactor	snelmenger geroerde tank	voorraadvat spoelwater	voorraad vat NaOH
Abs.of eff.* druk in bar	eff. 1	eff. 1	eff. 1	eff. 1	eff. 1
temp. in °C	20	10	10	10	20
Inhoud in m ³	0,1	25	0,21	50	0,2
Diam. in m	0,5	0,84	0,64	l= 5 b= 5 h= 2	0,5
l / h in m	h= 0,5	l=4,2	h=0,65		h= 1,0
Vulling:* schotels-aant. vaste pakking katalysator- type - , , - vorm ...Roendertype ...toerental ...vermogen..	n.v.t.	n.v.t.	turbine 150 omw/min 0,27 kW	n.v.t.	n.v.t.
Speciaal te ge- bruiken mat.	zwart kunststof				kunststof

* aangeven wat bedoeld wordt

Apparatenlijst voor reactoren, kolommen, vaten.

Apparaat No	R18	V19	V23	T25 en T26	T28 en T29
Benaming type	snelmenger statische menger	voorreactor vat HCl	voorraad vat FeCl ₃	vlokvormings bassin geroerde tank	bezinkings- bassin
Abs. of eff. druk in bar	eff. 1	eff. ↑	eff. 1	eff. 1	eff. d
temp. in °C	10	10	10	10	10
Inhoud m ³ Diam. m l / h m	1,2 · 10 ⁻³ 0,065 l=0,55	0,2 0,5 h= 1,0	0,1 0,5 h=0,5	8,3 l= 4,8 b= 1,2 h= 1,5	50 l= 20 b= 1 h= 2,5
Vulling: schotels-aant. vaste pakking katalysator- type - ,, - vorm	horizontale en vertikale lamellen die steeds 90° t.o.v. elkaar zijn verdraaid waardoor een zeer snelle homogenisatie wordt verkre- gen.	n.v.t.	n.v.t.	bassin ver- deeld in 4 kompartimenten waarin hek- roerders zijn aangebracht.	door toepas- sing van 3-voudige stroming word de werkelijke lengte ca. 6, 6,5 m. en de werkelijke breedte 3 m.
Speciaal materiaal	P.T.F.E.	kunststof	kunststof		

Apparatenlijst voor reactoren, kolommen, vaten

Apparaat No	T30	R32	V34	F3 en F4	
Benaming type	flotatietank	verzadigings apparaat gepakte kolom	buffervat drukvat	filters diep- bed- filters	
Abs. of eff. druk in bar	eff. 1	eff. 8 (max)	eff. 8 (max)	eff. 1	
temp. in °C	10	10	20	10	
Inhoud M ³ Diam M l / h M	6,25 l= 4 b= 1,22 h= 1,25	0,1 0,25 h= 2	0,36 0,55 h= 1,5	4,8 l = 1,26 b = 1,26 h = 3	
Vulling: schotels-aant vaste pakking kat. type kat. vorm pakkinghoogte		keramische Raschig- ringen diam. 12,5mm h 12,5mm 1,25 m		filtermat. zand diam. 0,8-1,2mm hoogte 0,6 m hydro-anthraciet diam. 1,6-2,5 mm hoogte 0,9 m Verder voorzien van: steunlaag bodem met speel- koppen.	
Speciaal materiaal					

Faculteitsbibliotheek TNW
Julianalaan 136
2628 BL Delft

