

DE PRAKTIJK VAN
DE MENGING EN
DE VLOKVORMING

door

ir.M.J.van Melick,
Drinkwaterleiding
der Gemeente Rotterdam

Mededeling nr.39 van het KIWA

Tweede rapport van de
Commissie Vlokvorming en Vlokverwijdering

Rijswijk, december 1975

De leden van de commissie vlokvorming en vlokverwijdering zijn:

Voorzitter: ir.Tj.Hofker

Drinkwaterleiding der Gemeente Rotterdam

Secretaris: ing. J.W.Pieper

KIWA N.V.

Leden : ir.A.N. van Breemen

Laboratorium voor Civiele Gezondheidstechniek Technische Hogeschool Delft

- ir.B. Bulten tot 30 april 1975

ir. P.G.Kamp vanaf 1 mei 1975

Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland

- dr.ir. A.Graveland

Gemeentewaterleidingen Amsterdam

- ir. M.J. van Melick

Drinkwaterleiding der Gemeente Rotterdam

- dr.ir. A.P.Meijers

KIWA N.V.

- t.i. L.Morel

Antwerpse Waterwerken N.V.

- ir. P.A.N.M. Nühn

N.V. Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant

- ir. J. van Puffelen

Duinwaterleiding van 's-Gravenhage

- Ir. J.Zweegman

N.V. Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen

INHOUD

blz.

Summary	5
Samenvatting	8
Inleiding	11
1 Theoretische beschouwingen	14
1.1 Chemische en fysische aspecten bij de menging	14
1.2 Verblijftijdsspreiding in een ideale menger en een propstroommenger	16
1.2.1 Menging in een geroerd vat	17
1.2.2 Menging in een propstroommenger	20
1.2.3 Invloed van de nominale verblijftijd op de verblijftijdsspreiding	21
1.2.4 Invloed van het aantal mengcompartimenten	23
1.2.5 Gevolgen van verblijftijdsspreiding bij het coagulatieproces	25
1.2.6 Samenvatting en conclusies	26
2 Omschrijving van karakteristieke begrippen bij de menging en de vlok-vorming	28
2.1 G-waarde	28
2.2 GT-waarde	36
2.3 GCT-waarde	37
2.4 Vlokvolumeconcentratie, vlok-dichtheid en vlogrootteverdeling	37
2.5 Bekerglasproef	38

	blz.	
3	Praktijk van de menging	40
3.1	Invloed van mengenergie en mengtijd	40
3.2	Mengsystemen	47
3.2.1	Mechanische mengers	47
3.2.2	Statische mengers	49
3.3	Enkele praktijkvoorbeelden van mengsystemen	58
3.4	Enige praktische ervaringen met statische mengers	60
3.5	Samenvatting en conclusies	66
4	Praktijk van de vlokvorming	74
4.1	Vlokmiddelen en vlokhulpmiddelen	74
4.1.1	Toepassing van Fe- en Al-zouten	74
4.1.2	Typen vlokhulpmiddelen	80
4.1.3	Plaats en wijze van menging van vlokhulpmiddelen	82
4.1.4	Toepassingen van vlokhulpmiddelen	86
4.1.5	Samenvatting en conclusies	90
4.2	Vlokvormingscriteria	92
4.2.1	Roerenergie, vlokvormingstijd en vlokvolumeconcentratie	92
4.2.2	Kortsluiting bij de vlokvorming	109
4.3	Overzicht van uitvoeringvormen van vlokvormingssystemen	112
4.4	Samenvatting en conclusies	120
	Literatuurlijst	127
	Bijlage I: Begrippenlijst	133
	Bijlage II: Schematische voorstellingen van vlokvormingsinstallaties	138

SUMMARY

The mixing of flocculants using Fe and Al-salts has to be carried out within a very short mixing time, whereas a high mixing intensity is needed. These results are supported by arguments based on theoretical considerations. Data gathered from literature and results obtained from practical investigations are considered. These have shown that during the period of mixing, complete homogenisation is preferred to be reached within a mixing time of 1 sec. This can be achieved by applying a velocity gradient of at least $1,000 \text{ sec.}^{-1}$.

Many existing mixing systems provided with stirrers have been designed for G-values, much lower than $1,000 \text{ sec.}^{-1}$. In order to ensure complete homogenisation, mixing times from about ten seconds up to even some minutes are used.

Static mixing systems are already often applied for investigations on a semi-technical scale. Abroad, the use of full scale applications is still restricted. At the moment the Dutch Waterworks become more and more interested in static mixing systems. These mixing systems enable the mixing of Fe and Al-salts to be carried out with the mentioned high intensity within the desired mixing time.

The consideration dealing with the static mixing systems includes a method to determine and judge the mixing efficiency. This method is based on the determination

of the parameter Kapp, (apparent aggregation velocity coefficient by means of jar tests).

It is striking that in The Netherlands only Fe-salts are used for the coagulation. Abroad mainly Al-salts are used whether or not combined with active silicum. As for the application of coagulants only natural starch derivatives are eligible in The Netherlands. Abroad synthetic organic polyelectrolites and anorganic coagulations are also applied instead of the starch derivatives.

From literature and practical experience two important aspects on the flocculation process have among others come clearly into the foreground.

- Each flocculation period corresponds with an optimal G-value; when the mixing intensity is higher than the optimal G-value the flocs will either be dashed to pieces or not be able to swell to bigger flocs.
- A separation of the flocculation installation into 4 or 5 stirred compartments with decreasing G-values offers for the treatment of most water types the possibility of choosing the flocculation period considerably shorter than incase of flocculation in 1 or 2 compartments.

In practise flocculation periods vary from 20 to 80 min. Provided that sufficient attention has been paid to the aspect of short circuit, a flocculation period of 10 to 25 min. may be adequate for many types of water. Other methods than separation into compartments

for restriction of short circuit currents have been included under the heading "consideration". The most recent development of static flocculation systems has been mentioned in view of short circuit which, for the rest, plays an important part in each system with continuous flow.

Up to now these systems have been too little developed for application in practice. Especially the problem of flocs causing pollution of these systems has not been solved yet.

When up- and downflow flocculation filters are applied a preceding individual flocculation seems to be unnecessary as the flocculation mainly occurs in the filter bed itself.

According to applications in Sweden flocformation before flotation seems to be less critical as for as mixing energy and flocculation time are concerned.

SAMENVATTING

De menging van de vlokmiddelen in de vorm van Fe- en Al-zouten moet binnen een zeer korte mengtijd met een hoge mengintensiteit plaatsvinden. De argumenten hiervoor zijn opgesteld in de vorm van theoretische beschouwingen. Met gegevens uit de literatuur en met praktijkonderzoekresultaten is aangetoond, dat bij de menging de complete homogenisatie bij voorkeur binnen de mengtijd van 1 sec. bereikt moet zijn. Om dit te kunnen bereiken is een snelheidsgradient G van ten minste 1000 sec.^{-1} nodig. Vele bestaande mengsystemen, die zijn uitgerust met roerwerken, zijn ontworpen voor G -waarden, die (veel) lager zijn dan 1000 sec.^{-1} . Voor het bereiken van een complete homogenisatie worden hiermee mengtijden van enkele tientallen seconden tot zelfs enkele minuten gehanteerd.

Statische mengsystemen worden reeds veelvuldig gebruikt bij onderzoek op semi-technische schaal. Toepassingen op ware schaal vinden in het buitenland plaats in beperkte mate, terwijl op dit ogenblik de statische mengers meer en meer in de belangstelling van de Nederlandse waterleidingbedrijven komen.

Deze mengsystemen maken het mogelijk om de menging van Fe- en Al-zouten met de genoemde hoge mengintensiteit binnen de gewenste mengtijd optimaal uit te voeren. Een methode voor het bepalen en het beoordelen van de mengefficiëntie is opgenomen in de beschouwingen over de statische mengsystemen. De methode berust

op de bepaling van de parameter Kapp (schijnbare aggregatiesnelheidscoëfficiënt) met behulp van bekerglasproeven.

Opvallend is, dat in Nederland alleen Fe-zouten bij de coagulatie worden gebruikt. In het buitenland worden hoofdzakelijk Al-zouten al of niet gecombineerd met actief silicium toegepast. Wat de toepassing van vlokhelpmiddelen betreft, komen in Nederland tot nu toe alleen de natuurlijke zetmeelderivaten in aanmerking. In het buitenland worden naast zetmeelderivaten ook synthetische organische polyelektrolieten en anorganische vlokhelpmiddelen toegepast.

Uit de literatuurgegevens en de praktijkervaring zijn onder andere twee belangrijke aspecten voor het vlokformingsproces duidelijk naar voren gekomen.

- Bij elke vlokvormingstijd behoort een optimale G-waarde; is de mengintensiteit hoger dan de optimale G-waarde dan zullen de vlokken ofwel kapotgeslagen worden ofwel niet aangroeien tot grotere vlokken.
- Een indeling van de vlokformingsinstallatie in 4 à 5 geroerde compartimenten met afnemende G-waarden biedt voor de behandeling van de meeste watersoorten de mogelijkheid om de vlokformings-tijd aanzienlijk korter te kiezen dan bij een vlokvorming in 1 of 2 geroerde ruimten.

De toegepaste vlokformingstijden variëren in de praktijk van 20 tot 80 minuten. Mits bij de indeling

in compartimenten voldoende aandacht aan het aspect van de kortsluiting is besteed, zullen voor vele watersoorten vlokformingsperioden van 10 tot 25 minuten waarschijnlijk toereikend kunnen zijn.

Andere methoden dan de verdeling in compartimenten ter beperking van kortsluitstromen zijn in de beschouwingen opgenomen. In verband met kortsluiting, die overigens in elk continu doorstroomd systeem een rol speelt, is de nieuwe ontwikkeling van de statische vlokformings-systemen vermeld. Deze systemen zijn echter tot op dit ogenblik onvoldoende ontwikkeld om voor praktische toepassing in aanmerking te komen. Met name het probleem van de te sterke vervuiling door de vlokken is nog niet opgelost.

Bij de toepassingen van opwaarts en neerwaarts doorstroomde vlokformingsfilters blijkt een afzonderlijke voorafgaande vlokforming overbodig te zijn, omdat de vlokforming hoofdzakelijk in de filterbedden zelf plaatsvindt.

Ervaringen met een vlokformingsfase voorafgaande aan flotatie in Nederlandse situaties ontbreken op dit ogenblik. Blijkens toepassingen van flotatie met name in Zweden is het vlokformingsproces minder kritisch dan in het geval dat bezinking wordt toegepast.

INLEIDING

De Commissie Vlokvorming en Vlokverwijdering van het KIWA heeft zich tot doel gesteld de verschillende aspecten van het coagulatieproces in een aantal rapporten te belichten. In het eerste rapport werd de "Theorie van de vlokvorming" (KIWA-mededeling nr.33, juni 1974) behandeld door dr.ir.A.P.Meijers. Dit rapport betreffende "De Praktijk van de Menging en de Vlokvorming" sluit hier direct bij aan.

Alvorens op de eigenlijke praktijk van de menging en de vlokvorming in te gaan is het voor een beter begrip noodzakelijk de theoretische achtergronden van de menging aan een beschouwing te onderwerpen. Verder is het nodig de in de praktijk gehanteerde karakteristieke grootheden op hun waarde te beoordelen ten einde de praktijk voldoende te kunnen omschrijven.

De praktijk van de menging en de vlokvorming moet in de ruimste betekenis van het woord worden opgevat. Het omvat niet alleen gegevens van installaties voor het coagulatieproces op bedrijfsschaal, maar ook op semi-technische schaal en op laboratoriumschaal. Onder andere worden veel gegevens over bekerglasproeven uit de Amerikaanse literatuur verwerkt.

Wat de praktijk op technische en semi-technische schaal betreft zal de nadruk vooral vallen op de meest recente Nederlandse en Belgische ervaringen, met name op het gebied van de menging.

Bij het coagulatieproces in de praktijk zijn in principe drie meer of minder gescheiden uitgevoerde fasen te onderscheiden, namelijk de menging, de vlok-vorming en de vlokverwijdering. De uitvoering van de menging en de vlokvorming wordt sterk bepaald door de methode van vlokverwijdering. In dit rapport zal de praktijk van de menging en de vlokvorming worden behandeld voorafgaande aan de volgende vlokver-wijderingstechnieken:

- a. de "klassieke" horizontaal doorstroomde één- of meerlaagsbekkens;
- b. de verticaal doorstroomde installaties met zoge-naamde vlokkendekens;
- c. de meerlaagsbezinkers opgesteld onder een bepaalde hoek met het horizontale vlak;
- d. de op- en neerwaarts doorstroomde vlokkingsfilters en
- e. de flotatie.

Hierbij worden de voorwaarden voor optimale menging en vlokvorming van techniek a. en c. als gelijk ver-ondersteld. De menging en vlokvorming voor deze technieken zullen de meeste aandacht krijgen, omdat daarbij meestal sprake is van duidelijk gescheiden fasen van menging, vlokvorming en vlokverwijdering, zodat stapsgewijze optimalisering mogelijk is en omdat van de praktijk van deze uitvoering het meest bekend is.

Het uiteindelijke doel van dit rapport is, evenals van het reeds verschenen rapport en van de nog te verschijnen rapporten over onder andere de vlokverwijdering en de slibbehandeling, naast het geven van gerichte informatie over het coagulatieproces vooral te komen tot aanbevelingen ten behoeve van de technologische en civiel-technische aanpak bij het ontwerpen en de bouw van waterzuiveringsinstallaties voor coagulatie en van het bedrijven van bestaande installaties. Dit is nodig om tot werkelijk optimaal werkende installaties te komen, waarbij onder handhaving of verbetering van de gewenste eindkwaliteit van het gecoaguleerde water en van de bedrijfszekerheid de kosten minimaal zijn.

Bij voorbaat moet echter worden gesteld dat vanwege de grote diversiteit van de literatuur- en praktijkgegevens aanbevelingen alleen met het nodige voorbehoud kunnen worden gegeven.

1. THEORETISCHE BESCHOUWINGEN

1.1 Chemische en fysische aspecten bij de menging

Bij het coagulatieproces spelen een aantal chemische en fysische aspecten een belangrijke rol met enerzijds het oog op de helderheid van het gecoaguleerde water en anderzijds de vlokvorming.

Hoewel in de "Theorie van de vlokvorming" mededeling nr. 33 (lit.1) van het KIWA deze aspecten uitvoerig zijn behandeld, zullen in dit hoofdstuk enkele aspecten gericht op de praktijk nader belicht worden.

- De beoogde hoofdreactionen, die optreden bij de coagulatie met Al^{3+} en Fe^{3+} zijn de vorming van gehydrolyseerde metaalionen, de destabilisatie van de colloïden en de adsorptie van of reactie met bijvoorbeeld organische stoffen en fosfaten.

In hoofdstuk 3.1 van "Theorie van de vlokvorming" is gesteld, dat de hydrolyse-acties kunnen plaatsvinden binnen 10^{-10} à 1 seconde. Binnen deze tijd vindt ook reeds polymerisatie van de gehydrolyseerde metaalionen plaats, hetgeen een onomkeerbaar proces is. De destabilisatie en adsorptie van de te verwijderen verontreinigingen vinden eveneens zeer snel plaats. Er hebben dus twee typen chemisch-fysische reacties plaats die elkaar beconcurreren.

Na volledige hydrolyse van de metaalionen en gevorderde polymerisatie van de hydrolyseproducten kan geen destabilisatie en weinig adsorptie van de

verontreinigingen meer teweeg gebracht worden. In de oplossing vindt wel na de destabilisatie en de adsorptie nog verdergaande hydrolyse en polymerisatie plaats. Hierbij blijven de geadsorbeerde verontreinigingen irreversibel gebonden.

Een homogene menging dient zeer snel plaats te vinden om een zo groot mogelijk destabilisatie- en adsorptieëffect te verkrijgen voordat de (volledige) hydrolyse van de metaalionen is voltooid.

Voor de menging in de praktijk betekent dit, dat gestreefd dient te worden naar een zo kort mogelijke mengtijd.

- De vlokmiddeloplossingen van Al- en Fe-zouten hebben een $\text{pH} \leq 2$. Als deze oplossingen op één punt in het te behandelen water worden geïnjecteerd, ontstaan er in en rond de injectiestroom pH-gradiënten met plaatselijk lage pH-waarden. Bij deze lage pH ontstaan er hydraten, die een bepaalde stabiliteit bezitten, weinig adsorptieve eigenschappen vertonen en een troebelheid in het water veroorzaken. Deze troebelheid is slechts te verwijderen bij langdurige menging of vlokvorming of door een overmaat vlokmiddel.

Ter beperking van dit type hydratenvorming dienen de vlokmiddelen eveneens veelvuldig en simultaan geïnjecteerd te worden en dient snelle homogenisatie plaats te vinden. Het optreden van ongewenste nevenreacties, zoals hierboven vermeld zal niet plaatsvinden wanneer polyelektrolieten en andere vlokhulpmiddelen zoals NaOH, aan het te coaguleren water worden gedoseerd.

Wel kunnen bij ontharding van water met een base nevenreacties optreden.

Een plaatselijk te hoge pH zal de vorming van het ongewenste $Mg(OH)_2$ kunnen veroorzaken. Ook hierbij is dus een snelle homogenisatie gewenst.

- Indien de mengtijd met veel hogere energie-inbreng te lang duurt, of de spreiding in de mengtijd te groot is, zullen kleine vlokken, welke zich reeds in de orthokinetische vlok-kingsfase bevinden, worden kapotgeslagen. Dit kan tot gevolg hebben, dat de vereiste vlok-vormingstijd om goed bezinkbare vlokken te verkrijgen veel langer zal moeten zijn, terwijl het aantal kleinere en moeilijk bezinkbare vlokken wordt vergroot.

De duur van de snelle mengtijd is minder kritisch bij de dosering van polyelektrolieten, die veel trager adsorberen dan de gehydrolyseerd Al^{3+} - of Fe^{3+} -ionen en bij de dosering van een base voor hardheidscorrectie, alwaar de vlokvorming veel langzamer plaatsvindt.

1.2 Verbliftijdsspreiding in een ideale menger en een propstroommenger

Om een mengsysteem voor vlokmiddelen en andere chemicaliën te kunnen ontwerpen is het noodzakelijk enkele basisbegrippen, die in de procestechologie worden gehanteerd, nader te beschrijven n.l.: verbliftijdsspreiding, ideale menging en propstroommenging.

1.2.1 Menging in een geroerd vat

In elk willekeurig mengsysteem bereikt een gedeelte van het instromende water in minder dan de nominale verblijftijd (T_0) de uitlaat van de menger en een gedeelte verblijft veel langer dan de nominale verblijftijd in de menger. Dit fenomeen wordt verblijftijdsspreiding genoemd en kan het beste worden beschreven met de cumulatieve frequentieverdeling voor de verblijftijd van de waterdelen in de menger. Uitgaande van een theoretische situatie kan deze frequentieverdeling berekend worden voor verschillende mengertypen.

Ook wordt wel het begrip kortsluiting gehanteerd (lit.2), waaronder dan verstaan wordt, dat een deel van het water een kortere verblijftijd heeft dan de nominale verblijftijd. Het lijkt evenwel beter onder kortsluiting te verstaan, dat een deel van de hoofdstroom zich grotendeels onttrekt aan het proces en rechtstreeks van ingang naar uitgang gaat.

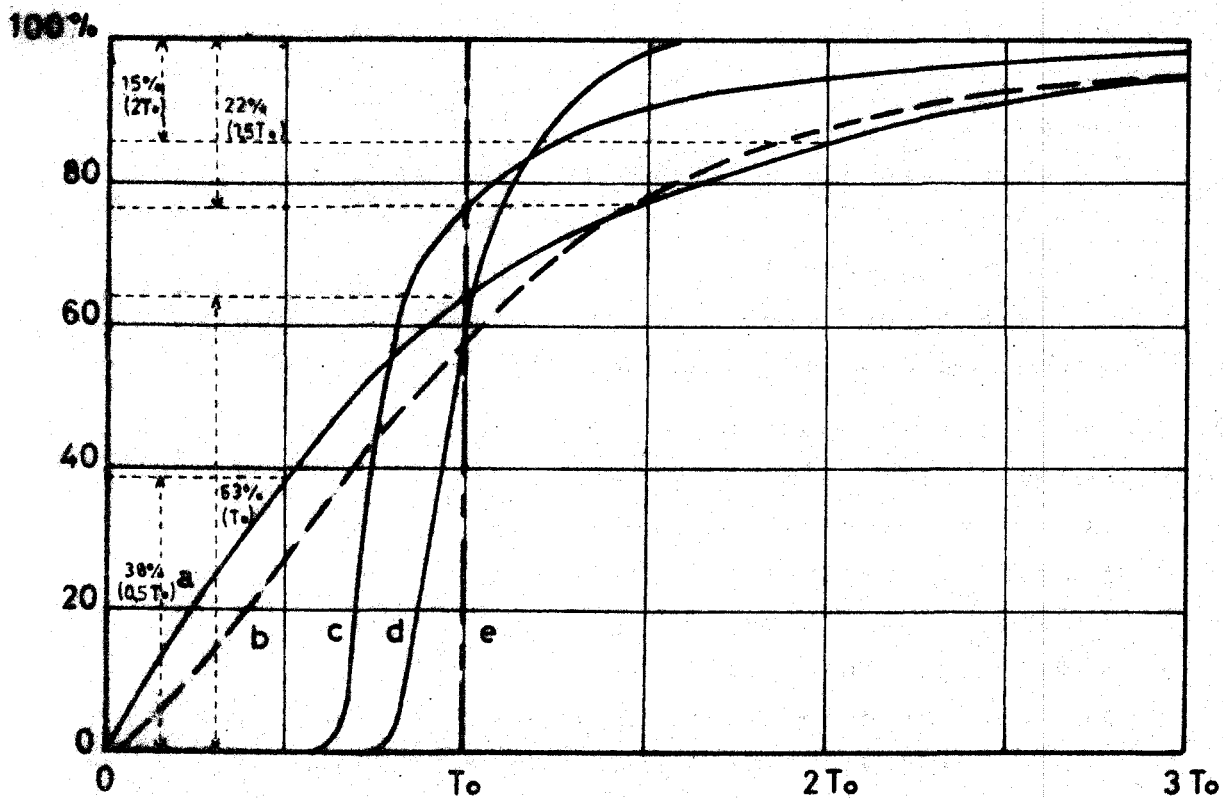


fig.1. Cumulatieve frequentieverdeling van berekende verblijftijden.

- a. ideale menger
- b. praktisch menger volgens Camp
- c. laminaire propstroom
- d. turbulente propstroom
- e. ideale propstroom

In fig.1 geeft bijna de cumulatieve frequentieverdeling weer van een ideaal geroerde tank of de "ideale menger" en ook wel de "perfekte menger" genoemd.

De definitie van de "ideale menger" is als volgt:

een geroerd vat, waarin de menging zo hevig is, dat de toevoer onmiddellijk met de inhoud wordt opgemengd, zodat de concentratie in dit vat overal gelijk is en ook gelijk aan de concentratie in de uitlaatstroom.

Het spreekt vanzelf, dat de aldus gedefinieerde "ideale menger" een theoretische menger is en in werkelijkheid niet voorkomt.

De definitie houdt bovendien in dat een "ideale menger" niet de meest gewenste menging oplevert. Het woord "ideaal" betekent uitsluitend dat de menging in het vat momentaan en compleet is. In de praktijk zal dit met een geroerd vat nimmer het geval zijn. In fig.1 is voor een praktijkmenger met roerwerk de cumulatieve frequentieverdeling van de menger weergegeven (lijn b). De betekenis van deze frequentieverdelingen is het volgende.

Met een zogenaamde "ideale menger" ondergaat voortdurend 38% van de ingaande waterstroom de menging gedurende een verblijftijd, die minder dan de halve nominale verblijftijd ($0,5 T_0$) bedraagt en zelfs circa 63% van de inlaatstroom verblijft korter dan de nominale mengtijd (T_0) in de menger. Voortdurend wordt circa 22% van de ingaande waterstroom langer dan 1,5 maal de nominale verblijftijd gemengd en circa 15% langer dan 2 maal de nominale mengtijd. De verblijftijdsspreiding is dus bij de zogenaamde "ideale menger" bijzonder groot.

In de praktijkmenger, waarin de menging niet geheel momentaan is, wordt circa 25% van de ingaande stroom in minder dan de halve nominale mengtijd gemengd, terwijl aanzienlijke percentages van de inlaatstroom langer dan de nominale mengtijd en langer dan zelfs 2 maal de mengtijd in het mengsysteem verblijven, namelijk respectievelijk 42% en 12%. Het blijkt dus dat bij menging in de praktijk de verblijftijds-spreiding ongunstiger wordt naarmate de praktijkmenger de "ideale menger" gaat benaderen door bijvoorbeeld intensievere menging of verhoging van de mengenergie.

1.2.2 Menging in een propstroommenger

De lijn e in fig.1 geeft de situatie betreffende de verblijftijdsspreiding van een ideale propstroommenger weer en overeenkomstig dit beeld luidt de definitie van de propstroommenger: alle volume-elementen hebben exact dezelfde verblijftijd. Bedacht moet worden dat dit eveneens een theoretische beschrijving van de propstroommenger is. In de praktijk zal deze situatie nimmer voorkomen. De lijnen c en d geven een duidelijk beeld van de verblijftijdsspreiding bij een propstroming of een propstroommenger met dezelfde inhoud als die van de "ideale menger". De spreiding in verblijftijden van de afzonderlijke waterdelen in bijvoorbeeld een buis met laminaire stroming (Poisseeuille stroming) is reeds veel geringer dan in een geroerd vat. De

spreiding wordt hierbij veroorzaakt doordat de maximale watersnelheid tweemaal de gemiddelde watersnelheid in de buis bedraagt en de watersnelheid aan de wand gelijk aan nul is. De turbulentie in het doorstromende water neemt toe door een hogere stroomsnelheid in de buis, door het aanbrengen van restricties in de buis of door stroomdelingselementen in de buis te plaatsen. Hierdoor wordt de verblijftijdsspreiding van de afzonderlijke waterdelen kleiner. Dit facet is weergegeven door lijn d in fig.1. Duidelijk blijkt dat een relatief gering percentage van de waterstroom te lang of langer dan 1 of 1,5 maal de nominale verblijftijd T_0 in het propstroommengsysteem verblijft.

1.2.3 Invloed van de nominale verblijftijd op de verblijftijdsspreiding

De absolute mate van verblijftijdsspreiding is bij elk mengsysteem evenredig met de absolute waarde van de nominale verblijftijd T_0 . Dit kan geïllustreerd worden met de "ideale menger". Als het volume van het geroerde mengvat wordt gehalveerd, dan wordt de nominale mengtijd T_0 eveneens gehalveerd bijvoorbeeld van 30 naar 15 seconden (zie fig.1). Bij 30 seconden nominale mengtijd is 38% van de inlaatstroom 15 seconden te kort gemengd en bij 15 seconden nominale mengtijd is 38% van de inlaatstroom slechts 7,5 seconden te kort gemengd. Aan de andere kant wordt bij 30 seconden nominale mengtijd circa

15% van de inlaatstroom langer dan 60 seconden gemengd; bij 15 seconden nominale mengtijd is voor 15% van de inlaatstroom de mengtijd langer dan 30 seconden.

De mate waarin bepaalde gedeelten van de inlaatstroom te korte of te lange tijd worden gemengd is dus rechtevenredig met de nominale mengtijd. Als bijvoorbeeld de gemiddelde verblijftijd in een geroerd vat zou kunnen worden teruggebracht tot 1 seconde dan is overeenkomstig fig.1 lijn a nagenoeg de gehele inlaatstroom binnen 3 à 4 seconden de menger gepasseerd. In de waterleidingtechniek zijn echter tot op dit ogenblik nog geen mengers in de vorm van een geroerd vat met een mengtijd korter dan 10 à 20 seconden geconstrueerd. Aangenomen mag worden dat bij kortere nominale verblijftijden dan 5 seconden de mengefficientie van het roerwerk verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de mengefficientie ten gevolge van de stroming zelf.

Geconcludeerd kan worden dat de verblijftijdsspreiding in absolute mengtijd gemeten in een geroerd vat alleen aanzienlijk kan worden beperkt door verkorting van de nominale mengtijd.

Bij een propstroommenger, waarin het water met een bepaalde turbulentie doorstroomt, is zoals reeds gezegd de verblijftijdsspreiding geringer dan bij het geroerde vat.

Eveneens is door verkorting van de nominale mengtijd in de propstroommenger de verblijftijdsspreiding in

absolute zin te verkleinen. Bovendien is het met een propstroommenger technisch mogelijk om door verhoging van de stroomsnelheid de nominale mengtijd te reduceren tot zelfs minder dan 1 seconde, zoals in de volgende hoofdstukken zal blijken.

1.2.4 Invloed van het aantal mengcompartimenten op de verblijftijdsspreiding

Wanneer n identieke geroerde vaten elk met een nominale verblijftijd T_0 in serie worden geschakeld, wordt de nominale verblijftijd n maal groter. De spreiding in de verblijftijden van de afzonderlijke watervolumedelen, uitgedrukt als fracties van T_0 , wordt met een factor \sqrt{n} groter (lit.3).

Als een vat met nominale mengtijd T_0 wordt vervangen door n in serie geschakelde geroerde vaten, waarbij de totale nominale verblijftijd T_0 dus gelijk blijft, dan wordt de verblijftijdsspreiding een factor \sqrt{n} geringer. (lit.4). In fig.2 zijn de cumulatieve frequentieverdelingen van de genoemde mechanische mengsituaties weergegeven. Ervan uitgaande dat op grond van het chemische en fysische gebeuren tijdens het mengen een nominale mengtijd van T_0 voldoende is, is uit deze figuur het volgende af te leiden.

Volgens lijn b is een aanzienlijke beperking van de verblijftijdsspreiding verkregen ten opzichte van lijn a. Lijn c geeft relatief dezelfde verblijftijdsspreiding als lijn a.

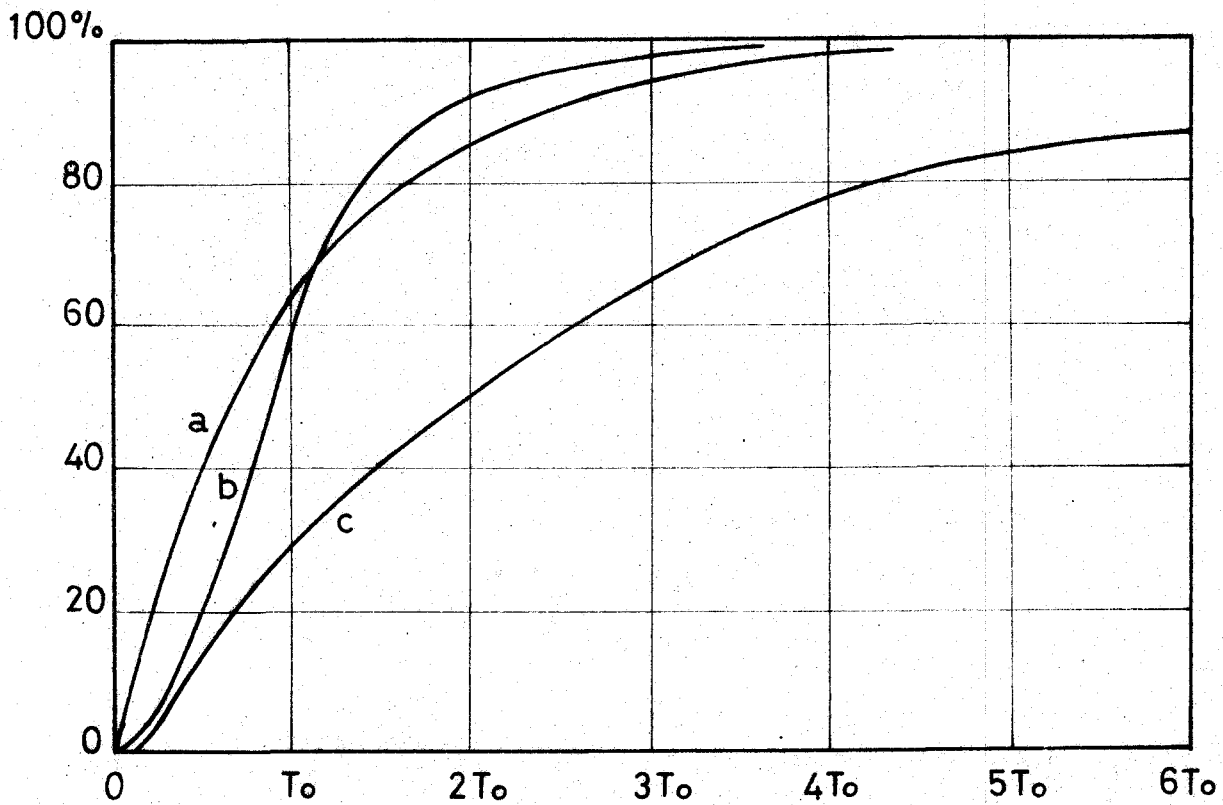


fig.2: cumulatieve frequentieverdeling van berekende verblijftijden.
 a. ideale menger met verblijftijd T_0
 b. 3 ideale mengers in cascade met verblijftijd T_0
 c. 3 ideale mengers in cascade met verblijftijd $3 T_0$

1.2.5 Gevolgen van verblijftijdsspreiding bij het coagulatieproces

De verblijftijdsspreiding speelt een belangrijke rol bij de menging. Immers een gedeelte van de inlaatstroom verlaat het mengsysteem in minder dan de nominale verblijftijd en een ander gedeelte verblijft langer dan de nominale verblijftijd in het mengsysteem.

Verblijftijdsspreiding in een mengsysteem houdt tevens in dat een gedeelte van de waterstroom gedurende te lange of te korte tijd mengenergie ontvangt. Te weinig mengenergie houdt in, dat een gebrekkige homogenisatie plaats vindt, met als gevolg plaatselijk hogere of lagere concentratie van de toegevoegde chemicalien. Te veel mengenergie heeft tot gevolg, dat de vlokken die zich reeds in de orthokinetische vlokvormingsfase bevinden, worden kapot geslagen. Het zijn juist deze kapot gemaakte kleine vlokken, die zeer moeilijk aangroeien tot grotere vlokken en die de efficiëntie van de vlokvormingsfase en de vlokverwijderingsfase ongunstig beïnvloeden. Bij de coagulatie met ijzer en aluminium zal de beschreven over- en onderbehandeling tot gevolg hebben, dat het behandelde water na de vlokafscheiding een hogere troebelheid heeft. Bovendien kan een tijdens de mengfase reeds ontstane verblijftijdsspreiding alleen maar groter worden tijdens de vlokvormingsfase, waardoor de spreiding in de vlokdeeltjesgrootte eveneens weer groter

wordt. Hierdoor zal het percentage van de vlokken, die een kleinere bezinksnelheid dan de kritische bezinksnelheid (theorie van de vlokverwijdering, mededeling in voorbereiding) hebben, ook groter zijn.

De consequentie kan zijn, dat een langere vlok-vormingstijd nodig is en/of de belasting van het vlokverwijderingssysteem lager moet zijn.

1.2.6 Samenvatting en conclusies

De mate van verblijftijdsspreiding is rechtvaardig met de gemiddelde verblijftijd in het mengsysteem. Een grote verblijftijdsspreiding heeft tot gevolg dat gedeelten van de te mengen waterstroom te weinig of te veel chemicalien en mengenergie ontvangen. Bij te lage mengenergie zal een gebrekkige adsorptie en/of destabilisatie door de vlokmiddelen plaats vinden en een verhoogde troebelheid in het water na bezinking ontstaan. Bij te lange mengtijden zullen Al- en Fe-vlokken die zich reeds in de orthokinetische vlokkingsfase bevinden, worden kapot gemaakt. Dit laatste aspect heeft direct invloed op de efficiëntie van de vlokvorming en de vlokverwijdering. Een streven naar zeer korte verblijftijden met geringe verblijftijdsspreiding, en het toepassen van een simultane dosering via meerdere doseerpunten bij de coagulatie met aluminium- en driewaardig ijzerzoutoplossingen is op grond van voorgaande theoretische beschouwingen

een vereiste voor een optimaal verlopend proces. Bij de menging van de overige chemicalien lijkt een korte mengtijd eveneens wenselijk vanuit het oogpunt van overbehandeling en onderbehandeling van de te zuiveren waterstroom.

De mate van verblijftijdsspreiding kan gereduceerd worden door de meng- en roersystemen in meerdere mechanisch gemengde compartimenten in te delen. Echter de verblijftijdsspreiding en de kortsluiting zijn in een propstroommengsysteem aanzienlijk gunstiger dan in een geroerd mengsysteem. Statische meng- en roersystemen, waarin zich geen bewegende onderdelen bevinden, zijn daarom te prefereren.

2. OMSCHRIJVING VAN ENKELE KARAKTERISTIEKE BEGRIP- PEN BIJ DE MENGING EN DE VLOKVORMING

2.1 G-waarde

De parameter, die vaak in de literatuur wordt gebruikt om de mengenergie per tijdseenheid weer te geven is de gemiddelde snelheidsgradient. Voor mechanische menging en roeren kan de G-waarde worden berekend met de formule:

$$G = \left(\frac{P}{\mu V}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Hierin is:

G = snelheidsgradient in sec^{-1}

P = vermogen, gemeten aan de as in Nm/sec (=W)

V = volume, waarin de menging plaats vindt, in m^3

μ = dynamische viscositeit van het water in Nsec/m^2

Uitgaande van de viscositeitswaarde van

$\mu = 1,57 \times 10^{-3} \text{Nsec}/\text{m}^2$ bij de watertemperatuur

4°C kunnen uit de bovenstaande formule volgens

Camp voor de niet mechanische menging de volgende formules worden afgeleid.

Voor de menging in leidingen:

$$G = A \cdot \sqrt{\frac{f \cdot v}{d}} \quad (2)$$

waarin:

A = $1,13 \times 10^3$ met de dimensie $\text{sec}^{-\frac{1}{2}}$. (A is de omrekeningsfactor)

f = fanning-frictie-factor (voor de waarden van f
- zie fig.3)

v = lineaire stroomsnelheid in m(sec.

d = diameter van de leiding in m.

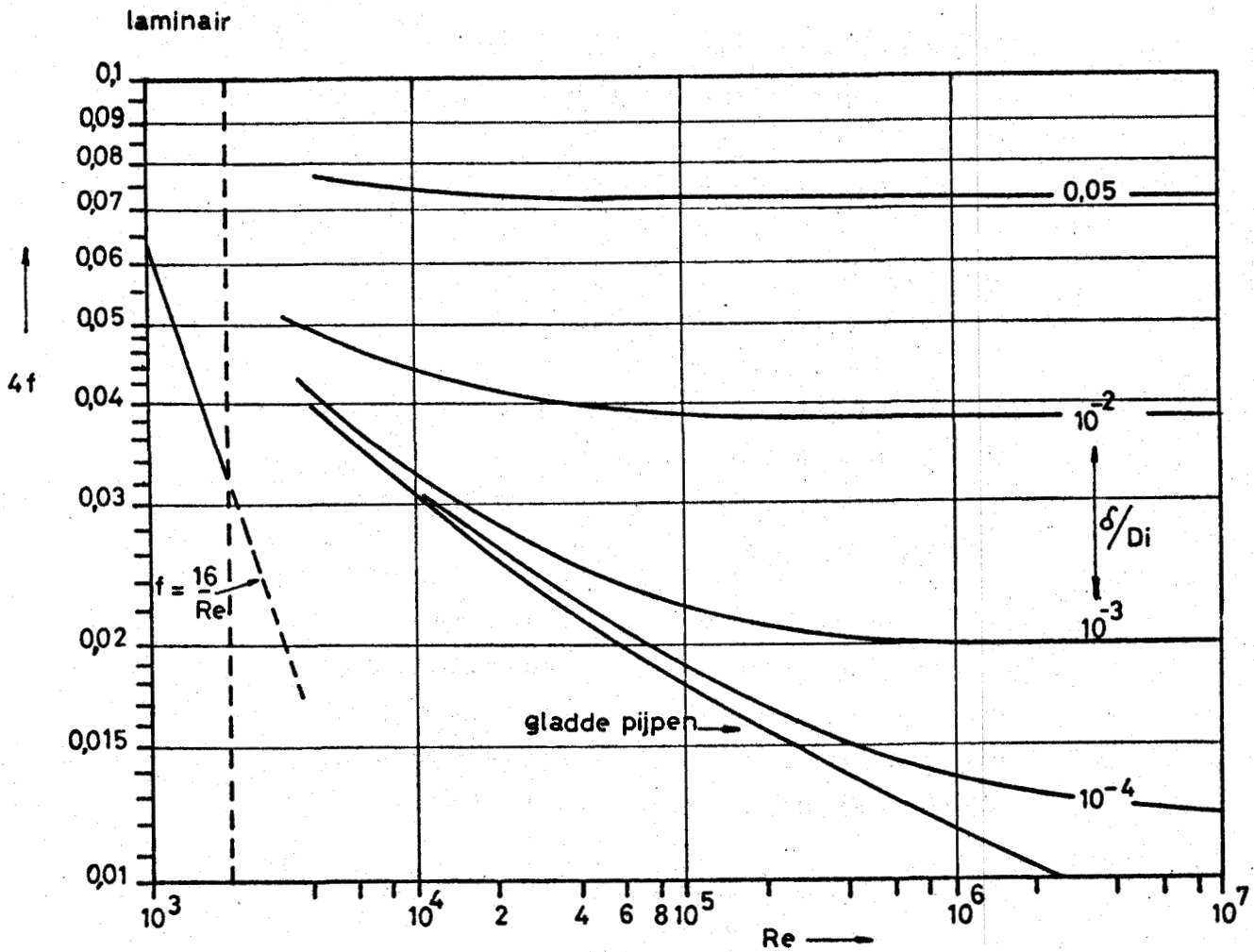


fig.3 Verband tussen de frictiefactor $f = \tau / \frac{1}{2} \rho V^2$ en Re bij stroming door pijpen met cirkelvormige doorsnede bij verschillende relatieve ruwheden δ/D_1 , δ (in μm) voor:

gladde getrokken pijp = 2
 stalen handelspijp = 50
 gietijzer = 300
 beton = 1000

Voor de menging in mengkamers (labyrinth) of meng-systeem waarover het drukverlies bekend is:

$$G = B \sqrt{\frac{\Delta H}{t}} \quad (3)$$

waarin:

$B = 2,52 \times 10^3$ met de dimensie $m^{-\frac{1}{2}} \cdot sec^{-\frac{1}{2}}$. (B is de omrekeningsfactor)

ΔH = hydrostatisch drukverlies over het mengsysteem in m (waterkolom)

t = nominale verblijftijd van het water in het mengsysteem in sec.

Voor menging en roeren met roeders die zijn uitgerust met peddels, roerbladen en dergelijke, kan de G-waarde worden berekend met formule 1, waarbij het vermogen (P) aan de as berekend kan worden met de volgende formule (lit.5):

$$P = \frac{C_d \cdot \rho \cdot \Pi^3 \cdot (1 - k)^3 \cdot 1 \cdot n^3}{60^3} \Sigma (R_u^4 - R_i^4) \quad (4)$$

waarin:

P = vermogen, gemeten aan de as, Nm/sec.

C_d = weerstandscoefficiënt (zie fig.4)

ρ = dichtheid van het water, kg/m^3

k = verhouding tussen de omtreksnelheid van het roerblad en de snelheid van het water, dat zich om het roerblad beweegt. Volgens Camp (lit.4) ligt deze waarde bij vlokformingsinstallaties tussen 0,24 en 0,32; volgens Fair, c.s. (lit.5)

is $k = 0,25$ bij afwezigheid van keerschotten.

l = lengte van het roerblad, m

n = aantal omwentelingen per minuut, min^{-1}

R_u = grootste afstand van het roerblad tot de roer-
as, m

R_i = kleinste afstand van het roerblad tot de roer-
as, m

$\Sigma(R_u^4 - R_i^4)$ geldt voor het geval dat er meer dan
één roerblad aanwezig is.

In de grafiek van fig.4 worden de Cd-waarden voor diverse typen roerbladen gegeven. Voor de berekening van het Re-getal is de absolute omtreksnelheid van het roerblad genomen en is ν de kinematische viscositeit.

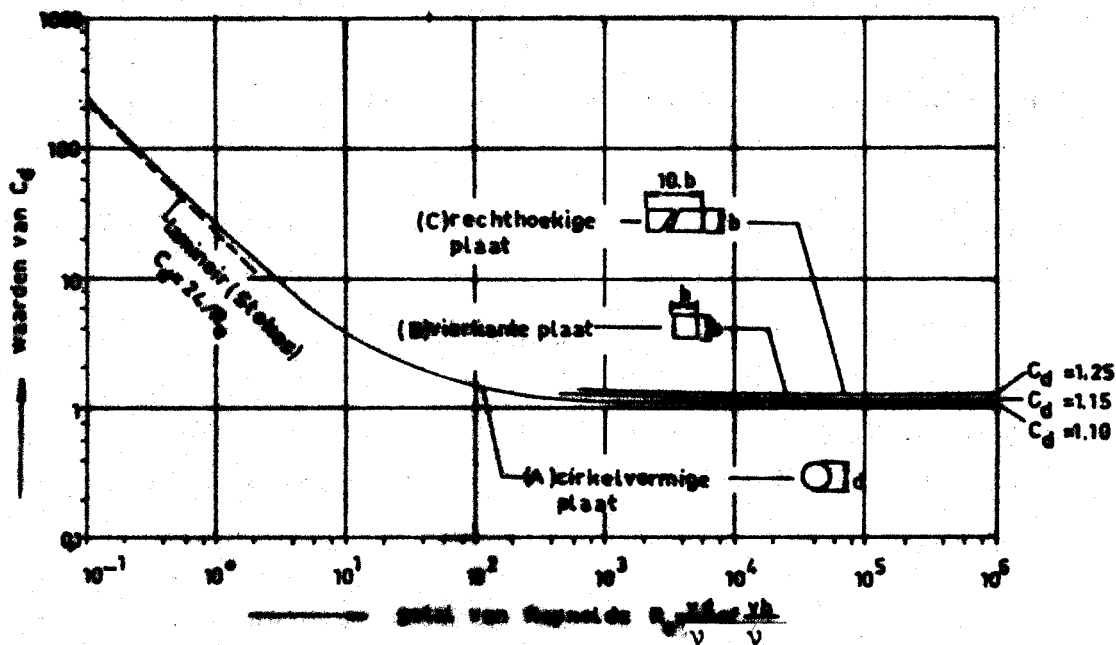


fig.4 Grafiek ter bepaling van de weerstands-
factor C_d

De berekening van het vermogen (P) met bovenstaande formule (4) moet als een benaderingsmethode worden gezien. Voor roerbladen zoals deze bij de vlok-vorming meestal worden toegepast, geldt dat $C_d = 1,25$. Voor de roerbladen van snelmengers kan de waarde $C_d = 1,15$ worden gehanteerd (zie fig. 4). Bij deze constante waarden voor C_d blijkt Re groter dan 10^4 te zijn. Een rekenvoorbeeld is uitgewerkt

in lit.5.

Bovenstaande formules gelden voor de watertemperatuur 4°C. Bij andere watertemperaturen moeten de berekende G-waarden worden vermenigvuldigd met de in tabel I vermelde correctiefactoren.

Tabel I (lit.9)

Temp. °C	Corr. factor	Temp. °C	Corr. factor	Temp. °C	Corr. factor
0	0,937	9	1,08	18	1,21
1	0,948	10	1,09	19	1,22
2	0,966	11	1,11	20	1,24
3	0,985	12	1,12	21	1,26
4	1,00	13	1,14	22	1,28
5	1,02	14	1,16	23	1,29
6	1,03	15	1,17	24	1,31
7	1,05	16	1,18	25	1,32
8	1,06	17	1,20		

Bernhardt (lit.7) heeft opgemerkt, dat vele onderzoekers de G-waarde van mechanische meng- en roersystemen door meting van het draaimoment aan de roeras in afhankelijkheid van het toerental van het in bedrijf zijnde mengsysteem hebben bepaald. Hij vermeldt tevens, dat de op deze wijze bepaalde G-waarde slechts een gemiddelde waarde is, die niets zegt over de werkelijke, afzonderlijke snelheidsgradienten op diverse punten in het geroerde vat en

dat deze G-waarde uitsluitend kan dienen om een schatting van de mengenergie te maken.

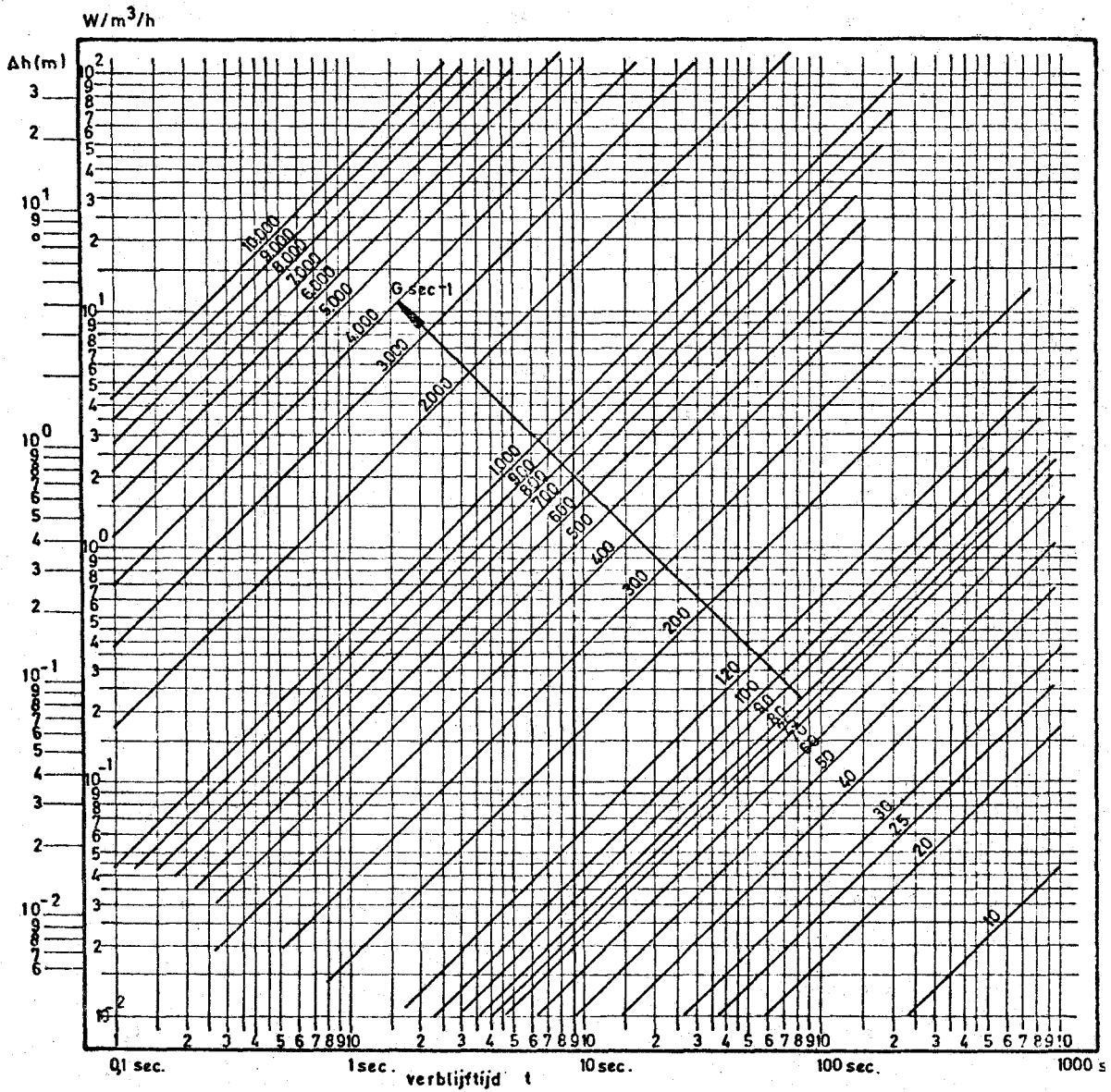


fig.5 Berekening van G volgens Hudson en Wolfner.

In fig.5 is het verband tussen de G-waarde, het ingebrachte mengvermogen per eenheid van debiet en de mengtijd enerzijds en het verband tussen de G-waarde, het hydrostatische drukverlies en de mengtijd anderzijds grafisch weergegeven. Bij een gegeven mengtijd is na berekening of meting van het mengvermogen respectievelijk het drukverlies de G-waarde af te lezen. Het berekenen van de G-waarde uit het hydrostatische drukverlies is alleen zinvol, wanneer er een meetbare drukval over het meng- of roersysteem aanwezig is. Dit is het geval bij bijvoorbeeld statische mengers (zie 3.4).

2.2 GT-waarde

De parameter, waarmede veelal in de literatuur de mengsystemen worden gekarakteriseerd, is het produkt van de G-waarde en de nominale verblijftijd T van het water in het mengsysteem, de GT-waarde. In de gevallen dat de menging wordt gevolgd door een vlokvorming in geroerde compartimenten met afnemende G-waarden worden soms in de literatuur per menging en per compartiment de GT-waarden berekend en vervolgens gesommeerd.

Deze dimensieloze parameter kan als volgt geïnterpreteerd worden. Als de mengintensiteit (G) laag zou zijn, is een langere mengtijd T nodig, zodat GT constant is en uiteindelijk toch een voldoende homogenisatie te bereiken is. Dit is geheel onjuist, omdat het van primair belang is dat de mengtijd

voor opmenging van Fe- en Al-zouten zeer kort en de G-waarden groot dienen te zijn.

2.3 GCT-waarde

Een eveneens in de literatuur vermelde parameter is het dimensieloze getal GCT. Hierin is C de vlokvolumeconcentratie uitgedrukt in het vlokvolume per watervolume. In feite mag er geen direkte relatie bestaan tussen de mengefficiëntie en de vlokvolumeconcentratie. Wel zal de vlokvolumeconcentratie een direkte invloed hebben op de navolgende vlokvorming en de vlokverwijdering. Zoals reeds in het voorgaande is vermeld kan echter een te lage mengefficiëntie gedeeltelijk gecompenseerd worden door een hogere vlokmiddeldosering c.q. vlokvolumeconcentratie.

2.4 Vlokvolumeconcentratie, vlok-dichtheid en vlog-grootteverdeling

De vlokvolumeconcentratie is het volume van de vlokken per volumesuspensie uitgedrukt in ml/m^3 (ppm). Bij een bepaalde vlokmiddeldosering duidt een verlaging van de vlokvolumeconcentratie op verhoging van de dichtheid van de vlokken. De vlok-dichtheid is de dichtheid van de vlokken ten opzichte van de dichtheid van het water. Een verhoging van de dichtheid zal de bezinksnelheid van de vlokken doen toenemen.

De vlog-grootteverdeling is een statistische ver-

deling van de vlokken diameter naar het aantal voorkomende diameters. Een uniforme vlogrootteverdeling na de vlok vorming is ideaal.

2.5 Bekerglasproef

De bekerglasproef biedt de mogelijkheid om het coagulatieproces te begeleiden of te bestuderen. De proef wordt bijvoorbeeld toegepast voor het vaststellen van de optimale doses van de verschillende chemicaliën bij wisselende ruwwaterkwaliteiten. Voorts leent de proef zich voor het bestuderen van de kinetieken van het vlok vormingsproces, alsmede voor het bepalen van de invloed van de meng- en de roerintensiteiten op het vlok vormingsproces. De bekerglasproefapparatuur is bovendien geschikt voor het vaststellen van de optimale mengomstandigheden in de bekerglazen zelf alsmede in andere mengsystemen, gevolgd door vlok vorming en bezinking in de bekerglazen. Inzake de vlok vorming kan de bekerglasproef worden gehanteerd voor het verkrijgen van een indruk betreffende de benodigde vlok vormingstijd en de verdeling van de roerintensiteit over de vlok vormingstijd.

De proef wordt uitgevoerd aan ruwwater in een aantal (ca.6) bekerglazen, waarin roerders met variabele toerentallen zijn geplaatst. Het doseren van de chemicaliën en de daarop volgende handelingen geschieden in alle bekerglazen min of meer gelijktijdig. De beoordeling van de vlok vorming kan visueel plaats

vinden. Ook is het mogelijk de kwaliteit van de vlok-
vorming te bepalen door de verkregen vlokken te laten
bezinken en vervolgens de kwaliteitsverbetering aan
het bovenstaande water te bepalen aan de hand van
bijvoorbeeld de resttroebelheid, het restvlokmiddel-
gehalte of andere beoogde parameters.

In de commissie Vlokvorming en Vlokverwijdering
wordt een mededeling met een gedetailleerde be-
schrijving van een standaard bekerglasproef opge-
steld.

3. PRAKTIJK VAN DE MENGING

3.1 Invloed van de mengenergie en de mengtijd

De meeste experimenten, die zijn opgezet ter bestudering van het coagulatieproces, en die in de literatuur worden beschreven zijn uitgevoerd met bekerglasproeven.

Vaak is vermeld dat de bekerglasproefresultaten niet geheel in overeenstemming zijn met de praktijkresultaten.

Ook blijkt, dat veelal geen duidelijke scheiding tussen de mengfase en de vlokvormingsfase is gemaakt. Enkele onderzoekers hebben dit wel gedaan. Zo heeft Walker (lit.8) kunnen aanbevelen, dat de G-waarden voor de menging van de vlokmiddelen met het te behandelen water in overeenstemming moet zijn met de mengtijd. Hij adviseert de G-waarden 1000, 900 en 790 sec^{-1} bij mengtijden van respectievelijk 20,30 en 40 sec. Tevens geeft Walker als conclusie dat de menging beter is naarmate de mengenergie hoger en de mengtijd korter is.

Hudson en Wolfner (lit.9) zeggen over de menging het volgende. De functie van de menging is het verzekeren van een compleet homogeen plaatshebbende coagulatie. Het vlokmiddel dient daartoe uniform te worden verdeeld over het te behandelen water, zodat contact tussen gesuspendeerde deeltjes en vlokmiddel optreedt voordat de hydrolysereacties zijn afgelopen. Bij afwezigheid van een intensieve

menging zal volgens hen een gedeelte van het water overbehandeld worden, terwijl een ander gedeelte van het water te weinig of geen vlokmiddel krijgt. Voorts menen zij, dat binnen een fraktie van een seconde de gedoseerde vlokmiddelen hydroliseren en beginnen te polymeriseren. Toch adviseren zij op grond van deze gedachten een mengtijd van ten hoogste 30 seconden in een mengsysteem, dat een relatief groot mengvermogen heeft. Daarnaast wordt melding gemaakt van de opkomst van de "in-line" mengers. Camp (lit.10) vindt, dat de vlokvolumeconcentratie, die na de vlokvorming is verkregen, een belangrijk aspect is met het oog op de navolgende bezinking. Een tweede belangrijk punt acht hij de vloggrootteverdeling en de vlogdichtheid met het oog op de bezinksnelheid.

Uit lit.10 blijkt dat zijn onderzoek is toegespitst op het meten van de vlokvolumeconcentratie. Uit zijn beschrijvingen van de bekerglasproeven blijkt niet duidelijk of de vlokvolumeconcentratie hoog of laag dient te zijn met het oog op de bezinking. De genoemde resultaten wekken de indruk dat een lage vlokvolumeconcentratie, die gepaard gaat met een hogere vlogdichtheid, betere bezinkingsresultaten zullen opleveren.

Door Camp zijn vele proeven in bekerglazen met keerschotten uitgevoerd, waarbij de G-waarde is gevarieerd van 80 sec.^{-1} tot circa 16.000 sec.^{-1} . Deze G-waarden werden berekend na meting van het vermogen aan de as

van de menger. De hoge G-waarden zijn verkregen door het plaatsen van de verticale keerschotten langs de bekerwand.

Bij deze experimenten is leidingwater gecoaguleerd met ijzer (III) sulfaat ($3,3 \text{ mg Fe}^{3+}/1$). De bepaling van de vlokvolumeconcentratie heeft plaats gevonden aan een monster van 1 cm^3 met behulp van een stereoscopische microscoop (zie lit.10, pag.662 e.v.).

In fig.6 en 7 is eveneens de invloed van de G-waarde en de mengtijd op de vlokvolumeconcentratie gegeven. Direct na de menging is deze concentratie kleiner naarmate de gemiddelde snelheidsgradient G groter is. Door langer dan 3 à 6 minuten te mengen met gelijkblijvende G-waarde wordt geen verbetering c.q. verandering in de vlokvolumeconcentratie teweeg gebracht.

Bij de experimenten met $G = 80$ en 200 sec.^{-1} waren reeds na de mengtijd van 2 minuten gedeelten van de vlokken bezonken. Hierdoor was een bepaling van de vlokvolumeconcentratie niet meer mogelijk.

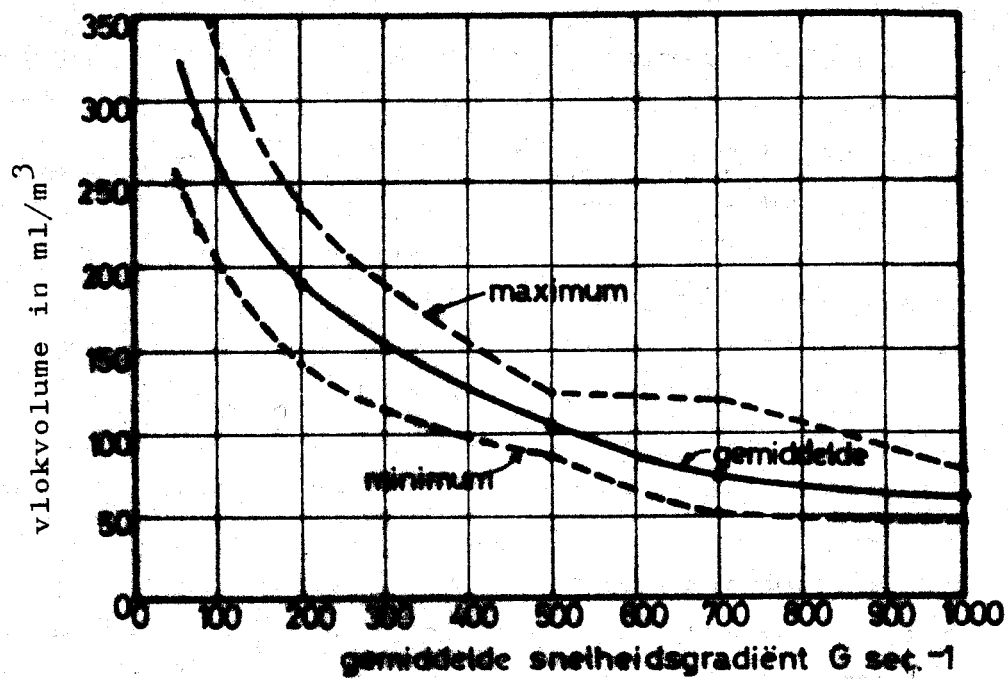


fig.6 Vlokvolumeconcentraties die na 2 minuten mengen in een bekersglas van 2 l zijn verkregen (Camp).

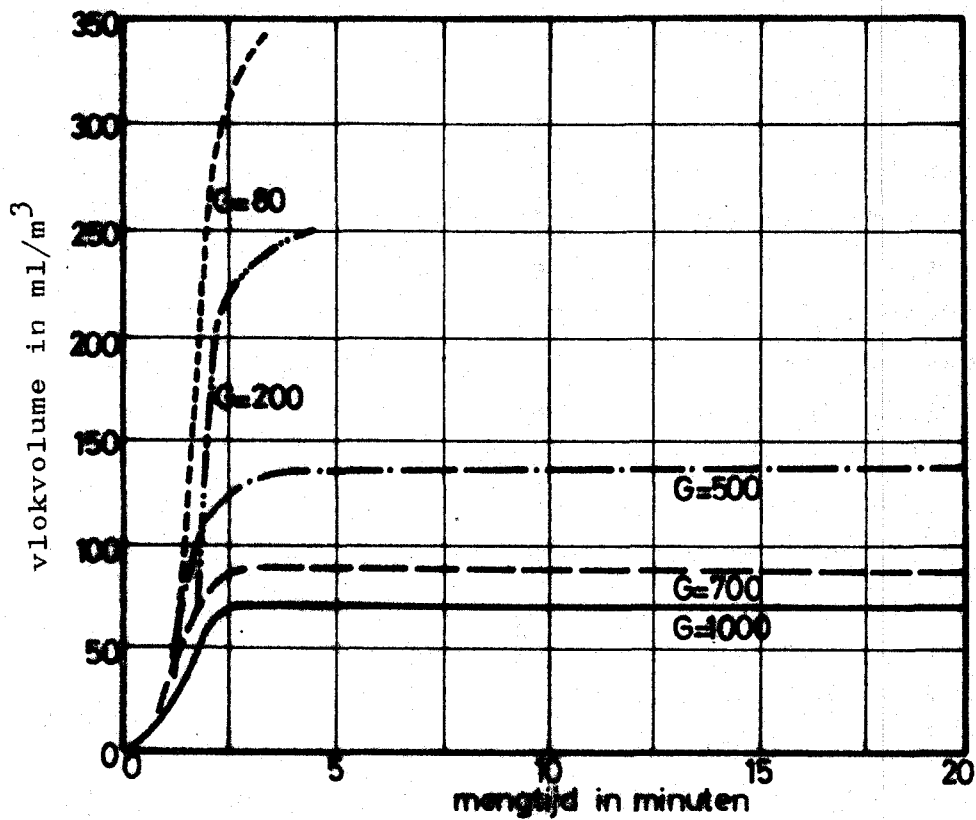


fig.7 Invloed van de mengtijd op de vlokvolumeconcentratie (Camp).

Met toenemende G-waarden tot $G = 1000 \text{ sec.}^{-1}$ gedurende een mengtijd van 2 à 5 minuten neemt volgens Camp de vlokvolumeconcentratie af. Bij deze proeven is dus geen vlokformingsperiode met een lagere G-waarde gehanteerd. De vlokvolumeconcentratie is

gemeten na de mengtijd. Hoewel deze mengtijden zeer lang zijn geweest, mag gesteld worden dat de vlokvolumeconcentratie beter is naarmate de G-waarde hoger is.

In zijn publicatie staat voorts vermeld, dat bij hoge G-waarden van 3.800 tot 12.500 sec.^{-1} gedurende een mengtijd van 2 minuten, gevolgd door een langzame roerperiode met $G = 10 \text{ sec.}^{-1}$ gedurende 45 minuten, de vlokvorming nadelig wordt beïnvloed. Deze invloed uitte zich, doordat een grotere spreiding in de vloggrootteverdeling werd verkregen. Bij nog hogere G-waarden vergde de navolgende vlokvorming veel meer tijd om nog een acceptabele vloggrootte te verkrijgen. De door Camp beschreven meetresultaten wekken de indruk dat de vlogvolumeconcentratie, gemeten direct na de mengfase, een meer gunstige waarde heeft als met G-waarden van 1000 tot 3.800 sec.^{-1} wordt gemengd.

De conclusies, die Camp heeft getrokken op basis van deze vele bekerglasproeven zijn, dat een G-waarde van 1000 sec.^{-1} gedurende 2 minuten mengtijd moet leiden tot zeer acceptabele vlokvorming binnen een langzame roerperiode van 10 minuten met $G = 10 \text{ sec.}^{-1}$. Daarnaast blijkt uit de resultaten van fig.8, dat bij $G = 1000 \text{ sec.}^{-1}$ en bij de kortste duur van de beproefde mengperiodes de kleinste spreiding in de vloggrootteverdeling is verkregen. Bij lagere G-waarden dan 1000 sec.^{-1} is deze spreiding ongunstiger geweest.

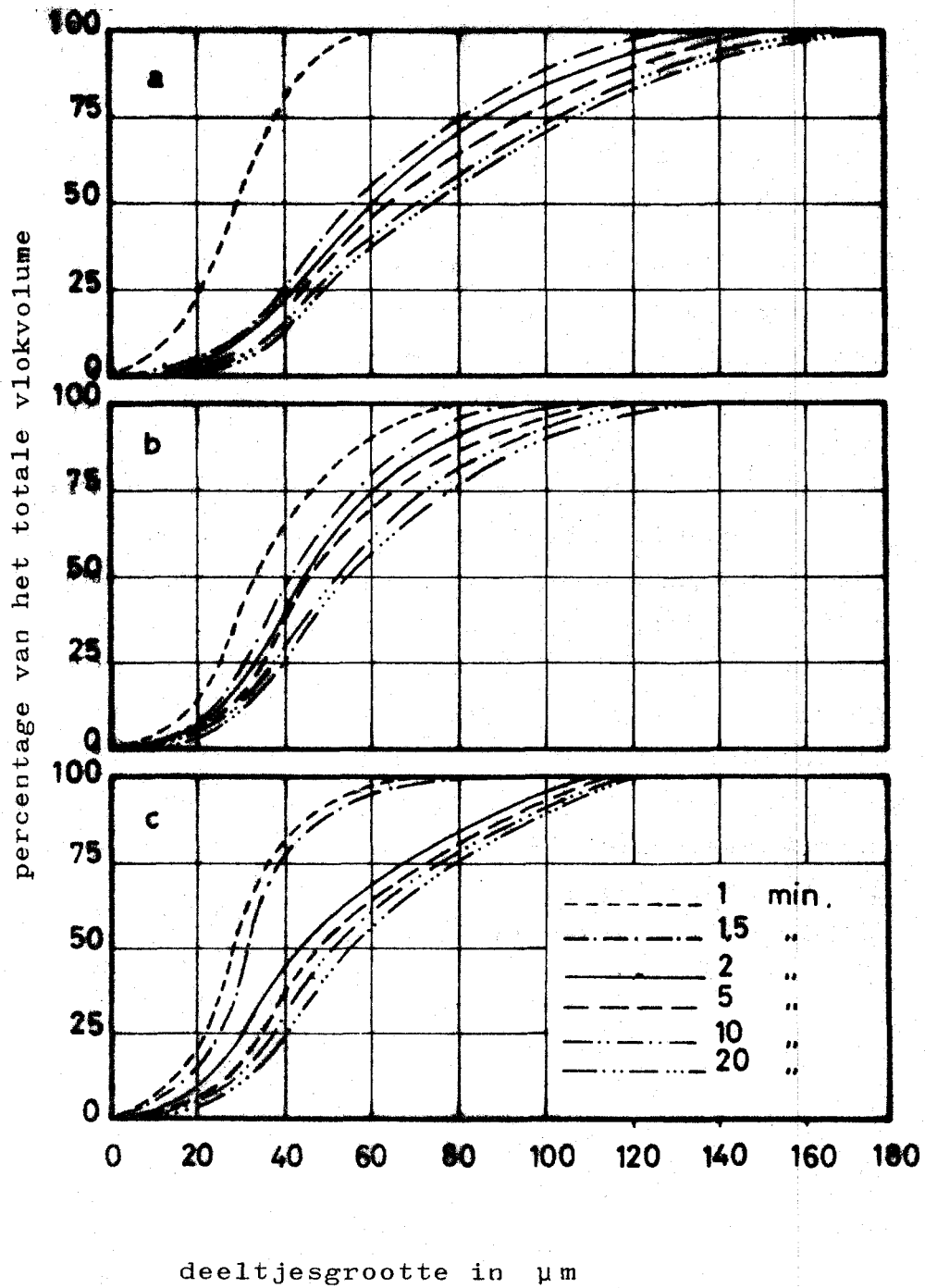


fig.8 Afmeting van de vlokken tijdens menging bij
 G-waarden van : a 500 sec.⁻¹
 b 700 sec.⁻¹
 c 1000 sec.⁻¹

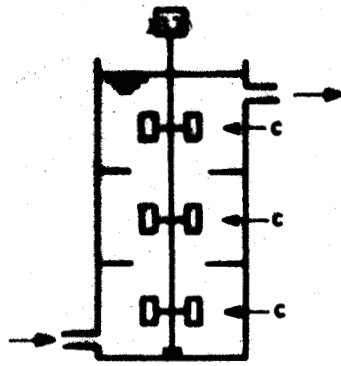
(Camp)

3.2 Mengsystemen

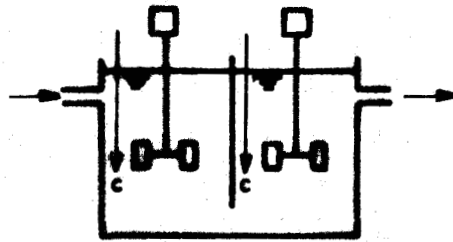
3.2.1 Mechanische mixers

In "Water Treatment Plant Design" (lit.11) wordt een algemene beschrijving voor het ontwerpen van mechanische mixers met roterende onderdelen gegeven. Voor mixers wordt het volgende geadviseerd: een om een verticale as roterend mengsysteem; twee of meer compartimenten voor toevoeging en verdeling van diverse chemicaliën (vlokmiddel, pH-regeling, hulpmiddel en chloor); 10 tot 30 sec. verblijftijd; roermotor met varieerbaar toerental, waarmee een snelheidsgradiënt van 300 sec.^{-1} of meer kan worden opgewekt.

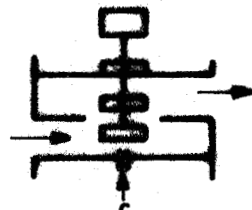
Voorgestelde mengertypen zijn weergegeven in fig.9. De schrijver van genoemde referentie vermeldt nog de opkomst van de "in-line blender" zoals deze is afgebeeld in fig.9c. Door Gemell (lit.12) worden enkele van deze mengsystemen geïllustreerd.



a. mechanische menger



b. mechanische menger



c. in-Line menger

fig.9 Voorbeelden van mechanische menger.

a en b: open systeem

c: gesloten systeem

(Anon)

3.2.2 Statische mixers

Statische mixers zijn mengsystemen, waarin roterende mechanische onderdelen ontbreken. De menging komt tot stand, doordat er een verhoogde turbulentie in het doorstromende water wordt gebracht door middel van bijvoorbeeld stroomversnellingen en/of -vertragingen, of door restricties in leidingen, e.d. Vrale en Jordan (lit.13) hebben onderzoek aan de menging verricht op laboratoriumschaal, waarbij een aantal typen statische mixers en een mechanische mixer zijn beproefd. De mixers zijn afgebeeld in fig.10 (a, b, c, d, e). De experimenten zijn uitgevoerd met een dosering van $36,9 \text{ mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$ per liter (dat is ca. 3 mg Al/l) in leidingwater, waaraan vooraf 100 mg kaolienpoeder per liter is toegevoegd. De pH heeft $7,1 \pm 0,1$ bedragen.

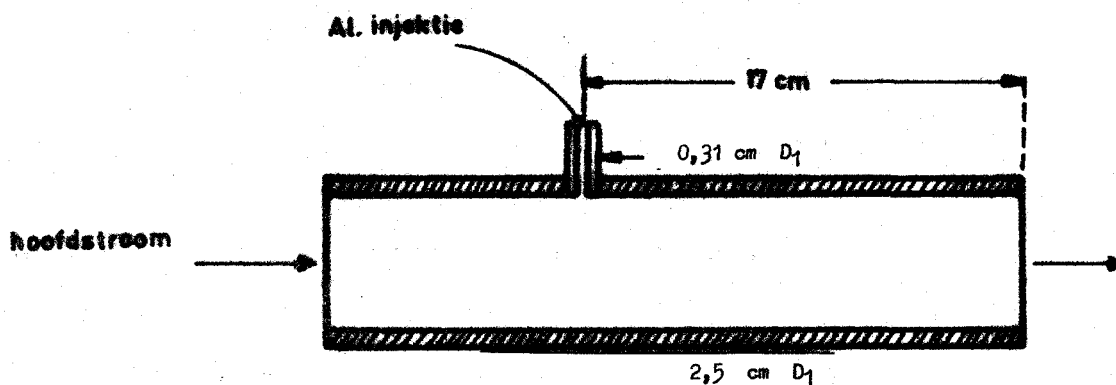


fig.10a menger 1 dwarsdoorsnede

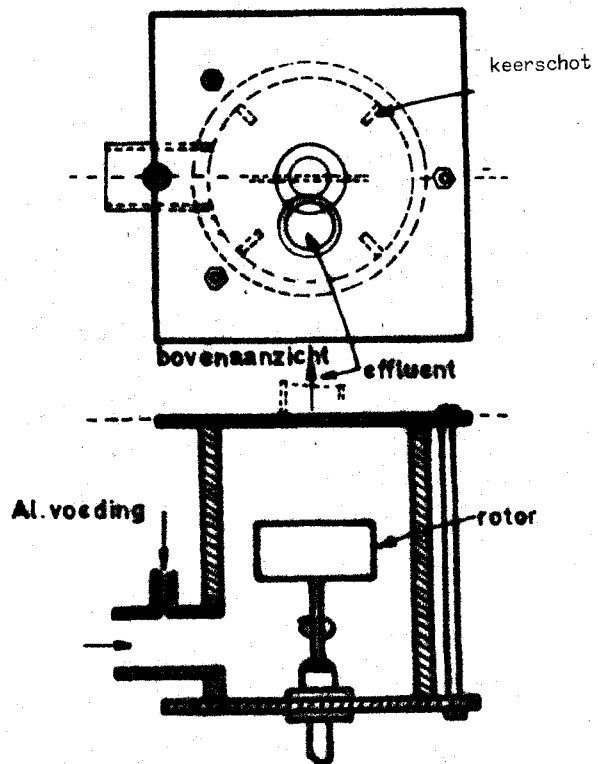


fig.10b menger 2 dwarsdoorsnede

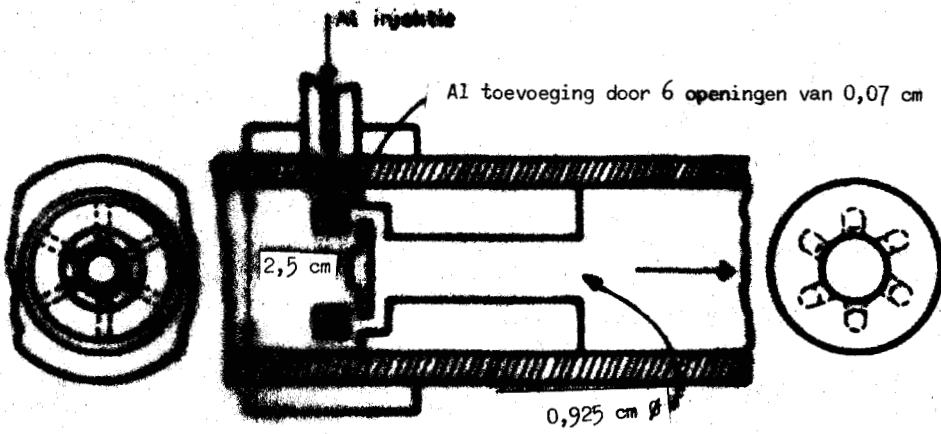


fig.10c menger 3 dwarsdoorsnede en zijaanzichten

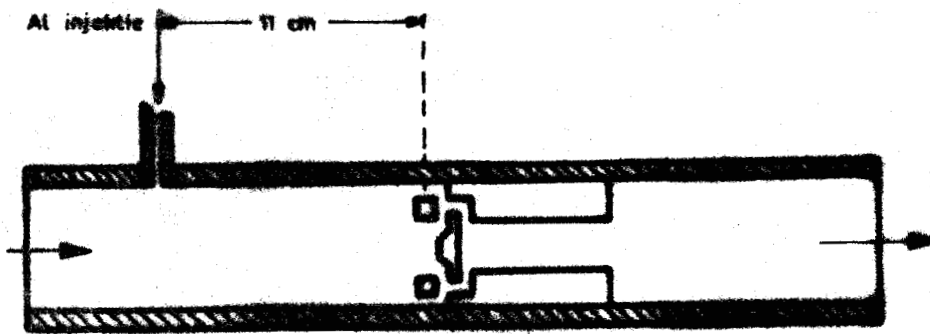


fig.10d menger 4 dwarsdoorsnede

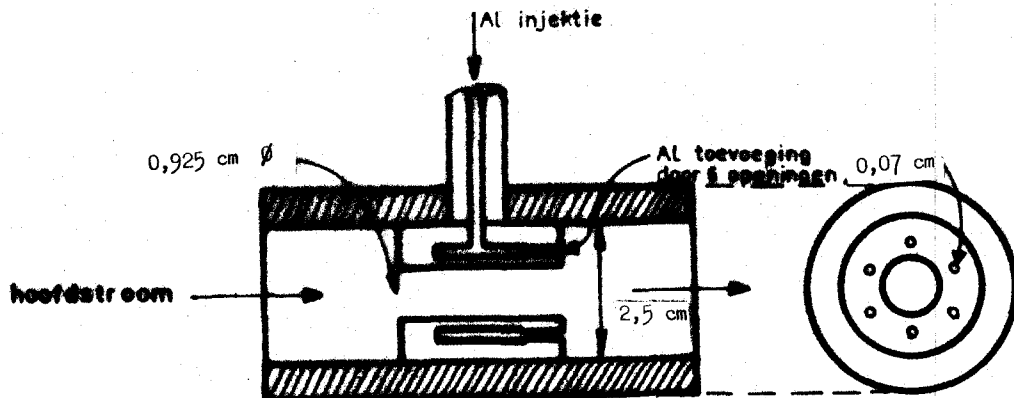


fig.10e menger 5 dwarsdoorsnede en zijaanzicht

Menger 3 is een propstroommenger en is beproefd omdat deze menger een zeer snelle homogenisatie geeft en daarom ook wordt toegepast voor studies aan biochemische reacties, die binnen een tijd van 10^{-6} sec. plaatshebben.

Menger 4 is een combinatie van de 1 en 3 en anders geconstrueerd, omdat menger 3 een te groot drukverlies geeft.

Na de menging werd het water geleid in verschillende geroerde bekerglazen, waarin de $G = 18 \text{ sec.}^{-1}$ bedroeg en verschillende roertijden konden worden aangehouden.

De bekerglazen van 1,5 liter waren voorzien van keerschotten.

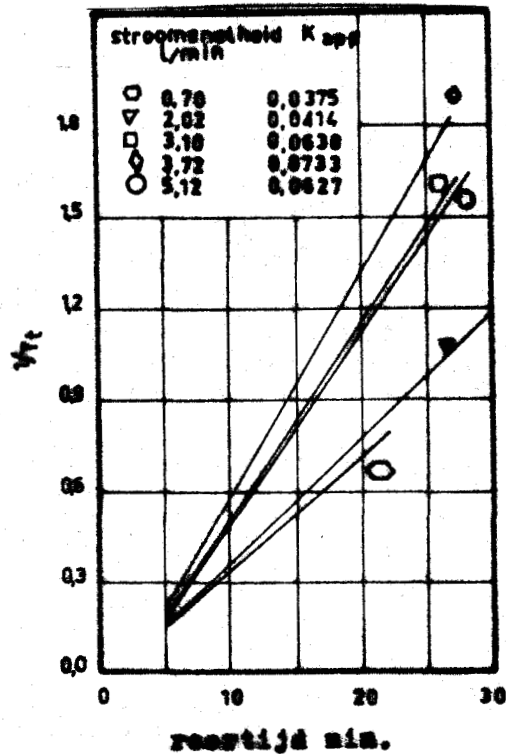


fig.11 Afname van de troebelheid als functie van de roertijd voor 5 verschillende stroomsnelheden (Vrale en Jorden).

De lijnen in fig.11 zijn verkregen met menger 3. De troebelheden zijn gemeten na een bezinktijd van 25 minuten aan het bovenstaande water met een troebelheidsmeter van het type Hach Model 2100. Elke lijn correspondeert met een andere stroomsnelheid in de menger. Volgens Vrale en Jorden beantwoorden deze lijnen aan de relatie:

$$\frac{1}{T_t} = \frac{1}{T_0} + K_{app} \cdot t,$$

waarin:

T_t = troebelheid na t min. roertijd en 25 min.
bezinktijd

T_0 = troebelheid na 0 min. roertijd en 25 min.
bezinktijd

t = roertijd in min.

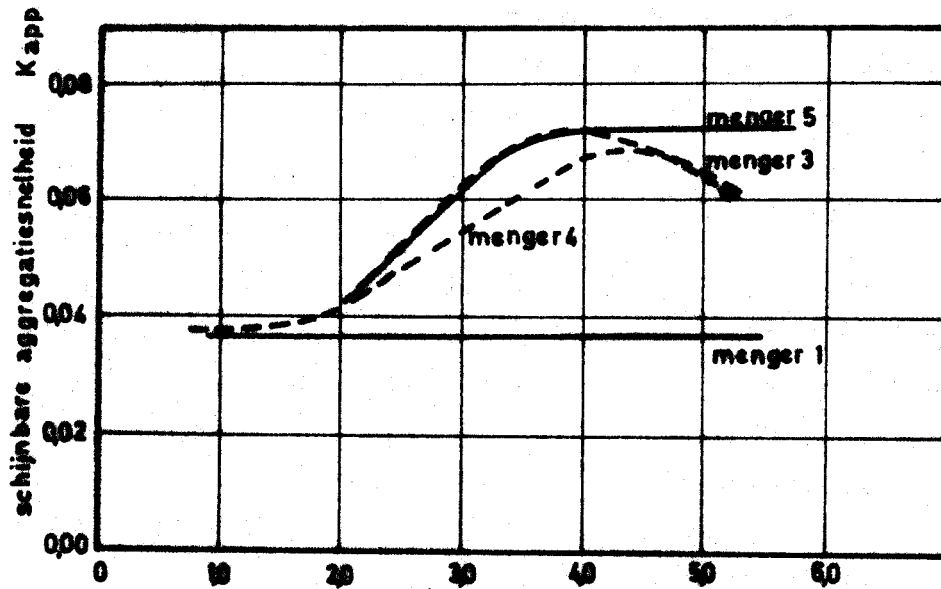
Kapp. = helling van de rechte lijn (fig.11) met de
horizontaal; deze coëfficiënt wordt aange-
duid als de "schijnbare aggregatiesnelheids-
coëfficiënt".

Uit fig.11 blijkt dat de reciproke van de troebel-
heid rechtlijnig toeneemt als de vlokvormingstijd
wordt verlengd. Bovendien blijkt de grootste hel-
lingshoek, die gelijkgesteld is aan de Kapp.-waarde,
te corresponderen met de laagste troebelheden. De
Kapp is een parameter, die informatie geeft over de
snelheid, waarmee de vlokken tijdens de vlokvorming
aangroeien. Zoals Vrale en Jordan hebben aangetoond,
blijkt de schijnbare aggregatiesnelheid in belang-
rijke mate afhankelijk van de mengefficiëntie te
zijn.

De mengsituatie die voor menger 3 overeenkomt met
de stroomsnelheid 3,72 l/min. geeft de hoogste
Kapp-waarde (0,0733) en lijkt daardoor de optimale
menging voor menger 3 te zijn.

De resultaten voor de overige vermelde mengers,
waarin de stroomsnelheden en, voor menger 2 ook het
toerental zijn gevarieerd, worden weergegeven in
de figuren 12, 13 en 14. Hierin zijn de Kapp-waarden

uitgezet als functie van respectievelijk de door-
stroomsnelheid, het toerental en de G-waarde.



stroomsnelheid l/min.

fig.12 Aggregatiesnelheid als functie van de stroom-
snelheid in de propstroommengers

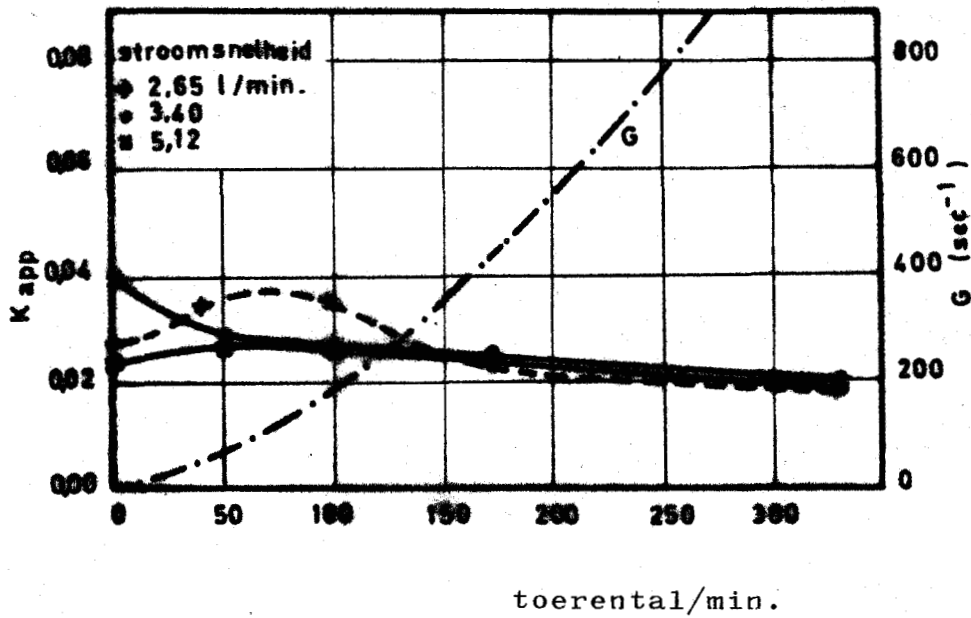


fig.13 Aggregatiesnelheid als functie van het toerental van een roterende menger

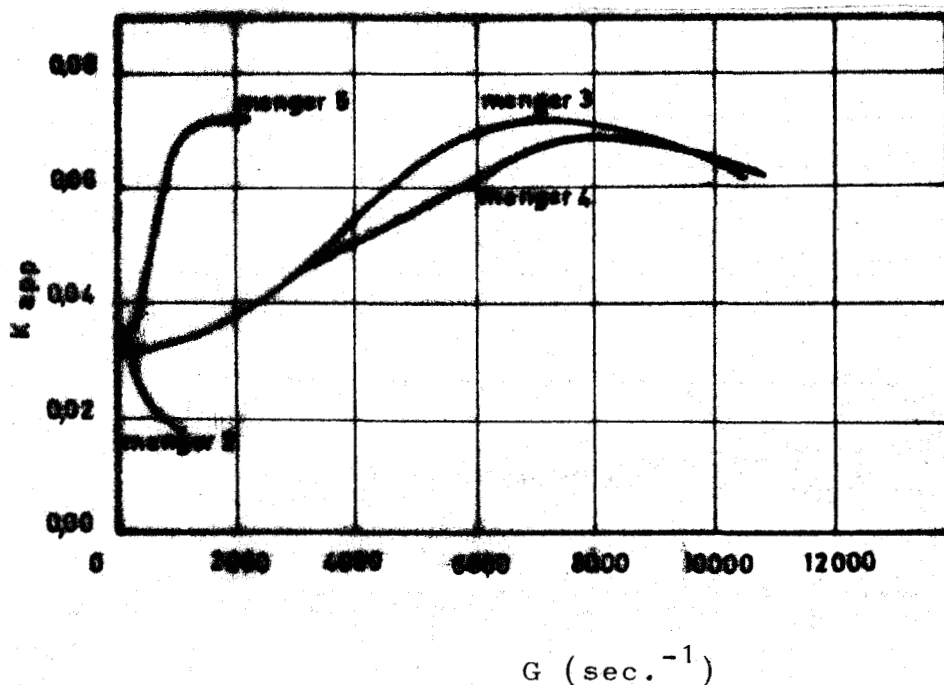


fig.14 Aggregatiesnelheid als functie van G

Figuur 11 laat zien, dat een hogere waarde voor Kapp duidt op een hogere aggregatiesnelheid ten gevolge van een betere menging. Figuur 12 laat zien dat de efficiëntie van de menging in een buis zonder restricties, zodat hogere turbulenties alleen door hogere stroomsnelheden worden bewerkstelligd, gering is.

Figuur 13 illustreert duidelijk dat de menging in de roterende menger (menger 2) een zeer slechte vlok-vorming tot gevolg heeft gehad, en dat verhoging van de G-waarde van 0 tot 1200 sec.^{-1} de vlok-vorming niet gunstig heeft kunnen beïnvloeden.

De mengtijd varieerde hierbij van 11,7 tot 25 sec., afhankelijk van het debiet. Menger 5 (fig.14) heeft de beste resultaten gegeven betreffende de laagste waarde voor de troebelheden na de toegepaste vlok-vormingsperioden en na het bezinken van het gevlokte water; ofwel de hoogste Kapp-waarde bij G-waarden van 1000 à 2000 sec.⁻¹, terwijl bij hogere G-waarden geen nadelige invloed op de vlokvorming is geconstateerd.

Menger 3 heeft dezelfde menfefficiëntie opgeleverd, echter bij de veel hogere G-waarde van ca.7000 sec.⁻¹ bij eenzelfde debiet. Dit duidt erop, dat de plaats van vlokmiddeldosering, zoals in menger 5, gunstiger is dan de plaats van de dosering voor de vernauwing, zoals in menger 3 is gebeurd.

3.3 Enkele praktijkvoorbeelden van mengsystemen

In het pompstation Andijk (PWN) vindt de coagulatie met FeClSO_4 plaats door menging en door de vlok-vorming en vlokverwijdering in een hydrotreater gevolgd door snelfilters. De dosering van de Fe^{3+} -zoutoplossing vindt plaats in de toevoerleiding met circa 14 sec. verblijftijd naar het mengcompartiment. Hierin worden tevens $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en aktieve poederkool gedoseerd. In het mengcompartiment ondergaat het water een mengtijd van tenminste 25 sec.

De snelheidsgradiënt in de menger bedraagt ca. 500 sec.⁻¹.

In het zuiveringsbedrijf Berenplaat bestaat de coagulatie uit een menging in drie achtereenvolgende

mengcompartimenten met elk een impellermenger en de vlokverwijdering in vlokkendekenfilters en snelfilters (lit.14). De mengtijd per compartiment bedraagt normaal ten minste 20 sec. en de G-waarde circa 320 sec.^{-1} . In het eerste compartiment wordt reeds voor de inlaat van het compartiment de Fe^{3+} -oplossing gedoseerd. In het tweede en derde compartiment worden de overige benodigde chemicaliën gedoseerd. De ervaringen in dit zuiveringsbedrijf hebben aangetoond dat de bedrijfsvoering van het proces zeer kritisch is en dat de stabiliteit van het vlokverwijderingssysteem betrekkelijk gering is. Soms worden hoge troebelheidwaarden van het snelfiltraat gevonden. Deze kunnen echter worden tegengegaan door de ijzerdosering te verhogen.

In het pompstation Oelegem van de Antwerpse Waterwerken vond de menging $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ -oplossing in het verleden plaats in drie achter elkaar geschakelde mengcompartimenten met elk een propeller en een verblijftijd van circa 41 sec. en een G-waarde van circa 425 sec.^{-1} .

In 1972 is deze mengmethode verlaten en gewijzigd in een menging in een waterval, die zich voor het oorspronkelijke menggedeelte bevindt. Door deze wijziging is het Al-gehalte en de troebelheid van het bezonken water aanzienlijk verlaagd. Bij deze mengmethode vindt de dosering van de Al-oplossing plaats via een geperforeerde buis, die zich boven en over de gehele breedte van de waterval bevindt,

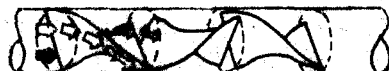
De storthoogte van het water bedraagt 20 cm. De menging vindt plaats binnen 0,1 sec. met een G-waarde van circa 4000 sec.^{-1} ($Re = 40.000$).

3.4 Enige praktische aspecten van statische mixers

Menging van de chemicaliën in de coagulatieprocessen met behulp van statische mixers wordt in de praktijk zeer weinig toegepast. Wel wordt in Nederland dit type menging uitgebreid op proeffabrieksschaal bestudeerd.

Bij de proefinstallatie (menging, hydrotreater, snelfilter) van de Duinwaterleiding 's-Gravenhage worden de chemicaliën FeCl_3 (41 %-ige oplossing) en vlokhelpmiddel-oplossing gedoseerd in de $\varnothing 300 \text{ mm}$ toevoerleiding van de hydrotreater, die een gemiddelde capaciteit van $160 \text{ m}^3/\text{h}$ (max. circa $300 \text{ m}^3/\text{h}$) heeft.

mengsituatie op: t_1



t_2



t_3



fig.15 Mengprincipe van de Kenics-menger

In lit.16 is een beschrijving van een in Amerika ontwikkeld "in-line" statische menger opgenomen. Het principe van deze statische menger is als volgt. In een buisvormig huis bevinden zich meerdere segmenten (1 module heeft 6 segmenten). De elementen zijn over een lengte van circa 1,5 maal de buisdiameter spiraalvormig 180° verbogen strips (fig.15) met een rechtse of linkse gang, die vast aan de wand en aan elkaar in het buisvormige huis geplaatst zijn.

Voor 6 elementen is de lengte van een module ongeveer 9 maal de diameter van de buis.

De inkomende waterstroom wordt door het eerste element in 2 stromen verdeeld en 180° langs de lengte-as gedraaid. Het tweede element verdeelt de waterstroom in 4 delen en geeft weer een draaiing over 180° in de tegenovergestelde richting. Het aantal stroomdelingen is gelijk aan 2^n waarbij n het aantal elementen is.

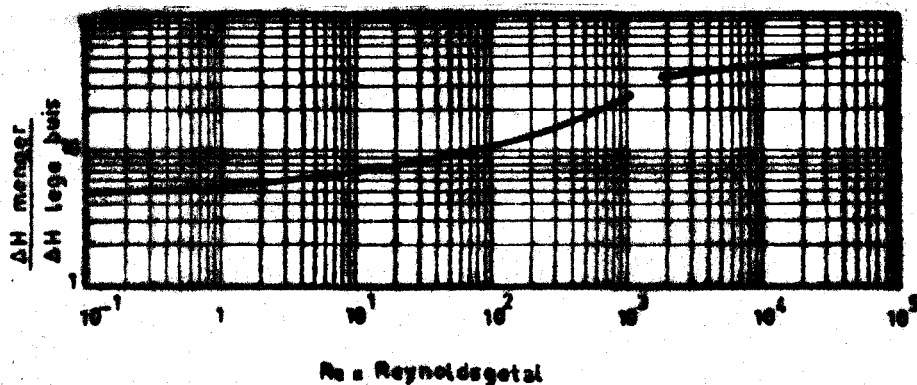


fig.16 Grafiek voor de berekening van het drukverlies over de Kenics-menger

Met behulp van fig.16 is de drukval over dit type statische menger in afhankelijkheid van het Reynoldsgetal te berekenen. Fig.5 stelt ons vervolgens in staat direkt de G-waarde van de menger af te lezen. Bij de D.W.L. Rotterdam is op proeffabrieksschaal de menging met dit type menger (a) vergeleken met de menging van een ander type statische menger (b, principe volgens fig. 10e) en van een propeller-menger (c).

Voor een waterdebiet van $10 \text{ m}^3/\text{h}$ had de statische menger (a) met diameter van $\phi_i = 50 \text{ mm}$ en lengte van 450 mm een verblijftijd van $0,32 \text{ sec.}$ Menger (b) had een diameter van het huis $\phi_i = 100 \text{ mm}$ en een diameter van de inwendige ring $\bar{\phi} = 30 \text{ mm}$ en een verblijftijd van $1,2 \text{ sec.}$ De propellermenger (c) bevond zich in een rond vat met een verblijftijd van 30 sec. De G-waarde van menger (a) volgens bovenstaande berekeningsprocedure bedraagt 4800 sec.^{-1} .

Voor menger (b) is de drukval berekend uit

$\frac{1}{2} \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{g}$ en is aangenomen dat de mengweg gelijk is aan 5 maal de diameter (lit.17).

Volgens fig.5 heeft deze menger een G-waarde van circa 2300 sec.^{-1} . Voor de G-waarde van de propellermenger is gemeten 800 sec.^{-1} . In tabel 2 zijn enkele proefresultaten betreffende ijzergehalte en troebelheid van het effluent na vlokvorming en vlokverwijdering (getrapte vlokvorming en buizenbezinker) gegeven. De beide propstroommengers hebben een significant gunstiger effect op de coagulatie en de vlokverwijdering dan de propellermenger.

De hogere G-waarde van menger (a) en waarschijnlijk de kortere verblijftijd c.q. mengtijd ten opzichte van de G-waarde en verblijftijd van menger (b) blijken het vlokverwijderingseffect van de buizenbezinker te vergroten.

Tabel 2

	statische menger (a)	statische menger (b)	propeller menger (c)
Biesboschwater temp.: 18°C Fe ³⁺ -dos.: 12 mg/l Wispro : ½ mg/l	G = ca. 4800 sec. ⁻¹ Δ H = ca. 1,4 m WK T = ca. 0,32 sec. Re = ca. 4 x 10 ⁵	2300 sec. ⁻¹ 0,8 m WK 1,2 sec. 0,25 x 10 ⁵	800 sec. ⁻¹ - 30 sec. -
Effluent buizenbezinker			
Fe-gehalte mg/l :	1,2 à 1,5	1,4 à 1,7	2,2 à 2,6
Troebelheid JTU* :	0,5 à 0,7	0,7 à 1,0	1,7 à 2,0

*Metertype: Hach Surface Scatter Turbidity 1889

In het bedrijfslaboratorium Berenplaat is de invloed van de ijzer (III)-dosering en de watertemperatuur op de Kapp-waarde gemeten. De experimenten zijn uitgevoerd met een statische menger van het type (a) en met een schaalmodel van de impellermenger die zich in het bedrijf Berenplaat bevindt. De statische menger heeft een diameter van 2,5 cm met 6 elementen en een verblijftijd van 1,5 sec. gehad. In de impeller-menger met toerental 80 r.p.m. is een verblijftijd van 20 sec. gehanteerd. De doorstroomcapaciteit heeft bij beide mixers 25 l/min. bedragen.

Met stijgende watertemperatuur van 4 tot 10°C nam de Kapp-waarde bij de statische menger toe van 0,034 tot 0,058. Door een verhoging van de ijzerdoserings van 6 naar 10 mg Fe³⁺/l nam de Kapp-waarde bij 10°C toe van 0,038 tot 0,058. Met de impeller-menger waren dezelfde tendenzen aantoonbaar. Echter de hoogste gemeten Kapp-waarde is 0,034 geweest. Deze waarde is bovendien gemeten bij de hogere watertemperatuur van 20°C. Onder verschillende bedrijfsomstandigheden zijn de Kapp-waarden, gemeten na de menging van de ijzeroplossing met de impeller-menger van het bedrijf Berenplaat vergeleken met de troebelheden van het gecoaguleerde water na snelfiltratie. De resultaten zijn weergegeven in fig.17.

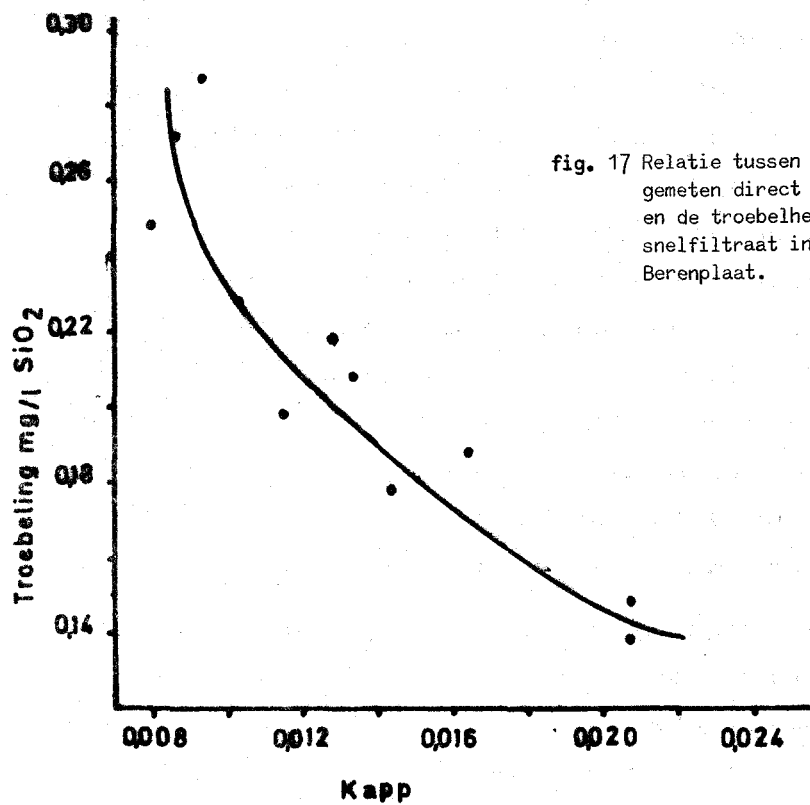


fig. 17 Relatie tussen de Kapp-waarden, gemeten direct na de menging, en de troebelheid van het snelfiltraat in het bedrijf Berenplaat.

De correlatie tussen de Kapp-waarde en de troebelheid van het reinwater is duidelijk aanwezig. Hoewel de gemeten Kapp-waarden kleiner dan 0,021 zijn geweest, is toch de bruikbaarheid van deze parameter als een mengcriterium voor praktijkinstallatie aangetoond.

Een ander nieuw type statische menger, dat de aandacht verdient is de zogenaamde "Sulzer-menger". Deze menger bestaat uit meerdere mengelementen, die beurtelings 90° gedraaid in een buis geplaatst zijn. Elk element bestaat uit gegolfde platen, die zodanig op elkaar zijn geplaatst, dat zich open, kruisende kanalen vormen (lit.15).

Voor water wordt in de brochure een lengte van dit type menger van 3 à 5 maal de buisdiameter aanbevolen. De lengte van de mengelementen is normaal gelijk aan de diameter van de buis. Dit type menger is in de praktijk van de drinkwaterbereiding nog niet toegepast, derhalve lijkt nader onderzoek naar de mengefficiëntie van dit mengertype zeer gewenst. De twee gegeven voorbeelden van statische mixers worden reeds toegepast in de procesindustrie en wel voor het mengen van onder andere stoffen met een hoge tot zeer hoge viscositeit en vaste stoffen.

In diverse coagulatiebedrijven in Engeland, o.a. in het bedrijf van de East Surrey Watercompany wordt de statische menging van het vlokmiddel uitgevoerd met een menger van het fabrikaat Paterson Candy International (fig.18). Hierbij wordt het

vlokmiddel gedoseerd in de leiding direct voor een stilstaande impeller, die aan het langsstromende water spiraalvormige stroomlijnen meegeeft. Achter de impeller bevindt zich het doseerpunt. De venturi dient om de turbulentie in het water na de menging te doen afnemen. Zowel de stand van de stilstaande schoepen ten opzichte van de lengte-as, als het aantal schoepen en de afmetingen van de menger zijn te variëren.

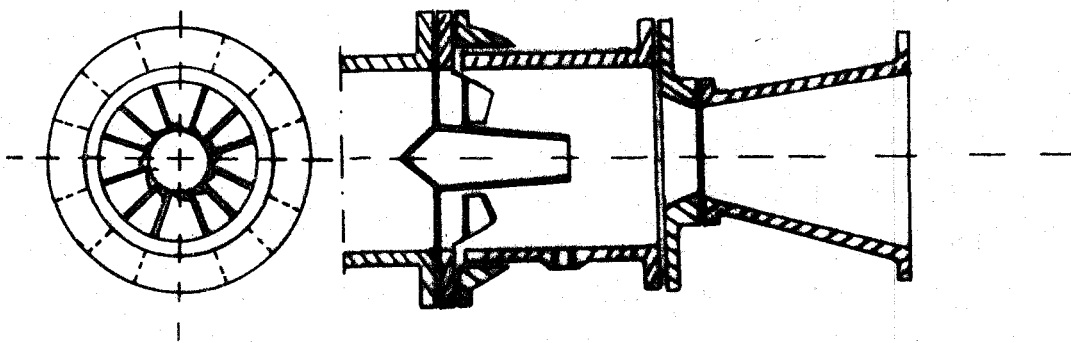


fig.18 De Paterson Candy statische menger

3.5 Samenvatting en conclusies

Het doel van een menging is het gelijkmatig verdelen van een of meer te doseren al of niet opgeloste

chemicaliën in het water in een optimaal, zo kort mogelijk tijdsbestek.

Van Al en Fe is bekend dat de hydrolysereacties bij de coagulatie in 10^{-10} à 1 sec. plaatsvinden, terwijl ook binnen deze tijd reeds polymerisatie optreedt. Bij lage pH-waarden in het te behandelen water treedt bovendien ongewenst type hydraat op. Om nu de adsorptie te doen plaatsvinden, moet de tijd, die voor de diffusie van Al- en Fe-ionen en de te adsorberen verontreinigingen naar elkaar toe (perikinetische vlokvorming) nodig is, kleiner zijn dan de benodigde tijd voor de volledige hydrolyse.

Indien er bij of na de menging chemische en fysische reacties plaats vinden, zijn de reactiesnelheden bepalend voor de mengtijd, waarin de complete homogenisatie moet zijn voltooid. In het geval dat nevenreacties (ongewenste) en volgreacties (orthokinetische vlokvorming) naast de hoofdreacties (volledige hydrolyse) optreden, is bovendien de verblijftijdspreiding van het fluïdum in het mengsysteem van grote invloed op de mengefficiëntie.

Als we een te grote verblijftijdsspreiding bij de menging hebben, dan zal een gedeelte van het reeds gevlokte water dat zich reeds in de orthokinetische fase bevindt, te lang worden onderworpen aan een te hoge mengenergie. Andere gedeeltes van het water zullen te weinig mengenergie ontvangen. Evenzo geldt dit voor de concentratieverdelingen van de gedoseerde chemicaliën.

De snelheidsgradiënt G is een bruikbare maat voor het vastleggen van de mengomstandigheden van een bepaald systeem. Voor de mengsystemen, waarbij de turbulentie een hydraulisch drukverlies geeft, is het drukverlies eveneens een goed maatstaf om de mengomstandigheden te karakteriseren. Echter beide parameters geven geen beeld van de mengefficiëntie. Wel kan worden gesteld dat bij hogere G -waarden en in het algemeen bij grotere drukverliezen en mengefficiëntie groter is.

Door Camp is aangegeven dat bij bekerglasproeven een minimale G -waarde van 1000 sec.^{-1} nodig is voor de opmenging van Fe- en Al-oplossingen in water en dat als $G = 10.000 \text{ sec.}^{-1}$ of groter er ongunstige omstandigheden voor het verdere verloop van de vlokvorming ontstaan.

Voorts worden in de literatuur mengtijden van 30 sec. geadviseerd, terwijl daarnaast ook de suggestie gedaan wordt om de mengtijd tot minder dan 10 sec. te beperken. Op semitechnische schaal is aangetoond bij de D.W.L. Rotterdam dat bij menging in 0,32 sec. met $G = \text{circa } 4800 \text{ sec.}^{-1}$ in een statische menger, 40 à 50% lagere Fe-gehalten en troebelheden (JTU) werden verkregen dan bij menging in 30 sec. met $G = 800 \text{ sec.}^{-1}$ met een propellermenger. Geconcludeerd kan worden dat de complete homogenisatie voor Al- en Fe^{3+} -vlokmiddelen bij voorkeur binnen 1 sec. plaats moet vinden, en dat met het oog op het ontstaan van een ongunstig vlogrootteverdeling ten

gevolge van de verblijftijdsspreiding de mengtijd niet langer dan 10 sec. mag zijn. Mede ondersteund door de onderzoekresultaten van Vrale en Jorden, die op kleine schaal met statische mixers hebben geëxperimenteerd, kan geconcludeerd worden dat een G-waarde van tenminste 1000 sec^{-1} voor het mengen van Al- en Fe-vlokmiddelen wenselijk is.

Met kalk, natronloog en polyelektrolieten als vlok-middelen zijn de chemische en fysische reacties voor de vlokvorming weliswaar snel, doch de kristal-vorming verloopt langzamer, terwijl tijdens de meng-fase geen ongewenste nevenreacties of volgreactionen optreden. Voor het verkrijgen van een gelijkmatige kwaliteitsverbetering door de betreffende behandeling moet een complete homogenisatie door menging gewaarborgd zijn. Om te voorkomen dat een gedeelte van het te behandelen water te veel chemicaliën ontvangt en een ander gedeelte te weinig, dient de verblijftijdsspreiding eveneens beperkt te zijn. Voor het verkrijgen van een complete homogenisatie van deze chemicaliën kan men een mengtijd van bijvoorbeeld 10 sec. of korter aanhouden. De hierbij wenselijk geachte mengenergie kan overeenkomen met een $G \geq 1000 \text{ sec.}^{-1*}$. Voor alle chemicaliën geldt dat een simultane meervoudige injectie van de te doseren oplossingen voor een eerste momentane verdeling kan zorgen.

De mengefficiëntie met betrekking tot de menging van Al- en Fe-zouten is op een eenvoudige wijze te bepalen met de Kapp-waarde, zoals deze is beschreven

* Hiermede is geen uitspraak gedaan - 69 -
over de vereiste G-waarde bij schaalvergroting. Hierover zal nader gerapporteerd worden.

door Vrale en Jorden. Door eigen metingen kon aangetoond worden, dat de parameter Kapp, gemeten na de menging, een duidelijke relatie vertoont met de eindtroebelheid van het coagulatieproces, dus na de fijnfiltratie. Met statische mixers is de maximaal bereikbare Kapp-waarde 0,04 à 0,07. Voor roterende mixers is de Kapp-waarde een faktor 2 à 3 lager.

Een nabeschuiving van de mengsystemen levert de volgende conclusies op.

Bekerglasproef

Bij de menging in bekerglazen is de verblijftijd voor alle volumedelen exact gelijk. Voor een goede en snelle opmenging van het vlokmiddel is een G-waarde van ten minste 1000 sec.⁻¹ noodzakelijk.

Deze hoge G-waarde is in bekerglazen van 1 à 2 liter te verwezenlijken door gebruik te maken van keerschotten. Verkorting van de benodigde mengtijd tot minder dan 10 sec. zal bijdragen tot een goede reproduceerbaarheid, mits een complete homogenisatie in deze korte mengtijd gewaarborgd is.

Op grond van het feit, dat de bekerglasproef veelvuldig wordt toegepast en het belang van een bekerglasproef duidelijk aanwezig is, leek het de commissie Vlokvorming en Vlokverwijdering zinvol een standaardisatie van de bekerglasproef te verwezenlijken en een aparte mededeling hieraan te wijden.

Mechanische mengers

In de praktijk worden mechanische mengers veel toegepast met een G-waarde van 230 à 1000 sec.⁻¹ en met mengtijden van 25 à 120 sec. Voor dit mengertype is de opvatting ontstaan, dat bij een kleinere G-waarde langere mengtijden noodzakelijk zijn. Volgens het voorgaande is deze opvatting niet juist. De G-waarde moet ten minste 1000 sec.⁻¹ bedragen en verkorting van de mengtijd tot minder dan 30 sec. zal beperking van de verblijftijdsspreiding tot gevolg hebben. Aangetoond is echter, dat dit type menger minder geschikt is voor het opmengen van snel reagerende vlokmiddelen tijdens de mengfase van het coagulatieproces.

Het toepassen van keerschotten en voorafgaande veelvuldige gelijktijdige injecties van de verdunde vlokmiddeloplossing, die voor een eerste snelle verdeling kunnen zorgen, zullen de meng-efficiëntie met dit type menger naar alle waarschijnlijkheid bevorderen.

Het plaatsen van meerdere mengers in cascade zal de mengefficiëntie verkleinen, omdat de absolute verblijftijdsspreiding hierdoor alleen maar wordt vergroot met het ongewenste gevolg dat de vlog-grootteverdeling ongunstig wordt beïnvloed. Dit zal echter niet het geval zijn wanneer de totale mengtijd drastisch wordt verkort.

Waterval

Eén praktijkgeval (AWW, Antwerpen) heeft aangetoond dat de opmenging van vlokmiddelen in een waterval beduidend efficiënter is dan de opmenging met 3 mechanische mengers in cascade. In de literatuur wordt de waterval terloops als een mengsysteem genoemd. De hoge watersnelheid (1 à 2 m/sec.) bij het neerkomen op de stortplaat geeft een zeer hoge turbulentie in het afstromende water. Van belang is dat de vlokmiddeloplossing via meerdere injectiepunten, die min of meer regelmatig over de doorsnede van de vallende waterstraal zijn verdeeld, vlak voor het neerkomen wordt gedoseerd. De benodigde valhoogte zal 0,2 à 0,5 m moeten bedragen. Het Reynolds-getal bedraagt circa 40.000 bij genoemd praktijkvoorbeeld.

Afhankelijk van de ruwwaterkwaliteit bestaat de mogelijkheid, dat hierbij schuimvorming optreedt, zodat lucht in de zich vormende vlokken kan worden ingesloten.

Een onderzoek naar de optimale afmetingen van een waterval, die de functie van menging moet vervullen, moet derhalve wenselijk worden geacht.

Statische mengers

Zowel op laboratoriumschaal als op semitechnische schaal is de bijzonder hoge mengefficiëntie van statische mengers voor het opmengen van vlokmiddelen aangetoond.

Essentieel bij dit mengertype is, dat de diffusiesnelheid in radiale richting wordt verhoogd en dat de diffusie in axiale richting beperkt kan blijven (beperking van verblijftijdsspreiding), omdat een zeer korte mengtijd toepasbaar is.

Het is gebleken bij DWL Rotterdam, dat verkorting van de mengtijd, waarin complete homogenisatie plaatsvindt, meer effect oplevert dan een (evenredige) verhoging van de G-waarde. Als voorlopige aanbeveling voor het ontwerp kan worden genoemd een G-waarde tussen 1000 en 5000 sec.⁻¹ en bij voorkeur een mengtijd van maximaal 0,5 à 1 sec. Hierbij kan voor het Reynoldsgetal, betrokken op de menger zonder elementen, de waarden 10⁴ of hoger worden aangehouden.

Aangezien de experimenten op semitechnische schaal veelbelovend zijn, lijkt een onderzoek op praktijkschaal dringend noodzakelijk.

4 PRAKTIJK VAN DE VLOKVORMING

4.1 Vlokmiddelen en vlokhelpmiddelen

4.1.1 Toepassingen van vlokmiddelen (Al- en Fe-zouten)

Het meest toegepaste vlokmiddel in de techniek van de drinkwaterbereiding is het aluminiumzout $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. Met name in de Amerikaanse literatuur zijn experimenten beschreven, welke voornamelijk met aluminiumsulfaat zijn uitgevoerd, terwijl een klein aantal publikaties handelen over experimenten, die met ferri-zouten zijn uitgevoerd. Uit een enquête, gehouden onder 40 duitse waterleidingbedrijven (Haberere, lit. 18) bleken 27 bedrijven aluminiumsulfaat toe te passen, 7 bedrijven pasten natriumaluminaat (Na_3AlO_3) toe, terwijl daarnaast bij 6 bedrijven ijzer (II)-sulfaat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en bij 6 andere bedrijven ijzer (III)-chloride werden toegepast.

Gomella (lit.19) meldt de toepassing van $(\text{Al}_2(\text{OH})_n \text{Cl}_{6-n})$ met $n < 6$ in Frankrijk en in Japan. Dit vlokmiddel heeft een minder zuur karakter in tegenstelling tot de bovengenoemde aluminium-, de ferro- en de ferrizoutoplossingen, die zo sterk zuur zijn ($\text{pH} < 2$), dat bij coagulatie hiermee een base gedoseerd moet worden voor pH-correctie.

In Engeland wordt veelal het (Engelse) handelsproduct $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ in opgeloste vorm gebruikt. Werner

(lit.20) beschrijft de toepassing van ferrisulfaat, dat is verkregen door middel van oxidatie van ferrosulfaat met (lucht-) zuurstof en met gebruikmaking van actieve kool als katalysator (volgens een Lurgi-patent). Deze oxidatie dient plaats te vinden in een met H_2SO_4 aangezuurde oplossing. In Nederland worden met name door G.W. Amsterdam en W.R.K. te Nieuwegein oplossingen van ferrichloride (41%-ige oplossing) als vlokmiddelen toegepast. Deze handelsprodukten zijn afkomstig uit Frankrijk en België. Enkele waterleidingbedrijven, met name D.W.L. Rotterdam en P.W.N. te Andijk bereiden in situ de ferrioplossing uit ferrosulfaat, dat wordt geoxideerd met chloor. In deze bedrijven wordt chloor bovendien voor andere doeleinden (breekpuntchloring, desinfectie) bij de zuiveringen gebruikt.

Sinds korte tijd is oxidatie van ferrozouten met luchtzuurstof en actieve kool meer in de belangstelling geraakt bij de Nederlandse waterleidingbedrijven. Een belangrijk voordeel van geoxideerd ferrosulfaat is, dat de ferrioplossing nagenoeg vrij is van onzuiverheden in tegenstelling tot de verschillende ferrichlorideoplossingen, die in bepaalde gevallen verontreinigd kunnen zijn met ongewenste concentraties van zware metalen en resten van inhibitoren. Evenals uit de lit.21 en 22 blijkt, lopen de toegepaste Fe- en Al-doseringen sterk uiteen en wel van 1 tot 45 mg Fe per liter en van 0,6 tot 16 mg Al per liter.

Volgens bovengenoemde vlokmiddeldoseringen blijken de toegepaste ijzerdoseringen ongeveer een faktor 3 hoger te moeten zijn dan de toegepaste aluminiumdoseringen. Morel (lit.23) heeft dit ook geconstateerd met behulp van zetapotentialmetingen die zijn uitgevoerd aan Maaswater uit het Albertkanaal met de Riddick Zetameter volgens bijbehorende handleidingen. Hij stelt dat de zetapotential (ZP) onmiddellijk na de menging van de vlokmiddelen nul moet zijn voor een goede vlokvorming en vlokverwijdering én voor een maximaal zuiveringseffekt.

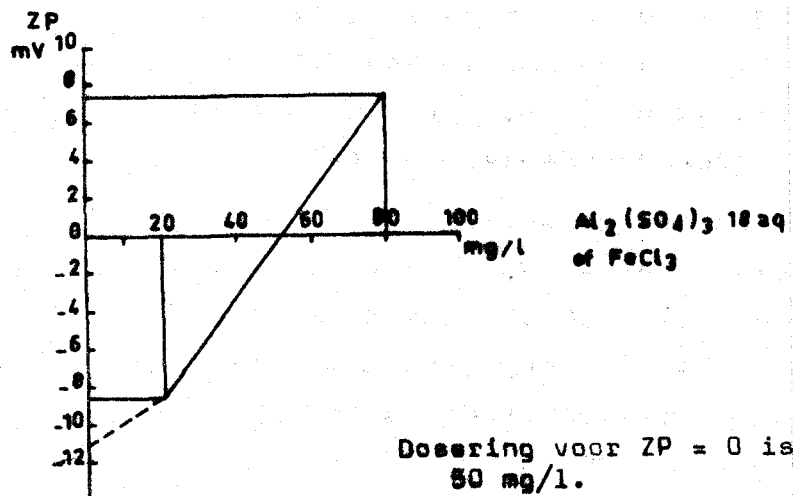


fig.19 Relatie tussen ZP-waarde en vlokmiddeldosering (Morel)

Fig.19 laat zien hoe de ZP-waarde varieert met toenemende vlokmiddeldosering. Voor het opstellen van deze grafiek worden in twee bekerglazen, gevuld met ruw water, respectievelijk een zeer lage vlokmiddeldosis (bijvoorbeeld 20 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ of Fe Cl_3 per liter) en een hoge vlokmiddeldosis (bijvoorbeeld 80 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ of Fe Cl_3 per liter) toegevoegd en gedurende enige seconden zeer intensief gemengd. Direct na de menging wordt zo vlug mogelijk de zetapotential bepaald door per bekersglas aan 10 à 15 individuele deeltjes de elektroforetische snelheid te meten. Deze metingen leveren dan de twee uiterste punten van de lijn in fig.19 op. Vervolgens wordt ervan uitgegaan, dat de rechte lijn, die de twee gemeten punten verbindt de werkelijke ZP-waarde bij de tussenliggende vlokmiddelhoeveelheden zeer nauwkeurig benadert.

Overeenkomstig de resultaten van fig.19, die zijn verkregen met Albertkanaalwater, geven zowel 50 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ als ook 50 mg Fe Cl_3 per liter een $\text{ZP} = 0$. Uit dit gegeven concludeert Morel dat de coagulatie uitsluitend optimaal kan verlopen, mits 15,2 mg Fe^{3+} per liter of 4,1 mg Al per liter wordt gedoseerd. Met aanvullende bekerglasproeven wordt in de praktijk door Morel c.s. vastgesteld hoeveel de hulpmiddeldosering dient te bedragen voor het verkrijgen van een snelle bezinking. Hierbij wordt de verhouding vlokmiddel/vlokhulpmiddel zo gekozen dat $\text{ZP} \approx 0$ voor elke verhouding wordt verkregen.

Morel vermeldt dat bij coagulatie met 50 mg/l FeCl_3 de ijzerslibproduktie op gewichtsbasis drie maal groter is dan de aluminiumslibproduktie bij coagulatie met 50 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$.

In tabel 3 op pagina 118 zijn de vlokmiddeldoses, die in Nederland worden toegepast, vermeld. Deze doseringen lopen sterk uiteen van 3 tot 15 mg Fe^{3+} /l. De vermelde vlokmiddeldoses zijn in de meeste gevallen gelijk aan de minimaal benodigde vlokmiddelhoeveelheid, waarbij de coagulatieprocessen nog goed blijven functioneren. Het criterium hierbij is, dat primair de colloïdale en zwevende stoffen en het gedoseerde vlokmiddel zo veel mogelijk uit het water weer worden verwijderd.

Het zuiveringseffekt inzake de verwijdering van organische stoffen door de coagulatie speelt een secundaire rol.

Aanpassing van de ijzerdoseringen in de genoemde coagulatieprocessen aan de ruwwaterkwaliteit is noodzakelijk. De benodigde vlokmiddeldoseringen hangen in sterke mate af van onder andere de troebelheid, de algenpopulatie en de temperatuur van het ruwe water en ook van de voorbehandeling (spaarbekken, breekpuntschloring). De ijzerdoseringen zijn meestal zo afgesteld, dat doorslag van de vlokverwijderingseenheid en van de nageschakelde snelfilters wordt voorkomen. Te hoge troebelheid en te hoge ijzergehalten in het snelfiltraat kunnen eveneens hogere ijzerdoseringen noodzakelijk maken.

Voor de Nederlandse toepassingen mag aangenomen worden, dat de ZP-waarden direkt na de mengfase voor het merendeel negatief of in elk geval niet gelijk aan nul zijn. Bij de coagulatie van water uit spaarbekkens van de Brabantse Biesbosch leveren de toegepaste ijzerdoseringen van 6 tot 15 mg/l negatieve ZP-waarden op. Door eigen onderzoek is aangetoond, dat door een verhoging van de ijzerdosering in het coagulatiebedrijf Berenplaat de ZP-waarde meer naar nul nadert, maar ook wordt hierbij de Kapp-waarde bij de menging groter. Deze verhoging van de Kapp-waarde duidt op een verbetering van de mengefficiëntie.

Deze parallelliteit moet voldoende aanleiding zijn om te onderzoeken in welke mate het zuiveringseffekt kan worden vergroot, indien bij de coagulatie direkt na de menging de $ZP = 0$ wordt gehanteerd.

Daarnaast is onderzoek wenselijk naar de toepassingsmogelijkheden van aluminiumzouten als vlokmiddelen. Soms wordt het coagulatieproces tegelijkertijd uitgevoerd met hardheidscorrectie.

Door het G.E.B. in Dordrecht wordt bijvoorbeeld tijdens de coagulatie met driewaardig ijzer een verlaging van de hardheid nagestreefd. Gelijktijdig met de dosering van de ijzeroplossing (circa 10 mg/l Fe^{3+}) wordt een kalkoplossing (40 à 100 mg/l $Ca(OH)_2$) gedoseerd.

In het pompstation Schijf van de Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant vindt een hardheids-

correctie plaats. De installatie waarmede dit proces gebeurt, kan volkomen analoog aan een vlokvormings- en vlokverwijderingsinstallatie worden beschouwd.

De basedosering bedraagt voor de hardheidscorrectie circa 100 mg NaOH per liter.

De kosten van de genoemde vlokmiddelen voor de Nederlandse situaties worden bepaald door diverse factoren, onder andere de vorm van het produkt (oplossing of vast), de transportafstand en de methode van de ferro-ferrioxidatie.

4.1.2 Typen vlokhulpmiddelen

Oehler (lit.24) geeft een opsomming van de diverse typen hulpmiddelen, welke bij de coagulatie kunnen worden gebruikt. Hij maakte de volgende onderscheidingen in de diverse typen.

- Anorganische vlokhulpmiddelen. Hieronder vallen de klei-achtige zoals bentoniet, kaolien, die evenals microzand vlokverzwarend werken en geactiveerd kiezelzuur, dat vlokvergroterend werkt. Dit hulpmiddel kan worden verkregen door een alkalische natriumsilikaatoplossing voorzichtig te neutraliseren met een zuur reagens, bijvoorbeeld zoutzuur of een zure oplossing van ferri- en aluminiumzouten of met natriumbicarbonaat.
- Organische natuurlijke polyelektrolieten, hetgeen derivaten van de hoogpolymere natuurstoffen zetmeel, cellulose, gelatine e.a. kunnen zijn en die eveneens vlokvergroterend werken. Hieronder behoren

onder andere de zetmeelderivaten perfektamyl en wisprofloc.

- Organische synthetische polyelektrolieten. Voorbeelden van deze vlokvergrotende vlokhulpmiddelen, die als volgt naar hun geladenheid kunnen worden ingedeeld, zijn:

niet-ionische produkten: poly-acrylamide; polyethyleenoxide

anionische produkten: polyacrylzuur; partieel gehydrolyseerd polyacrylamide, pektine en alginaten

kationische produkten: polyethyleenimine en poly(diallyl-dimethylammonium)chloride.

Zowel de anorganische als ook de organische natuurlijke polyelektrolieten kunnen behoren tot de niet-ionische, de anionische of de kationische produkten.

Volgens een enquête (Haberer, lit.18) welke is gehouden onder 40 duitse waterleidingbedrijven, bleken negen bedrijven geactiveerd kiezelzuur te gebruiken, drie bedrijven doseerden wisprofloc 20, één bedrijf wisprofloc P en twee bedrijven pasten een ander type vlokhulpmiddel toe. Diverse artikelen over de aard, de werking en het effect van meerdere vlokhulpmiddelen zijn opgenomen in lit.24.

Sinds enkele jaren wordt in Duitsland het hulpmiddel Praestol (polyacrylamide) toegepast bij de coagulatie van Donauwater te Langenau (lit.20).

In Nederland worden de hulpmiddelen wisprofloc (P en 20) en perfektamyl bij de coagulatie met Fe^{3+} toegepast (zie tabel 3 op pag.118).

Een enkele keer wordt in de literatuur vermeld, dat gesuspendeerde vaste stoffen, zoals kaolien of bentoniet worden toegepast. Meestal heeft dit plaats gevonden bij fundamenteel onderzoek of onderzoek op laboratoriumschaal.

Gomella (lit.19) vermeldt toepassing van microzand (korrelafmeting circa $50 \mu\text{m}$) bij de vlokvorming.

Toepassing in Boedapest heeft geleid tot een verhoging van de bezinksnelheid van de vlokken.

De doseerhoeveelheden van de diverse hulpmiddelen zijn afhankelijk van onder andere ruwwaterkwaliteit en van de temperatuur enerzijds en van de dimensies en het type vlokvormings- en vlokverwijderingsapparatuur anderzijds. De volgende toegepaste doseerhoeveelheden worden door Oehler (lit.24) genoemd:

- zetmeelderivaten : tot 3 mg/l
- polyelektrolieten : tot 1 mg/l
- klei-achtige, zoals
kaolien, bentoniet : tot 1000 mg/l
- geactiveerd SiO_2 : tot 5 mg/l (max.toelaatbaar 40 mg/l)
- microzand : 3000 à 4000 mg/l (Gomella)

4.1.3 Plaats en wijze van menging van vlokhulpmiddelen

Veelal blijkt, dat het vlokmiddel en het vlokhulp-

middel niet tegelijkertijd aan het te behandelen water worden toegevoegd. In het bedrijf Berenplaat (lit.14) wordt het hulpmiddel (zetmeelderivaat) gedoseerd op het moment dat de voorafgaande mengtijd voor het opmengen van de ijzeroplossing circa 20 sec. heeft bedragen. Het mengen van het hulpmiddel gebeurt in een apart volgend mengcompartiment met een verblijftijd van circa 20 sec, en met een G-waarde van circa 300 sec.⁻¹. In het zuiveringsstation Andijk bedraagt de tijd tussen het doseren van de Fe³⁺-oplossing en het doseren van de wispro-oplossing circa 2,5 min. Deze wispro-oplossing wordt in de toevoerleiding juist voor de inlaat van de hydrotreater gedoseerd. Uit semitechnische proefnemingen bij G.W. Amsterdam is gebleken, dat de getrapte vlokvorming (3 compartimenten) en de vlokverwijdering met de lamellenseparator beter verlopen, als de tijdspanne tussen de menging van de Fe³⁺-oplossing en het doseren van de wispro-oplossing ruimer wordt gekozen. Ten behoeve van de ontwikkeling van een coagulatiesysteem voor de zuivering van Donauwater heeft Werner (lit.20) met bekerglasproeven aangetoond, dat een effectieve menging van het hulpmiddel polyacrylamide noodzakelijk is. Bij deze bekerglasproeven met het Donauwater vond de homogenisatie van het vlokmiddel (Fe³⁺) in de eerste mengfase plaats met een mengenergie van 50 à 100 Watt per m³ mengvolume en een mengtijd van circa 2 min. (G = 200 à 275 sec.⁻¹).

In de bekerglazen werden deze vers gevormde vlokken

opgemengd met ouder vlokkenmateriaal, waardoor het principe van vlokkenrecirculatie werd gesimuleerd. De eerste vlokvorming vond plaats tijdens de tweede mengfase met een mengenergie van 50 à 100 Watt per m^3 mengvolume, waarbij de mengtijd gevarieerd werd van 30 min. naar 2 min. De uit deze gegevens te berekenen G-waarden varieerden hierbij van 50 bij 30 min. mengtijd tot 275 sec.^{-1} bij 1 min. mengtijd. Werner vond dat als de menging in de tweede mengfase kort was, bijvoorbeeld 2 min., dezelfde of zelfs betere resultaten bij de bezinking oplevert dan een menging gedurende 30 min.. De voorwaarde hiervoor was, dat de navolgende derde mengfase, waarin de homogenisatie van het vlokhulpmiddel tot stand kwam, onder optimale omstandigheden plaats vond. De vermelde optimale omstandigheden voor de derde mengfase zijn een mengenergie van 50 à 100 Watt per m^3 mengvolume gedurende $1\frac{3}{4}$ min. ($G = 175$ à 250 sec.^{-1}), waarbij max. 0,25 mg polyacrylamide per liter water wordt toegevoegd. In fig.20 wordt de invloed van de mengenergie en de mengtijd van de derde mengfase weergegeven.

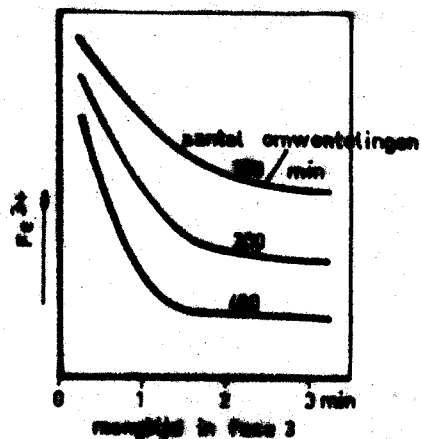


fig.20 Restijzergehalte van het gezuiverde water is afhankelijk van roertijd en roersnelheid bij toevoeging van een vlokhelpmiddel aan het te zuiveren water in fase 3 (Werner)

Het restijzergehalte werd gemeten, nadat het op de boven beschreven wijze gevlokte water in de beker-glazen tijdens de vierde fase (tweede vlokformings-fase) 3 min. langzaam werd geroerd, en vervolgens 5 min. bezinktijd in de beker-glazen had ondergaan. Deze ervaringen met de beker-glazen zijn door Werner verwerkt in een vlokformings- en vlokverwijderings-eenheid van het type accelerator. Hiermee wordt een restijzergehalte in het effluent, dus na bezinking, van 0,05 tot 0,25 mg Fe/l bereikt.

Over deze experimenten valt op te merken, dat de opmenging van de versgevormde vlokken, die uit de eerste mengfase komen, met de zogenaamde gerecirculeerde vlokken in de tweede mengfase zeer intensief is. Daardoor worden de vlokken gedurende de tweede mengfase ongetwijfeld in ernstige mate beschadigd. De derde mengfase, waarin het hulpmiddel wordt opgemengd, blijkt effectiever te zijn als de mengtijd korter wordt en als de mengintensiviteit toeneemt (zie fig.20). Deze methode van vlok-vorming lijkt zeer omslachtig, omdat gevormde vlokken in ernstige mate worden beschadigd. Zij is dan ook volkomen geïnspireerd door het werkingsprincipe van de accelator. De derde mengfase lijkt meer op de menging van een flocculatie en niet meer op de menging van een vlokhulpmiddel, om de vlok-vorming met driewaardig ijzer te bevorderen.

4.1.4 Toepassingen van de vlokhulpmiddelen

Van de werking van vlokhulpmiddelen is bekend, dat zij de aangroeisnelheid van de vlokken doen toenemen en dat zij de ijzer- en de aluminiumvlokken steviger en groter maken. Sontheimer (lit.25) stelt dat de vlokvormingstijd van aluminiumvlokken, die zonder toepassing van hulpmiddel 25 à 30 min. bedraagt, gereduceerd kan worden tot 8 à 10 min., indien 3 mg SiO_2 /l wordt gedoseerd. Door Werner is vastgesteld, dat in het bijzonder met de hoogmoleculaire synthetische polyelektrolieten bezinksnel-

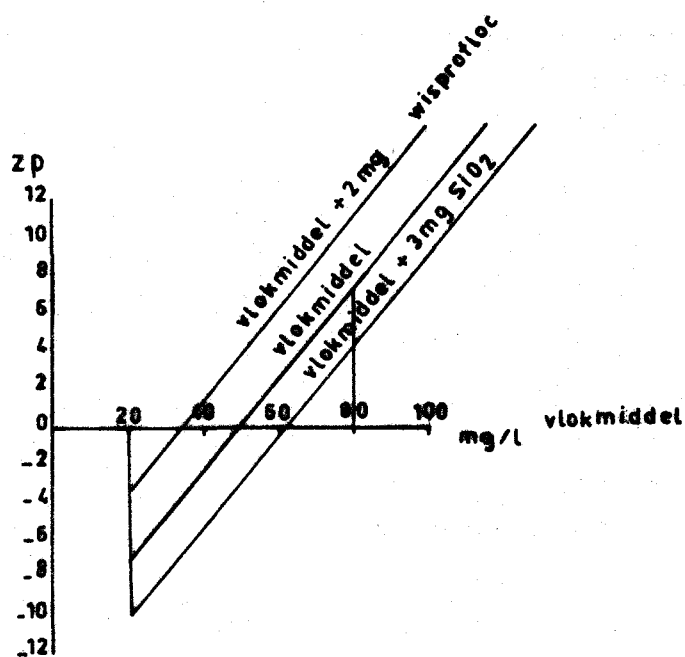
heden van 8 tot 10 m/h bereikt kunnen worden bij coagulatie met Fe^{3+} van Donauwater. Bovendien blijkt uit zijn proefnemingen, dat min of meer ernstig beschadigde oudere ijzervlokken na het doseren en het mengen van het vlokhulpmiddel Praestol in de accelerator gemakkelijk kunnen aangroeien tot goed bezinkbare vlokken (Fe-gehalte na bezinking is 0,05 à 0,25 mg Fe/l).

Werner heeft vastgesteld, dat het vlokhulpmiddel actief kiezelzuur onbevredigd werkt in het geval, dat de coagulatie van het beproefde Donauwater wordt uitgevoerd met driewaardig ijzer. In de literatuur zijn eveneens nimmer experimenten beschreven, waarbij de combinatie van ijzer (III) en actief kiezelzuur met gunstige resultaten is toegepast. Wel is er veelvuldig melding gemaakt van gunstige resultaten bij de toepassing van actief silicium in combinatie met aluminium.

Morel (lit.23) vermeldt, dat het vlokmiddel $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ niet voldoet zonder de toevoeging van een vlokhulpmiddel, en dat actief kiezelzuur een bijzonder geschikt vlokhulpmiddel bij dit vlokmiddel is. Deze combinatie is toepasbaar bij hoge en lage watertemperaturen.

Deze uitspraken zijn gebaseerd op een groot aantal bekerglasproeven, die zijn uitgevoerd in combinatie met de zetapotentialmetingen en op ervaringen met de proefinstallatie en de praktijkinstallaties van de Antwerpse Waterwerken bij de behandeling

van Albertkanaalwater. Het zwevende stofgehalte in dit water varieert van 28 tot 180 mg/l. Ook is vastgesteld, dat het type en de gedoseerde hoeveelheden vlokhulpmiddel de benodigde dosis vlokmiddel beïnvloeden, wanneer het uitgangspunt voor de ZP = 0 direct na de menging wordt gehandhaafd (zie fig.21).



	Dosis mg/l		
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	50	62	35
SiO_2	0	3	0
Wispro p	0	0	2
ZP	0	0	0

fig.21 Relatie tussen de ZP-waarde, de vlokmiddel- en de vlokhulpmiddeldosering (Morel)

Een neutraal vlokhelpmiddel beïnvloedt de benodigde vlokmiddeldosering niet; het vlokhelpmiddel actief kiezelzuur dat een negatieve lading bevat, vormt weliswaar een goede combinatie met het aluminiumsulfaat, doch de benodigde hoeveelheid vlokmiddel voor $ZP = 0$ is groter; het tegenovergestelde geldt voor een positief geladen vlokhelpmiddel, zoals bijvoorbeeld wispro-floc P.

Volgens Sontheimer is van vele praktijkinstallaties bekend, dat zij bij watertemperaturen van 15 à 20°C uitstekend functioneren en dat dezelfde installaties slecht functioneren bij 0 à 1°C , omdat de vlok-vorming ontoereikend is. In vele van deze gevallen heeft het toepassen van een vlokhelpmiddel een oplossing kunnen brengen.

In diverse praktijkinstallaties vindt de dosering van vlokhelpmiddel voornamelijk plaats in perioden met lage watertemperaturen (circa 12°C en lager). In de perioden met hogere watertemperaturen wordt bijvoorbeeld in het zuiveringsbedrijf Berenplaat geen vlokhelpmiddel gedoseerd, terwijl in het najaar, als de watertemperatuur daalt tot beneden circa 12°C , de vlokhelpmiddeldosering moet worden bijgezet om doorslag van de vlokkendekenfilters en de snelfilters te vermijden. De aanwezigheid van algen in het ruwe water maakt het in dit bedrijf niet noodzakelijk om vlokhelpmiddel toe te passen, maar een verhoging van de vlokmiddeldosering is hierbij wel noodzakelijk om doorslag te voorkomen.

Volledigheidshalve moet worden vermeld, dat in het zuiveringsbedrijf Berenplaat vóór de coagulatie een breekpuntschloering plaats heeft.

Een geheel ander type vlokhelpmiddel is het microzand. Dit type helpmiddel maakt de vlokken alleen maar zwaarder, zodat bij toepassing hiervan het noodzakelijk blijft een ander type vlokhelpmiddel, dat speciaal de vlogroeisnelheid verhoogt en de vlokken steviger maakt, te doseren. Door Gomella (lit.19) wordt een voorbeeld van een installatie in Boedapest genoemd. In deze installatie kon door toepassing van het microzand de belasting van de vlokverwijderingseenheid met een faktor 3 worden vergroot. Na afscheiding uit het coagulatieslib door middel van een cycloon kan het zand worden gerecirculeerd. Andere toepassingen van microzand-doseringen bevinden zich in Frankrijk en Engeland. Bij het ontwerpen van nieuwe installaties is het wenselijk om de kosten van het vlokhelpmiddelverbruik (exploitatiekosten) af te wegen tegen de extra investeringskosten van een installatie met een langere vlokvormingstijd. Hierbij dient men er wel rekening mee te houden, dat de mogelijkheid om vlokhelpmiddel te doseren nimmer ontbeerd kan worden.

4.1.5 Samenvatting en conclusies

In Nederland worden voor de bereiding van drinkwater door middel van coagulatie uitsluitend driewaardige

ijzeroplossingen toegepast. Redenen waarom aluminiumzouten niet geschikt zouden kunnen zijn voor de coagulatie van oppervlaktewater zijn niet te noemen. Dierhalve is een onderzoek naar de mogelijkheid van toepassing van aluminium als vlokmiddel in combinatie met actief kiezelzuur zeker zinvol, temeer daar met aluminium als vlokmiddel de slibproduktie, die uiteindelijk ook verwerkt dient te worden, kleiner is. De toegepaste doseringen van het driewaardig ijzer en van de vlokhulpmiddelen worden voornamelijk bepaald door proefnemingen op semitechnische schaal en op praktijkschaal. In sommige gevallen schijnt met behulp van de zetapotentialmeting samen met de bekerglasproef een meer optimaal gebruik van vlokmiddel bij de coagulatie mogelijk te zijn.

Hetzelfde geldt voor de vlokhulpmiddelen, die in grote aantallen, typen en merken op de markt verkrijgbaar zijn. Slechts de twee merken perfektamyl en wispro worden in Nederland toegepast bij de drinkwaterbereiding. Een centraal uitgevoerde oriëntatie betreffende de toepassingsmogelijkheden van synthetische hulpmiddelen in vergelijking met de natuurlijke vlokhulpmiddelen lijkt dringend gewenst.

Aan het kostenaspect van de toepassingen van vlokmiddelen en vlokhulpmiddelen zal een afzonderlijke mededeling door de commissie vlokvorming en vlokverwijdering worden gewijd. De mengmethode van de vlokhulpmiddelen is minder kritisch dan van de vlokmiddelen, aangezien de vlokhulpmiddelen slechts één

beoogde reactie volgen, namelijk de fysisch-chemische aanhechting aan de kleine vlokken en aan elkaar. Uit het oogpunt van onderbehandeling en overbehandeling is een snelle menging binnen enkele tientallen seconden wenselijk. Bij deze menging kan volstaan worden met G-waarden van 100 à 200 sec.^{-1} , zoals deze in vele gevallen toch voorkomen direkt of korte tijd na de menging van het vlokmiddel in toevoerleidingen, doorvoeropeningen en dergelijke, waarbij van een simultane dosering gebruik kan worden gemaakt. Hoewel het gelijktijdig doseren en mengen van vlokmiddel en vlokhulpmiddel in de praktijk met bevredigende resultaten wordt toegepast, is eveneens aangetoond dat een grotere tijdspanne tussen de menging van vlokmiddel en de menging van vlokhulpmiddel betere resultaten kan bewerkstelligen.

De toepassing van elk willekeurig vlokhulpmiddel is echter alleen verantwoord, wanneer op semitechnische of op praktijkschaal de wijze van toepassing is vastgesteld en het gunstige effect van de toepassing is aangetoond.

4.2 Vlokformingscriteria

4.2.1 Roerenergie, vlokformingstijd en vlokvolumeconcentratie

De vlokformingsomstandigheden worden voornamelijk bepaald door de werkingswijze van de vlokver-

wijderingsmethoden. De indeling van deze methoden is:

- bezinking ten gevolge van de zwaartekracht,
- vlokkendekenwerkwijze,
- vlokingsfiltratie,
- flotatie.

Deze indeling is gevolgd bij de navolgende beschrijving van gegevens uit de literatuur inzake de roerenergie, de vlokvormingstijd en de vlok-volumeconcentratie.

Roerenergie

Door Gemmell (lit.12) wordt gemeld, dat reeds meerdere onderzoekers tot eensluidende conclusies betreffende de invloed van de G-waarde op de vlog-grootte zijn gekomen. De conclusies zijn onder andere, dat de vloggrootte die tijdens de vlog-vormingsperiode wordt verkregen, omgekeerd evenredig is met de toegepaste G-waarde en dat bij te hoge G-waarden de reeds ontstane vlokken kapot worden gemaakt. Voorts stelt Gemmell, dat vlokken met een kleinere afmeting een hogere soortelijke massa hebben. Dit geldt ook voor kapotgemaakte vlogdelen. Hudson (lit.26) en Lagvanker (lit.27) hebben vastgesteld dat door meer intensief roeren tijdens de vlogvorming (hogere G-waarde) eveneens hogere vlogdichtheden kunnen worden verkregen.

Te Kippe en Ham (lit.28) hebben uit proefnemingen op semitechnische schaal met leidingwater, waaraan Min-U-Sil^{*}-poeder is toegevoegd, vastgesteld dat hogere snelheidsgradiënten leiden tot een hogere groeisnelheid van de vlokken, voornamelijk wanneer in het begin van de (orthokinetische) vlokformingsfase hogere snelheidsgradiënten voorkomen. Verder hebben zij kunnen constateren, dat tijdens coagulatie met aluminiumsulfaat bij $G = 140 \text{ sec.}^{-1}$ en hoger reeds gevormde aluminiumvlokken worden kapotgeslagen en dat de vlokken, die tijdens een navolgende periode van 5 min. met $G = 30 \text{ sec.}^{-1}$ worden gevormd, minder goed bezinkbare deeltjes zijn.

Voorts menen zij dat bij een konstante totale GT-waarde een getrapte vlokvorming met afnemende G-waarden de grootste verlaging van de troebelheid oplevert. Deze troebelheid is gemeten na een bezinkperiode van ten minste 30 min.. De laagste troebelheidswaarden zijn door Te Kippe en Ham verkregen bij de G-waarden 140, 90, 70 en 50 sec.^{-1} verdeeld over vier roercompartimenten met elk 5 min. roertijd. In de eerste 5 min. met $G = 140 \text{ sec.}^{-1}$ vond de opmenging van het vlokmiddel plaats. Harris, Kaufman en Krone (lit.29) hebben laboratoriumexperimenten beschreven, welke zijn uitgevoerd in een geroerde en continu doorstroomde vlokformingsruimte bestaande uit één compartiment met ^{*}Min-U-Sil-poeder in water gesuspendeerd geeft een colloïdale oplossing.

keerschotten. Het hierbij gebruikte water is leidingwater geweest, dat door uitsluitend filtratie is verkregen en waaraan ten behoeve van de coagulatieproeven 10 à 40 mg/l kaolien is toegevoegd. Dit water is gevlokt met 25 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in fig.22.

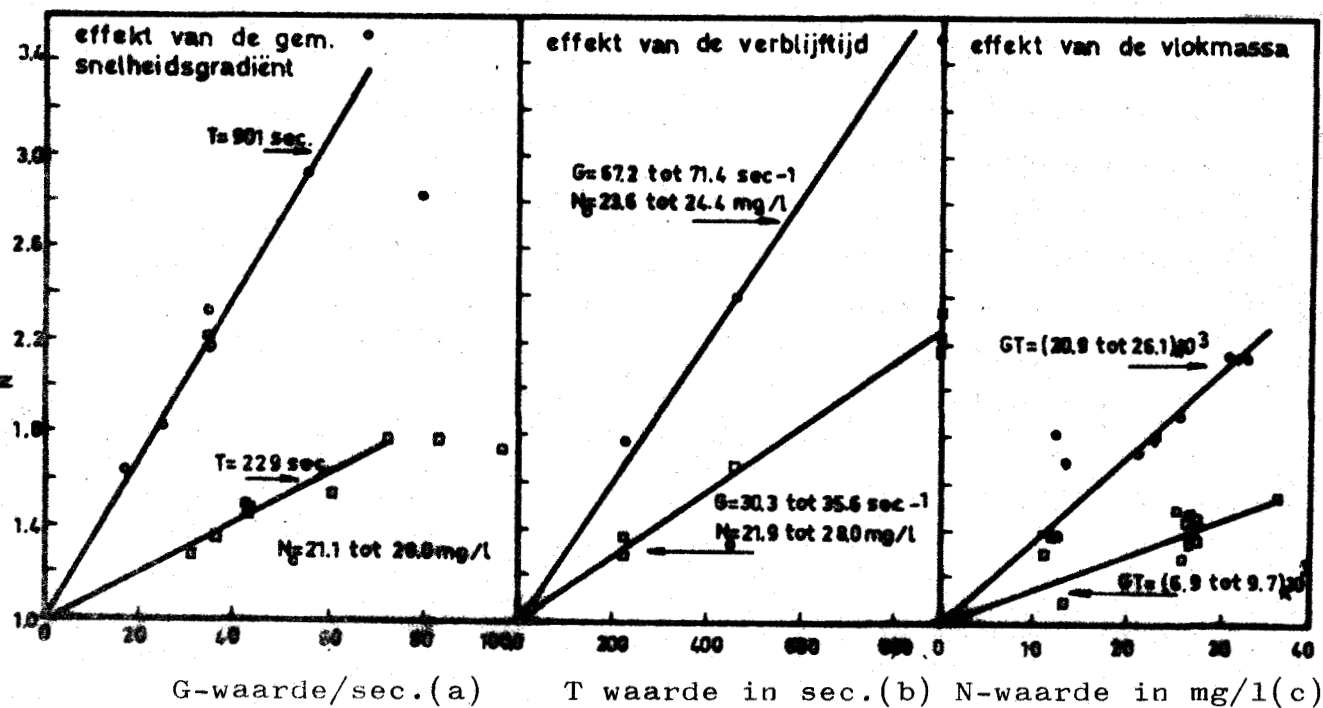


fig.22 Invloed van G, T en de vlokvolumeconcentratie op de $\frac{N_0}{N}$ -waarde (Harris, Kaufman, Krone)

In deze figuur zijn N_0 en N een maat voor de vlokconcentraties van de initiële vlokkenmassa voor de vlokvorming respectievelijk van de vlokkenmassa na de vlokvorming. De vlokconcentraties zijn bepaald aan het bovenstaande water na 30 min. bezinktijd. De concentraties, die zijn uitgedrukt in mg kaolien per liter zijn gemeten met een Bausch and Lomb Spectronic 20 spectrofotometer bij 375 m μ in een ronde buis met diameter 1 inch. Volgens fig.22 neemt de waarde N_0/N toe met toenemende G -waarden tot 70 à 80 sec.⁻¹. Bij hogere G -waarden neemt N_0/N weer af, omdat hierbij grote vlokken, die na geruime tijd zijn ontstaan, worden kapotgemaakt.

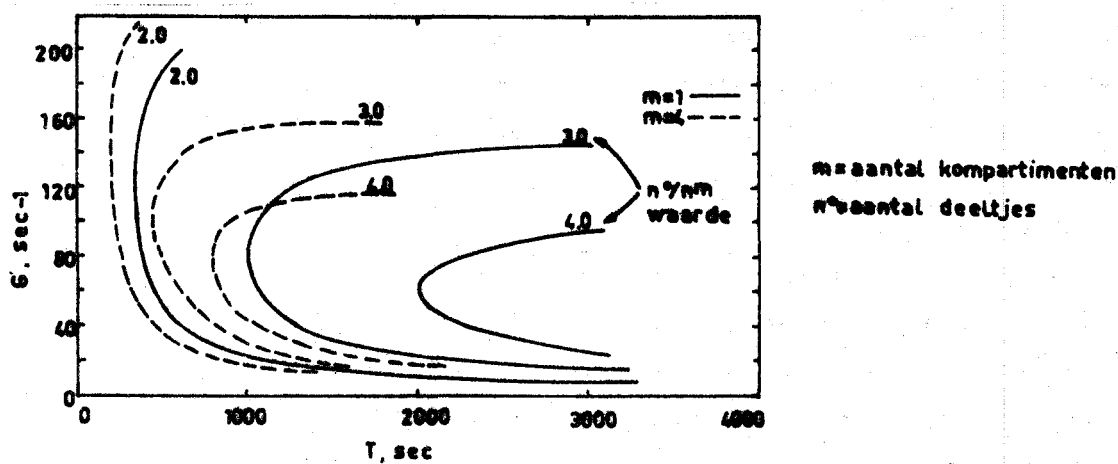


fig.23 Verband tussen n^0/n^m en G , T en m , (Argaman en Kaufman)

Argaman en Kaufman (lit.30) hebben een studie over de vlokvorming in 1 en in 4 continu doorstroomde compartimenten beschreven. Resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in fig.23. Hierin is n het aantal compartimenten, n^0 en n^m zijn de concentraties van het aantal deeltjes in het bovenstaande water na 30 min. bezinktijd. Het influent is bemonsterd nadat het vlokmiddel is toegevoegd en het effluent na het verlaten van de (vlokvormings-) reactor. De proeven zijn uitgevoerd met leidingwater, waaraan 25 mg/l kaolienpoeder werd toegevoegd en dat vervolgens werd gecoaguleerd met 25 mg $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ per liter. Hierbij is n , welke is uitgedrukt in mg kaolien per liter, gemeten met een lichtverstrooiingsfotometer.

De meter was vooraf geijkt met meerdere standaarden van kaoliensuspensies. Uit de resultaten van dit onderzoek zijn door Argaman c.s. de volgende conclusies gemaakt.

- Voor elke gewenste vlokvormingsefficiëntie (n^0/n^m) is een minimale vlokvormingstijd nodig; in een kortere vlokvormingstijd kan, ongeacht de toegepaste G-waarde, ditzelfde effect niet worden bereikt.
- Bij elke gegeven verblijftijd behoort een optimale G-waarde; als deze G-waarde wordt overschreden dan worden de reeds gevormde vlokken kapot geslagen.

- Als de vlokvorming in 4 compartimenten wordt uitgevoerd, kan in een tijd van 800 sec. dezelfde vlokvormingsefficiëntie ($n^0/n^m = 4$) worden verkregen als bij de vlokvorming in 1 compartiment met een verblijftijd van 2000 sec.. De waarde $n^0/n^m = 4$ is de hoogste waarde, die door Argaman c.s. wordt vermeld.

N_0/N en $n^0/n^m = 4$ betekent dat 25% van de vlokken (uitgedrukt in mg kaolien/l), die direkt voor de vlokvorming niet zijn bezonken gedurende 30 min. bezinktijd, na de toegepaste vlokvormingsperiode eveneens niet zijn bezonken gedurende een 30 min. durende bezinktijd. Als alle vlokken na de vlokvorming uit het water zouden verdwijnen is N_0/N en n^0/n^m gelijk aan ∞ .

In fig.24 is een relatie tussen de vloggrootte en de G-waarden gegeven voor ijzervlokken en voor aluminiumvlokken. De relatie voor de ijzervlokken zijn door Stevenson (lit.31) berekend uit de resultaten van bekerglasproeven van diverse onderzoekers. De vloggrootte van de aluminiumvlokken is door Argaman c.s. langs fotografische weg bepaald aan monsters, die uit een niet doorstroomd vlokvormings-systeem zijn genomen en in een fotografische cel zijn gebracht.

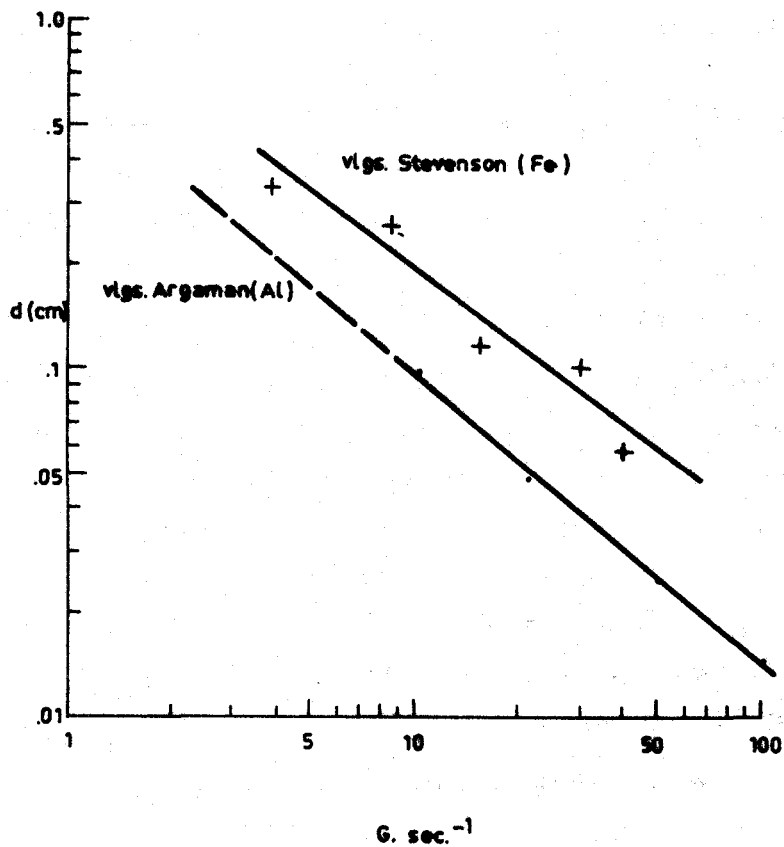


fig.24 Vlokgrootte vs G-waarde volgens Stevenson (Fe in Laverstroke bronwater) en Argaman c.s. (Al met leidingwater en kaolien)

De resultaten in deze figuur kunnen op twee manieren worden geïnterpreteerd:

- de toegepaste G-waarde laat niet toe, dat grotere vlokken dan overeenkomstig de gegeven relaties kunnen worden gevormd,

- reeds gevormde grotere vlokken worden bij hogere G-waarden kapot geslagen tot vlokdelen, die een vloggrootte overeenkomstig de gegeven relaties verkrijgen.

Vlokvormingstijd

Bij de meeste experimenten, die in de literatuur zijn beschreven, zijn vlokvormingstijden tussen 10 en 60 min. gehanteerd. In fig.22b is de door Harris c.s. op kleine schaal experimenteel bepaalde invloed van de roertijd in een continu doorstroomde vlokvormingsruimte op de parameter N_0/N weergegeven. De waarde N_0/N blijkt rechtlijnig toe te nemen als de roertijd tot 800 sec. wordt verlengd.

Uit het werk van Vrale en Jordan (lit.13) blijkt, dat tijdens de in bekersglazen toegepaste roerperioden tot 30 min. de reciproke van de troebelheid (van het met aluminium gecoaguleerde water na 25 min. bezink-tijd) lineair toeneemt met de duur van de roerperiode ($G = 18 \text{ sec.}^{-1}$).

Gemmell (lit.12) vermeldt, dat in de meeste afzonderlijke vlokvormingsinstallaties in de praktijk roerperioden van 30 tot 45 min. nodig zijn om goede resultaten te kunnen verkrijgen.

Sontheimer (lit.25) geeft aan de hand van fig.25 te kennen, dat de gemiddelde verblijftijden van het water in diverse opwaarts doorstroomde bekkens 40 à 60 min. bedragen. Binnen deze tijd vinden de

vlokvorming en de vlokverwijdering plaats.

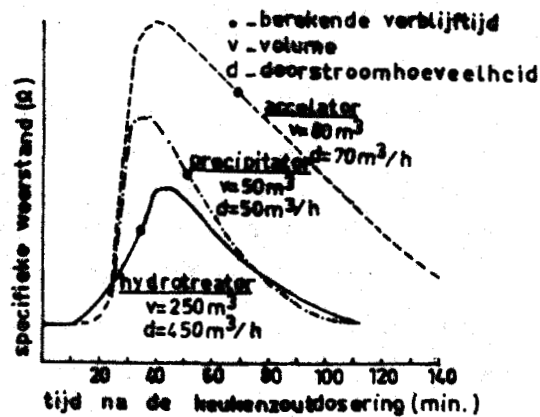


fig.25 Verblifftijden van 3 verschillende vlok-
 vormingsinstallaties (Sontheimer)

De spreiding van de verblifftijden in de genoemde installaties zijn aanzienlijk. Volgens fig.25 zullen de meeste volumedelen echter een vlokvormingstijd van ten minste 20 à 25 min. hebben ondergaan.

GT-, GCT-waarden

Uit een onderzoek, dat Camp (lit.4) bij een twintigtal Amerikaanse waterleidingbedrijven heeft uitgevoerd, is gebleken dat bij 16 bedrijven met afzonderlijke vlokvormingsinstallaties de GT-waarden waren gelegen tussen 23.000 en 210.000 met inbegrip

van de GT-waarde voor de menging. Aangezien deze getallen waren gebaseerd op de maximum capaciteit van de vlokformingsbassins neemt Camp aan, dat voor een vlokformingsinstallatie een GT-waarde tussen 10.000 en 100.000 moet worden aangehouden. Te Kippe en Ham (lit.28) vinden dat het karakteriseren van een vlokformingsinstallatie uitsluitend met de parameters GT en/of GCT niet juist is. Zij menen, dat een verdeling van de (afnemende) roerintensiteiten over de vlokformingsperiode belangrijke voordelen oplevert voor de vlokformings-snelheid en voor de helderheid van het bezonken water.

Oskam (lit.32) geeft voor een praktijkvlokformingsinstallatie, die bestaat uit 6 geroerde compartimenten, het volgende getallenvoorbeeld voor GT.

$$\Sigma GT = 52.500 = (100+90+70+50+30+10 \text{ sec.}^{-1}) \times 150 \text{ sec.}$$

Deze indeling in 6 compartimenten berust op ervaring van 2 moderne Zweedse bedrijven. Ives (lit.33) zegt dat het criterium GT, gelegen tussen de waarden 10^4 en 10^5 belangrijk is voor de vlokformingsinstallaties, waardoor het water heen stroomt naar een afzonderlijke bezinkingszône. In deze installaties is de vlokvolumeconcentratie te laag om bij variaties hiervan een merkbaar effect te geven.

Ives concludeert op basis van proefnemingen van Camp en Hudson, dat 1 gr. vlokmiddel (Fe^{3+} of Al) een vlokkenvolume van 100 à 300 ml geeft en ook dat het vlokkenvolume afhangt met de aard van het

water.

Door Ives zijn metingen uitgevoerd aan diverse bestaande vlokkendekeninstallaties. Deze metingen hebben aangetoond dat de GT-waarden hiervan veel lager zijn dan de optimumwaarden voor een afzonderlijke mechanisch geroerde vlokformingsinstallatie. Volgens Ives blijkt het logisch te zijn, dat met een hoge vlokvolumeconcentratie (C) in een vlokkendeken de vlokvorming sneller zal verlopen. Bovendien is bij een toename van C een lagere GT-waarde toelaatbaar, mits het produkt GCT binnen bepaalde optimum grenzen constant blijft. In lit.33 zijn door Ives formules opgesteld voor het berekenen van de vlokvormingstijd, de GCT-waarde en de mate van turbulentie in een vlokkendeken, terwijl ook een rekenvoorbeeld is gegeven. Ives komt tot de volgende conclusies. Een aantal bestaande vlokkendekenfilters hebben GCT-waarden tussen 60 en 120. Deze waarden komen overeen met GT-waarden van 10^4 tot 10^5 . In een afzonderlijke vlokformingsruimte, bestaande uit successievelijk doorstroomde compartimenten, bedraagt de grootteorde van de vlokvolumeconcentratie 10^{-3} liter per liter. De hiervoor door Ives berekende GCT-waarden liggen tussen 10 en 100. De hoogste, berekende G-waarde in een vlokkendeken bedraagt volgens Ives $2,5 \text{ sec.}^{-1}$.

Sontheimer (lit.25) vindt dat de voorafgaande vlok-

vorming bij een vlokkendekeinstallatie met een relatief hogere turbulentie mag plaatsvinden, omdat de vlokken door hun langere verblijftijd dichter worden en beschadigde vlokken of vlokdelen gemakkelijker worden afgevangen.

Inzake de vlokvorming in een vlokkingsfilter hangt het onder andere van de plaats van doseren af in welke mate de vlokaangroei plaats vindt in de waterfase, dus voordat de vlokken zich afzetten op het filtermedium en in welke mate de vlokken aangroeien na aanhechting aan het filtermedium of aan afgezette vlokken. Volgens Shea c.s. (lit.34) vindt het grootste gedeelte van de vlokvorming plaats op het filtermedium, waarbij in beperkte mate vlokaangroei optreedt, voordat vlokken zich vasthechten. Dit zal voornamelijk het geval zijn bij een opwaarts vlokkingsfilter, omdat het vlokmiddel en het vlokhelpmiddel meestal direkt voor de inlaat van het filter worden gedoseerd. Bovendien zijn de intredesnelheden van het water via de filterbodem (spoelkoppen of geperforeerde buizen) bijzonder hoog.

Ray (lit.35) geeft een overzicht van filtersystemen, die als opwaarts doorstroomde vlokkingsfilters toepassing vinden in vele landen. Uit dit overzicht blijkt, dat laagdikten tot maximaal 2 m worden toegepast. Deze filterbedden bestaan meestal uit zand met verschillende korrelafmetingen, die liggen tussen 0,5 mm en 2 mm. De toegepaste filtersnelheden liggen tussen 5 en 10 m/h. Meestal rusten deze

filterbedden op één of meerdere steunlagen van grover grind 2 tot 50 mm of direkt op een filterbodem met spoelkoppen. In dergelijke filterbedden, welke worden aangewend voor coagulatie, gebeuren de vlokvorming en de vlokverwijdering min of meer tegelijkertijd.

Hierbij is de vlokvorming dermate efficiënt, dat ondanks de korte verblijftijd van 6 à 10 min. een vlokvorming met een goede vlokverwijdering toch mogelijk is. De vlokvormingstijd en de totale verblijftijd in dit systeem vallen samen. De verblijftijd van het water in het filter neemt tijdens een filtratieperiode af, omdat het filterbed meer en meer belast raakt tot een mate, die begrensd is door het maximaal toelaatbare drukverlies over het filterbed of door de mate van doorslag. Tijdens het verloop van een filtratieperiode, waarin de verblijftijd afneemt, wordt de troebelheid van het filtraat steeds lager, hetgeen duidt op een beter wordende vlokverwijdering (zie. fig.26)

Uit onderzoek door de DWL Rotterdam met een proefinstallatie (cap. 15 m³/h) is gebleken, dat de korrelafmetingen weinig invloed op het vlokvormingsgebeuren hebben, echter wel op de duur van een filtratieperiode. Dit blijkt uit fig.26.

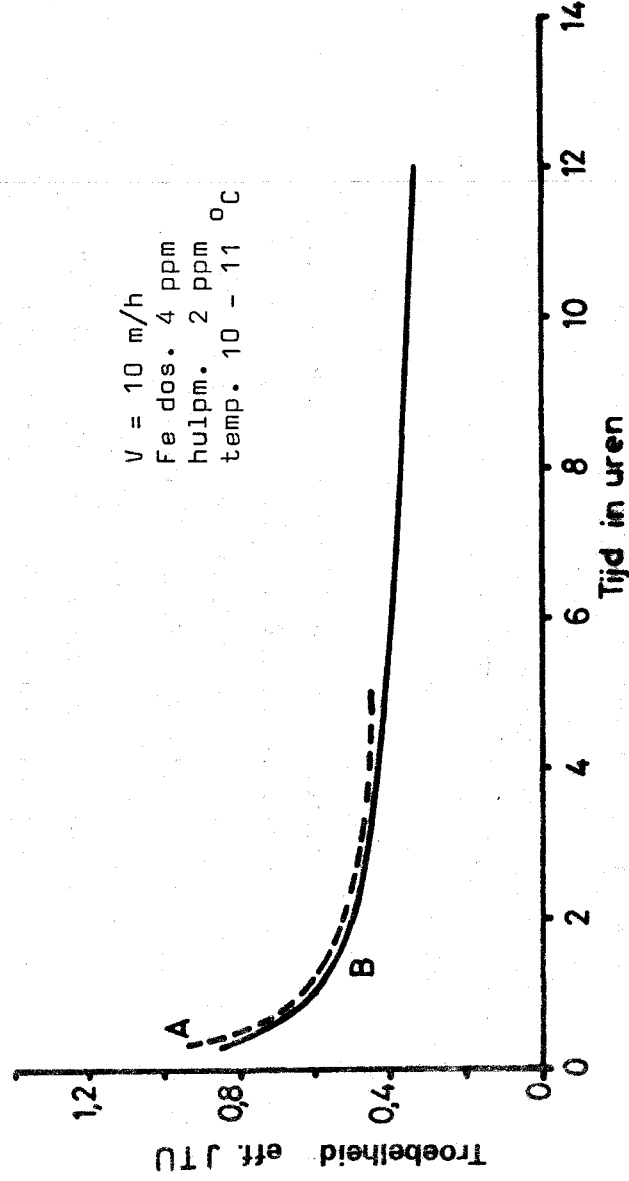
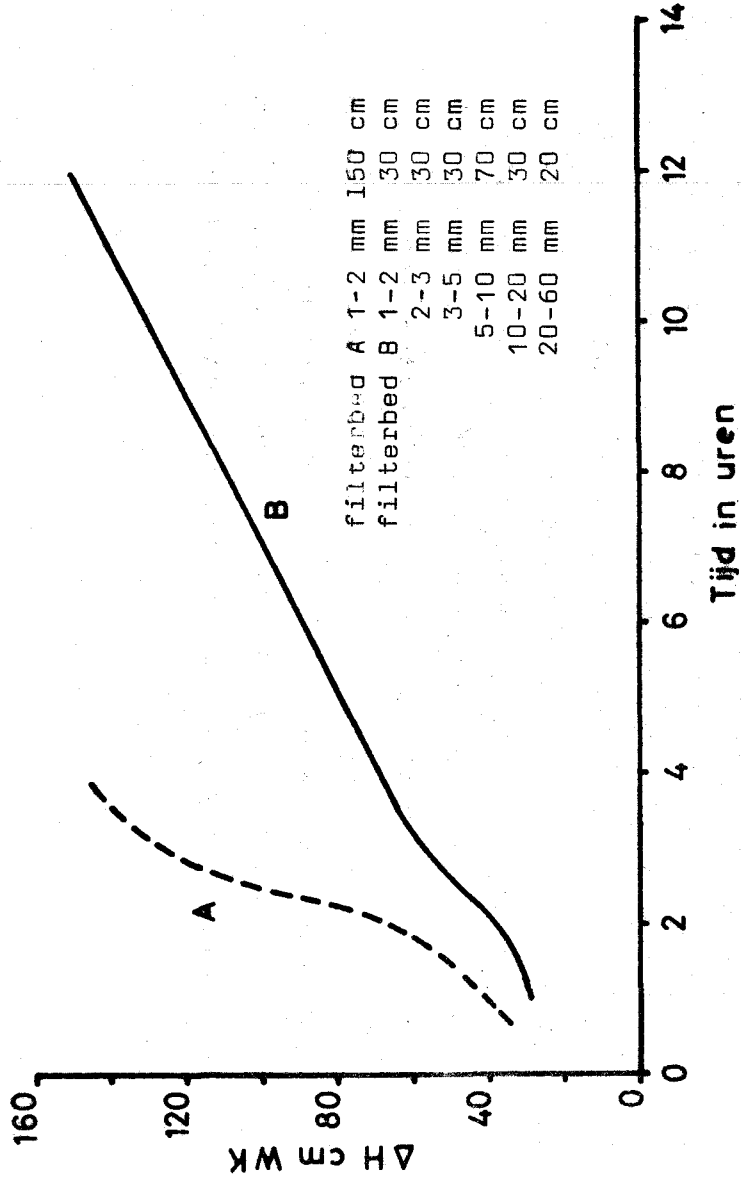


fig.26 Invloed van filterbedsamenstelling bij opwaarts doorstroomde vlokingsfiltratie. (Proefinstallatie DWL Rotterdam).

Door het vervangen van een gedeelte van het uniforme fijne zand door verschillende (steun)lagen van grover materiaal tot 60 mm neemt het drukverlies over het filterbed minder snel toe.

Blijkbaar kunnen in deze grovere lagen meer vlokken worden geborgen en afgevangen, waardoor de lagen met het fijnere zand minder snel verstopt zullen raken. De toepassing van grovere filterbedden met een geleidelijk afnemende korrelgradatie laten toe dat de filtratieperioden aanzienlijk worden verlengd. Het spreekt vanzelf dat de duur van de filtratieperiode in sterke mate ook wordt bepaald door de filtratiesnelheid en door de vlokmiddel- en de vlokhulpmiddelhoeveelheden, die gedoseerd moeten worden om de gewenste waterkwaliteitsverbetering te verkrijgen. Bij dit systeem zijn de toepasbare hoeveelheden in de praktijk meestal zeer klein en bovendien begrensd in verband met de beperkt beschikbare ruimte voor de vlokberging.

Bernhardt en Schell (lit.7) hebben de vlokvorming, voorafgaande aan een neerwaarts doorstroomd vlok-kingsfilter, met G- en GT-waarden beschreven. Zij hebben proeven uitgevoerd met een vlokvorming in twee compartimenten, waarbij de vlokken zijn afgefiltreerd in een drielaagsfilter (60 cm actieve kool 1-5 mm, 70 cm hydroanthraciet 1,25 - 3,15 mm en 70 cm kwartszand 0,5 - 1,25 mm). De proeven zijn

uitgevoerd met water uit de Wahnachtalsperre (Koblenz), dat is gecoaguleerd met 3 tot 10 mg Fe^{3+} /l. Hun conclusie is geweest, dat voor de beschreven situatie de GT-waarde van ca.15.000 niet mag worden overschreden tijdens de vlokvorming voorafgaande aan het neerwaarts doorstroomd vlokingsfilter. Tijdens winterse perioden bleek een vlokvorming in één compartiment met $G = \text{ca.}120 \text{ sec.}^{-1}$ wenselijk. In de zomerse periode werden in twee compartimenten met G-waarden van maximaal 75 sec.^{-1} de beste vlokformingsresultaten verkregen. Overigens kan bij deze experimenten niet uitsluitend van vlokingsfiltratie worden gesproken. Voor het optimaal benutten van de vlokbergingscapaciteit in het beschreven drie lagen filterbed is blijkbaar een goed aangepaste vlokvorming gedurende enkele minuten noodzakelijk.

Sontheimer (lit.25) geeft een beschouwing over "Flockungsfiltration" zoals deze voornamelijk in snelfilters reeds wordt toegepast. Volgens deze beschouwing wordt hierbij direkt voor of na de inlaat van een neerwaarts snelfilter een kleine dosis Fe^{3+} (tot 2 mg/l) en/of een kleine dosis vlokhulpmiddel (tot 1 mg/l) gedoseerd. Deze procedure wordt secundaire coagulatie genoemd, die veelal plaatsvindt na een eerste (hoofd)coagulatie met grotere doses vlokmiddel en vlokhulpmiddel.

4.2.2 Kortsluiting bij de vlokvorming

In het voorgaande is aangetoond dat de toegepaste G-waarden en de vlokvormingstijd de belangrijkste parameters zijn, die de vlogroeisnelheid bepalen. Het spreekt dus vanzelf, dat de spreiding in de vlogrootteverdeling voornamelijk wordt veroorzaakt door de spreiding in de verblijftijd bij de vlokvorming. Deze spreiding kan een ongunstige invloed hebben op het rendement en op de dimensies van het vlokverwijderingsgedeelte.

Te Kippe en Ham stellen, dat niet alleen de G-waarde en de GT-waarde bepalend zijn voor de vlokvormingsefficiëntie. Een indeling in compartimenten levert volgens hen betere resultaten op.

Uit onderzoekresultaten van Argaman c.s. (fig.23) blijkt, dat de vlokvormingsefficiëntie ($n^0/n^m = 4$), die is verkregen in 1 compartiment ($G = 60 \text{ sec.}^{-1}$) met verblijftijd 2000 sec., eveneens kan worden verkregen in een vlokvormingstijd van 800 sec. mits de vlokvorming in 4 compartimenten plaats vindt met in ieder compartiment dezelfde G-waarde ($G = 80 \text{ sec.}^{-1}$). Uit de experimenten van Harris c.s. (fig.27) blijkt, dat de vlokvormingstijd met een indeling in 2 compartimenten circa vier maal langer dan met een indeling in 4 compartimenten moet zijn om een zelfde waarde van $N_0/N \approx 11 \text{ à } 13$ te verkrijgen.

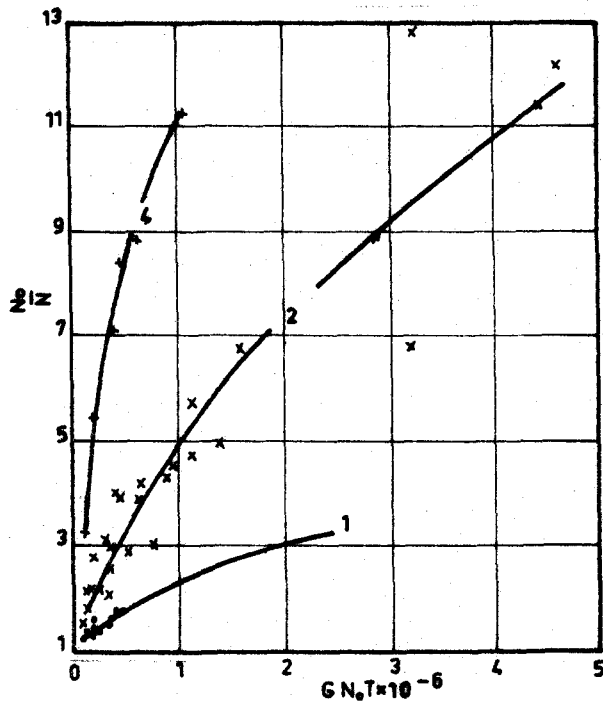


fig.27 Vlokvorming in seriegeschakelde roercompartiment met continu doorstroming (Harris c.s.)

Oskam (lit.32) geeft een voorbeeld van een vlokformingsinstallatie, die in 6 compartimenten is ingedeeld. In Stockholm bleek een indeling in 4 compartimenten niet voldoende te zijn om onder alle omstandigheden een goede vlokvorming te verzekeren. Een indeling in 8 compartimenten zoals het waterleidingbedrijf van Västerås heeft, bleek zeer duidelijk overgedimensioneerd te zijn.

In vlokkendekeninstallaties kunnen volgens Sontheimer (lit.25) kortsluitstromingen aanleiding tot moeilijkheden geven. In fig.25 geeft hij enkele voorbeelden van gemiddelde verblijftijden en verblijftijdsspreidingen in enkele typen vlokkendekeninstallaties. De verblijftijdsspreidingen zijn volgens deze figuur aanzienlijk te noemen. Dit facet speelt hierbij een kleinere rol dan bij de systemen met afzonderlijke vlokvormings- en vlokverwijderingszônes, omdat ten gevolge van de langere (gemiddelde) verblijftijd in de vlokkendekeninstallaties de vlokken iets zwaarder worden en ook omdat de kapotgeslagen vlokken gemakkelijker worden afgevangen in de vlokkendeken. Morel (lit.23) stelt, dat bij de coagulatie van Albertkanaalwater met aluminium en actief silicium en ook met driewaardig ijzer de vlokvormingstijd 10 min. kan bedragen mits de vlokvormingsinstallatie in 4 compartimenten is ingedeeld en elk compartiment een roerder met horizontale as en met een speciale constructie van de roerbladen is uitgerust. Deze constructie is weergegeven in fig.28. De 4 roerarmen bevatten een rooster van houten latten, die 1 cm breed zijn en op 4 cm afstand evenwijdig aan elkaar geplaatst zijn.

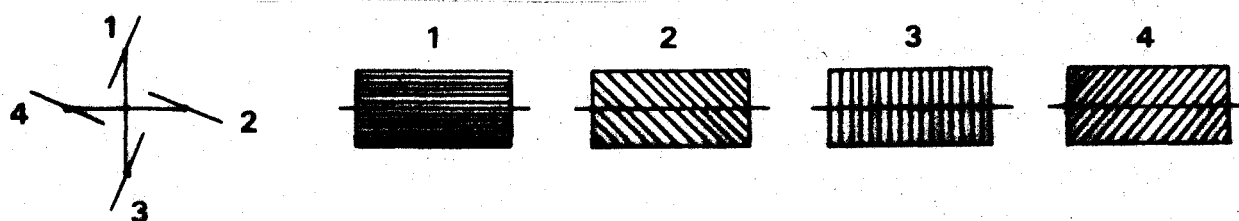


fig.28 Oriëntatie van de roerbladen (Morel)

Per roerarm hebben de latten een andere oriëntatierichting, zoals is aangegeven in fig.28. Hierdoor worden de stroombanen van de vlokken in elk roercompartiment op een mechanische wijze vier maal van richting veranderd.

In het recente verleden is door de PWN op semitechnische schaal onderzoek verricht naar de mogelijkheid van statische vlokvormingsmethoden, zoals het gebruik van golfplatenpakketten en het toepassen van stapelingen van zeer grof grind, die in opwaartse richting met verschillende snelheden worden doorstroomd. Deze technieken blijken echter praktische problemen te geven ten gevolge van optredende vervuiling. De vlokvormingsresultaten zijn echter zeer hoopvol geweest. Door Streicher (lit.36) wordt een ander idee voor een statische vlokvorming geponeerd. Hier wordt gedacht aan een vlokvorming in een open goot met een hellende bodem en afnemende rechthoekige doorsnede. De goot is voorzien van vertikaal geplaatste vierkante (beton)palen, die voor de gewenste mengintensiteit dienen te zorgen. Ongetwijfeld zal bij statische vlokvormingsinstallaties, die dus geen bewegende onderdelen bevatten de kortsluiting en dus ook de vlokvormingstijd gereduceerd kunnen worden.

4.3 Overzicht van uitvoeringsvormen van vlokvormings-systemen

Camp (lit.4) heeft vermeld, dat 16 van de 20 door

hem onderzochte Amerikaanse bedrijven gebruik maakten van afzonderlijke vlokvormingsbassins in de vorm van een labyrint. De verblijftijden hierin varieerden van 10 tot 45 min.. Het verlies aan waterhoogten bedroeg 12 tot 30 cm met één uitschieter van 150 cm. De toegepaste waterstroomsnelheden in de bassins waren maximaal 0,6 cm/sec.. Nu voldoet deze inrichting slecht, omdat de snelheidsgradiënten op de rechte stukken klein en op de omkeerpunten aan de uiteinden van de schotten te groot zijn, waardoor vlokbeschadiging kan optreden. Bovendien wordt de grootte van de snelheidsgradiënt in sterke mate beïnvloed door wisselingen van het debiet, zonder dat aanpassing mogelijk is. In moderne vlokvormingsbassins wordt gebruik gemaakt van mechanische roerwerken.

Ter voorkoming van kortsluiting wordt meestal een indeling in compartimenten toegepast. Tevens biedt deze uitvoeringsvorm de mogelijkheid het principe van de getrapte vlokvorming (afnemende G-waarde) toe te passen. In Water Treatment and Water Examination geeft Gemell (lit.12) enkele uitvoeringsvormen schematisch weer. Hij vermeldt hierbij dat de roerwerken meestal met varieerbare toerentallen worden uitgerust en dat de vlokvormingsperiode 30 tot 45 min. moet bedragen om goede resultaten te verkrijgen.

Volgens Hudson (lit.26) mag de maximale omtreksnelheid van roerders, peddels en dergelijke niet

1

hoger zijn dan 0,6 à 1,2 m/sec.. Door Bernhardt (lit.7) wordt vermeld, dat bij zijn experimenten in bekerglazen omtreksnelheden van 0,09 tot 1,5 m/sec. zijn toegepast.

Steel (lit.37) meldt dat de omtreksnelheid van de roerbladen in de praktijk varieert van 0,2 tot 0,8 m/sec. en dat het totale oppervlak van de roerbladen niet groter moet zijn dan 20% van het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het geroerde bassin. In het voorbeeld van fig.28 bedraagt dit percentage eveneens circa 20%. Wat de stroomsnelheden van het water in de doorvoer openingen van het ene compartiment naar het volgende compartiment en naar het bezinkingsgedeelte betreft is het wenselijk deze snelheden lager te houden dan de voorafgaande omtreksnelheid van de roerbladen.

In een Zweedse papierfabriek te Skoghall wordt proceswater bereid (cap. 600 m³/h) uit relatief zeer schoon merenwater, dat nagenoeg geen zwevende stoffen bevat. De 2 coagulatieprocessen in dit bedrijf bestaan uit: de statische menging van 40 à 70 mg Al₂(SO₄)₃.18 H₂O in opgeloste vorm per liter water, de vlokvorming in 4 geroerde compartimenten met afnemende G-waarden, terwijl in één oude installatie horizontale bezinking plaats vindt en in de andere installatie wordt sinds 1967 na de vlokvorming flotatie toegepast. Bij het coagulatie proces met horizontale bezinking moet steeds 4 mg SiO₂/l als

vlokhulpmiddel worden toegepast. In het flotatieproces wordt geen hulpmiddel gedoseerd. Het ontwerp van de vlokvorming voor de flotatie-eenheid is overigens exact gelijk aan dat van de oude vlokvormingsinstallatie vóór de horizontale bezinking.

De vlokvormingstijd bedraagt in beide processen 45 min. De vlokvormingsinstallatie blijkt voor het flotatieproces duidelijk overgedimensioneerd te zijn, zowel wat de vlokvormingstijd als de indeling in 4 compartimenten betreft.

Evenals bij twee andere waterleidingbedrijven (cap. 100 m³/h) in Charlottenberg en Atmotfars in Zweden, waar de vlokvorming in 3 compartimenten en in 30 min. wordt uitgevoerd, zijn de vlokvormingsinstallaties in de flotatieprocessen niet geoptimaliseerd; zeer ruime veiligheidsmarges zijn ingebouwd. In fig.29 is een principeschema van het coagulatieproces met flotatie gegeven.

Geconstateerd is, dat de vlokverwijdering bij de flotatie-eenheden effectiever was dan bij de bezinking. De concentratie van het Al-gehalte in het effluent van de flotatie was circa 10 maal lager dan het Al-gehalte na de bezinking.

Een overzicht van vlokvormingssystemen, die in Nederland en België zijn geïnstalleerd, is gegeven in tabel 3. Vlokvorming met driewaardig ijzer wordt in Nederland bij een viertal waterleidingbedrijven toegepast voor de bereiding van drinkwater uit

oppervlaktewater al of niet na opslag in spaar-
bekkens. Aluminiumsulfaat vindt geen toepassing
in Nederland, wel echter bij twee zuiverings-
stations van het Antwerpse Waterleidingbedrijf.
Het oogmerk van deze coagulatieprocessen is het
verwijderen van zwevende bestanddelen zoals slib
en een verlaging van de organische stoffenconcentraties.

Het pompstation Schijf (lit.38) is primair ontworpen
voor gedeeltelijke ontharding van grondwater en
secondair voor de verlaging van het ijzergehalte
en de verwijdering van mangaan.

Bij vijf van de in tabel 3 genoemde zuiverings-
bedrijven is de vlokvorming gescheiden van de be-
zinkingszône. Twee zuiveringsstations (Berenplaat
(lit.14) en Andijk) zijn uitgerust met vlokken-
dekensystemen. Hiertoe behoort ook het type accelera-
tor van het zuiveringsstation Braakman (Water-
leidingsmaatschappij ZuidWest-Nederland). In dit
systeem wordt door middel van een roerwerk een
intensief contact tussen verse vlokken en reeds
bezonken vlokken gecreeërd (vlokrecirculatie).
In bijlage II zijn schematische voorstellingen van
de in tabel 3 genoemde vlokvormingsinstallaties
opgenomen.

Door Knoppert (lit.39) wordt een overzicht gegeven
van de bestaande bezinkbekkens met ronde doorsnede
en van bezinkbekkens met een verticale doorstroming.

Bij deze bezinkbekkens vinden de vlokvorming en de vlokverwijdering grotendeels in één en hetzelfde bekken plaats. Deze typen coagulatiesystemen zijn ook beschreven door Haberer (lit.18) en Sontheimer (lit.25). 5

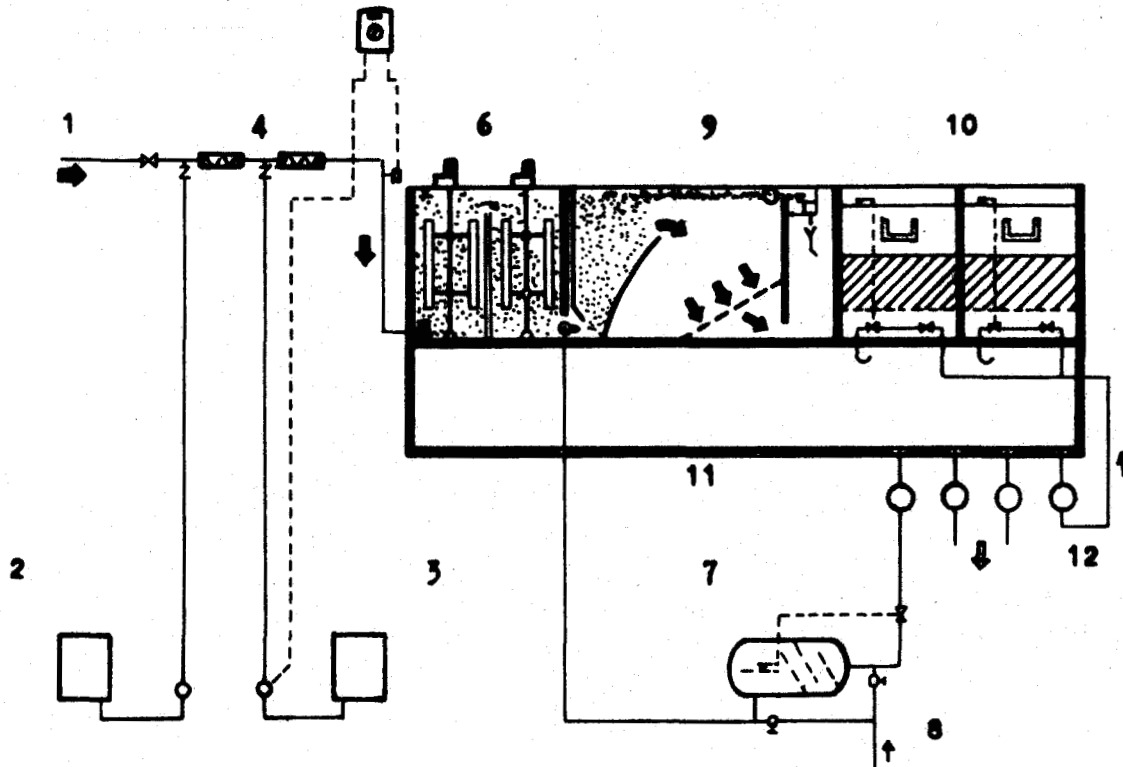


fig.29 Principeschema van de flotatie-installatie

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1 = ruwwater | 8 = drukluucht |
| 2 = vlokmiddel | 9 = flotatieruimte |
| 3 = loog | 10 = snelfilters |
| 4 = statische mixers | 11 = reinwaterkelders |
| 5 = pH regeling | 12 = reinwater |
| 6 = vlokvormingsruimte | 13 = spoelwater |
| 7 = luchtoplosinstallatie | |

Tabel 3 - Overzicht van vlokformingsystemen in Nederland en België

Bedrijf (in bedrijf genomen) (Figuren: zie bijlage II)	Max.cap. m ³ /h.	Menging vlokmiddel	Doseringen, mg/l vlok./base/hulpm.	Slib recir- culatie looptijd	Vlokformingsystemen (+ vlokverwijderingsmethode)			
					aantal eenheden	afmetingen	roerwerk	G-waarden, vlokformings- tijd T
<u>WRK Jutphaas (fig. 1)</u> Vlokformings- horizontale bezinking (1974)	22.000	turbulentie in 3 aan- voerkanalen	3-5 /10-15/ - Fe ³⁺ / NaOH	-	3 eenheden met 2x4 geroerde compartimenten (3 hor.doorstr. bezinkbekkens)	3 eenheden met elk 2x(18,3x16,3x4,1 m)	diameter: 3,50 m 2 roerbladen toerental: 0-4 omw/min. hor. assen	G=100à70 sec ⁻¹ T= ca. 20 min.
<u>Weesperkarspel (A'dam)(fig.1)</u> Vlokforming- meerlagenbezinking (platenpakket) (1976)	5.200		10-15/pH=7,8/0-2 Fe ³⁺ /NaOH /Wispro		2 eenheden met 4 geroerde compartimenten (2 meerlagenbe- zinkbekkens)	2x(15,8x14x4,7 m)	diameter: 2 m en 3,2 m toerental resp.: 1 x 1-9 omw/min. 3 x 0,3-4 omw/min.	G=200à10 sec ⁻¹ T ≥ 24 min.
<u>Schijf (Nw.Brabant)(fig.2)</u> Vlokforming- meerlagenbezinking (golfplatenpakket)(1972)	1.800	turbulentie in 6 aan- voerkanalen	- / 100/ - / NaOH/	Slib:150 à 250 mg vaste stof per liter	6 geroerde kana- len (6x4 pakketten)	6x(25,0x1,65x1,96 m)	5,6x0,85m(ruimte vakwerk) 1x heen en weer per 20 sec. slaglengte 0,75 m	G= 145 sec ⁻¹ T= ca.14,5 min.
<u>Kralingen (R'dam)(fig.3)</u> Vlokforming- meerlagenbezinking (platenpakket)(1977)	7.200	2 statische mengers	5-12 /pH=7,5à8/0-25 Fe ³⁺ /NaOH /perfec- tamy1	-	6 x 4 geroerde compartimenten (6x2 pakketten)	6x(9,0x2,4x7,5 m)	diameter: 1,80 m 4 roerbladen toerental: 0-11 omw/min. Max.tipsnelheid:1 m/sec hor. assen	G=200à10 sec ⁻¹ T ≥ 25 min.
<u>Delegem (Antw.)(fig.4)</u> Vlokforming- hor. bezinking (1965)	4.160	waterval	35-60/ - /1,5-7 Al ₂ (SO ₄) ₃ /- /act.SiO ₂ 18 H ₂ O	-	4 eenheden elk met 3 roerders (4 bezinkbekkens)	4x(7,05x29,5x1,95 m)	diameter: 4 roerbladen toerental: 2 omw/min. hor. assen	G=106-95-80- 67 sec ⁻¹ T= ≥18 min.
<u>Berenplaat (R'dam)(fig.5)</u> Vlokkendecken- filtratie (1966)	14.500	2 kanalen met 3 impel- larmengers in 3 meng- kamers in serie	6-15 /10-20/0-2,5 Fe ³⁺ /Ca(OH) ₂ /perfec- tamy1	-	8 rijen met elk 10 vlokkendecken- filters	80x(6x8,5x4 m)	2x heen en weer per min.	G= 62 sec. ⁻¹ T=ca. 20 min. (T _{tot.} =ca. 60 min.)
<u>Andijk (PWN) (fig. 6)</u> Hydrotreater (1968)	3.990	3 mengka- mers in parallel	10-40/pH = 8,1/0,5-1 Fe ³⁺ / Ca(OH) ₂ /Wispro		3 ronde vlokkendecken- apparaten (3 hydrotreaters)	3x(22,6x5 m)	geen (4 langzaam draaiende ver- deelarmen voor instroming)	G= ca. 5 sec. ⁻¹ T = ca. 36 min.
<u>Braakman (WMZ) (fig. 7)</u> Accelerator (1965)	1.000	waterval	13 / pH = 8,8 /0-1 Fe ³⁺ /Ca(OH) ₂ /Wispro		2 ronde acceleratoren	2 x (15,5x6,4 m)	roerwerk (2500 m ³ /h)	T = ca. 30 min
<u>Baanhoek (Dordrecht)(fig.7)</u> Opwaarts vlokkingsfiltratie(1968)	1.200	turbulentie in labyrinth	10 / 100 / 0-2 Fe ³⁺ / Ca(OH) ₂ / Wispro	looptijd 10 uur bij 6m ³ /m ² /h.	8 vlokkingsfilters	8x(12 x 3 m)	filtervulling: zandlaag: 1,30m (2-3 mm) steunlaag: 0m(spoelkopper)	G= niet bekend T ≤ 4 min.
<u>Notmeir (Antwerpen)</u> neerwaarts vlokkings- filtratie (1973)	4.160	waterval	7,5-12/ pH = 7 /1,7-2,5 Al ₂ (SO ₄) ₃ / - /act.SiO ₂ 18 H ₂ O	looptijd 20 uur bij 15 m ³ /m ² /h.	10 vlokkingsfilters		filtervulling: 60cm anthraciet(0,8-1,4mm) 30cm zand (0,4-0,8 mm) 10 cm grind 0,2-2 cm	G= niet bekend T ≥ 3,6 min.

Uit de enquête die is opgenomen in lit.18, blijken 18 van de 40 ondervraagde Duitse bedrijven een vlokkendekensysteem toe te passen; 5 bedrijven passen sedimentatie en filtratie toe en bij 17 bedrijven vindt filtratie zonder sedimentatie plaats.

Opwaartse vlokkingsfiltratie wordt toegepast in Dordrecht (lit.40). In dit systeem vindt zowel de gedeeltelijke ontharding met $\text{Ca}(\text{OH})_2$ als de coagulatie met Fe^{3+} tegelijkertijd plaats in de vlokkingsfilters. De beide chemicaliën worden tegelijk gedoseerd. In het toevoerkanaal treedt wel in beperkte mate een ongecontroleerde vlokvorming op, maar aangenomen moet worden dat het grootste deel van de vlokvorming in het vlokkingsfilter zelf plaats heeft. De hoogste toepasbare ijzerdosering is hierbij 10 mg Fe^{3+} /l. Bij hogere ijzerdoseringen treedt doorslag van ijzer op. Dit maximum zou ongetwijfeld lager zijn als niet tegelijkertijd de hardheid zou worden gecorrigeerd, omdat door de vorming van een laag Ca CO_3 op de zandkorrels een verkleining van de poriën en dus een versnelde verstopping plaats vindt.

Neerwaarts doorstroomde vlokkingsfilters zijn geplaatst in Notmeir (Antwerpse Waterwerken) (lit.23). De filterbedden bestaan uit een laag anthraciet en een laag zand die in vergelijking met andere literatuurgegevens (lit.7) kleine korrelafmetingen

hebben. De ervaring bij deze installtie heeft aangetoond, dat de vooraf plaatshebbende vlokvorming in het toevoerkanaal een ongunstige invloed heeft op de looptijd van de filters. Aannemelijk is, dat zonder de reeds (te) ver gevorderde vlokvorming in het naar de filters toestromende water de looptijden langer zullen zijn. Het vlokkendekensysteem en de vlokkingfiltratie zijn minder gevoelig voor de efficiëntie van de (voorafgaande) vlokvorming. In de praktijk blijkt de keuze van een bepaald type vlokvormingssysteem uitsluitend afhankelijk te zijn van het gekozen bezinkingssysteem. Bij deze keuze spelen de kosten van het vlok-vormingsgedeelte een sterk ondergeschikte rol ten opzichte van de kosten van het bezinkingssysteem, die vele malen hoger zijn.

4.4 Samenvatting en conclusie

Het merendeel van de beschreven resultaten zijn verkregen uit experimenten in bekerglazen of in betrekkelijk kleine continu doorstroomde laboratoriuminstallaties. Veelal is ook nog met leidingwater, waaraan kaolien of andere stoffen zijn toegevoegd, geëxperimenteerd. Deze situatie hoeft echter de genoemde resultaten niet minder waardevol te maken, indien hiermede rekening gehouden wordt bij het ontwerpen van nieuwe installaties en bij het opereren met bestaande installaties.

De genoemde onderzoekresultaten geven duidelijke tendenzen en effecten bij wijzigingen van de procesparameters. Omdat lokale situaties, zoals onder andere temperatuur en de ruwwaterkwaliteit (algen, zwevende stof), eveneens belangrijke invloedsfactoren bij het coagulatiegebeuren zijn, blijft de noodzaak van onderzoek naar de meest optimale procesomstandigheden op laboratorium-, op semitechnische- en op ware schaal bestaan.

Resumerend kunnen de volgende conclusies met betrekking tot de procesparameters voor de vlok-vorming worden opgesteld.

De toegepaste G-waarden blijken meestal te liggen tussen 150 en 10 sec.^{-1} . Voor de vlok-vorming met aluminium is door Argaman aangetoond dat bij een bepaalde vlok-vormingstijd een optimale G-waarde behoort. Dit criterium houdt in, dat als de G-waarde kleiner is dan de optimale waarde de vlok-vormingstijd langer moet zijn om dezelfde vlok-vormingsefficiëntie (N_0/N) te verkrijgen.

Bij hogere G-waarden worden de aanwezige vlokken kapot geslagen en ook kunnen zij niet verder aangroeien tot grotere vlokken ten gevolge van een te intensieve turbulentie.

Dit gegeven maakt de algemene formules, die de invloed van de G op orthokinetische vlok-vorming beschrijven (Oskam) voor praktische toepassing niet bruikbaar. Door Argaman en andere onderzoekers is reeds een aanzet gemaakt met het opstellen van

meer bruikbare formules. Een toetsing van de bruikbaarheid van deze formules ligt buiten het karakter van deze mededeling.

De behoefte aan eenvoudige mathematische beschrijvingen van de orthokinetische vlokvorming blijft dus bestaan.

Een verificatie van het bovengenoemde criterium voor de optimale G-waarde, dat geldt voor aluminiumvlokken, is noodzakelijk voor de vlokvorming met driewaardig ijzer. De toe te passen G-waarden bij de coagulatie met driewaardig ijzer kunnen meestal 10 à 20 sec.⁻¹ hoger liggen dan bij de coagulatie met aluminium. De optimale G-waarden voor elke praktijkinstallatie is alleen te bepalen in de installatie zelf. Om dit te kunnen verwezenlijken moet het roerwerk in elke afzonderlijk geroerde ruimte zijn uitgerust met een mechanisme, waarmee het toeren-tal variëerbaar is.

Als de vlokvormingstijd langer gekozen wordt, zal dit resulteren in een grotere gemiddelde vloggrootte-diameter. Dit heeft echter tot gevolg, dat de vlog-grootteverdeling meer gaat afwijken van een uniforme vloggrootteverdeling. Uitgaande van de theoretische bezinkingsformules is de gemiddelde vlogdiameter weliswaar een invloedrijke parameter, echter de uniformiteit van de vloggrootteverdeling is het meest bepalend voor het rendement van de vlogverwijderings-eenheid. Een indeling van een afzonderlijke vlog-vormingsinstallatie in 4 à 5 compartimenten leidt

tot een nagenoeg optimale vlok-grootteverdeling. Bovendien kunnen dan kortere vlok-vormingstijden gehanteerd worden.

Hetzelfde geldt ook voor vlokkendekensystemen, indien de mogelijkheid bestaat om het vlok-vormings-gedeelte in meer ruimten, die geroerd kunnen worden, onder te verdelen. Ondanks de immer aanwezige vlok-grootteverdeling hebben de frakties met de kleinere vlok-metingen bij de vlokkendekensystemen een minder ongunstige invloed op het rendement van de vlok-verwijdering, omdat de vlokkendeken een gedeelte van deze kleinere vlokken alsnog afvangt. Op dit ogen-blik is meestal het vlok-vormings-gedeelte bij de vlokkendekensystemen ondergebracht in of beneden het vlok-verwijderings-gedeelte. De totale gemiddelde vlok-vormingstijd inclusief de verblijftijd in de vlokkendeken bedraagt bij deze installaties 40 à 80 min.

Indien de vlok-vorming wordt uitgevoerd in een af-zonderlijke installatie, die uit 4 of 5 comparti-menten bestaat, kan de vlok-vormingstijd 10 à 25 min. bedragen, mits voldoende aandacht aan het kort-sluitingseffekt is besteed. Deze vlok-vormingsperiode zal voldoende zijn, als het zwevende stofgehalte in de vorm van slib of andere kleiachtige mineralen in ruime mate, bijvoorbeeld meer dan 25 mg/l, in het ruwe water aanwezig is.

Bij zeer lage gehalten van zwevende stoffen kan een vlok-vormingstijd van 25 à 30 min. toereikend worden geacht.

Een afzonderlijke vlokvorming vóór opwaarts en neerwaarts doorstroomde vlokkingfilters blijkt overbodig te zijn. De vlokvorming vindt hoofdzakelijk in de filterbedden plaats. Bij de keuze van de korrelafmetingen van het filtermateriaal dient hiermee en ook met de vlokbergingscapaciteit rekening te worden gehouden.

Ervaringen met de vlokvorming voorafgaande aan flotatie met oppervlaktewater, zoals dit in Nederland voorkomt, ontbreken op dit ogenblik. Op basis van een gemaakte studie van een drietal Zweedse bedrijven kan geconcludeerd worden, dat flotatie een uitermate geschikt proces lijkt te zijn voor water, dat relatief weinig zwevende stoffen bevat, en voor water met veel algen, die in het algemeen de neiging tot drijven van de vlokken bevorderen vanwege hun zuurstofproducerend vermogen.

Voor elk te coaguleren watertype zal ten behoeve van nieuwbouwplannen de benodigde minimale vlok-vormingstijd met een optimale verdeling van de mengintensiteit alleen in een proefinstallatie, waarin tevens de vlokverwijderingseenheid is opgenomen, vastgesteld kunnen worden.

Uit het voorgaande kan reeds geconcludeerd worden dat de dimensieloze parameters GT en GCT minder goed bruikbaar zijn als enige ontwerpgegevens, of als parameters, waarmee de procesomstandigheden in een zelfde installatie of van verschillende

installaties onderling vergeleken kunnen worden. Deze parameters houden geen rekening met het feit dat bij een te hoge G-waarde, in het geval dat de tijd T kort is, vlokken worden kapot geslagen. Ook geven zij geen indicatie voor de aanwezigheid van kortsluitstromingen in de vlokvormingsfase. Het effect van een tweevoudige verhoging van de vlokvolumeconcentratie (C) bij de vlokvorming is geringer dan het effect van bijvoorbeeld een tweevoudige verlenging van de vlokvormingstijd of een tweevoudige verhoging van de G-waarde (tot maximaal de optimale G-waarde). De parameter C kan als een procesvariabele gehanteerd worden om doorslag te voorkomen. De vlokvolumeconcentratie is echter een direkt gevolg van de hoogte van de vlokmiddeldosering, die op haar beurt weer afhankelijk moet zijn van de gewenste kwaliteitsverbetering en/of van de ruwwaterkwaliteit. Kortsluiting en verblijftijdsspreiding bij de vlokvorming hebben tot gevolg, dat er een grotere verdeling in de vloggrootten optreedt, zodat onder andere de fraktie met de kleinere vlokkenafmetingen groter wordt.

Gebleken is dat indeling in compartimenten leidt tot betere bezinkresultaten en ook tot de mogelijkheid om de totale vlokvormingstijd korter te kiezen. De duur van de nominale vloktijd hangt overigens af van de te kiezen vlokverwijderingsmethode en

het vlokverwijderingsrendement, dat men met het oog op de nazuivering wenst te bereiken. Statische vlokvormingsinstallaties, waarin zich geen bewegende onderdelen bevinden, zijn met uitzondering van vlokkingsfilters, op dit ogenblik nog niet in de praktijk wegens vervuiling toegepast kunnen worden op ware schaal. Deze vlok-vormingsmethoden zullen aantrekkelijk kunnen gaan worden als het kortsluitingseffekt hierbij zo gering is, dat met vlokvormingstijden van minder dan 10 à 15 min, kan worden volstaan.

LITERATUURLIJST

1. Meijers, A.P., Theorie van de vlokvorming, KIWA-mededeling nr.33, juni 1974.
2. Huisman, L., Flocculation, Sedimentation and Filtration (Collegedictaat), Technische Hogeschool, Delft.
3. Rietema, K., Algemene Proceskunde, deel A, Collegedictaat, Technische Hogeschool, Delft.
4. Camp, T.R., Flocculation and flocculation-basins, Trans.Amer.Soc. of Civil Eng., 120, 1, (1955).
5. Fair, G.M., Geyer, J.C. and Okun, D.A., Flocculation, flotation and adsorption, Water purification and Wastewater Treatment and Disposal, vol. 2 (1967), 26.
6. Noz, F.J., Beschouwingen over het benodigde vermogen van roerapparaten, Polytechnisch Tijdschrift Werktuigbouwkunde 29 (1974), 9. 273-278.
7. Bernhardt, H., Schell, H., Der Einfluss des Energie-eintrages auf Flockenbildung und Filtration, Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls

- für Wasserchemie. Leitung H.Sontheimer, Heft 5,
(1971), 183.
8. Walker, J.D., High energy flocculation and air-
and waterbackwashing, JAWWA, 60 (1968), 321.
 9. Hudson, H.E., Wolfner, J.P., Design of mixing
and flocculation, JAWWA, 59, 1257, (1967).
 10. Camp, T.R., Floc volume concentration,
JAWWA, 60, 656, (June 1968).
 11. Anon, Water Treatment Plant Design,
JAWWA, New York, N.Y., (1969).
 12. Gemmell, R.S., Mixing and Sedimentation,
Water Quality and Treatment, (1971), 3rd Ed., 123.
 13. Vrale, L., and Jordan, R.M., Rapid mixing in
water treatment,
JAWWA, 63, (jan.1971), 52.
 14. Visser, G., Drinkwaterproductiebedrijf Beren-
plaat, (brochure),
Gemeente Drinkwaterleiding Rotterdam, sept.1973.
 15. Tauscher, W.A., Statische mengelementen,
Polytechnisch Tijdschrift Procestechniek,
28, (1973), 14, 458-462.

16. Anoniem, Statische mengers,
Polytechnisch Tijdschrift Procestechniek,
26, (1971), 19, 759-760.
17. Perry, R.H., Chilton, C.H. and Kirkpatrick, S.D.,
Chemical Engineers' Handbook, (1963), 5, 10.
18. Haberer, K., Möglichkeiten und Grenzen der
Steuerung von Flockungsanlagen, Veröffentlichungen
des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie,
Leitung H.Sontheimer, Heft 3, (1967), 224.
19. Gomella, C., Clarification avant filtration
ses progrès récents, Rapport Général 1, IWSA
Brighton Congres, 1974.
20. Werner, G., Erfahrungen bei der Aufbereitung von
Donauwasser, Veröffentlichungen des Bereichs
und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Leitung
H.Sontheimer, Heft 3, (1967), 260.
21. Singley, J.E. et al, State of the art of coagu-
lation,
Committee Report, JAWWA, 63, (1971), 99.
22. Yao, K.M., Particle aggregation in water pre-
treatment,
Water Sew.Works, part 1, 114 (1967), 7, 261 and
part 2, 114, (1967), 8, 295.

23. Morel, L., Recent advances in clarification before filtration, National Report Belgium, IWSA Congress, 1974 Brighton (French).
24. Oehler, K.E., Struktur, Wirksamkeit und praktische Anwendung von Flockungshilfsmitteln, Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Leitung H.Sontheimer, Heft 3, (1967), 129.
25. Sontheimer, H., Verfahrenstechnische Richtlinien für Bau und Betrieb von Flockungsanlagen und für die Koagulationsfiltration, Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Leitung H.Sontheimer, Heft 3, (1967), 189.
26. Hudson, H.E. Jr., Physical aspects of flocculation, JAWWA, 57, 885, (July 1965).
27. Lagvanker, A.A., Some size-density relationships for chemical flocs, Doctoral dissertation, Northwestern University, Evanston, Ill, 1968.
28. Te Kippe, R.J. and Ham, R.K., Velocity-gradient paths in coagulation, JAWWA, 63, 439 (July 1972).

29. Harris, H.S., W.J. Kaufman and R.B.Krone, Orthokinetic flocculation in water purification, J. Sanitary Engineers Division, 92, 95, (Dec.1966).
30. Argaman, Y., and W.J. Kaufman, Turbulence and flocculation, J. Sanitary Engineers Division, 96, 223 (April 1970).
31. Stevenson, D.G., Flocculation and floc behaviour, J. Inst. of Water Engineers, 3, 155 (May, 1972).
32. Oskam, G., Coagulatie en flocculatie, Twintigste Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening, Technische Hogeschool, Delft, (Jan.1968), 46.
33. Ives, K., Theory of operating with the Sludge Blancket Clarifier, Proceedings, Institution of Civil Engineers, Vol.39, (1968), 243-260.
34. Shea, T.G., W.E. Gates and Y.Argaman, Experimental evaluation of operating variables in contact flocculation, JAWWA, 63, 43 (Jan.1971).
35. Ray, W.J.F., Recent advances in methods of filtration, General Report 2, IWSA-Congres Brighton, 1974.

36. Streicher, L., Treatment-plant design,
JAWWA, 66, (Nov.1974), 629.
37. Steel, E.W., Coagulation-sedimentation,
Water Supply and Sewage, 4th Edition, Mc Graw-
hill, London, 1960.
38. Zoet, G., L.A.C. Feij en P.A.N.M. Nühn, Het
pompstation Schijf, H₂O, 6, (febr.1973).
39. Knoppert, P.L., Bezinking,
Overdruk H₂O, 4, (febr.1969), 2.
40. Burg, L.v.d., J.C.Schippers en E.Wesselink,
Het filterstation Baanhoek te Dordrecht,
H₂O, 1 (nov. 1968), 23.

BIJLAGE I

Begrippenlijst

Vlokmiddel

Vlokmiddel is de verzamelnaam van de stoffen, die de vlokvorming teweeg brengen, zowel via coagulatie, flocculatie als precipitatie. In de waterzuivering worden met vlokmiddelen vooral de ijzer- en aluminiumzouten bedoeld.

Vlokhulpmiddel

Een vlokhulpmiddel dient er voor de reeds aanwezige vlokken beter verwijderbaar te maken, bijvoorbeeld zetmeelderivaten.

Vlokvolumeconcentratie

Vlokvolumeconcentratie is het volume aan vlokken per volume-eenheid water, dat aan het coagulatieproces is onderworpen. De eenheid van de vlokvolumeconcentratie is ml per m³ (=ppm).

G-waarde

De G-waarde is een maat voor de per tijdseenheid in het water gebrachte meng- of roerenergie en wordt genoemd de gemiddelde snelheidsgradiënt. De G-waarde is slechts een gemiddelde waarde voor

de gehele inhoud van een mengruimte of geroerde ruimte en zegt dus niets over de plaatselijke, werkelijke snelheidsgradiënten.

Verblijftijdsspreiding

Verblijftijdsspreiding is een maat voor de afwijking van de verblijftijden van alle vloeistof-elementen ten opzichte van de gemiddelde verblijftijd van de vloeistof in een doorstroomde ruimte en kan worden berekend als de standaardafwijking. Bij mengen en roeren is de betekenis van verblijftijdsspreiding identiek aan de betekenis van kortsluiting.

Vlokkendeken-werkwijze

Vlokkendeken-werkwijze is een uitvoeringsvorm van het coagulatieproces, waarbij het te coaguleren water met doseringen en vaak met gecirculeerde vlokken, meestal in opwaartse richting, door een zwevend bed van reeds gevormde vlokken wordt geleid (Flockenwirbelschichtverfahren).

Vlokkingsfiltratie

Vlokkingsfiltratie is een uitvoeringsvorm van het coagulatieproces, waarbij het vlokmiddel en/of vlokhulpmiddel kort voor een filterbed in het water worden gedoseerd. Het kenmerkende is, dat geheel of gedeeltelijk de vlokvorming en vlokverwijdering

in een filterbed plaats vinden, in tegenstelling met de vlokfiltratie, waarbij het filterbed slechts de reeds gevormde vlokken verwijdert. Omdat de vlokkingsfiltratie een groot bergend volume vraagt, vindt de uitvoering vaak plaats in een van beneden naar boven doorstroomd filter van grove naar fijnere filterlagen: een opwaarts vlokkingsfilter. Ook een neerwaartse doorstroming is mogelijk, waarbij dan meerlagenfiltratie wenselijk wordt om het vlokkenbergend volume te vergroten.

Secondaire coagulatie

Secondaire coagulatie is een methodiek die na een primaire coagulatie wordt uitgevoerd met relatief geringe doseringen aan vlokmiddelen en/of vlok-hulpmiddelen vlak voor snelfilters, die meestal als taak hebben het restant vlokken na de primaire vlokafscheiding (bezinking) te verwijderen. Het is in feite een tussenvorm van vlokfiltratie en vlokkingsfiltratie, waarbij de te verwijderen gevormde vlokken en de nieuw gemaakte vlokken gering in hoeveelheid zijn.

GT- en GCT-waarden

GT- en GCT-waarden zijn dimensieloze getallen, die als criteria voor de vlokvorming worden gebruikt. Het zijn de produkten van de G-waarde en de vlok-vormingstijd T (gemiddelde verblijftijd in de vlokformingsruimte) en de vlokvolumeconcentratie C .

Vlokvormingsefficiëntie

De vlokvormingsefficiëntie geeft de mate aan waarin de concentratie van het aantal te verwijderen deeltjes in het te coaguleren water is afgenomen door de vlokvorming (n^0/n^m). Het aantal deeltjes wordt gemeten aan het bovenstaande water na een bezinkperiode van 30 min., Hierbij is m het aantal compartimenten.

Polyelektrolieten

Polyelektrolieten als vlokhulpmiddel zijn macromoleculen, die bij oplossen in water talrijke ioniseerbare actieve plaatsen verkrijgen. Zijn de plaatsen positief geladen dan spreekt men van kationische polyelektrolieten en bij negatieve lading van anionische polyelektrolieten. Daarnaast bestaan niet-ionogene polyelektrolieten, die actieve polaire plaatsen bezitten, die niet ioniseerbaar zijn. In feite zijn dit geen echte polyelektrolieten. De macromoleculen kunnen zowel anorganisch (geactiveerd kiezelzuur) als organisch van aard zijn. De organische macromoleculen kunnen van natuurlijke herkomst zijn (stijfsel- en cellulose producten) of van synthetische herkomst (anionische poly-acrylzuurderivaten en kationische polyvinylamine derivaten).

Flotatie

Flotatie is het proces dat het tegenovergestelde van bezinking beoogt, namelijk het doen bovendrijven van zoveel mogelijk vlokken (met de te verwijderen verontreinigingen) aan het wateroppervlak in een afzonderlijk flotatiebassin. Daartoe wordt aan het in een afzonderlijk vlokvormingsgedeelte gevlokte water na het verlaten van de vlokvorming 15 à 20 mg lucht per liter water ingebracht in de vorm van fijne luchtbelllen met diameters van enkele tientallen micrometers.

BIJLAGE II

Schematische voorstellingen van vlokvormingsinstallaties.

- Fig.II.1 Menging en vlokvorming in het pompstation WRK
- Fig.II.2 Coagulatie en snelfiltratie in het pompstation Schijf
- Fig.II.3 Menging, vlokvorming en vlokverwijdering in het zuiveringsbedrijf Kralingen
- Fig.II.4 Planzicht flocculator Oelegem
- Fig.II.5 Vlokkendekenfilter van het bedrijf Berenplaat
- Fig.II.6 Hydrotreator van het pompstation Andijk
- Fig.II.7 Accelator van het pompstation Braakman
- Fig.II.8 Menging en opwaartse filtratie in het filterstation Baanhoek.

- 1 aanvoerkanaal
- 2 dosering FeCl_3
- 3 dosering NaOH_3
- 4 vlokvormingskelder
- 5 bezinkbassin

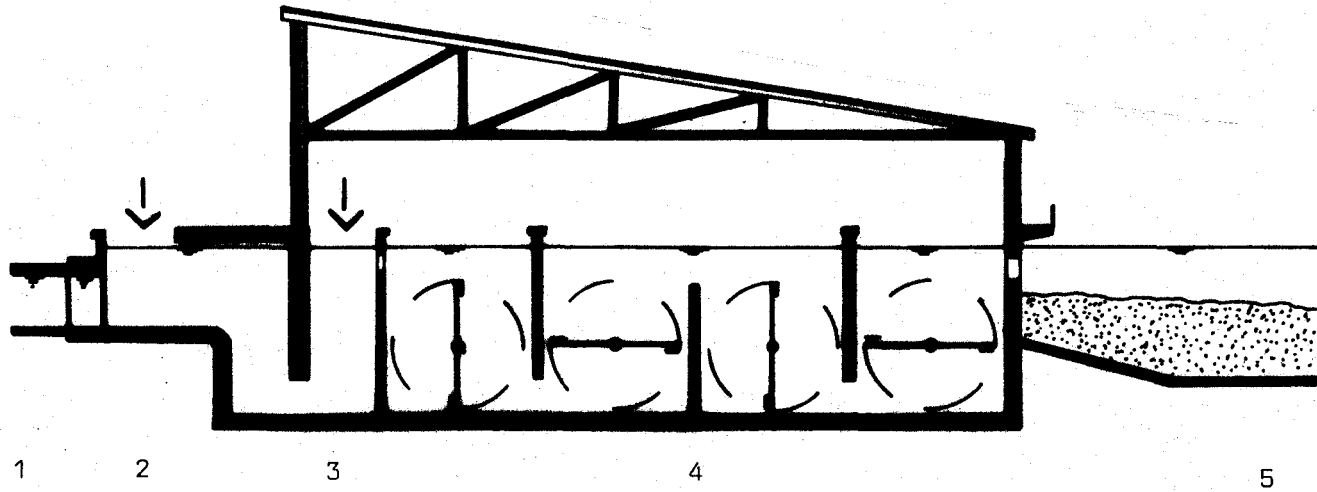


fig.II.1 Menging en vlokvorming in het pompstation WRK.

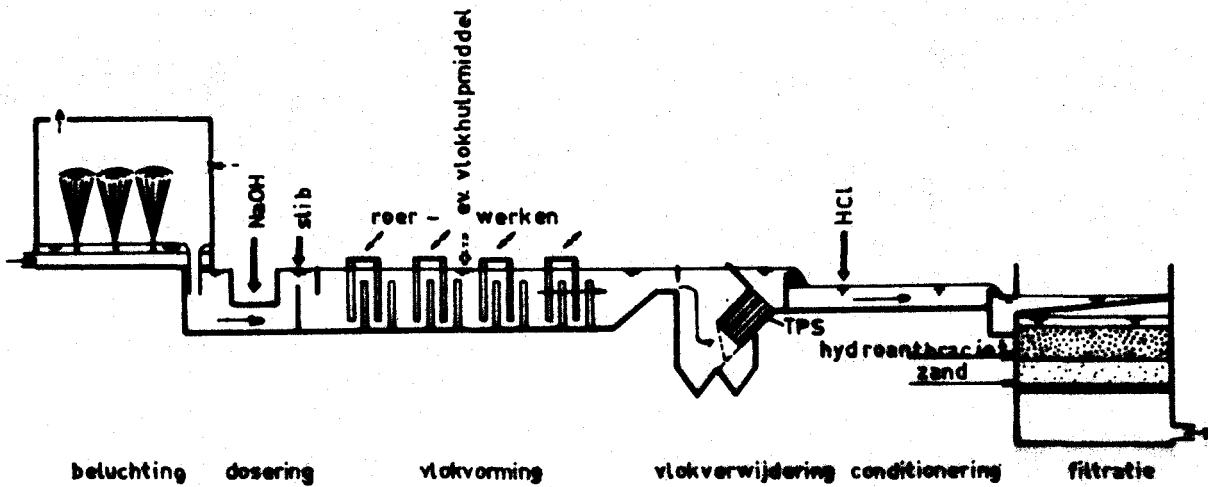


fig.II.2 Coagulatie en snelfiltratie in het pompstation Schijf

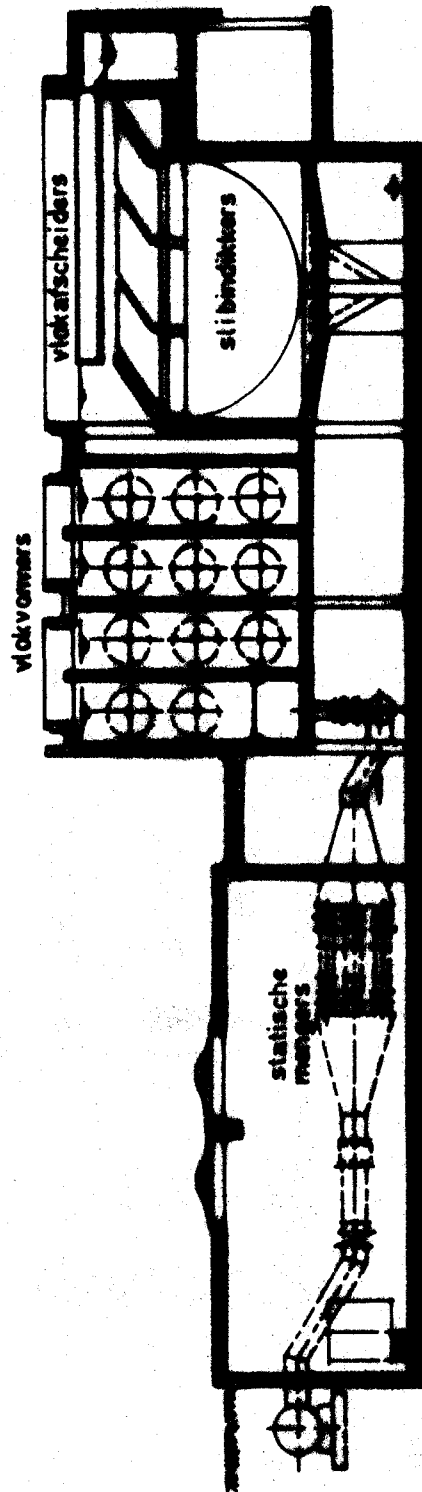
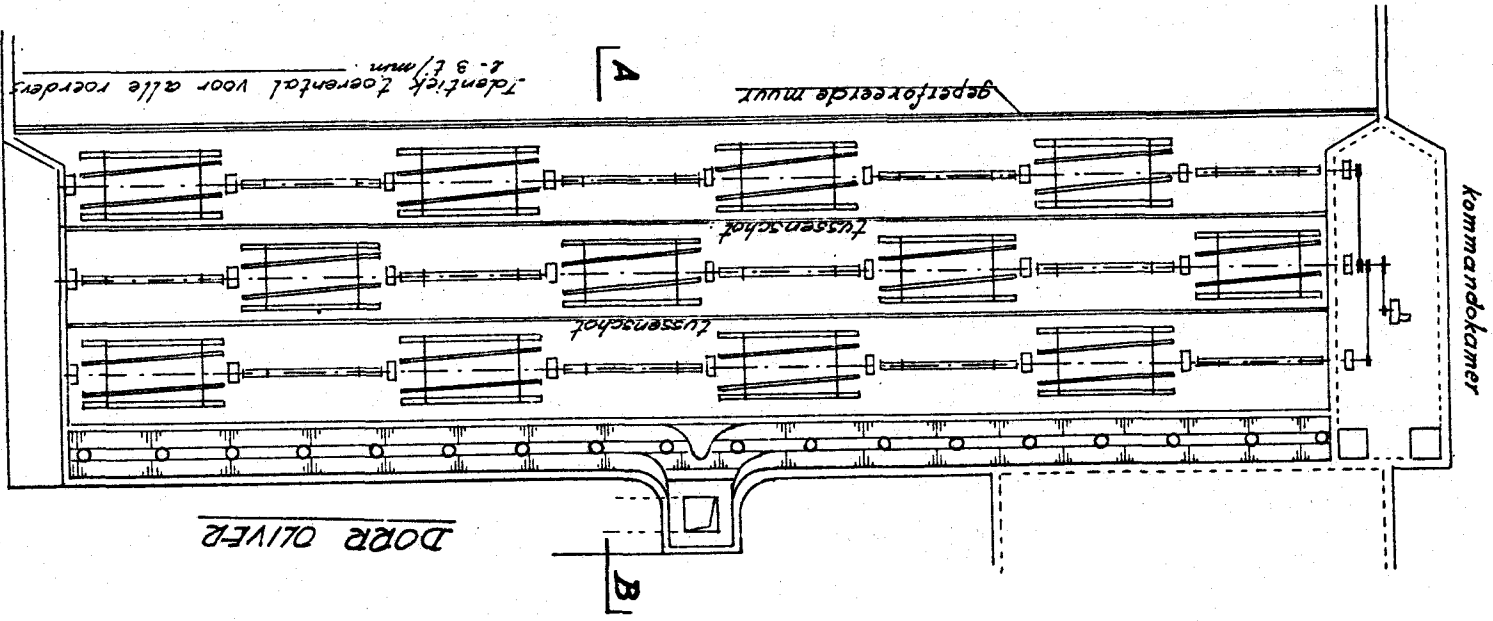
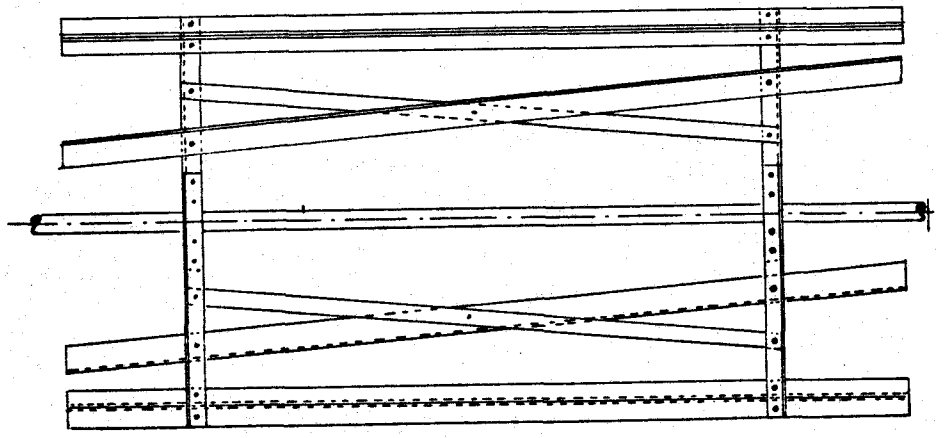


fig.II.3 Menging, vlokvorming en vlokverwijdering in het zuiverings-
bedrijf Kralingen



DETAIL ROERDER



DOORSNED E A-B

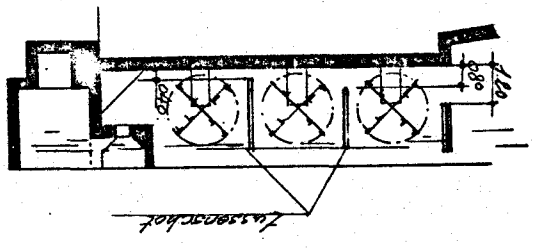


Fig. II. 4 Planzicht flocculator Oelegem

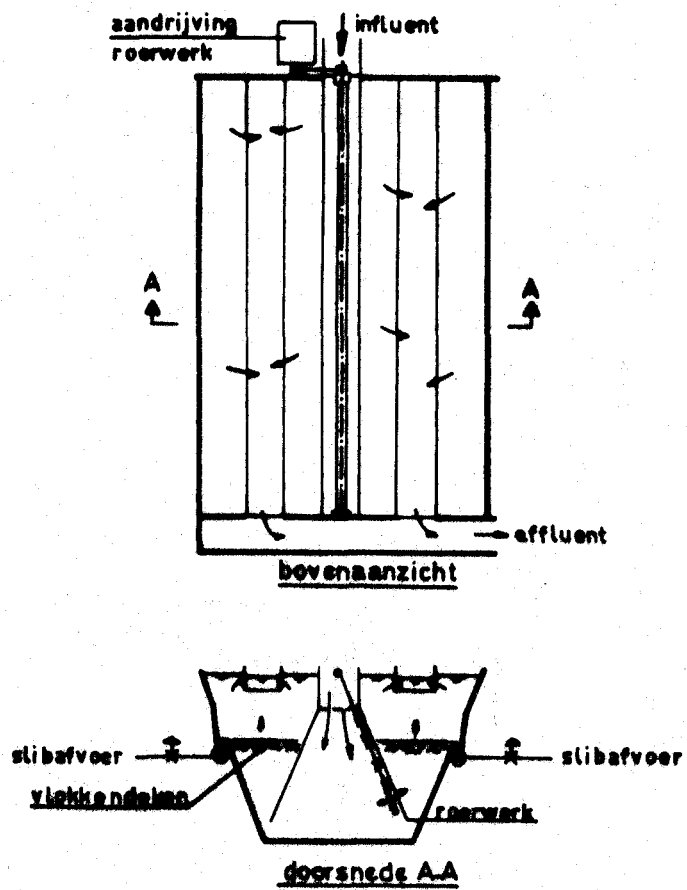
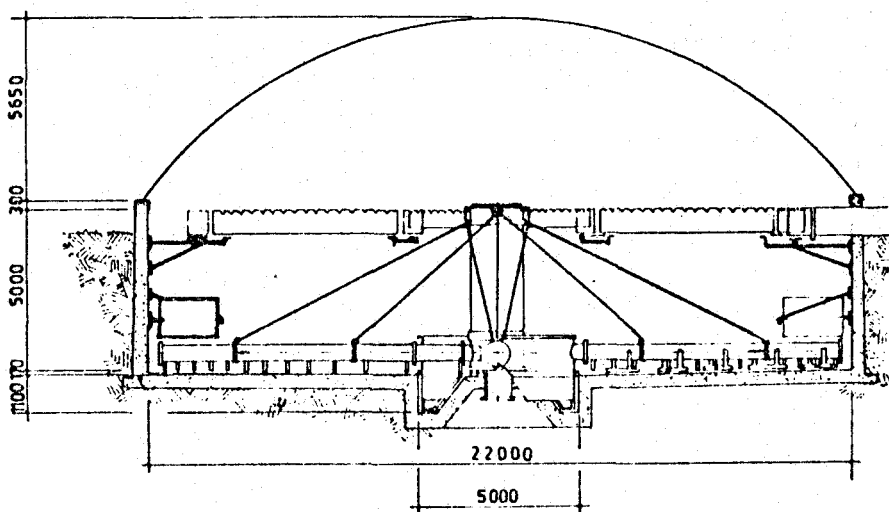
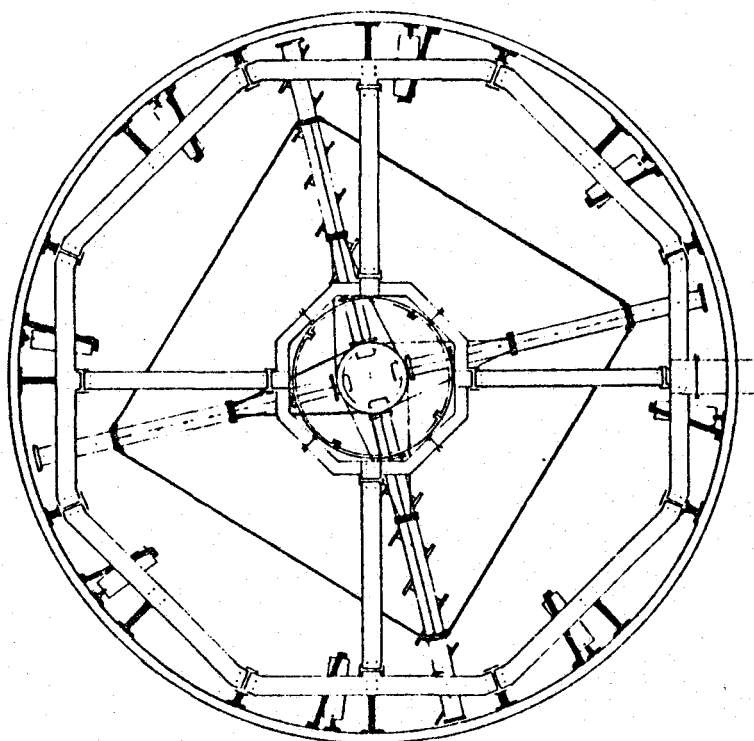


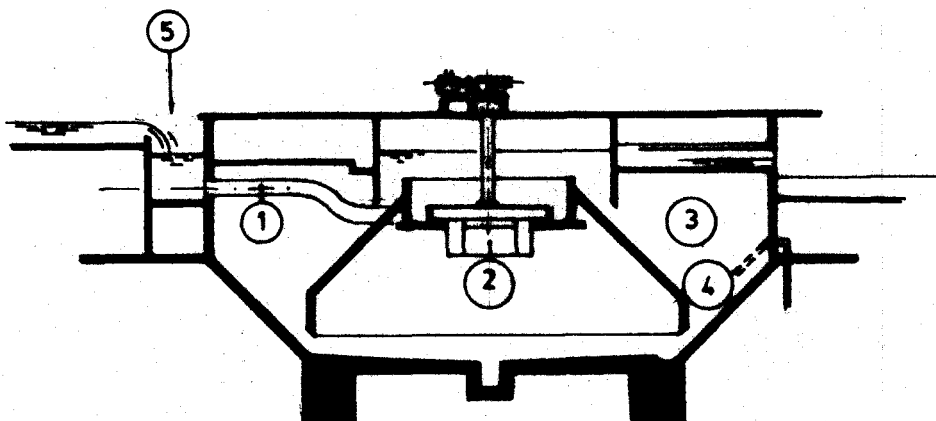
fig.II.5 Vlokkendekefilter van het bedrijf Berenplaat

PLATTEGROND.



DOORSNEDE.

fig.II.6 Hydrotreater van het pompstation Andijk (Dorr-Oliver).



- 1 INVOER
- 2 ROERWERK
- 3 SLIBVANG
- 4 SLIBSPUI
- 5 DOSERING FERROSULFAAT en CHLOOR

fig.II.7 Accelator van het pompstation Braakman

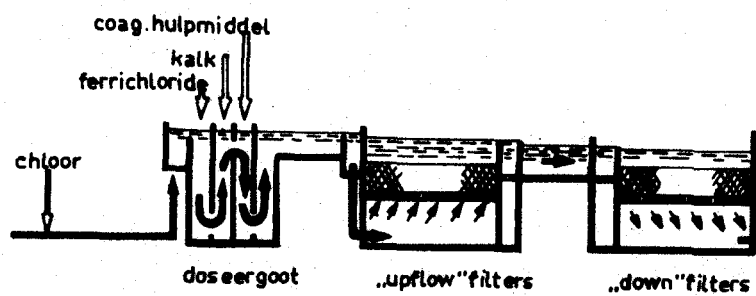


fig.II.8 Menging en opwaartse filtratie in het filterstation Baanhoek

Aanvulling KIWA-mededeling 39

BEREKENING VAN DE GEMIDDELDE SNELHEIDSGRADIËNT
G IN VLOKVORMINGSBASSINS

In de literatuur over menging in vlokformingsbassins wordt als kenmerk van de gedissipiëerde mengenergie per tijdseenheid in veel gevallen de G-waarde, de gemiddelde snelheidsgradiënt genoemd. In geroerde bassins geldt:

$$G^2 = \frac{P}{\mu V} \quad (1)$$

Het vermogen (P) aan de as kan worden berekend met de formule (lit.1):

$$P = C_t \rho \pi^3 n^3 (1-k)^3 \sum C_d \cdot L \cdot (R_u^4 - R_i^4) \quad (2)$$

Ingevuld in (1):

$$G^2 = \frac{C_t \rho \pi^3 n^3 (1-k)^3}{\mu V} \sum C_d \cdot L \cdot (R_u^4 - R_i^4) \quad (3)$$

Molt (lit.2) geeft voor de berekening van P de formule:

$$P = C_d \rho A \frac{v^3}{2} \quad (4)$$

waarbij

$$v = (1-k) v_{abs} = (1-k) n \cdot 2\pi \frac{R_u + R_i}{2} = n\pi (1-k) (R_u + R_i) \quad (5)$$

Ingevuld in (1)

$$G^2 = \frac{C_t \rho \pi^3 n^3 (1-k)^3}{2 \mu V} \Sigma C_d L (R_u - R_i)(R_u + R_i)^3 \quad (6)$$

Indien R_i niet veel kleiner is dan R_u , zoals bij hekwerkroerders het geval is, geldt:

$$\frac{(R_u - R_i)(R_u + R_i)^3}{2} \approx (R_u^4 - R_i^4)$$

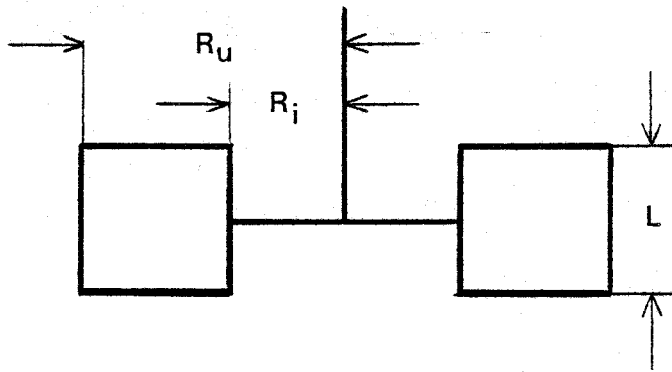
en zijn met de formule 3 en 6 berekende G-waarden gelijk. Bij grotere verschillen tussen R_u en R_i gaan de met beide formules berekende G-waarden afwijken.

Hoewel dus de formules voor de berekening van de G-waarden voor de gebruikelijke hekwerkroerders nagenoeg gelijk zijn, worden ogenschijnlijk duidelijk verschillende C_d -waarden gegeven.

Molt geeft de volgende waarde voor $Re > 10^3$:

Verhouding $\frac{L}{R_u - R_i}$	C_d
5	1,2
20	1,5
∞	1,9

(lit. 2, blz. 56). Deze waarden zijn via enkele andere literatuurverwijzingen uiteindelijk ontleend aan Rouse (lit. 3).



Figuur 1: Roerder

In KIWA-mededeling 39 wordt gesteld, dat voor roerbladen, zoals deze bij de vlokvorming meestal worden toegepast, geldt dat $C_d = 1,25$. Deze conclusie is echter waarschijnlijk getrokken aan de hand van fig. 4 (lit. 1, blz. 33), waar voor een rechthoekige plaat met lengte: breedte = 10:1 een C_d -waarde van 1,25 wordt gegeven. Uit de oorspronkelijke literatuur (lit. 4) bleek echter, dat deze waarde niet voor een hekwerkroerder (roerblad // roeras), maar voor een bladroerder (roerblad \perp roeras) is gegeven.

Hieruit kan geconcludeerd worden:

Verhouding $\frac{L}{R_u - R_i}$	C_d
0,1	1,25
1	1,15

Conclusie:

De G-waarde in een geroerd bassin kan worden berekend met de formule:

$$G^2 = \frac{C_t \rho \pi^3 n^3 (1-k)^3}{\mu V} \sum C_d L (R_u^4 - R_i^4)$$

Indien het Reynoldgetal $Re > 10^3$ is C_d konstant. Aangezien dit bij vlokvormingsbassins altijd het geval is kunnen de onderstaande waarden van C_d worden aangehouden.

Verhouding	$\frac{L}{R_u - R_i}$	C_d
	0,1	1,25
	1	1,15
	5	1,20
	20	1,50
	∞	1,90

De waarden van C_t zijn weergegeven in fig. 2 (Uit lit. 5).

Nomenclatuur:

G = snelheidsgradiënt	s^{-1}
P = vermogen, gemeten aan de as van de roerder	W
V = volume van het bassin	m
μ = dynamische viscositeit van het water	$\frac{Ns}{m^2}$
ρ = dichtheid van het water	kg/m^3
k = verhouding tussen de snelheid van het	

water, dat zich om het roerblad beweegt en de omtreksnelheid van het roerblad. Voor k wordt veelal een waarde van 0,25 aangehouden

n	= rotatiefrequentie	Hz
C_d	= weerstandscoëfficiënt	
L	= lengte van het roerblad in de as-richting	m
R_u	= grootste afstand van het roerblad tot de roeras	m
R_i	= kleinste afstand van het roerblad tot de roeras	m
C_t	= correctiefactor, afhankelijk van de temperatuur	
A	= oppervlak van het roerblad	m^2
v	= relatieve snelheid van het roerblad ten opzichte van het omringende water	m/s

Literatuur:

1. ir. M.J. van Melick. De praktijk van de menging en de vlokvorming. KIWA-mededeling nr. 39, december 1975.
2. E.L. Molt. Unit Operations. Uitgave TH, Delft.
3. H. Rouse. Engineering Hydraulics, 118-127, 1950. John Wiley & Sons Inc. New York.
4. ing. F.J. Noz. Beschouwingen over het benodigde vermogen van roerapparaten

(agitators). PT-Procestechniek, 1974,
blz. 409-414.

5. H.E. Hudson, J.P. Wolfner. Design of mixing
and flocculation, JAWWA 59, 1257, 1967.

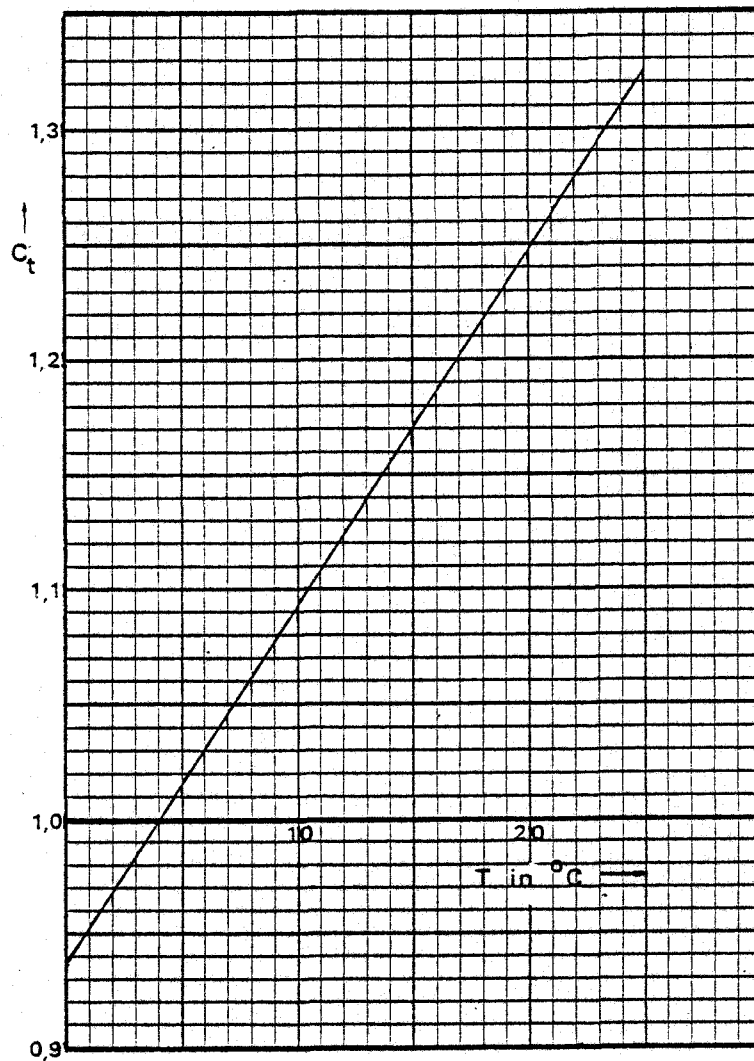


Fig 2. Correctiefactor C_t