

OPTIMERING VAN KOAGULASIE EN FLOKKULASIE IN DIE HERWINNING VAN KOELWATER UIT OLIESINTESE-AFVALWATER

deur

P WILLE & J VAN LEEUWEN

**Fakulteit Ingenieurswese
Departement Chemiese Ingenieurswese
Universiteit van Pretoria**

Verslag vir voorlegging aan die Waternavorsingskommissie
--

**PRETORIA
Januarie 1990**

**WNK Verslag Nr. 240/1/90
ISBN 0 947447 92 X**

DANKBETUIGING

Die navorsing waaroor in hierdie verslag gerapporteer word, spruit voort uit die volgende navorsingsprojek wat deur die Waternavorsingskommissie gefinansier is:

"Navorsing oor die verwydering van kollofde deur koagulasie en flokkulasie uit oliesintese-afvalwater".

Die loodskomitee wat vir die projek verantwoordelik was, het uit die volgende persone bestaan:

Dr O O Hart	:	Waternavorsingskommissie (Voorsitter)
Prof U Grimsehl	:	Universiteit van Pretoria
Mnr J J Gericke	:	Sastech
Mnr G H du Plessis	:	Sastech
Prof J van Leeuwen	:	Universiteit van Pretoria
Mnr P Wille	:	Universiteit van Pretoria
Mnr G R Botha	:	Stewart, Sviridov & Oliver

Die finansiering deur die WNK en die bydraes van lede van die loodskomitee word met dank erken.

Inhoudsopgawe

	<u>bl. no.</u>
Hoofstuk 1 : Inleiding	1
Hoofstuk 2 : Flokkulasie : Agtergrond en Evaluering	6
2.1) Wat is Kolloïde	6
2.2) Hoe Vind Botsings Plaas	7
2.3) Kolloïedstabiliteit	7
2.4) Stabiliteits- of Vashegtingsfaktor	8
2.5) Die Coulter-teller	9
2.5.1) Agtergrond van die Coulter-teller	9
2.5.2) Werking van die Coulter-teller	10
2.5.3) Analise van die Coulter-teller Data	11
2.6) Zeta-Potensiaal	12
2.6.1) Die Geskiedenis van Zeta-Potensiaal	13
2.6.2) Die Betekenis van Zeta-Potensiaal	13
2.7) Tegnieke vir die Evaluering van Flokkulasietoetse	16
2.7.1) Die Roertoets	16
2.7.1.a) Geskiedenis van die Roertoets	16
2.7.1.b) Doel van die Roertoets	17
2.7.1.c) Die Roertoetsprosedure	17
2.7.1.d) Standaardisasie van die Roertoets	19
2.7.1.e) Gewysigde Roertoets	19
2.7.1.f) Verbeterde Roertoets	20
2.7.1.g) Die Vereenvoudigde Roertoets	20
2.7.2) Kaskade Toetse	21
2.7.3) Tempo van Vlokvorming	21
2.7.4) Visuele Vergelyking van Vlokgrootte	22
2.7.5) Vlokdigtheid	22
2.7.6) Vlokvolume Konsentrasie	22
2.7.7) Besinkte Vlokvolume	23
2.7.8) Residuele Flokkulant Konsentrasie	23
2.7.9) Siltingsindeks	23
2.7.10) Filtreerbaarheidsnommer	24
2.7.11) Membraanherfiltrasie	24
2.7.12) Omgekeerde Gaasfilter	24
2.7.13) Katioonuitruilvermoë	25

2.8) Verskille tussen Koagulasie en Flokkulasie	25
2.9) Koagulasie	26
2.10) Flokkulasie	27
2.10.1) Algemene Geskiedenis van Flokkulasie	27
2.10.2) Die Doel van Flokkulasie	29
2.10.3) Verskillende Gebruike van Flokkulasie	30
2.10.4) Die Flokkulasieproses	31
2.10.5) Faktore wat Flokkulasie Beïnvloed	32
2.10.5.a) Flokkulantdosis	32
2.10.5.b) Flokkulasiehulpmiddels	33
2.10.5.c) Tipe Materiaal wat Troebelheid Veroorsaak	35
2.10.5.d) Partikelgrootte	35
2.10.5.e) Voorafgevormde Vlokkes	36
2.10.5.f) pH	36
2.10.5.g) Menging	37
2.10.5.h) Snelheidsgradiënt	38
2.10.5.i) Ander Faktore	39
2.10.6) Meganismes van Flokkulasie	39
2.10.6.a) Neutralisasie van die Oppervlaktlading	40
2.10.6.b) Dubbellaagteorie	40
2.10.6.c) Brugvorming	41
2.10.6.d) Flokkulasie by die Sekondêre Minimum	42
2.11) Tipes Flokkulante	43
2.11.1) Anorganiese Flokkulante	43
2.11.2) Verskillende Tipes Makromolekulêre Flokkulante	45
2.11.3) Fisiese Vorm van Polielektroliete	47
2.11.4) Kwaliteit van Polimere	48
2.11.5) Polimeerresidue en die Veiligheid Daarvan	49
2.11.6) Operationele Aanwending	51
2.11.7) Dosering van Flokkulant	51
2.11.8) Toerusting vir die Dosering van die Polimeer	52
2.11.9) Faktore wat die Polielektroliete se Werking Beïnvloed	52
2.11.9.a) Aard van die Flokkulant	53
2.11.9.b) Dosis van die Flokkulant	53
2.11.9.c) Molmassa van die Flokkulant	54
2.11.9.d) Invloed van die Konsentrasie van die Opgeloste Fase	55

2.11.9.e) Die Invloed van die Elektroliet Konsentrasie	55
2.11.10) Voor- en Nadele van Polielektroliete	56
2.11.11) Koste-effektiwiteit	57
2.11.12) Flokkulasiehulpmiddels	58
2.11.12.a) Bentoniet	58
2.12) Sedimentasie	59
2.13) Troebelheidsmeting	61
2.14) Bepaling van Gesuspendeerde Vastestowwe	61
Hoofstuk 3 : Eksperimentele Evaluering	64
3.1) Coulterteller	64
3.2) Zeta-Potensiaalmeter	65
3.3) Ander Apparaat	67
3.4) Eienskappe van die Flokkulante	68
3.4.1) Allied Colloids	69
3.4.2) Anikem	70
3.4.3) Cyanamid	70
3.4.4) Floccotan	71
3.4.5) NCP (Ultrafloc)	72
3.4.6) Protea Water Management	73
3.4.7) Zetachem	73
3.4.8) Anorganies Flokkulante	73
3.5) Eksperimentele Metodes	74
3.5.1) Partikeltellings	74
3.5.2) Zeta-Potensiaalmeting	75
3.5.3) Roertoetse	76
3.5.3.a) Roertoets met Besinking	77
3.5.3.b) Stadige Menging	77
3.5.3.c) Hersirkulasie van Vlokkie	77
3.5.3.d) Nie-ioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddel	78
3.5.3.e) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel	78
3.5.3.f) Sandfiltrasie	78
3.5.3.g) Klei as Flokkulasiehulpmiddel	78
3.5.3.h) Anorganiese Soute	79
3.5.3.i) Elektrolitiese Toevoeging van Yster	79
3.5.3.j) Kombinasies van Flokkulante	80
3.5.3.k) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddel	80

3.5.3.1) Voor-ozonering	80
3.5.3.m) Mikroflokkulasie	80
3.6) Proefaanlegtoetse	81
Hoofstuk 4 : Resultate	84
4.1) Grootteverspreiding	84
4.1.1) Deeltjies > 1 mm	84
4.1.2) Deeltjies Tussen $8\mu\text{m}$ en 1 mm	85
4.1.3) Deeltjies < $8\mu\text{m}$	85
4.2) Zeta-Potensiaal	88
4.3) Roertoetse	90
4.3.1) Roertoets en Besinking	90
4.3.2) Stadige Menging	90
4.3.3) Hersirkulasie van Vlokke	90
4.3.4) Nie-ioniese Flokkulant as Flokkulasiehulpmiddel	97
4.3.5) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel	97
4.3.6) Sandfiltrasie	97
4.3.7) Klei as Flokkulasiehulpmiddel	97
4.3.8) Anorganiese Soute	97
4.3.9) Elektrolitiese Toevoeging van Yster	106
4.3.10) Kombinasies van Flokkulante	106
4.3.11) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddel	106
4.3.12) Voor-ozonering	113
4.3.13) Mikroflokkulasie	113
4.4) Proefaanlegresultate	113
Hoofstuk 5 : Bespreking en Gevolgtrekkings	121
5.1) Partikeltellings	121
5.2) Zeta-potensiaal	122
5.3) Roertoetse	122
5.3.1) Roertoets en Besinking	123
5.3.2) Stadige Menging	124
5.3.3) Hersirkulasie van Vlokke	124
5.3.4) Nie-ioniese Flokkulant as Flokkulasiehulpmiddel	124
5.3.5) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel	125
5.3.6) Sandfiltrasie	125
5.3.7) Kleie as Flokkulasiehulpmiddel	126
5.3.8) Anorganiese Soute	126

5.3.9) Elektrolitiese Toevoeging van Yster	127
5.3.10) Kombinasies van Flokkulante	127
5.3.11) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddels	128
5.3.12) Voor-osonering	128
5.3.13) Mikroflokkulasie	128
5.4) Proefaanlegtoetse	129
Hoofstuk 6 : Gevolgtrekkings	130
Hoofstuk 7 : Aanbeveling	131
Hoofstuk 8 : Verwysings	132
Bylae 1	138
Bylae 2	139
Bylae 3	140
Bylae 4	147

Hoofstuk 1 : Inleiding

Die skaarsheid van hoë kwaliteit water en die belang van die optimale benutting van beskikbare waterbronne geniet internasionale erkenning. Verder word daar ook besef dat dit belangrik is om nie die water se kwaliteit te laat verswak nie. In Suid-Afrika is die probleem nog van groter belang, aangesien water hier meer as in ander lande 'n skaars hulpbron is.

Suid-Afrika is baie ryk aan 'n verskeidenheid van metale en minerale. Die meeste mynbou-aktiwiteite vind in die PWV-gebied plaas en die industrieë ter ondersteuning van die mynbou, sowel as die sekondêre industrieë het vanself ook in die gebied gevestig geraak. Die meeste kragstasies is ook in die gebied geleë, want die minerale neerslae sluit steenkool in.

Volgens Van Duuren et al. (1980) is die hoofbron van water in die gebied die Vaalrivier. Die oppervlak van die opvanggebied van die Vaalrivier is ongeveer 192 000 km², wat ongeveer 17% van die oppervlak van Suid-Afrika is (Transkei en Bophuthatswana ingesluit) en wat groter is as die hele Vrystaat. In 1960 was 30% van die land se bevolking en 50% van die blanke bevolking in die gebied woonagtig.

Verder noem Van Duuren et al. dat die deel van die bekken met die hoogste ekonomiese aktiwiteite in die Suid- en Suidoos-Transvaal lê en 'n klein gebied in die Noord-Vrystaat insluit. Hierdie gebied beslaan minder as 8% van die land se oppervlakte, maar huisves 20% van die bevolking (40% van die blankes), en dit het in 1960 61% van die land se minerale, 30% van sy landbouprodukte, 41% van sy nywerheidsprodukte geproduseer en 62% van sy totale elektrisiteit verbruik. Sedert 1960 het daar talle nuwe bedrywighede in die gebied bygekom, onder andere die twee aanlegte te Secunda. Dit is dus duidelik dat die Vaalrivier en sy sytakke 'n groot las dra, beide in watervoorsiening en besoede-

lingstowwe wat in die rivier gestort word.

Die Vaalrivier is heeltemal oorlaai. Die rivier se afloop is 4 500 miljoen m³ per jaar, waarvan 2 200 miljoen m³ per jaar benutbaar is. Die aanvraag in die gebied beloop egter 5 300 miljoen m³ per jaar. As gevolg van die watertekort word water van ander gebiede met behulp van pompskemas ingevoer. Volgens die D.W.W. word daar ongeveer 800 miljoen m³ water /jaar vanaf die Tugelarivier, oor die Drakensberg, na die Vaalrivier gepomp. 'n Ander aanvullende bron wat tans ontwikkel word is die Lesotho-hooglandprojek wat water vanaf Lesotho aan die PWV-gebied sal lewer na voltooiing.

Die sintetiese brandstofaanlegte van SASOL Bpk. op Secunda is op die waterskeiding, tussen water wat weswaarts na die Atlantiese Oseaan vloei en dié wat ooswaarts na die Indiese Oseaan vloei, geleë. As gevolg hiervan is daar slegs bolope van groter riviere, maar geen groot rivier self in die omgewing nie. Geen een van die riviere is groot genoeg om die aanlegte van water te voorsien nie, met die gevolg dat water teen 'n hoë koste vanaf die Vaalrivier ingevoer word. Verder kan die aanlegte hulle nie hulle uitvloeisel in die riviere in die omgewing stort nie en dit is dus nodig om die water ter plaatse te suiwer en dan weer te hersirkuleer.

Volgens Botha en De Wet (1984) is daar om die twee redes besluit om die zero-uitvloeisel beginsel te gebruik. As dit gedoen word is dit vir die aanlegte nodig om die water tot so 'n mate te suiwer dat die water hersirkuleer kan word as byvoorbeeld verkoelingswater. Die SASOL aanlegte op Secunda is waarskynlik die grootste ter wêreld wat op 'n zero-uitvloeiselbasis werk.

Die afvalwater van oliesintese-aanlegte is oor die algemeen ryk aan biologies afbreekbare organiese bindings en is daarom geskik vir geaktiveerdeslykbehandeling. Die organiese bindings

is onder andere afkomstig van :

- i) die vergassingsaanleg se gestroopte-gasvloeistof wat ryk is aan fenole en ammoniak
- ii) die Fischer-Tropschuitvloei sel wat ongeveer 10 g/l C_2 tot C_5 monokarboksielsure bevat en
- iii) oliebevattende water bv. van stortings en van kleiner strome vanaf verskillende dele van die aanleg.

Die verskillende strome word dan gekombineer en behandel in 'n aerobiese geaktiveerdeslykproses.

Die uitvloei sel van die proses vloei dan na 'n besinktenk vir slykverwydering en hersirkulasie na die geaktiveerdeslykproses. Die bo-water van die besinktenk is egter ryk aan gesuspendeerde en kolloïdale vastestowwe. Die water bevat egter ook soms slyk aangesien 'n probleem ondervind word met slykuitdying. Die uitdying is nie as gevolg van filamentagtige organismes nie, maar vingeragtige zoogeleale groei word in die meeste van die slykpartikels aangetref (Van Leeuwen, 1989). Die zoogeleale groei veroorsaak waarskynlik die slykuitdyingsprobleem.

Dit is nodig om die uitgedyde slyk, gesuspendeerde materiaal en kolloïdale deeltjies te verwyder. Vir die doel word daar gebruik gemaak van flokkulasie, besinking en filtrasie. Verdere behandeling sluit geaktiveerde-koolstofadsorpsie en anioonuitruiling voor hergebruik van die water in.

Weens die verskeidenheid stowwe wat in die water is, is dit moeilik om koagulasie en flokkulasie te bewerkstellig. Verder is koagulasie en flokkulasie met metaalsoute ongewens. Die rede hiervoor is dat die soutinhoud van die water, en veral die anioonkonsentrasie, afkomstig van die anorganiese koagulante, sal toeneem met siklusse van hergebruik. Dit sal lei tot 'n verhoging in die las op die anioonuitruiler. Meer gereelde regenerasie en vervanging van die hars sal dan nodig wees.

Die probleem om die effektiewe flokkulasie van die kolloïde in die geaktiveerdeslykuitvloei te kan ondersoek, het tot die volgende ondersoek gelei; soos in hierdie verhandeling vervat :

- 1) karakterisering van die kolloïde
- 2) laboratoriumtoetse en
- 3) proefaanlegtoetse.

Tydens die karakterisering van die kolloïde is daar veral aandag gegee aan twee aspekte, naamlik die partikellading en die grootte van die kolloïde. Die partikellading is van belang omdat die vermoede bestaan dat slegs 'n klein deel van die poliëlektroliet gebruik word om die ladings van die kolloïde op te hef, terwyl die res gebruik word vir flokkulasie. Omdat die partikelgrootte 'n parameter is in die bepaling van die zeta-potensiaal, is dit belangrik dat die meeste deeltjies in die kolloïdale gebied val en dat 'n gemiddelde diameter vasgestel word.

Die effektiwiteit van beide organiese- en anorganiese flokkulante, sowel as die effek van flokkulasiehulpmiddels is van kardinale belang vir die ekonomiese uitvoerbaarheid van flokkulasie. Die moontlikheid van die gebruik van organiese poliëlektroliete, as primêre koagulant- en flokkulasiehulpmiddels, wat nie sal aanleiding gee tot 'n toename in die anioonkonsentrasie nie, moet ondersoek word. Die gebruik van ander flokkulasiehulpmiddels wat ook nie bydra tot die soutvrag nie, soos bentoniet, kaolien en osoon moet ondersoek word. Die effektiwiteit en koste van die voorafgemelde stowwe moet met dié van anorganiese soute vergelyk word.

Die wenslikheid van sandfiltrasie om die vlokke wat nie besink nie te verwyder behoort geëvalueer te word. Die toepassing van al die bevindings op proefaanleg skaal by die aanleg is van uiterste belang.

Al bogenoemde ondersoeke is uitgevoer en vorm die basis van hierdie verhandeling.

Hoofstuk 2 : Flokkulasie : Agtergrond en Evaluering

Aangesien die grootste deel van die gesuspendeerde stowwe in die uitvloeisel van die geaktiveerdeslykproses se besinktenk in die kolloïdale gebied val, het hul eienskappe en die manier waarop dit bepaal word die grootste invloed op koagulasie en flokkulasie. Verder is die metodes wat gebruik word vir die evaluering van koagulasie en flokkulasie ook van belang. Daar word ook in die hoofstuk aandag gegee aan die prosesse van koagulasie en flokkulasie self, sowel as die faktore wat die prosesse beïnvloed. 'n Ander belangrike aspek wat aandag ontvang, is die tipes koagulante en flokkulante wat gebruik kan word. Laastens word daar gekyk na sedimentasie en hoe die effektiwiteit van verwydering evalueer kan word.

2.1) Wat is Kolloïde

Volgens Gregory (1977) kan kolloïde geklassifiseer word as die partikels met 'n grootte van tussen 1 nm (10^{-9} m) en $1\mu\text{m}$ (10^{-6} m), alhoewel hierdie grense nie absoluut is nie. By die ondergrens is die onderskeid tussen klein gedispergeerde deeltjies en groot opgeloste molekules nie baie duidelik nie. Die bogrens is so gekies, want deeltjies kleiner as dit is nie maklik sigbaar met 'n gewone optiese mikroskoop nie. Verder word die verhouding tussen die totale oppervlakarea en volume baie groot vir deeltjies kleiner as $1\mu\text{m}$.

'n Suspensie van kolloïde as geheel het geen lading nie, aangesien die ladings van die partikels presies gebalanseer word deur teenione met teenoorgestelde ladings (Gregory, 1977).

Kolloïde wat vir lang tye as afsonderlike partikels bly bestaan word stabiel genoem, terwyl die wat aggregate vorm onstabiel is. Vir die vorming van aggregate is botsings nodig.

2.2) Hoe Vind Botsings Plaas

Soos in die vorige paragraaf genoem is, is botsings nodig vir die kolloïde om aggregate te vorm. Ali et al. (1984) verdeel kontak tussen partikels in water in drie verskillende fisiese prosesse, nl. :

- i) Browniese beweging a.g.v. termiese-effekte
- ii) Afskuiwingskragte in die vloeistof a.g.v. vloei-effekte
- en iii) Differentiële sedimentasie a.g.v. gravitasie-effekte.

Volgens Fitch (1979) werk die Van der Waals- en Londonaan-trekkingskragte van die kolloïde teen die elektrostatiese afstotingskragte tussen die deeltjies en veroorsaak dat hulle na kontak aan mekaar heg.

Gregory (1983) noem dat flokkulasie weens Browniese beweging bekend staan as perikinetiese flokkulasie en botsings as gevolg van menging van die vloeistof as ortokinetiese flokkulasie. Die konsentrasie van deeltjies in water is meestal te laag vir voldoende botsings om perikinetiese flokkulasie te bewerkstellig. Roering is dus nodig vir die vorming van aggregate. Die tempo waarteen botsings plaasvind, is dus afhanklik van die mate van roering en die volumefraksie gesuspendeerde materiaal.

Tydens sedimentasie besink die vlokke wat tydens koagulasie en flokkulasie gevorm het en vind daar botsings tussen die vlokke plaas. Die prosesse word in paragraaf 2.12 bespreek.

2.3) Kolloïedstabiliteit

Volgens Gregory (1977) kan vashegting tussen stabiele kolloïde wat bots op twee maniere voorkom word :

- a) In hidrofiliese kolloïde wat gewoonlik opgeloste makromolekule soos proteïne, stysels en humiensure is, stoot die molekules mekaar af, want hulle verkies kontak met watermolekules bo

kontak met hul eie soort molekules. Die kolloïde is dus termodinamies stabiel en bly onbeperk in suspensie. Flokkulasie kan in dié geval slegs verkry word deur die oplosbaarheid van die stof in water te verander, bv. : verandering van temperatuur, byvoeging van elektroliet en die byvoeging van soute wat onoplosbare komplekse met die makromolekules vorm.

b) Hidrofobiese kolloïde is onoplosbaar in water, soos kleie en is stabiel as gevolg van elektriese ladings op die deeltjies. As die deeltjies nader aan mekaar kom, sal die ladings hulle van mekaar wegstoot en dit lei dan tot stabiliteit.

2.4) Stabiliteits- of vashegtingsfaktor

Dit is volgens Ali et al. (1984) gerieflik en 'n standaard praktyk om die stabiliteit van partikels in 'n waterige suspensie as 'n stabiliteitsfaktor (α) uit te druk. Die faktor is die verhouding tussen die botsings wat aggregate produseer en die totale aantal botsings wat weens fisiese prosesse plaasvind, m.a.w. :

$$\alpha = \frac{\text{aantal vashegtings}}{\text{aantal botsings}}$$

Vir 'n perfekte stabiele suspensie is alle botsings onsuksesvol en $\alpha = 0$. Vir 'n totaal gedestabiliseerde suspensie lei alle botsings tot die vorming van aggregate en $\alpha = 1$. Die α -waardes wat in die praktyk aangetref word, is egter baie kleiner as 1.

Gregory (1983) beweer dat selfs volledig gedestabiliseerde suspensies α -waardes van heelwat kleiner as 1 het. Dit word toegeskryf aan hidrodinamiese interaksie tussen partikels tydens menging, wat die effektiwiteit van botsings met 'n faktor van 5 of meer kan verminder. Optimum flokkulasietoestande behoort ooreen te stem met 'n maksimumwaarde vir die vashegtingsfaktor. Volgens Stumm en Morgan (1981) is die waarde van α vir vars water in die orde van 10^{-6} . Dit beteken dat een uit elke miljoen bot-

sings wat plaasvind, lei tot die vorming van 'n aggregraat. Ali et al. (1984) beweer egter dat beperkte eksperimentele metings dui op groter waardes.

2.5) Die Coulter-teller

Die grootte van die kolloïde speel 'n belangrike rol by die karakterisering van kolloïde en daar word van 'n Coulter-teller gebruik gemaak om 'n normaalverspreiding van die groottes van die kolloïde in die water grafies voor te stel.

2.5.1) Agtergrond van die Coulter-teller

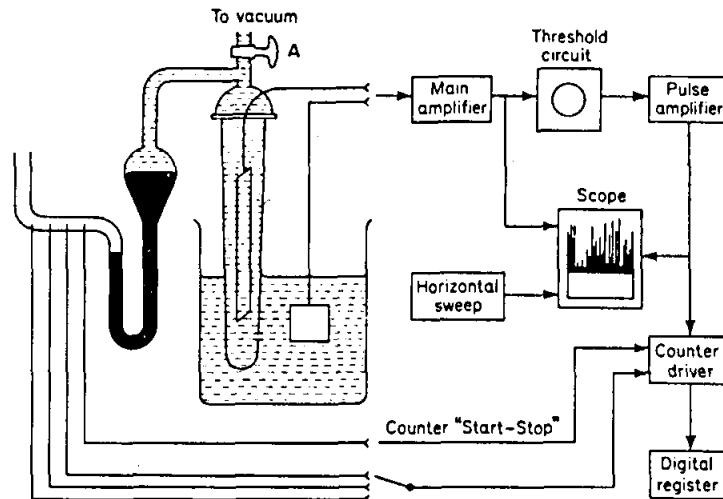
Die Coulter-tegniek behels volgens Allen (1981) die bepaling van die aantal en grootte van partikels in 'n elektroliet, deur die water wat die deeltjies bevat deur 'n klein opening te laat beweeg. Aan elke kant van die opening is 'n elektrode. As 'n partikel nou deur die opening beweeg verander die weerstand oor die elektrodes en dit veroorsaak 'n voltpuls wat eweredig is aan die volume van die partikel. Die pulse word vervolgens versterk, gemeet en getel. Uit die sommering van hierdie waardes word die grootteverspreiding opgestel.

Verder noem Allen (1981) dat die tegniek oorspronklik gebruik was om bloedselle te tel. Daar is egter besef dat die apparaat ook geskik is om ander deeltjies te tel en die apparaat is vervolgens gewysig om ook bakterieë te tel. Die volgende logiese stap was om die apparaat te wysig om nie net deeltjies te tel nie, maar ook om hulle volumes te meet. Dit is die tipe apparaat wat hier gebruik is.

2.5.2) Werking van die Coulter-teller

'n Gekontroleerde vakuum, wat by punt A op Figuur 5.1 op bl. 9 aangetoon word, gee volgens Allen (1981) aanleiding tot vloei

Figuur 5.1
Coulter-teller



Figuur vanaf bl.302 Allen

deur 'n saffieropening in 'n glasbuis in en versteur die balans van kwik in die hewel. Die vakuum word nou afgesluit met kraan A en vloeï vind nou plaas weens die balanserende effek van die kwikhewel. Die bewegende kwik aktiveer nou die teller met behulp van aan/af elektriese kontakte. Die kontakte is so geplaas dat 'n bekende volume van die elektroliet deur beweeg, tipies bv. 0.05 ml, 0.5 ml of 2 ml.

Die weerstand oor die opening in die glasbuis word met behulp van twee ondergedompelde elektrodes, een aan weerskante van die opening, gemonitor. As 'n partikel deur die opening beweeg verander die weerstand. 'n Spanningspuls ontstaan, word versterk, gemeet en die aantal pulse van 'n sekere grootte word getel. Uit hierdie waardes word 'n grootteverspreiding vir die gesuspendeerde deeltjies opgestel.

Aangesien die konsentrasie van gesuspendeerde deeltjies in 'n oplossing gewoonlik baie hoog is, is dit volgens Gregory

(1983) nodig om die oplossings baie te verdun om dit in 'n meetbare konsentrasiegebied te kry.

2.5.3) Analise van die Coulter-teller Data

Die metode van verwerking van die data is as volg deur Allen (1981) uiteengesit: Die onverwerkte Coultertelling bestaan uit 'n aantal partikels, N_i , met 'n volume groter as v_i vir 'n reeks groottes $i=1$ tot n . v_i is egter slegs implisiet bepaal in terme van 'n drumpelwaarde, t_i . Uit t_i kan die partikel se diameter, d_i , as volg bereken word :

$$d_i = k \cdot t_i^{1/3} \quad -(1)$$

k is 'n kalibrasiefaktor en word bepaal deur kalibrasie met sferiese of byna sferiese partikels van bekende grootte.

Volgens Barnes et al. (1966) is daar nou vier metodes om die data te ontleed.

i) Metode 1

In die eerste metode word aanvaar dat die gemiddelde volume in die gebied d_i en d_{i+1} eweredig is aan :

$$\bar{t}_i = 1/2(t_i + t_{i+1}) \quad -(2)$$

en die volumefraksie is eweredig aan:

$$I_i = (N_{i+1} - N_i) \bar{t}_i \quad -(3)$$

Uit hierdie waardes kan die kumulatiewe volumefraksies groter as d_i as volg bereken word:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^i I_j}{\sum_{j=1}^n I_j} \quad -(4)$$

ii) Metode 2

In hierdie metode word aanvaar dat $\bar{t}_i$ as volg uitgedruk kan word:

$$\bar{t}_i = (k^3/4)(d_i^2 + d_{i+1}^2)(d_i + d_{i+1}) \quad -(5)$$

I_i en V_i word steeds bereken met behulp van vergelykings (3) en (4).

iii) Metode 3

Hier word $\bar{t}_i$ bereken as :

$$\bar{t}_i = ((k/2)(d_i + d_{i+1}))^3 \quad -(6)$$

I_i en V_i word weereens met vergelykings (3) en (4) bereken.

iv) Metode 4

In hierdie metode word die volume-fraksie as volg bereken :

$$I_i = t_i N_i - t_{i+1} N_{i+1} + \int_{t_i}^{t_{i+1}} N dt \quad -(7)$$

'n Derdemagsvergelyking word gebruik om die integraal op te los. Dan word aanvaar dat $N = a + bt + ct^2 + dt^3$ vir die (N_i, t_i) kurwe tussen t_i en t_{i+1} . Die koëffisiënte word bereken deur $N(t)$ deur die punte (N_i, t_i) en (N_{i+1}, t_{i+1}) te laat gaan en die volgende twee vergelykings op te los :

$$\begin{aligned} \frac{(dN)}{(dt)}_i &= \frac{1}{2} \left(\frac{N_i - N_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} + \frac{N_{i+1} - N_i}{t_{i+1} - t_i} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{en:} \quad \frac{(dN)}{(dt)}_{i+1} &= \frac{1}{2} \left(\frac{N_{i+1} - N_i}{t_{i+1} - t_i} + \frac{N_{i+2} - N_{i+1}}{t_{i+2} - t_{i+1}} \right) \end{aligned}$$

Vir die laaste punte word 'n paraboliese vergelyking gebruik, nl. $N = a + bt + ct^2$. Met I_i nou bekend kan V_i ook bereken word, soos in vergelyking (4) gegee.

2.6) Zeta-Potensiaal

Die tweede aspek van belang in die karakterisering van die kolloïde is die oppervlaklading. Die aspek is gekwantifiseer in die meting van die zeta-potensiaal.

2.6.1) Die Geskiedenis van Zeta-Potensiaal

Volgens Swope (1977) is die verskynsel dat gesuspendeerde deeltjies in water na óf die anode óf die katode beweeg as daar 'n spanning oor die water geplaas word vir die eerste keer in 1808 deur Reuss waargeneem.

Sy noem verder dat Prof. A.P. Black van die Universiteit van Florida een van die eerste persone was wat die beginsel van zeta-potensiaal in die studie van koagulasie van onsuierhede in water gebruik het.

Die toerusting wat in vroeër jare gebruik was, het probleme opgelewer met die polarisasie van die elektrodes en die feit dat die apparaat gereeld skoongemaak moes word. In die vroeë 1960's het Dr. T.M. Riddick die Zeta-Meter ontwerp, wat die meet van zeta-potensiale beide vinnig en maklik gemaak het. Volgens Gregory (1983) bestaan daar deesdae baie moderne toerusting vir die meet van zeta-potensiaal, soos die wat gebaseer is op laser-Doppler-spektroskopie wat baie vinnig en eenvoudig is, maar die toerusting is baie duur.

2.6.2) Die Betekenis van Zeta-Potensiaal

Culp en Culp (1974) definieër die zeta-potensiaal as 'n aanduiding, in millivolts, van die elektriese potensiaal wat bestaan tussen (1) die buitenste en vaste laag teenione rondom die kolloïed en (2) die vloeistof waarin die kolloïed gesuspendeer is. Kolloïde in water is feitlik altyd negatief gelaai en aangesien eenderse ladings mekaar afstoot, vind koagulasie nie spontaan plaas nie. Deur die negatiewe ladings en dus ook die zeta-potensiaal te verlaag en ligte roering toe te pas, sal botsings plaasvind en die kolloïde sal vlokke vorm. Die zeta-potensiaal word gemeet deur mikroskopiese deeltjies waar te neem, terwyl hulle in 'n elektriese veld beweeg. Die zeta-potensiaal kan dan as volg

bereken word :

$$\zeta = \frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot \pi \cdot \mu \cdot V}{H \cdot D}$$

waar ζ is die zeta-potensiaal (V)

μ is die viskositeit van die vloeistof (kg/m s)

V is die partikelsnelheid (m/s)

H is die potensiaal gradient (V/m)

en D is die dielektriese konstante (F/m)

Die vloeistof word nou in 'n sel gegiet en die elektrodes word daarin geplaas. Die stroom en spanning word ingestel en vir die duur van die lesing konstant gehou. Die tyd wat dit die deeltjies neem om 'n bekende afstand te beweeg word gemeet. Die beweging wat gemeet word, moet horisontaal van een elektrode na die ander wees. Ongeveer tien lesings moet in elke rigting geneem word.

Riddick (1961) noem dat daar gelet moet word dat die zeta-potensiaal nie vir al die kolloïde dieselfde is nie, maar dat dit 'n rekenkundige gemiddeld is wat effens sal verskil vir verskillende monsters van dieselfde water. Alhoewel ander literatuur twintig lesings in totaal voorstel, beveel Riddick aan dat 100 lesings beter is om 'n goeie gemiddeld te kry. In die berekening van die gemiddelde moet die effek van beide die vinnigste en die stadigste deeltjies buite rekening gelaat word.

In die vertolking van die waardes wat verkry word, sê Schwoyer (1981) dat 'n groter zeta-potensiaal op die deeltjies sal lei tot 'n groter gemeenskaplike afstotingskrag. Hy stel verder dat 'n zeta-potensiaal van ± 10 mV en groter sal lei tot so 'n groot afstoting dat die deeltjies nie sal aggregeer nie, ten spyte van botsings tussen die partikels. 'n Hoër zeta-potensiaal sal lei tot swak besinktenk- en opgeloste-lugflottasie effektiwiteit. Deur nou die zeta-potensiaal te verlaag, word beter werking van hierdie eenheidsprosesse bewerkstellig. Die

minimum zeta-potensiaal behoort met maksimum effektiwiteit gepaard te gaan. Die zeta-potensiaal is ook afhanklik van faktore soos pH, spesifieke geleidingsvermoë en temperatuur. Die wisseling in zeta-potensiaal met verandering in temperatuur is ongeveer 2% per °C.

Die verband tussen zeta-potensiaal en stabiliteit van die kolloïed is volgens Gregory (1983) nie altyd so eenvoudig nie. Dit is byvoorbeeld moontlik dat 'n anioniese polimeer negatiewe deeltjies kan flokkuleer en in so 'n geval meer negatief word. Die zeta-potensiaal sal dus nie in so 'n geval betroubaar wees as 'n aanduiding van die optimale dosis nie. Verder glo Ishibashi (1980), anders as ander navorsers, dat 'n lae zeta-potensiaal nie 'n voorvereiste is vir goeie koagulasie nie. Volgens hom kan daar ook by hoë zeta-potensiale goeie koagulasie plaasvind. Volgens Treweek en Morgan (1979) is die geldigheid van zeta-potensiaal lesings baie beperk as brugvorming plaasvind, soos tydens die gebruik van anioniese- en nie-ioniese flokkulante.

Flokkulante affekteer natuurlik die zeta-potensiaal. Volgens Riddick (1961) sal die zeta-potensiaal verlaag word met die gebruik van aluminiumsulfaat, maar die dosisse wat nodig is, is dikwels so hoog dat al die alkaliniteit in die water opgebruik word. Aan die ander kant lei poliëlektroliete tot groot veranderinge in die zeta-potensiaal, sonder veel veranderinge in die alkaliniteit en pH. Gandurina *et al.* (1986) noem dat hoë molmassa organiese flokkulante die zeta-potensiaal vinniger laat daal as lae molmassa flokkulante. Dit word toegeskryf aan 'n toename in die aantal kontakte tussen makromolekules en kolloïde.

Riddick (1961) sê daar is veral vier redes waarom zeta-potensiaal nie wye praktiese toepassing in die nywerheid en water-suiweringsveld gevind het nie, soos hieronder :

- 1) Die meeste van die navorsing wat in die veld gedoen is, is deur suiwer wetenskaplikes gedoen en hulle het min belang-

stelling getoon in die praktiese toepassing van die kennis wat ingewin is.

- 2) Die elektroforese selle wat beskikbaar is, is so delikaat dat hulle gebruik beperk is tot hoogs gespesialiseerde laboratoria.
- 3) Die tegniek is so eksak en die tyd benodig om 'n bepaling te maak, is so lank dat dit potensie le gebruikers ontmoedig.
- 4) Slegs beperkte inligting is oor die onderwerp gepubliseer.

Alhoewel zeta-potensiaal nuttig is in navorsing, is dit moeilik om die apparaat aan te pas vir gebruik in 'n aanleg, want 'n redelike mate van vaardigheid en geduld is nodig om lesings te neem en om die data te interpreteer. Daar is ook gevind dat aanlegte wat die apparaat aangekoop het dit selde gebruik.

2.7) Tegnieke vir die Evaluering van Flokkulasietoetse

Aangesien flokkulasie baie algemeen toegepas word in watersuiwering, is verskeie tegnieke ontwikkel om die effektiwiteit van flokkulasie kwantitatief uit te druk.

2.7.1) Die Roertoets

Van die tegnieke wat gebruik word in die evaluering van flokkulasie, is die roertoets die gewildste en daar word vervolgens meer aandag daaraan gegee.

2.7.1.a) Geskiedenis van die Roertoets

In die geskiedenis van die roertoets is daar drie belangrike datums wat deur Black et al. (1957) genoem word. Die eerste toetse wat gebruik gemaak het van 'n meganiese roerder is in 1918 by die Universiteit van Kalifornië uitgevoer deur W.F. Langelier. Tweedens het Willcomb in 1932 voorgestel dat 'n op en af beweging beter menging tot gevolg sal hê as 'n roterende beweging. 'n

Baie belangrike verwikkeling was toe Nolte en Kramer in 1933 aandag daarop gevestig het dat ordentlike menging nodig is om sinvolle resultate te kry. Die waarnemings het gelei tot die verbetering van die apparaat wat in die roertoets gebruik word.

2.7.1.b) Doel van die roertoets

Volgens Neuman (1981) het die roertoets verskeie gebruike, soos die evaluering van reuk- en smaakprobleme, optimisering van koagulasie, flokkulasie en versagtingsbehandelings asook analyses soos die bepaling van die invloed van hersirkulasie van slyk. Nadele is die verskil tussen heersende temperature in die aanleg en in die laboratorium en die tyd wat benodig word vir die toetse.

Culp en Culp (1974) sê die roertoets word vir verskillende doeleindes gebruik. Die hoofdoel is egter om die aard en omvang van chemiese behandeling wat in 'n aanleg nodig is, aan te dui. Die roertoets word dus gebruik in die toets van flokkulante, flokkulasiehulpmiddels, versagters en geaktiveerde koolstof. Flokkulasiehulpmiddels wat gereeld getoets word, is klei, geaktiveerde koolstof, kalk en soda-as.

Volgens Schwoyer (1981) is die doel van die roertoets om die werking van 'n aanleg in miniatuur na te boots en om dan die invloed van die verandering van 'n enkele veranderlike te bepaal, terwyl ander veranderlikes konstant gehou word. Dit is dus volgens Culp en Culp (1974) veral baie belangrik dat die toestande in die aanleg so akkuraat moontlik nageboots word.

2.7.1.c) Die Roertoetsprosedure

Roertoetsing is die tradisionele manier waarmee koagulante en flokkulante in 'n laboratorium evalueer word. Die toets bestaan volgens Benedek en Bancsi (1976) uit die toevoeging van

verskillende koagulantdosisse in flesse. Hierop volg drie stappe, nl. :

- 1) Flitsmenging wat hoofsaaklik gebruik word om die koagulant eweredig deur die water te versprei.
- 2) Stadige menging vir flokkulasie om plaas te vind en
- 3) Besinking van die gevormde vlokke.

Na ongeveer 30 minute van besinking word 'n monster van die bo-water geneem vir analise om die effektiwiteit van die koagulant te bepaal. Deur die analyses van die verskillende flesse te vergelyk kan 'n optimum koagulantdosie bepaal word. Dertig minute is normaalweg voldoende vir volledige besinking.

Die volgende tydsverdeling vir die drie stappe in die roertoets word deur Ellis et al. (1982) as die beste vir troebelheidsverwydering beskou :

- 1) 2 minute flitsmenging
- 2) 10 minute stadige menging
- 3) 30 minute besinktyd.

Volgens Benedek en Bancsi (1976) kan die roertoets uitgebrei word om inligting te kry oor die aard van die gevormde vlokke. Tegnieke wat gebruik word is visuele- of elektroniese vloggrootte waarneming; tyd tot vorming van die eerste vlok en stadige roering tydens besinking. Hierdie tegnieke gee 'n indirekte aanduiding van die besinkingsvermoë van die vlokke wat vorm. 'n Tegniek is ook voorgestel om veelvuldige monsterneming tydens besinking te bewerkstellig om die besinkingsvermoë direk te meet.

Soos met enige toets het die roertoets ook nadele en Te Kippe en Ham (1970) se hoofkritiek teen die roertoets is die feit dat menging op so 'n klein skaal nie 'n akkurate hidrouliese model is vir wat in 'n groot prototipe plaasvind nie.

2.7.1.d) Standaardisasie van die Roertoets

'n Probleem van die roertoets wat deur Black et al. (1957) genoem word, is dat daar geen standaardisasie van die roertoetse tussen die verskillende laboratoria en werkers bestaan nie. Dit lyk egter of die meeste werkers 'n relatief kort periode van flitsmenging gebruik, wat daarna gevolg word deur 'n langer periode van stadiger menging. Wisselende besinkingstye word gebruik volgens die doel van die eksperiment. Alhoewel hierdie toets baie nuttig gebruik word, voel baie mense dat standaardisasie nodig is, sodat resultate met mekaar vergelyk kan word.

Die faktore wat die belangrikste is en wat die grootste invloed het is die volgende :

- 1) Die grootte van die monster
- 2) Die grootte en vorm van die houer
- 3) Die grenssnelheid en tydsduur van vinnige menging
- 4) Die grenssnelheid en tydsduur van stadige menging
- 5) Kriteria vir die vasstelling van die optimum dosis.

Schwoyer (1981) glo egter dat daar so baie metodes vir die gebruik van koagulasie en flokkulasie is, dat dit nie moontlik is om 'n standaard metode voor te skryf nie.

2.7.1.e) Gewysigde Roertoets

Die wysiging bestaan volgens Te Kippe en Ham (1970) daaruit dat die geflokkuleerde oplossing wat in die roertoets gekry word deur 'n sandfilter gestuur word. Die doel van die wysiging is om tyd te bespaar. As daar verder 'n direkte verband bestaan tussen die troebelheid na besinking en die na filtrasie, kan die waardes na filtrasie omgeskakel word na die van gewone roertoetse. Anders kan die waardes net so met mekaar vergelyk word.

2.7.1.f) Verbeterde Roertoets

Volgens Cohen (1957) word hierdie tegniek gebruik as dit nodig is om monsters gelyktydig te neem, of so na as moontlik aan gelyktydig vir vergelyking. Dit is veral van belang as besinking vinnig geskied.

Die werking van die apparaat berus daarop dat monsternemingstoerusting in die bekere geplaas word en dat 'n beheerde vakuum oor die toerusting geplaas word. Na flokkulasie word 'n tydskakelaar gestel om na besinking die klep te laat oopgaan om dan die monsters te neem. As die houers waarin die monsters geneem is verwyder word, kan nog 'n stel monsters geneem word. Op die manier kan daar elke minuut van besinking 'n monster geneem word. Deur op gereelde intervalle monsters te neem en dan die troebelheid teen tyd te plot kan bepaal word of besinking suksesvol is.

2.7.1.g) Die Vereenvoudigde Roertoets

Die proses is beskryf deur Surchek en Tutein (1976). Alhoewel tyd in die proses bespaar word, is dit nie minder professioneel as die konvensionele roertoets nie. 'n Gelyktydige direkte vergelyking tussen verskillende polimere kan in die toets gemaak word. Die outeurs vestig aandag daarop dat dit belangrik is om die toetse te doen op 'n tipiese monster en nie op 'n monster wat geneem is na storting uit 'n enkelladingsproses of tydens tydelike veranderinge nie.

Die toets bestaan uit tien stappe :

- 1) Gooi gelyke watermonsters in ses bekere en plaas die bekere op die roerapparaat.
- 2) Roer vir 30 sekondes teen 100 RPM om enige besinkte stowwe te hersuspendeer. Staak roering.
- 3) Doseer elke beker met gelyke dosisse, maar van ses verskillen-

de soorte polimere, bv. 1 ml, 0.01% oplossing.

- 4) Na byvoeging van die polimere begin menging teen 100 RPM vir twee minute gevolg deur menging teen 40 RPM vir vyf minute. Hierdie waardes kan volgens behoefte gewysig word.
- 5) Kyk nou na roering na die vloggrootte. As die grootte nie in enige beker toegeneem het nie, voeg gelyke hoeveelhede addisionele polimeer by. Herhaal stap 4. Die proses word nou herhaal totdat daar in een van die bekere vlokke vorm.
- 6) Herhaal stappe 1, 2 en 4 met die laaste dosis. Die doel verander nou na : om gelyke vloggrootte in al die bekere te kry.
- 7) Voeg nou addisionele polimeer in al die bekere, behalwe die een met die grootste vlokke. Voer menging uit.
- 8) Herhaal stap 7 totdat al die bekere gelyke vloggroottes het. Die vlokke moet nie te groot of te klein wees nie. 'n Goeie vloggrootte is een waar meeste partikels binne een minuut na menging na die bodem gesink het.
- 9) Herhaal stappe 1, 2 en 4 met die verskillende dosisse wat in stap 8 gekry is. Doen fyn aanpassings van dosis indien nodig.
- 10) Meet nou die troebelheid van die water by die dosisse in stap 9 verkry.

2.7.2) Kaskadetoetse

Volgens Healey et al. (1987) kan dosering in 'n aanleg ook met kaskadetoetse evalueer word. Die toets bestaan daaruit dat 'n monster van die water wat met die flokkulant behandel is in die aanleg geneem word, wanneer die water na die besinktenk vloei. In die laboratorium word die water nou stadig geroer, toegelaat om te besink en dan filtreer. Die troebelheidslesing so verkry is 'n aanduiding van die effektiwiteit van flokkulasie.

2.7.3) Tempo van Vlokvorming

Volgens Te Kippe en Ham (1970) is dit 'n eenvoudige toets waar die tyd gemeet word van die oomblik wat die flokkulant byge-

voeg word tot die eerste verskyning van sigbare vlokke. 'n Tyn-dall ligstraal word soms gebruik om die waarneming van die vlokke te vergemaklik. Selfs dan is dit dikwels moeilik om die eerste vlokke te sien en die waarnemings is dus kwalitatief. Die eerste vlok wat vorm besit ook nie noodwendig die beste eienskappe vir latere prosesse nie.

2.7.4) Visuele Vergelyking van Vlokgrootte

Volgens Te Kippe en Ham (1970) bestaan die tegniek uit die kwalitatiewe waarneming en vergelyking van vlokke soos hulle vorm. Verskillende waarnemers sal waarskynlik verskillende gevolgtrekkings maak oor dieselfde suspensies. Die belangrikheid van vloksterkte en digtheid word egter nie in ag geneem nie. Die gebruik van die 'Willcomb Floc Index' kan die waarnemings vergemaklik.

2.7.5) Vlokdigtheid

Te Kippe en Ham (1970) noem dat die vlokdigtheid bereken kan word uit die volume van die partikel en die spoed waarmee die vlok besink in 'n vloeistof met bekende digtheid en viskositeit. Daar kan óf aanvaar word dat die partikel sferies is, óf 'n vormfaktor kan toegeken word. Vlokke is beslis nie sferies nie en dit is moeilik om die vormfaktor te bepaal. Die digtheid en vorm van partikels verander ook heelwat as hulle uit hulle oplossing verwyder word of as die oplossing verdun word om die partikelvolume en die besinkspoed te bepaal.

2.7.6) Vlokvolumekonsentrasie

Die meting word gedoen na die standaard roertoets. Daarna word daar volgens Te Kippe en Ham (1970) monsters geneem en die vlokke in die monsters word getel en hul grootte word bepaal met 'n stereomikroskoop. Alhoewel die proses stadig is, kan 'n

grootteverspreidingsdiagram verkry word en die vlokdigtheid kan bereken word. Die tegniek se nut is veral in navorsing geleë en word nie juis in die praktyk gebruik nie.

2.7.7) Besinkte Vlokvolume

In kleinskaal toetse is die vlokvolume volgens Te Kippe en Ham (1970) dikwels te laag om die vlokvolume akkuraat te meet. Dit geld ook tydens die roertoets. In 'n kontinue proses is die parameter egter van belang in slykverwydering en disponering.

2.7.8) Residuele Flokkulant Konsentrasie

Die tegniek behels volgens Te Kippe en Ham (1970) die chemiese analise van die water, na besinking, vir flokkulantione wat in oplossing of suspensie bly. Die beginsel waarop die tegniek gebaseer is, is die aanname dat optimale flokkulasie en besinking van die vlokke sal lei tot optimale verwydering van partikels. Vir lae flokkulantdosisse, waar oplosbare polimeriese komplekse primêr verantwoordelik is vir partikelverwydering is die aanname nie noodwendig geldig nie. Hoër dosisse as wat nodig is kan in so 'n geval waargeneem word.

2.7.9) Siltingsindeks

'n Geflokkuleerde suspensie word hier volgens Te Kippe en Ham (1970) deur 'n filter gestuur by konstante druk en 'n vloeitempo wat afneem as gevolg van bevuiling van die membraan. Die tyd word gemeet. Die siltingsindeks word as volg bereken :

$$S.I. = \frac{\text{tyd om tweede} \quad \text{tyd om eerste}}{5 \text{ ml te filtreer} - 5 \text{ ml te filtreer}}$$

tyd nodig om die eerste 1 ml te filtreer

Gelagtige vlokke, wat vorm in suspensies met hoë flokkulantkonsentrasies, bedek die membraan en lei tot 'n vinnige afname in vloeitempo. Die siltingsindeks is dus veral nuttig om oordose-

ring van flokkulant te voorkom, aangesien verstopping oordose-ring aandui.

2.7.10) Filtreerbaarheidsnommer

Te Kippe en Ham (1970) sê in die tegniek word die tyd benodig om 'n 200 ml monster van 'n roertoets bowater deur 'n $0.45\mu\text{m}$ membraanfilter te filtreer vergelyk met die tyd benodig om 'n gelyke volume gedistilleerde water te filtreer. Die verhouding tussen die twee waardes is die filtreerbaarheidsnommer. Die membrane wat in die tegniek gebruik word, is dieselfde as die wat in die bepaling van die siltingsindeks gebruik word.

2.7.11) Membraanherfiltrasie

Volgens Te Kippe en Ham (1970) behels die tegniek die vorming van 'n filterkoek deur die suspensie deur 'n $0.45\mu\text{m}$ filter onder konstante druk te filtreer. Die filtraat word opgevang en deur die koek en 'n tweede maal deur die membraan filtreer. Die tyd benodig om die monster te herfiltreer word gemeet en is bekend as die herfiltrasietyd. 'n Mikroskoop word vervolgens gebruik om die koekdikte te meet. Met die inligting kan die Carman-Kozeny vergelyking gebruik word om die gemiddelde oppervlak van die partikels in die koek te bereken. Groter partikels het kleiner spesifieke oppervlaktes en korter herfiltrasietye as kleiner partikels.

2.7.12) Omgekeerde Gaasfilter

Te Kippe en Ham (1970) beskryf hoe 'n klein filter gemaak word deur een punt van 'n glasbuis, met 'n diameter van 1 duim en 'n lengte van 4 duim, met drie lae gaas te bedek. 'n 250 ml monster van geflokkuleerde water is nodig. Die gaasfilter word in die monster geplaas en die water filtreer opwaarts deur die gaas in die buis in. Die troebelheid van die gefiltreerde monster

word bepaal en gekorreleer met troebelheid na besinking.

2.7.13) Katïoonuitruilvermoë

Langelier het volgens Te Kippe en Ham (1970) gevind dat partikels met 'n katïoonuitruilvermoë van groter as $250 \mu\text{ekw/l}$ vin-nig koaguleer. By laer waardes is koagulasie stadiger. Packham (1962) beweer egter dat die vermoë van 'n partikel om ione uit te ruil nie 'n aanduiding is van ander oppervlakeienskappe nie.

2.8) Verskille tussen Koagulasie en Flokkulasie

Gilman et al. (1979(a)) sê dat koagulasie die hele proses van aggregasie beskryf, insluitende partikeldestabilisasie en partikeloordrag, terwyl flokkulasie net die oordragstap behels.

Fiessinger (1978) beskryf dit duideliker as hy sê dat koagulasie beperk is tot die elektrostatiese verskynsels van destabilisasie en die daaropvolgende stappe vorm flokkulasie. Die meeste Amerikaners gee egter prioriteit aan die term koagulasie om die hele begrip te verteenwoordig en hulle beskou flokkulasie net as die oordrag van die partikels. In watersuiwering is die meganismes van flokkulasie egter van meer belang en die term word meer gebruik.

Baran en Solomentseva (1983) beweer dat die aggregate wat gevorm word deur flokkulasie 'n redelike los struktuur het, teenoor die meer kompakte vlokke wat gevorm word tydens koagulasie. Verder beweer hulle dat flokkulasie 'n omkeerbare proses is, anders as koagulasie.

Gregory (1977) maak egter beswaar oor die bestaande terminologie, want partikels aggregeer soms sonder dat die presiese meganisme bekend is en blykbaar nie met die prosesse soos hierbo beskryf ooreenstem nie.

2.9) Koagulasie

Koagulasie is onafskeidbaar van die daaropvolgende flokkulasie en skeiding. Volgens Fiessinger (1978) is koagulasie naas ontsmetting die mees algemene behandeling in watersuiwering. Dit verteenwoordig in terme van chemikalie- en kapitale koste ten minste die helfte van die koste van behandeling. Koagulasie werk egter oor 'n baie wye spektrum van stowwe en is die goedkoopste behandeling per massa materiaal verwyder.

Volgens Healey et al. (1987) bestaan koagulasie uit twee stappe, nl. destabilisasie en partikeloordrag. Destabilisasie vind plaas weens die byvoeging van chemiese koagulante en partikeloordrag vind plaas weens fisiese roering. Die prosesse is afhanklik van mekaar, d.w.s. koagulasie kan nie destabilisasie veroorsaak nie, tensy voldoende verspreiding en kontak van die partikels plaasvind en gedestabiliseerde kolloïde sal nie aggregeer nie, tensy voldoende kontak kan plaasvind as gevolg van destabilisasie.

Onvoldoende verspreiding van die polimeer, as gevolg van swak vermenging kan lei tot :

- 1) Swak destabilisasie as gevolg van gebiede met lae chemikalie konsentrasie en onvoldoende polimeer adsorpsie.
- 2) Herstabilisasie en moontlike omkeer van lading as gevolg van die versadiging van die oppervlaktes van kolloïdale partikels.

Fiessinger (1978) noem ook verskeie faktore wat koagulasie beïnvloed, soos :

- i) Die aard van die partikels bv. of dit hidrofilies of hidrofoobies is.
- ii) Die aard van die elektriese ladinge op die partikels.
- iii) Partikelgrootte is ook belangrik, want dit gee 'n aanduiding van die aktiewe oppervlak wat beskikbaar is.
- iv) Partikelkonsentrasie speel ook 'n rol. As dit te laag is,

kan dit verhoog word deur die byvoeging van stowwe soos bentoniet, geaktiveerde koolstof, ens.

v) pH speel ook 'n rol.

vi) Die aard van die ione wat teenwoordig is. Katione verhoog die optimum pH vir presipitasie, terwyl anione dit verlaag.

vii) Temperatuur speel ook 'n rol deurdat dit die optimum pH vir koagulasie verander.

Volgens Schwoyer (1981) is die effektiwiteit van koagulasie van vier faktore afhanklik, nl. :

- 1) Effektiwiteit van botsing van partikels - dit is die fraksie van alle botsings tussen partikels wat tot suksesvolle aggre gasie lei.
- 2) Die frekwensie van botsings van partikels - dit is die gemid- delde tyd waarop botsings tussen partikels plaasvind.
- 3) Snelheidsgradiënt - energie of snelheid van botsings tussen partikels.
- 4) Retensietyd - die tyd wat voorsien word vir koagulasie om plaas te vind.

Die botsingseffektiwiteit kan verhoog word deur 'n koagulant by te voeg, of deur die chemiese en fisiese karakteristieke van die vloeistof te verander. Die frekwensie van botsings word bepaal deur die spoed van menging tydens koagulasie en die konsentrasie van die partikels. Die snelheidsgradiënt is ook afhanklik van die spoed van menging.

2.10) Flokkulasie

Aangesien flokkulasie die belangrikste meganisme is in die werk word dit in meer detail bespreek.

2.10.1) Algemene Geskiedenis van Flokkulasie

Die gebruik van koagulante en flokkulante vir watersuiwering is lank reeds bekend en algemeen in gebruik.

Volgens Cohen et al. (1958) is die gebruik van poliëlektroliete al ongeveer 4 000 jaar oud. In die Sanskritiese manuskripte van 2 000 v.C. word gesê dat die sade van Strychnos potatorum gebruik is vir die verheldering van water. Verder noem Baran en Solomentseva (1983) dat die ekstrakte van sekere plante lank reeds in Indië gebruik is vir watersuiwering en dat eierwit in antieke Griekeland gebruik is vir die verheldering van wyn. Die gebruik van polimere het in meer onlangse tye herleef toe La Mer en Smellie (1956) voorgestel het dat aartappelstysel gebruik moet word vir die versnelling van sedimentasie en ontwatering van slyke in die produksie van uraan en in die verryking van fosfaatbevattende ertse.

Hudson (1957) noem dat watersuiwering 'n drastiese verbetering ondergaan het op die stadium toe die oorspronklike flokkulasietenk, waar (1) aluminiumsulfaat in die voer tot die tenk gevoeg is, (2) flokkulasie in die tenk plaasgevind het en (3) besinking ook so ver moontlik in die tenk moes geskied, vervang is deur 'n meer moderne proses. Die moderne proses bestaan uit vier stappe:

- 1) Byvoeging van die flokkulant.
- 2) Die verspreiding daarvan deur die vloeistof.
- 3) Roering om die partikels en die flokkulant in kontak met mekaar te bring.
- 4) Roering om die groeiende vlokke in grootte en digtheid te laat toeneem.

Stappe 3 en 4 is die flokkulasieproses.

Volgens Cohen et al. (1958) is poliakrielsuur een van die eerste sintetiese polimere wat bestudeer is. Dit is 'n polimeer wat uit akrielsuur eenhede opgebou is.

Argaman en Kaufman (1970) glo dat ontwikkeling in die veld van sintetiese polimere op die stadium van publikasie van hul artikel vinniger as ooit tevore plaasgevind het. Volgens hulle

het die gebruik van poliëlektroliete gelei tot 'n soeke na meer effektiewe en ekonomiese waterverhelderingsisteme. 'n Toenemende belangstelling wêreldwyd in die verbetering van afvalwaterbehandeling en nutriëntverwydering het gelei tot meer belangstelling in presipitasie en die gepaardgaande flokkulasieprosesse. Schwoyer (1981) bevestig dat die gebruik van poliëlektroliete vanaf die 1970's drasties toegeneem het. Hy skryf die toename toe aan toenemende bewuswording en regeringsdruk vir beter omgewingsbewaring en die toenemende bewuswording van die ekonomiese voordele verbonde aan die gebruik van poliëlektroliete.

Healey et al. (1987) sê dat polimeriese flokkulante, wat hidrofiliese makromolekulêre bindings is, oorspronklik gebruik is om die eienskappe van trivalente aluminium- en ystervlokkings te verbeter. Die bindings is eers later chemies gewysig om as primêre koagulant te dien.

Verder noem Healey et al. (1987) dat die gebruik van sintetiese polimere in waterbehandeling vir menslike gebruik aanvanklik moeilik aanvaar is, omdat baie van die vroeë polimere van akriëlamied gemaak is, wat 'n neurotoksien is, en van akriëlsuur, wat irriterend op die vel werk. Na die vorming van die "Committee of New Chemicals and Materials of Construction for use in Public Water Supply and Swimming Pools" wat periodiek lyste van chemikalieë wat as veilig beskou word vrystel, het die gebruik van polimeriese flokkulante vir drinkwaterbehandeling begin toeneem.

2.10.2) Die Doel van Flokkulasie

Volgens Hoffman (1976) is die doel van flokkulasie om anorganiese swewende stowwe en kolloïde, alge, bakterieë en ander mikroörganismes asook kolloïdale kleurdeeltjies te verwyder. Die behandelde water behoort na verheldering en ontsmetting helder, kleurloos, reukloos, smaakloos en chemies stabiel te wees. Mees-

te van die munisipale watersuiweringswerke kan volgens Hoffman (1976) meer ekonomies bedryf word as meer aandag aan die flokkulasieproses gegee word.

Cohen et al. (1958) beskryf 'n flokkulant as 'n chemikalie wat gebruik word om 'n groter vlok te laat vorm, wat aanleiding gee tot vinniger besinking. Die vermoë van kationiese flokkulante om lewende organismes, soos sekere alge, te koaguleer en te flokkuleer, is 'n addisionele voordeel wat dit bo anioniese flokkulante het.

2.10.3) Verskillende Gebruike van Flokkulasie

Packham (1972) noem drie hoof toepassings vir poliëlektroliete, nl. :

- i) As primêre flokkulant in plaas van anorganiese soute
- ii) As flokkulasiehulpmiddel om die vlokke te kondisioneer voor vastestof-vloeistof skeiding
- iii) Om slyk te kondisioneer voor ontwatering.

Die gebruik van baie klein hoeveelhede wateroplosbare polimere van beide sintetiese- en natuurlike oorsprong kan volgens Baran en Solomentseva (1983) drastiese veranderinge in die stabiliteit van oplossings tot gevolg hê. Polimere word algemeen gebruik in die suiwing van natuurlike waters en uitvloeiels, asook in die konsentrering en detoksifisering van suspensies. Verdere gebruik is die verbetering van filtrasie karakteristieke van presipitate en van die struktuur van klei deeltjies. Flokkulasie kan in verskillende stappe van waterbehandeling gebruik word, nl. :

- 1) Om die vorming en besinking van vlokke te versnel
- 2) Om die verheldering van die water te verbeter
- 3) Om die vloei in die suiwingstoerusting te verhoog.

Volgens Gilman et al. (1979(a)) word flokkulante ook gebruik vir kleur en troebelheidsverwydering, fosfaatverwydering, slyk-kondisionering vir droogbeddens en slykverdikking. Polimere kan ook gebruik word as inhibitore vir skaalvorming. Sekere water-onoplosbare polielektroliete sal virusse adsorbeer. Virusse kan so van nie-virale proteïene geskei word en die virusvrye vloeistof kan weggedoen word.

Axberg en Wennerburg (1980) beskryf 'n metode waardeur emulsies, met 'n geëmulgiseerde olie konsentrasie van 1 000 tot 4 000 ppm, deur die byvoeging van 'n kationiese polielektroliet geflokkuleer word. In die geval is dit verkieslik om 'n lineêre polimeer met 'n hoë ladingsdigtheid te gebruik.

2.10.4) Die Flokkulasieproses

Ali et al. (1984) stel dat daar kontak tussen vaste deeltjies in water kan plaasvind as gevolg van fisiese prosesse. Onder sekere chemiese toestande kan hierdie kontakte lei tot vashegting van die botsende deeltjies om aggregate te vorm. Volgens Argaman en Kaufman (1970) is die doel van die koagulant in feitlik alle gravitasie skeidingsisteme om die suspensie sodanig te konditioneer dat een partikel aan 'n ander kan vasheg. Dit word bewerkstellig deur die oppervlakeienskappe van die deeltjies so te verander dat vashegting kan plaasvind. Vashegting vind plaas deur 'n bruggingsagent wat aan twee of meer deeltjies kan vasheg en sodoende 'n aggregaat vorm.

Volgens Gilman et al. (1979(a)) kan flokkulasie verdeel word in polimeriese adsorpsie en primêre kolloïedbotsings om aggregate te vorm. Die oordragstap kan onderverdeel word in perikinetiese- en ortokinetiese flokkulasie. In perikinetiese flokkulasie word kontak gemaak deur termiese- en Browniese bewegings, terwyl beweging van die vloeistof as gevolg van roering kontak veroorsaak in ortokinetiese flokkulasie.

Destabilisasie is volgens Gregory (1983) die proses waar die lading van die partikels verklein word. Soms kan 'n oormaat flokkulant lei tot 'n verdere verandering in die teken van die lading en dié proses staan bekend as herstabilisasie.

Verder noem Gregory (1977) dat 'n belangrike aspek tydens ortokinetiese flokkulasie die feit is dat die vlok nie oneindig vergroot vir 'n sekere afskuiftempo nie, maar dat daar 'n sekere beperkende vloggrootte bestaan. Dit is omdat die vlokke begin opbreek bo 'n sekere kritieke afskuiftempo wat afhanklik is van die grootte en die sterkte van die vlok. Dit is dus nodig om 'n balans te vind tussen 'n hoë flokkulasietempo wat 'n hoë afskuiftempo verg en die vloggrootte wat afneem met 'n toename in die afskuiftempo.

Drie kriteria word volgens Packham (1962) algemeen gebruik om die effektiwiteit van flokkulasie te evalueer, nl. :

- 1) Die grootte van die vlokke na die byvoeging van die flokkulant en 'n standaard periode van menging.
- 2) Die tydverskil tussen die byvoeging van die flokkulant en die vorming van die eerste vlokke wat met die oog sigbaar is.
- 3) Die troebelheid van die monster na 'n standaard periode van menging en besinking.

Die derde metode is die mees subjektiewe en gee ook 'n indeks van die mate van suiwering wat plaasvind.

2.10.5) Faktore wat Flokkulasie Beïnvloed

Net soos by alle prosesse in watersuiwering, is daar 'n verskeidenheid faktore wat flokkulasie beïnvloed. Die faktore word vervolgens bespreek.

2.10.5.a) Flokkulantdosis

Volgens Kawamura (1976) is die belangrikste faktor wat flok-

kulasie beïnvloed, die korrekte flokkulantdosis, met of sonder flokkulasiehulpmiddels. Die keuse van die flokkulant speel hier ook 'n rol.

Verder noem Kawamura (1976) dat aluminiumsulfaat steeds een van die mees effektiewe, algemene en ekonomiese flokkulante is. Die stelling is egter meer van toepassing in Europese lande. Aluminiumsulfaat word egter nie in Suid-Afrika in ontgunbare hoeveelhede aangetref nie en moet vanaf Europa ingevoer word. Om die rede is dit hier verkieslik om yster(III)chloried te gebruik wat algemeen beskikbaar is en dus ook goedkoper is.

Daar word volgens Kawamura (1976) algemeen saamgestem dat die konsentrasie van die aluminiumsulfaatoplossing wat toegedien word, laag moet wees ($<0.5\%$ oplossing).

Die mees praktiese en veiligste manier om te bepaal watter dosis nodig is, is die roertoets. Die tegniek is egter tydsaam en die samestelling van die water in die aanleg kan verander in die tyd wat dit verg om die toets uit te voer, sodat die data wat verkry word nie korrek is nie en foutiewe dosering plaasvind. Ander vinniger tegnieke wat in die praktyk gebruik word om flokkulasiebeheer uit te oefen is die zeta-potensiaal tegniek, die kolloïedtitrasietegniek of met 'n dwaalstroomdetektor. Al drie dié tegnieke het egter sekere beperkings. Voor die aanleg in bedryf gestel word, moet die konstantheid van die samestelling van die water evalueer word, sodat daar besluit kan word watter een van die bogenoemde vier tegnieke gebruik gaan word.

2.10.5.b) Flokkulasiehulpmiddels

Klei, geaktiveerde silika en organiese polimere is volgens Kawamura (1976) tipiese voorbeelde van flokkulasiehulpmiddels. Veral die polimere ontvang aandag, aangesien hulle :

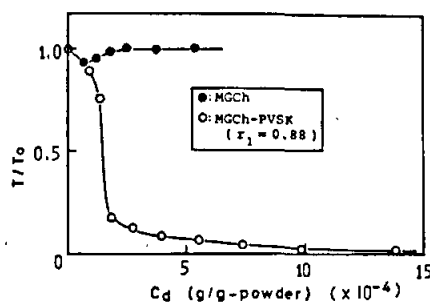
- 1) die volume slyk wat geproduseer word verminder,

- 2) baie effektief is in klein hoeveelhede,
- 3) die ontwatering van die slyk verbeter,
- 4) beter biologies afbreekbaar is deur mikroörganismes,
- 5) maklik hanteerbaar is,
- 6) nie toksies is nie, indien hulle deur die EPA goedgekeur is vir gebruik in drinkwater,
- 7) die alkali dosis vir pH beheer minimiseer, en
- 8) chemiese residue soos sulfate in die behandelde water minimiseer.

Kashiki en Suzuki (1986) het prakties bewys dat die flokkulasie wat verkry kan word met 'n kationiese polimeer verbeter kan word deur die byvoeging van 'n anioniese polimeer. In Figuur 10.1 verteenwoordig die swart kolle die kationiese polimeer en die oop sirkels die kombinasie van die twee polimere. Die dosis word op die x-as aangedui.

Die werking van die polimere berus volgens Ham (1985) daarop dat hulle in die mikrovlokkie vasgevang word en brugvorming bevorder.

Figuur 10.1
Effek van Anioniese Polimere op Flokkulasie



• Kationies
○ Kat- en anionies

Figuur vanaf bl.124 Kashiki en Suzuki

Volgens Packham (1972) is daar probleme om herhaalbare resultate te kry met die gebruik van flokkulasiehulpmiddels. Twee hoofredes word hiervoor aangevoer. Die eerste is dat flokkulasiehulpmiddels toegevoeg word tot 'n sisteem waar flokkulasie reeds aan die gang is. Klein verskille in tydsduur en menging het 'n groot invloed op die flokkulasieproses. Die tweede rede is dat die vlokke baie saampersbaar is en die eienskappe verander tydens hantering.

2.10.5.c) Tipe Materiaal wat Troebelheid Veroorsaak

Kawamura (1976) beweer dat twee verskillende bronne van rivierwater met identiese troebelheid, pH en alkaliniteit dikwels verskillende flokkulantdosisse benodig. 'n Poliëlektroliet wat effektief is by een aanleg is dikwels nutteloos vir ander aanlegte in dieselfde omgewing. Een van die hoofredes vir die verskille is die feit dat die tipe materiaal wat troebelheid veroorsaak verskil. Pressman (1967) sê dat kolloïde die volgende stowwe kan insluit: kolloïdale kleie, huishoudelike- en industriële afval, lewende en ontbindende alge, bakterieë en kleurveroorsakende kolloïde.

Die adsorpsie- en ioonuitruilvermoë van die kolloïde speel volgens Kawamura (1976) 'n belangrike rol tydens koagulasie en flokkulasie. Die kapasiteit van ioonadsorpsie en ioonuitruilvermoë word gewoonlik uitgedruk as die basis uitruilvermoë en word bepaal met die ammoniumasetaat metode wat in grondanalises gebruik word. Kolloïde met 'n lae basis uitruilvermoë benodig kleiner hoeveelhede flokkulant en het 'n klein gebied van flokkulasie. In so 'n geval kan die gebied van flokkulasie vergroot word deur nog klei met 'n bentonietbasis by te voeg.

2.10.5.d) Partikelgrootte

Volgens Langelier et al. (1953) dien partikels met 'n diame-

ter van $1-5\mu\text{m}$ as geskikte eenhede vir die bou van 'n digte vlok wat vinnig besink. Partikels van kleiner as $1\mu\text{m}$ veroorsaak 'n vlok wat poreus is en wat baie stadig besink. As beide fraksies teenwoordig is, sal goeie vlokke vorm. As een van die fraksies afwesig is in die rouwater, word daar aanbeveel dat die grootte-distribusie aangepas word deur kolloïdale klei of ander geskikte stowwe by te voeg.

2.10.5.e) Voorafgevormde Vlokke

Sekere navorsers glo volgens Kawamura (1976) dat die flokkulant in die voerwater, wat geen voorafgevormde vlokke bevat nie, toegedien moet word. Volgens dié navorsers kan kolloïde insluitende bakterieë en virusse, dan meer effektief verwyder word. Die daaropvolgende koagulasie en flokkulasie verbeter dus die verwydering van mikroörganismes. Teoreties sal dit die geval wees in aanlegte waar direkte filtrasie die enigste ander waterbehandelingsproses is. Waar koagulasie, flokkulasie en besinking voor filtrasie plaasvind is dit egter al bewys dat hersirkulasie van 'n klein hoeveelheid vlok beide flokkulasie en besinking verbeter. Die laaste geval geld veral by water met 'n lae troebelheid.

In so 'n sisteem is chlorering deurgaans nodig om die groei van mikroörganismes en alge in die slyk te beperk. Slyk wat ouer as twee of drie dae is, verloor oor die algemeen sy effektiwiteit, terwyl slyk van ouer as 'n week dikwels smaak en reukprobleme veroorsaak, veral in die somer. Dit is dus beter om nie ou slyk te hersirkuleer nie, maar eerder te wag tot vars slyk vorm as daar nie vars slyk beskikbaar is nie, soos as die aanleg vir twee of meer dae van lyn af was.

2.10.5.f) pH

Kawamura (1976) benadruk die feit dat pH een van die belang-

rikste veranderlikes is om te oorweeg vir effektiewe flokkulasie. Veral die metaal flokkulante het 'n sekere pH-gebied waar hulle vinniger flokkuleer en presipiteer en waar hulle 'n minimum oplosbaarheid het. Vir aluminiumsulfaat is die optimum gebied tussen 6 en 7.8 en vir ystersoute tussen 4 en 8. Dit is dus soms nodig om die pH met 'n suur of 'n basis te verander na die regte pH-gebied vir beter flokkulasie. Alhoewel flokkulasie met polimere soms sensitief is vir pH, is hulle gewoonlik nie so sensitief soos die anorganiese soute nie.

As bentoniet as flokkulasiehulpmiddel bygevoeg word, is die flokkulante gewoonlik effektief oor die pH-gebied van 4 tot 6.2.

Packham (1962) het vasgestel dat die pH-afhanklikheid grootliks onafhanklik is van die aard van die kolloïde wat in die suspensie is.

2.10.5.g) Menging

Menging is een van die eerste aspekte vir die optimisering van flokkulasie wat ondersoek is. Volgens Bachman (1939) is die doel van menging tweevoudig :

- 1) Dit veroorsaak 'n egalige verspreiding van die flokkulant in die water, wat lei tot 'n meer eenvormige reaksie.
- 2) Die energie van vermenging dra by tot die energie van Browniese diffusie en veroorsaak so ortokinetiese diffusie.

Burdick (1929) het bevestig dat die mate van koagulasie wat verkry word afneem as die stagnasietyd toeneem. Stagnasietyd is gedefinieer as die hoeveelheid tyd wat verloop vanaf die toevoeging van die flokkulant totdat menging begin.

Volgens Kawamura (1976) het kompartmentalisasie van 'n kontinue vloei flokkulator 'n groot invloed op die effektiwiteit van menging tydens flokkulasie. Beide die graad van flokkulasie as-

ook verheldering na besinking verbeter met 'n toename in kompartmentalisasie.

Bachman (1939) het vermoed dat 'n belangrike faktor om by flokkulasie in ag te neem die snelheidsgradiënt is. Die aspek word vervolgens bespreek.

2.10.5.h) Snelheidsgradiënt

Hudson (1957) noem dat Camp en Stein bewys het dat die tempo van flokkulasie direk afhanklik is van die snelheidsgradiënt. Die snelheidsgradiënt is die tempo van verandering van die snelheid in die vloeistof per eenheid afstand. Aangesien die Camp-Stein vergelyking die tempo van flokkulasie in terme van tyd gee, volg dit dat die flokkulasie proporsioneel is aan die produk van die snelheidsgradiënt en tyd, dit is die Gt-waarde. Uit praktiese ervaring is gevind dat die Gt-waarde moet wissel tussen 10 000 en 100 000 vir effektiewe flokkulasie.

Luthy et al. (1978) gee die volgende vergelyking om die gemiddelde snelheidsgradiënt in terme van die energieinset te bereken : $G = (P/V\mu)^{1/2}$, waar G die gemiddelde snelheidsgradiënt (s^{-1}) is; P die drywing (watt) is; V die volume en μ die viskositeit is.

Volgens Polasek en Van Duuren (1979) word die verhouding tussen die grootte van vlokke en afskuiftempo ook beïnvloed deur die verspreiding van die afskuiftempo. Dit is belangrik dat die afskuiftempo konstant sal wees in beide tyd en plek. As dit nie die geval is nie, sal die vlokke disintegreer as dit van 'n gebied met 'n lae afskuiftempo na 'n gebied met 'n hoër afskuiftempo beweeg.

Miyanami et al. (1982) beweer dat die konsentrasie van gesuspendeerde stowwe aanvanklik afneem met 'n styging in die snel-

heidsgradiënt as gevolg van verbeterde flokkulasie. 'n Minimum word dan bereik by 'n optimale snelheidsgradiënt. 'n Verdere toename in die snelheidsgradiënt lei nou tot 'n toename in gesuspendeerde vastestowwe as gevolg van die disintegrasie van die vlokke.

Laastens het Lai et al. (1975) vasgestel dat impellers van verskillende vorms dieselfde snelheidsgradiënte lewer as hul geprojekteerde areas dieselfde is, slegs die vloeipatrone wat vorm sal verskil.

2.10.5.i) Ander Faktore

Ander faktore wat volgens Sylvester et al. (1979) flokkulasie beïnvloed, is die aanvanklike emulsiekonsentrasie, mate van flokkulasie in die onbehandelde emulsie, die ioniese sterkte, die konsentrasie van divalente katione, die metode van voorbereiding van die dispersie, asook die molmassa, samestelling en ladingsdigtheid van die poliëlektroliet.

Volgens Van Duuren (1970) het temperatuur geen opmerklike invloed op vlokvorming onder optimale flokkulasie nie. Temperatuur het egter 'n invloed op viskositeit wat weer die aanvanklike koagulasie en flokkulasie beïnvloed.

2.10.6) Meganismes van Flokkulasie

Aanvanklik is die meganismes van flokkulasie verklaar deur die dubbellaagteorie en neutralisering van ladings. Met die gebruik van poliëlektroliete is die teorie van brugvorming geformuleer, aangesien dit die werking van poliëlektroliete beter verklaar.

2.10.6.a) Neutralisasie van die Oppervlaklading

Baran en Solomentseva (1983) beweer dat die natuurlikste verklaring van die flokkulasie van oplossings met teenoorgesteld gelaaide poliëlektroliete, die vermindering in die effektiewe lading en potensiaal van die partikels is.

Gregory (1973) skryf dus ook dat flokkulasie van kolloïdale oplossings deur poliëlektroliete plaasvind deur die neutralisasie van die oppervlakladings op die kolloïde tydens die adsorpsie van kolloïde op die teenoorgesteld gelaaide eenhede van die polimeer ketting. Hierdie benadering is gebruik om te verklaar waarom flokkulasie in 'n nou band van reagenskonsentrasies plaasvind. Buite die band se grense dra die partikels 'n groot genoeg lading om stabiliteit te verseker. Byvoeging van elektroliete vergroot die grense deur neutralisasie van 'n deel van die oppervlakladings deur teenione.

2.10.6.b) Dubbellaagteorie

Ishibashi (1980) beskryf die dubbellaag teorie as volg : as 'n kolloïdale partikel in 'n oplossing voorkom sal elektriese ladings ontwikkel by die partikel-vloeistof interfase. Verskeie potensiale ontstaan nou rondom die gelaaide partikel. Onder die potensiale is die zeta-potensiaal die belangrikste vir die verklaring van die stabiliteit van die kolloïed. Vir die partikels om te koaguleer, moet die zeta-potensiaal verminder word tot onder 'n sekere kritieke waarde waar die afstotingskragte tussen die partikels nie meer groot genoeg is om flokkulasie te voorkom nie. In die geval van klei is die kritieke waarde 0 ± 10 mV. Koagulasie kan dus beskou word as die vashegting van diskrete partikels, as gevolg van 'n vermindering in zeta-potensiaal.

Volgens Pressman (1976) is die dikte van die dubbellaag 'n funksie van die ioonkonsentrasie van die oplossing. As die ioon-

konsentrasie toeneem sal die dikte van die dubbellaag afneem, as gevolg van die groter aantrekkingskrag tussen die ione.

2.10.6.c) Brugvorming

Hoffman (1976) sê brugvorming is die proses wat plaasvind as die polimeriese molekule met 'n kolloïed in aanraking kom. Sommige van die aktiewe groepe adsorbeer nou aan die partikel oppervlakte. Die buigbare, draaibare drade van die polimeer, wat in die oplossing uitsteek, kan nou aan ander adsorpsieoppervlakke van verskillende molekules vasheg. 'n Partikel-poliëlektroliet-partikel kompleks word so gevorm, waar die poliëlektroliet as brug tussen die partikels dien.

Baran en Solomentseva (1983) beweer dat meeste outeurs brugging as die basiese beginsel van flokkulasie beskou. Die volgende faktore wat waargeneem is, kan deur brugvorming verklaar word: die vorming van groter volume en losser sediment as tydens koagulasie; beter flokkulasie deur polimere met groter molmassa; die flokkulasie van deeltjies deur polimere met dieselfde teken van lading; ens.

Die verbetering van flokkulasie met poliëlektroliete deur die byvoeging van elektroliete met meerlading teenione kan ook verklaar word deur die vorming van komplekse brûe tussen die partikels. 'n Voorwaarde vir dié tipe flokkulasie is dat ander partikels 'n oop spasie moet hê waarop die makromolekule kan adsorbeer.

Gilman et al. (1979(a)) maak die volgende afleidings uit die model:

- 1) Destabilisasie kan plaasvind selfs as die polimeer en die kolloïed eenderse ladings het.
- 2) Die beste destabilisasie vind plaas as slegs 'n deel van die kolloïed se adsorpsie lokasies gebruik word.

- 3) As die lokasies op die kolloïed versadig is, sal die kolloïde herstabilliseer, aangesien daar geen lokasies beskikbaar is vir brugging nie.
- 4) Herstabillisasie kan ook plaasvind met verlengde vermenging, deurdat die polimeer se oppervlakbindings breek.
- 5) 'n Stoichiometriese verhouding bestaan blykbaar tussen die beskikbare kolloïed oppervlakte in 'n sisteem en die hoeveelheid polimeer nodig vir optimum destabilisasie.

Volgens Stumm en O'Melia (1968) het die brugvormingsmodel sekere belangrike gevolge :

- 1) Optimum destabilisasie vind plaas as slegs 'n deel van die oppervlak van die kolloïed bedek is.
- 2) Polimeer dosisse wat al die beskikbare ladinge op die gedispergeerde fase versadig, produseer 'n hergestabiliseerde kolloïed, aangesien geen ladinge beskikbaar is vir brugvorming nie.
- 3) Onder die regte toestande kan 'n gedestabiliseerde suspensie weer geherstabilliseer word deur verlengde menging, omdat die polimeer-oppervlakbindings breek en die los deel van die polimeer dan terug buig na die oppervlak van die oorblywende partikel.
- 4) 'n Direkte verband bestaan tussen die beskikbare oppervlakarea in die kolloïdale sisteem en die hoeveelheid polimeer benodig om optimum destabilisasie te veroorsaak.

Die gevolgtrekkings van die twee outeurs stem dus ooreen.

2.10.6.d) Flokkulasie by die Sekondêre Minimum

Baran en Solomentseva (1983) beskryf die meganisme as volg : Die potensiële energie van interaksie van gelaai deeltjies as 'n funksie van die afstand (d) tussen hulle word gekarakteriseer deur die bestaan van 'n diep eerste minimum by klein waardes van d . Vir groot partikels is daar ook 'n vlak tweede minimum op groot afstande. Dit is onwaarskynlik dat flokkulasie van poli-

meerbevattende partikels by die eerste minimum sal plaasvind. Flokkulasie is wel moontlik by die tweede minimum, aangesien die diepte verander kan word deur 'n adsorpsielaag op die makromolekuul. Hierdie sisteme herdispergeer egter baie maklik en die meganisme kom dus selde in effek.

2.11) Tipes Flokkulante

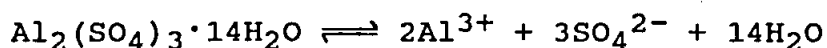
Oorspronklik is anorganiese soute gebruik as koagulante of flokkulante, maar die ontwikkeling van organiese poliëlektroliete het 'n hele nuwe veld geopen. Die poliëlektroliete word op hul beurt weer onderverdeel in anioniese-, kationiese- en nie-ioniese poliëlektroliete. Die verskillende tipes koagulante en flokkulante word vervolgens bespreek.

2.11.1) Anorganiese Flokkulante

Volgens Healey et al. (1987) is veral aluminium- en ystersoute vir ongeveer 'n eeu algemeen in gebruik in watersuiwering. Die anorganiese soute het egter sekere nadele, nl. : pH-beheer is nodig; 'n toename in mineralisasie van die water en probleme met slykhantering en -wegdoening.

Brossett et al. (1954) gee die samestelling van die aluminiumkomplekse wat tydens flokkulasie met aluminiumsulfaat vorm soos volg aan: $Al_x(OH)_{2.5x}^{0.5x+}$. Licskó (1976) sê die Al^{3+} -ioon vorm 'n kompleks met die volgende samestelling : $Al(H_2O)_6^{3+}$.

Hoffman (1976) beweer dat aluminiumsulfaat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) die mees algemene flokkulant is, wat in munisipale watersuiwering gebruik word. Gebluste kalk ($Ca(OH)_2$) word gewoonlik ook hiermee saam toegedien. As aluminiumsulfaat gebruik word om swak gebufferde waters te flokkuleer, moet die alkaliniteit eers verhoog word deur gebluste kalk by te voeg. Die rede hiervoor kan aan die hand van die volgende twee reaksies verduidelik word :



Die ses waterstofione lei tot 'n verlaging in pH, met die gevolg dat die aluminiumhidroksied wat gevorm word, heeltemal of gedeeltelik oplos. As dit nie gedoen word nie, word daar eerder by 'n lae pH $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ en $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ en by 'n hoë pH $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ en $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$ gevorm. Die pH-gebied waar koagulasie en flokkulasie plaasvind, is vir aluminiumsulfaat klein, nl. : tussen 6.5 en 7.3. By swak gebufferde oplossings is die gebied nog kleiner, nl. : tussen 6.8 en 7.

Die tweede mees algemene flokkulant volgens Hoffman (1976) is ferrichloried, wat in 'n 43% oplossing bemark word. Ferrichloried het die voordeel dat flokkulasie oor 'n baie groter pH-gebied verkry kan word. As die water goed gebuffer is, moet voorsorg getref word dat, as daar gebluste kalk bygevoeg word, dit nie die pH verhoog tot bo die optimumwaarde vir flokkulasie nie. In so 'n geval sal dit dan nodig wees om die pH te verlaag deur flokkulant by te voeg tot by die gebied waar optimum flokkulasie plaasvind.

Volgens Stumm en Morgan (1962) is die pH van 'n 10^{-3} M oplossing van FeCl_3 ongeveer 3.2 en die byvoeging daarvan by water sal tot 'n afname in pH en alkaliniteit van die water lei. In die oplossing is die konsentrasie van Fe^{3+} ongeveer 20%. Die res van die ione se konsentrasies is 40% $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, 5% as $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ en 35% as $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$. Verder beweer Stumm en Morgan (1962) dat dit algemeen bekend is dat ysteroplossings wat verouder het nie so goed flokkuleer as vars oplossings nie. Onoplosbare ysteroksied presipitate vorm en die ysterkonsentrasie in oplossing neem af. Met veroudering verander die oplossing ook van kleur van 'n geel-oranje na rooi met 'n gepaardgaande afname in pH. Die troebelheid neem ook toe.

2.11.2) Verskillende Tipes Makromolekul're Flokkulante

Baran en Solomentseva (1983) verdeel makromolekulêre flokkulante in drie groepe volgens hulle oorsprong. Hulle is :

- 1) anorganiese stowwe soos geaktiveerde silika
- 2) stowwe van natuurlike oorsprong soos stysel en sy derivate, proteïene, dekstrien en sellulose derivate, ens.
- 3) sintetiese organiese polimere soos poliëtileenglikol en poliakriëlamied, ens.

Die derde groep word meer algemeen gebruik, aangesien hulle oor die algemeen 'n hoër molmassa het, hul chemiese samestelling maklik gewysig kan word deur nuwe substituentte in hul struktuur te voeg en hul produksie is meestal goedkoper as die isolasie van natuurlike bindings.

Verder verdeel Baran en Solomentseva (1983) die flokkulante ook in anioniese-, kationiese- en nie-ioniese flokkulante soos algemeen die praktyk is. Hulle glo egter dat kationiese flokkulante meer belowend is, want :

- 1) hulle is meer effektief as anioniese- en nie-ionies flokkulante
- 2) hulle benodig nie pH korreksies van die water wat behandel word nie
- 3) hulle benodig nie die byvoeging van elektroliete nie en verander dus nie die soutinhoud van die water nie, iets wat in dié studie belangrik is
- 4) hulle is nie korrosief nie en verander nie die pH van die water wat behandel word nie en
- 5) hulle gebruik lei tot die vorming van relatief min sediment met 'n lae vloeistofinhoud.

Cohen et al. (1958) beskryf die poliëlektroliete as biokolloïde, wat natuurlike polimere is met elektriese ladings of ioniseerbare bindings. Die gebruik van hierdie flokkulante het gelei tot die ontwikkeling van sintetiese polimere. Die feit dat

die bindings eienskappe van beide polimere en elektroliete het, het gelei tot die naam polielektroliete. Hulle noem ook van die mees algemene voorbeelde in twee groepe van die tipes polielektroliete. Anioniese polielektroliete is negatief gelaai soos gehidroliseerde poliakrielamied. Positief gelaai polielektroliete of kationiese flokkulante is tipies polivinielpiridinium butielbromied.

Schwoyer (1981) beskryf die indeling meer volledig en hy glo daar is vier indelings:

- i) anioniese flokkulante, wat in twee klasse verdeel kan word, nl.; lae molmassa ($<100\ 000$ g/mol) en hoë molmassa ($>100\ 000$ g/mol). Hierdie waardes is egter redelik arbitrêr gekies. Drie belangrike tipes anioniese polielektroliete is :
 - A) karboksiel-bevattende anioniese polielektroliete;
 - B) swael-bevattende anioniese polielektroliete en
 - C) fosfor-bevattende polielektroliete
- ii) kationiese polielektroliete: Die chemie hiervan is meer kompleks as dié van anioniese spesies. Feitlik al die anioniese polimere kan voorberei word deur relatief eenvoudige vrye radikaal polimerisasie en die mees algemene reaksies op die polimere is hidrolise, sulfonering en fosfometilering. Die chemie van die sintetisering van kationiese polimere behels vrye radikaal toevoeging polimerisasie, kondensasie reaksies, epoksied toevoegingsreaksies en 'n verskeidenheid reaksies op bestaande polimere. Die manier waarop kationiese polimere vervaardig word, word verdeel in :
 - A) kettingreaksie polimerisasie en
 - B) stapreaksie polimerisasie wat verdeel word in :
 - i) epihalohidrien tipes
 - ii) dihaloalkane tipes
 - iii) aziridien tipes
 - iv) hidrofobiese kationiese polimere en
 - v) 'n verskeidenheid ander kationiese polielektroliete soos sikliese amien polimere.

- iii) nie-ioniese polielektroliete, wat hoofsaaklik ongehidroli-seerde, hoë molmassa poliakrielamiede en polietileenoksiede is, vind ook toepassing in watersuiwering.
- iv) 'n vierde groep is amfoteriese polielektroliete, wat beide positiewe- en negatiewe ladings op dieselfde ketting het. Die tipe polielektroliet het min toepassing in watersuiwering.

2.11.3) Fisiese Vorm van Polielektroliete

Polielektroliete word in beide die vastestof- en die vloeistofvorm versprei.

Volgens Schwoyer (1981) sal dit verkieslik wees dat alle polimere wat in waterbehandeling gebruik word reeds in oplossing is. Die viskositeit van hoë molmassa polielektroliete by konsentrasies hoër as 1% is egter so hoog dat hulle feitlik onpompbaar is. Aan die ander kant is dit ook duur om polielektroliete wat 99% of meer water bevat te vervoer. 'n Kompromis tussen vervoerkoste en die kapitaal- en instandhoudingskoste van pompe is dus nodig om 'n optimum polielektrolietkonsentrasie met die laagste gepaardgaande koste te verkry. Polielektroliete as vastestowwe kom in drie vorms voor, nl. korrels, vlokke en krale. Die verskillende vorms is as gevolg van verskille in vervaardigingstechnieke.

Verder sê Healey et al. (1987) dat polimere in die vastestofvorm ongeïoniseerd en gekrul is, wat dit kompak maak. As dit nou opgelos word, word die groepe op die polimeer geïoniseer en afstotingskragte tussen eenderse ladings veroorsaak dat die polimeer reguit word.

Schwoyer (1981) gee die rede vir die voordeel van die verskaffing van polielektroliete in die vloeistofvorm aan as die gerief van gebruik. Waar 'n vastestof versigtig opgelos en geroer moet word voordat dit heeltemal oplos, is die oplos van die

gekonsentreerde oplossing relatief eenvoudig.

Beide vorms het egter ook nadele. By vastestowwe is die probleme wat aangetref word die teenwoordigheid van onoplosbare fraksies wat visoes genoem word, die lae tempo van oplossing en slyme wat vorm. By oplossings is die hoofprobleem stabiliteit ten opsigte van hidrolitiese-, bakteriële-, fungus- en chemiese vorm. By emulsies is daar probleme met sensitiwiteit vir vloeistof, maklike inversie en stabiliteit.

Volgens Kim (1985) wissel die aktiwiteit van polielektroliete van so laag as 4% in sekere vloeistofvorms tot amper 100% in die droë vorm. Vir 'n groot gebruiker is die hoë aktiwiteit en die lang raklewe van droë flokkulante voordelig, terwyl die gemak van hantering van vloeistowwe dikwels vir die klein gebruiker van meer belang is.

2.11.4) Kwaliteit van Polimere

Healey et al. (1987) waarsku dat polimere besoedel kan wees met monomere en ander materiale uit die vervaardigingsproses. Roetine kwaliteitstoetse is dus nodig om :

- 1) Die kwaliteit van verskillende afleweringe te evalueer ten opsigte van werking. Die volgende analises is nodig :
 - a) asinhoud
 - b) aktiewe polimeerinhoud
 - c) anioniese/kationiese karakter
 - d) tempo van verdunning
 - e) onoplosbare materiaalinhoud
 - f) intrinsieke viskositeit.
- 2) Die afwesigheid van beide residuele polimeer en monomeer in drinkwater te evalueer.
- 3) Die totale organiese koolstof van die drinkwater na behandeling te evalueer.

2.11.5) Polimeerresidue en die Veiligheid Daarvan

Goppers en Straub (1976) was die eerste om in 'n laboratorium vas te stel dat polimere wat as koagulante of flokkulante gebruik word wel as 'n polimeer en as monomere in die water agterbly. Vrae het ontstaan oor die veiligheid van die bindings. Die Wêreldgesondheidsorganisasie rapporteer dat studies op poliakriëlamiede 'n baie lae toksisiteit opgelewer het. Daar is egter geen data beskikbaar oor hul effek op voortplanting, teratogenisiteit en mutagenisiteit by die mens nie. Die effek van 'n kombinasie van monomere en ander toksikologiese chemikalieë wat in mikrohoeveelhede teenwoordig is, is ook nie bekend nie. Die outeurs wou toe vasstel of polimere ook in 'n watersuiweringsaanleg in die uitvloeisel sou wees en dit was toe ook die geval. Die poliëlektroliet was as beide polimere en monomere teenwoordig. Die poliëlektroliete reageer verder met organiese stowwe in die rou water en vorm bindings wat deur die stappe van suiwing beweeg en in die finale water voorkom.

Volgens Hoffman (1976) is poliëlektroliete van natuurlike oorsprong nie giftig nie, terwyl sommige sintetiese tipes soos poliakriëlsuur en akriëlamiedakrilaat wel toksies mag wees. 'n Probleem in die evaluering is dat daar geen eenvoudige metodes is om die konsentrasie van die stowwe wat in die behandelde water oorbly te meet nie.

Mallevalle et al. (1984) het heelwat navorsing gedoen oor die moontlike toksisiteit van poliëlektroliete. Vyf aspekte was van belang :

- 1) Die polimeer mag besoedel wees met monomere of ander stowwe afkomstig van vervaardiging.
- 2) Die polimere kan dalk reageer met ander chemikalieë wat tydens waterbehandeling bygevoeg word en ongewenste byprodukte vorm.
- 3) Die polimere verhoog die organiese lading van die water.

- 4) Osonering kan dalk die polimeer in ongewenste produkte omskep.
- 5) Chlorering kan dalk die polimeer in ongewenste produkte omskep.

Die volgende bevindings is gemaak : Oor die algemeen is daar altyd minder onsuiverhede in die polielektroliet as wat die vervaardiger se spesifikasies aandui. Die analyses dui ook aan dat die gebruik van 'n polimeer die konsentrasies van metale effens verhoog, maar nie met meer as $0.03 \mu\text{g/l}$ nie.

Tydens osonering van die polimeer is daar gekyk na die totale organiese koolstof en die totale Kjeldahl stikstof. Beide faktore was nie noemenswaardig beïnvloed nie. Dit dui daarop dat die polimeer gewysig is sonder verlies van amiengroepe en met min oksidasie.

Tydens chlorering is veral gekyk na die vorming van trihalometane (THM). Die polimere self reageer nie baie met chloor nie en THM-konsentrasies van $7-8 \mu\text{g/l}$ vorm by dosisse van tot 5 mg/l en kontaktye van tot 24 uur. Die besoedelingstowwe, en veral monomere, lewer egter probleme. Met 1 mg/l monomeer en 5 mg/l chloor met 'n kontaktyd van 24 uur word $800 \mu\text{g/l}$ THM gevorm.

Die volgende aspek wat van belang is, is mutagenisiteit. As monomere alleen gevorm word, het dit 'n hoë mutagenisiteit. Die polimeer met min besoedelingstowwe is baie min mutageen. Dit benadruk die belang van kwaliteitkontrole tydens die vervaardiging van die polimeer. As monomere teenwoordig is, verhoog osonering die mutagenisiteit, maar by konsentrasies laer as die spesifikasies is die invloed klein. Chlorering het min of geen effek op mutagenisiteit.

Aangesien die water in hierdie studie nie vir drinkwater gebruik word nie, is die probleme met toksisiteit nie so belang-

rik nie.

2.11.6) Operationele Aanwending

Healey et al. (1987) het sekere aspekte uitgelig waaraan besondere aandag gegee moet word tydens flokkulasie met polielektroliete. Eerstens is die dosis van die polimeriese flokkulant vir verheldering afhanklik van die aard en konsentrasie van die gesuspendeerde materiaal en opgeloste stowwe in die water. Die effektiwiteit van die polimeer is grootliks afhanklik van pH. Anders as by anorganiese soute is daar nie 'n stoichiometriesse verband tussen die polimeriese flokkulantdosis en troebelheid of organiese kleur nie. By polimeriese flokkulante sal 'n dosis wat meer as die optimum is, lei tot verswakte flokkulasie.

Laastens noem Healey et al. (1987) dat die optimum flokkulantdosis grootliks afhanklik is van die kwaliteit van die rou water en dat die dosering van tyd tot tyd evalueer en aangepas moet word.

2.11.7) Dosering van die Flokkulant

Die metode van dosering van die flokkulant in die stroom wat behandel moet word, het volgens Healey et al. (1987) 'n merkbare invloed op die werking van die flokkulant. Dit is egter moeilik om vinnige vermenging van 'n hoë molmassa, hoë viskositeit oplossing in 'n voerstroom effektief te laat plaasvind.

'n Metode wat voorgestel word, is om die afgemete hoeveelheid flokkulant benodig vir verheldering in 'n stroom skoon water te verdun in die verhouding 100:1. Dié water word dan gemeng om die flokkulant egalig deur dit te versprei. Die dosering vind plaas met 'n korrosiebestande, positiewe verplasingpomp.

Die metode van dosering is egter 'n ontwerpprobleem en is nie van toepassing vir die studie nie.

2.11.8) Toerusting vir die Dosering van die Polimeer

Volgens Healey et al. (1987) is die volgende ses punte van belang by die ontwerp van doseringstoerusting vir polimeriese flokkulante :

- 1) 'n Kontinue voer van die flokkulant is nodig. Pulserende sisteme lei tot periodes waartydens geen polimeer doseer word nie. Dit gee aanleiding tot 'n verswakking in flokkulasie en oormatige gebruik van chemikalieë.
- 2) Inlyn sediment siwwe moet in die voerpyp van die pomp gebruik word om te keer dat die pomp beskadig word. Die ontwerp moet so wees dat die vloei nie totaal afgesny is as die sif verstop is nie.
- 3) Terugsypeling uit die reservoir moet voorkom word. Dit kan byvoorbeeld gedoen word met die gebruik van eenrigting kleppe.
- 4) Dit is belangrik dat die personeel in staat moet wees om die flokkulantdosisse maklik te evalueer. Dit kan gedoen word deur 'n buret of maatsilinder aan die suigkant van die pomp te plaas. Die pomptempo kan so gekalibreer word, sonder om die toevoeging van chemikalieë te onderbreek.
- 5) 'n Geskikte vloeiindikator moet aan die pompleweringskant geïnstalleer word voor verdunning van die flokkulant plaasvind. Vlokindikators moet aan die buitekant van die stoorreservoirs aangebring word.
- 6) Afgesien van dubbele doseringspompe, moet 'n nood dosering-sisteem wat met swaartekrag werk aangebring word om dosering tydens kragonderbrekings te verseker.

2.11.9) Faktore wat die Poliëlektroliet se Werking Beïnvloed

Soos met enige chemikalie wat gedoseer word, is daar sekere faktore wat die werking van die poliëlektroliete beïnvloed. Dit

is dus nodig om die bedryfstoestande in die flokkulator so gunstig moontlik, vir die spesifieke flokkulant wat gebruik word, te hou. Die faktore wat in ag geneem moet word, word vervolgens bespreek.

2.11.9.a) Aard van die Flokkulant

Makromolekule met 'n hoë genoeg molmassa, wat goed geadsorbeer kan word deur partikels en wat terselfdertyd oplosbaar is in die verdunningsmedium tree gewoonlik as goeie flokkulante op volgens Baran en Solomentseva (1983). Daar is ook reeds bewys dat lineêre polimere of polimere met slegs 'n effens gebuigde ketting beter flokkulante is as spiraalvormige makromolekule.

Dit is ook bekend dat beide buigbare- en nie-buigbareketting polielektroliete goeie flokkulante is. Dit dui daarop dat die effektiwiteit van die polielektroliet afhanklik is van sy dimensies in oplossing en nie sy buigbaarheid nie.

'n Ander belangrike faktor is die sterkte van die bindings wat vorm tussen die makromolekuul en die partikels. Aan die anderkant het die vorming van 'n groot aantal kontakte met die makromolekuul 'n negatiewe effek, want dit lei tot deformasie van die makromolekuul tydens adsorpsie en die vorming van 'n dun adsorpsielaag.

2.11.9.b) Dosis van die Flokkulant

Die prosesse van stabilisasie en flokkulasie van oplossings met polielektroliete is volgens Baran en Solomentseva (1983) interafhanklik. Met 'n toename in polimeer konsentrasie in 'n sisteem, sal die stabiliteit gewoonlik eers afneem (koagulasie en flokkulasie) en dan weer toeneem (herstabilisasie). Die wydte van die sones van flokkulasie en stabilisasie hang af van die chemiese aard en molmassa van die reagens, die konsentrasie van

die opgeloste stowwe, die konsentrasie van die elektroliet, ens.

Hieruit volg dat die tempo van sedimentasie en die hoeveelheid slyk wat sal sedimenteer 'n definitiewe maksimum het, wat 'n funksie is van die konsentrasie van die makromolekuul.

Hoffman (1976) beveel aan dat lae dosisse van die flokkulant toegedien moet word as 'n poliëlektroliet gebruik word. Nie-ioniese- en anioniese polimere moet in die gebied 0.1 tot 1.0 mg/l of laer gedoseer word. As daar kationiese polimere as primêre flokkulant toegedien word, kan konsentrasies van 1 tot 10 mg/l of selfs hoër gebruik word. Die polimeer moet ook as 'n verdunde oplossing toegedien word, met 'n polimeerkonsentrasie van tussen 0.25 en 0.5%.

2.11.9.c) Molmassa van die Flokkulant

Oor die algemeen geld daar volgens Baran en Solomentseva (1983) dat die flokkulasiekapasiteit van nie-ioniese polimere styg met 'n toename in die graad van hulle polimerisasie. Hoër polimerisasie met gepaardgaande hoër molmassa lei tot 'n afname in die optimum flokkulantdosis benodig.

Oor die algemeen speel die molmassa van die polimeer 'n geringe rol as flokkulasie die gevolg is van neutralisasie van die oppervlaklading.

Healey et al. (1987) sê dat, afhangend van die tipe en metode van vervaardiging, wissel die molmassa van polimere tussen 5×10^3 en 20×10^6 g/mol en bevat een ketting tot 25×10^4 monomere en kan hulle 'n paar mikrometer lank wees. Die molmassa kan 'n beherende faktor wees in flokkulasie en polimere met hoër molmassas lei tot beter besinking.

2.11.9.d) Invloed van die Konsentrasie van die Opgeloste Fase

Volgens Baran en Solomentseva (1983) bestaan daar in verdunde oplossings 'n direkte verband tussen die konsentrasie van die vaste fase en die hoeveelheid polimeer nodig om die maksimale flokkulasie te veroorsaak.

Die bogenoemde eenvoudige verband bestaan egter nie altyd nie. Die binding van die partikels deur die polimeer in aggre-gate vind anders plaas in verdunde oplossings as in gekonsentreerde oplossings. Wat klaarblyklik gebeur is dat, met 'n toename in die konsentrasie van die opgeloste stof, die verhouding tussen die aantal makromolekule en die aantal partikels in die aggre-gaat afneem en dat daar 'n sekere verhouding bestaan waar optimale flokkulasie waargeneem word.

2.11.9.e) Die Invloed van die Elektrolietkonsentrasie

Baran en Solomentseva (1983) beweer dat die byvoeging van elektroliete die flokkulasie-aksie van beide gelaaide en ongelaaide polimere verbeter. Elektroliete verminder die dosis van die flokkulant wat nodig is om 'n sekere mate van flokkulasie te bewerkstellig en die flokkulantdosis word met die byvoeging van elektroliete vergroot. Dit kan toegeskryf word aan 'n addisionele afname in die aggregatiewe stabiliteit van die oplossing as gevolg van daling van die lading en potensiale en dus ook van die afstotingskragte tussen die partikels. Die konsentrasie van die makromolekuul wat ooreenstem met die herstabielisasie van die sisteem neem ook toe.

Hieruit volg dat skeiding van fases deur flokkulasie meer redelik en meer volledig sal plaasvind in hoogs gemineraliseerde water as in swak- of nie-gemineraliseerde water.

Volgens Healey et al. (1987) het die ladingsdigtheid op die makromolekuul en nie net die elektrolietkonsentrasie 'n invloed nie. Die invloed van die ladingsdigtheid is onseker maar het beslis in die praktyk 'n invloed.

2.11.10) Voor- en Nadele van Poliëlektroliete

'n Algemene voordeel van flokkulasie is volgens Polasek en Van Duuren (1979) die feit dat dit lei tot 'n helderder filtraat en 'n verlaging in drukverlies oor die filter.

Schwoyer (1981) noem die volgende voordele van poliëlektroliete bo anorganiese soute :

- 1) hulle is gewoonlik effektief by een tiende van die anorganiese koagulantdosis.
- 2) hulle lei tot 'n kleiner slykvolume.
- 3) hulle lei tot baie minder opgeloste vastestowwe as anorganiese soute en is dus beter vir proseswater behandeling, stoomketel voer suiwing en in hersirkulasie van afvalwater vir hergebruik.
- 4) hulle is minder pH afhanklik.

Gilman et al. (1979(a)) sê verder dat die gebruik van poliëlektroliete dikwels tot 'n vermindering in operationele koste en tot 'n verbetering in waterkwaliteit lei. Gilman et al. (1979 (b)) noem verder dat die gebruik van poliëlektroliete soms ook lei tot 'n vermindering in die koste van chemikalieë as gevolg van laer dosisse. Aangesien minder slyk gevorm word, word daar ook minder kalk benodig in slykhantering.

Volgens Healey et al. (1987) verminder die gebruik van poliëlektroliete ook die las op bedryfspersoneel.

Ander voordele wat deur Kim (1985) genoem word, is :

- 1) die hantering word vereenvoudig, aangesien minder chemikalie

gebruik word.

- 2) die slyk wat vorm is nie gelatienagtig soos by anorganiese soute nie en hanteer dus makliker.
- 3) die bevuiling van hitteruileroppervlakke met metale word uitgeskakel.
- 4) polimere is nie korrosief nie.

Die belangrikste nadele wat deur Schwoyer (1981) genoem word is :

- 1) poliëlektroliete is spesifiek in aktiwiteit.
- 2) probleme met bioafbreekbaarheid van die polimeervoeroplossing wat lei tot swakker flokkulasie.
- 3) lae weerstand teen chloor en ander oksiderende stowwe.
- 4) relatiewe hoë koste per eenheidsmassa.

'n Nadeel wat deur Luthy et al. (1977) genoem word, is die feit dat selfs lae vlakke van anioniese oppervlakaktiewe stowwe teenwoordig in die water voor die toevoeging van die kationiese polimeer die werking van die polimeer verswak.

2.11.11) Koste-effektiwiteit

Volgens Gilman et al. (1979(b)) verminder die koste van waterbehandeling dikwels met die gebruik van polimere, al is polimere duur op 'n massabasis. Dit word toegeskryf aan die lae dosering van polimere. Koste wissel tussen R 1.60 en R 8.50/kg volgens die pryse wat deur die verskaffers van die verskillende flokkulante in Junie 1989 verskaf is. 'n Polimeer wat saam met, of in plaas van 'n anorganiese sout gebruik word, benodig gewoonlik 'n kleiner besinktenk, wat in 'n nuwe aanleg koste bespaar. In 'n bestaande aanleg kan die vloeitempo verhoog word. 'n Ander moontlike voordeel is dat as minder flokkulant gebruik word, daar minder materiaal hanteer moet word.

Verder noem Healey et al. (1987) dat 'n kostebesparing plaasvind deurdan polimere nie sensitief is vir pH nie en die koste verbode aan chemikalieë vir pH regstelling word dus uitgeskakel.

Hunter (1982) sê dat die flokkulant eers in skoon water opgemaak moet word en nie direk gedoseer moet word in die prosesstroom nie, aangesien dit kan aanleiding gee tot foutiewe kostewaarnemings. Laboratoriumtoetse moet ook net as 'n aanduiding dien en proefaanlegtoetse is noodsaaklik voor 'n finale besluit gemaak kan word.

2.11.12) Flokkulasiehulpmiddels

Volgens Langelier et al. (1953) kan onvoldoende flokkulasie plaasvind as daar te min negatief gelaaide kolloïde in die water is. Verbeterde koagulasie en flokkulasie kan verkry word deur kolloïde soos geaktiveerde silika, bentoniet of ander negatief gelaaide materiaal by te voeg. Die kolloïde verbeter dan die agglomerasie van die gesuspendeerde stowwe.

2.11.12.a) Bentoniet

Bentoniet word volgens Healey et al. (1987) as koagulasie- of flokkulasiehulpmiddel gebruik om die effektiwiteit van primêre flokkulante te verhoog sowel as om hul dosisse te verlaag.

Dit is belangrik dat die bentoniet wat gebruik word van waterbehandelingsgraad is. Dit verskil van gewone bentoniet in die opsig dat dit kunsmatig geaktiveer word met natriumkarbonaat tydens vervaardiging. Beide die uitruilvermoë en hidrasie eienskappe van die bentoniet word deur die aktiveringsproses verhoog. Die bentoniet is redelik goedkoop en word in Suid-Afrika vervaardig.

Die direkte byvoeging van die bentoniet tot die water lei tot klontvorming as gevolg van onvoldoende benatting van die individuele partikels; die buitekant van die bentoniet word gehidreer, terwyl die binnekant droog bly. Die bentoniet word dus nie egalig versprei nie en hoër dosisse is dus nodig. Die probleem kan voorkom word deur die bentoniet vooraf te behandel. Die bentoniet word eerstens met water gemeng met 'n eduktor om klontvorming te voorkom en om die konsentrasie van die suspensie onder 3% vastestowwe te hou. Die oplossing word dan kontinuerlik om besinking te voorkom en word vir 24 uur verouder. Hierdie proses verbeter die effektiwiteit van die klei merkbaar. Die bentonietsuspensie word nou voor die primêre flokkulant by die voer gevoeg met 'n positiewe verplasingspomp.

Die anioniese aard, groot oppervlakarea en ionuitruilvermoë van die bentoniet in suspensie, saam met die toename in die konsentrasie van gedispergeerde partikels wat verkry word deur die byvoeging van bentoniet, verhoog die effektiwiteit van die primêre flokkulant. Die bentoniet verswaar ook die vlok en lei tot vinniger besinking.

2.12) Sedimentasie

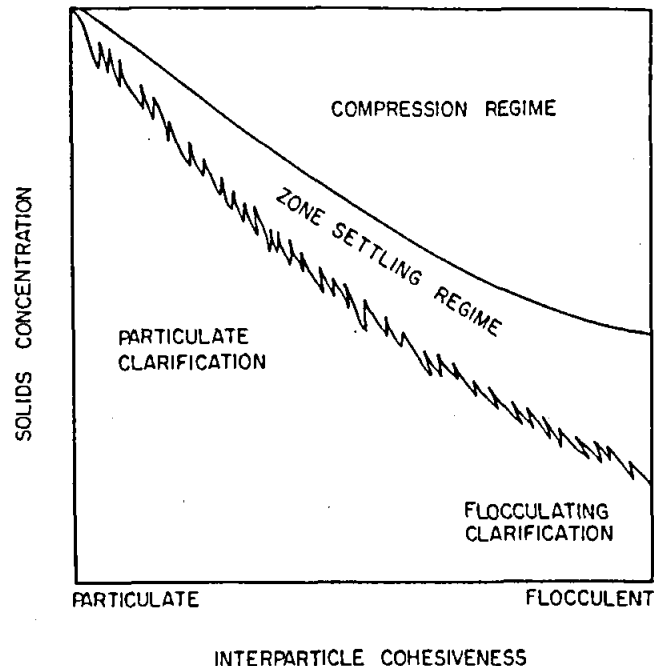
Volgens Fitch (1979) word drie tipes sedimentasie onderskei, nl.

- i) Verheldering waar die vlokke apart is en afsonderlik besink.
- ii) Sonebesinking waar die vlokke in 'n vaste struktuur geïnkorporeer word, sodat almal teen ongeveer dieselfde spoed besink
- iii) Kompressie of kompaksie waar die vastestof sterk genoeg is om weerstand teen saampersing te kan bied.

Die konsentrasie van die vastestof en die vermoë van die partikels om aan mekaar vas te heg, bepaal watter van die drie tegnieke oorheersend is. Die drie sones word in Figuur 12.1 op bl. 60 aangedui.

Op die horisontale as neem die vermoë van die partikels om aan mekaar te heg toe na die regterkant. Die vertikale as stel die partikelkonsentrasie voor. By lae konsentrasie vind verhel-

Figuur 12.1
Die Drie Sones van Besinking



Figuur uit Fitch (1979), bl. 913

dering plaas (sone i). Die meeste van die partikels is ver van mekaar en besink onafhanklik. As botsings plaasvind en die deeltjies dan aan mekaar vasheg, vorm hulle vlokke en besinking vind vinniger plaas. As hulle nie heg nie, deflekteer hulle van mekaar af en besink hulle verder. Besinking kan dus verdeel word in partikuliere en flokkulente besinking.

Sone-besinking (sone ii) kan onderskei word deurdat daar 'n duidelike skeidslyn vorm wat van bo na onder beweeg.

As die konsentrasie van die slyk nog toeneem begin elke laag om meganiese steun aan die lae bo hulle te lewer. Om die struktuur nou nog verder te kompakteer moet druk daarop uitgeoefen

word. Die slyk is nou in die kompressie- of kompaksiesone (sone iii).

Die tempo van sedimentasie kan volgens Gregory (1983) die gerieflikste gemeet word in die sone besinkingsgebied (sone ii) waar die beweging van die grenslaag maklik gevolg kan word. Die ideale flokkulant moet volledig besink en 'n lae troebelheid in die water nalaat.

2.13) Bepaling van Gesuspendeerde Vastestowwe

Luthy et al. (1978) stel die volgende metode voor om te bepaal hoeveel gesuspendeerde vastestowwe in die monster is : Eerstens word filtreerpapier vir minstens drie ure gedroog by 103 tot 105 °C en dan geweeg. Die monster word dan gefiltreer en dan word die filtreerpapier gewas met twee 30 ml porsies chloroform. Die gewaste papiertjies word nou vir minstens drie ure by 103 tot 105 °C gedroog en dan geweeg. Die belangrikste nadeel van die tegniek is die feit dat dit 'n stadige tegniek is. Daar is dan ook na die vinniger troebelheidsmetings gekyk.

2.14) Troebelheidsmeting

Die troebelheid van die behandelde water is volgens Culp en Culp (1974) 'n belangrike bedryfsdeterminant, aangesien dit 'n aanduiding gee van die effektiwiteit van die flokkulasieproses en van waterbehandeling in die algemeen. Troebelheid gee verder 'n aanduiding of die behandelde water esteties aanvaarbaar sal wees vir die gemeenskap. Aangesien die water wat hier behandel word nie drinkwater is nie, is die estetiese aanvaarbaarheid nie hier so belangrik nie, maar die mate van verwydering van besoedelingstowwe is wel van belang.

Gregory (1983) sê dat daar twee maniere is om troebelheid te meet, nl:

- i) hoeveelheid lig deurgelaat en
 - ii) hoeveelheid lig verstrooi.
- Die tweede tegniek is meer akkuraat.

Vir die meet van lae hoeveelhede troebelheid word die verstrooiing van lig of nefalometrie gebruik. Die beginsel hierby betrokke is dat as 'n ligstraal deur die vloeistof beweeg, word lig in alle rigtings tot die ligstraal gereflekteer deur die deeltjies wat troebelheid veroorsaak. Die hoeveelheid lig wat gereflekteer word in enige rigting, bv. reghoekig tot die invalende lig, is direk eweredig aan die hoeveelheid troebelheid teenwoordig. Verder noem Culp en Culp (1974) dat die turbidimeter twee voordele het, nl. :

- i) die apparaat lees nul as die troebelheid nul is
- ii) 'n baie sterk ligbron kan gebruik word, wat aanleiding gee tot 'n hoër mate van sensitiwiteit, sodat klein hoeveelhede troebelheid akkuraat gemeet kan word.

Troebelheid het volgens Gregory (1983) ook sekere tekorte. Die resultaat kan byvoorbeeld beïnvloed word deur residuele troebelheid wat in werklikheid 'n klein fraksie van die oorspronklike vastestof kan wees. Onvolledige menging van die flokkulant kan lei tot lokale oordosisse en herstabielisasie wat kan lei tot 'n blywende troebelheid.

Sylvester en Toure (1978) noem die volgende faktore wat troebelheid beïnvloed :

- 1) konsentrasie van die vastestof
- 2) die aard van die vastestof
- 3) die grootte en grootteverspreiding van die kolloïde
- 4) die aard van die lig wat gereflekteer word
- 5) die vorm van die kolloïde
- 6) die oppervlaklading van die kolloïde
- 7) die hidrasiekarakteristieke van die vastestof.

Volgens Van Puffelen (1982) is voorskrifte vir die standaardisasie van troebelheidsmeting opgestel, aangesien dit steeds een van die belangrikste determinante is in waterbehandeling. Standaardisasie van onder andere die meethoek en die golflengte van die ligbron moet deur die vervaardiger toegepas word. Internasionale samewerking is dus nodig. Dit behoort die vergelyking van resultate te vereenvoudig.

Hoofstuk 3 : Eksperimentele Evaluering

Die eksperimentele evaluering is in drie fases verdeel, nl. karakterisering van die kolloïde, laboratoriumtoetse (veral roer-toetse) en proefaanlegtoetse. In die evaluering is daar van die volgende apparaat gebruik gemaak, 'n Coulter teller, 'n Rank Brothers zeta-potensiaalmeter, 'n Phipps en Bird roerapparaat, 'n Hach troebelheidsmeter en 'n pH-meter. Eerstens word die werking van die apparaat beskryf en dan die metodes van evaluering soos dit uitgevoer is.

3.1) Coulter teller

'n "Coulter Electronics Multisizer" is gebruik om die grootteverspreiding te bepaal. Dit is 'n modernisering van die oorspronklike "Coulter Counter". Die basiese beginsel waarop die apparaat werk is steeds dieselfde.

'n Glasbuis met 'n gaatjie van bekende grootte daarin word gebruik. Afhangende van die tipiese groottes van die kolloïde in die water word daar vooraf besluit watter grootte gaatjie die beste sal wees om verstopping te voorkom en om akkuraatheid te optimaliseer. 'n Verskeidenheid standaard gaatjiegroottes is beskikbaar. Die buis word nou gevul met "Isoton", 'n elektrolietiese vloeistof wat 'n baie lae kolloïedkonsentrasie het, om akkuraatheid te verseker, en wat deur "Coulter Electronics" versprei word. 'n Bekende volume water word nou deur die opening opgesuig en die groottes en hoeveelheid kolloïde wat deur die opening beweeg word gemeet.

Daar kan besluit word of die data as 'n normaalverspreiding of in 'n kumulatiewe vorm van klein na groot benodig word. Terwyl die lesings geneem word, vorm die grafiek, van die vorm wat gekies is, op 'n klein televisie-monitor. Die meter is aan 'n drukker gekoppel en die grafiek kan na voltooiing van die lesing

uitgedruk word indien dit verlang word.

Vanaf die grafiek kan heelwat inligting verkry word. Op die x-as word die diameter van die kolloïde in μm aangedui. Verder kan daar, as dit verlang word, 'n minimum en maksimum grens vir diameter vasgestel word, indien dit nodig is om die aantal kolloïde in 'n sekere groottegebied te bepaal. Die twee grense, met die aantal deeltjies by elkeen teenwoordig, sowel as die aantal deeltjies tussen die twee grense word saam met die grafiek aangedui. Die rede hoekom die aantal deeltjies by die grense aangedui word, is dat daar dan onderskei kan word tussen bv. groter- en kleiner as en groter- en kleiner as en gelyk aan indien dit verlang word. Die data op die y-as sluit in die aantal deeltjies van 'n sekere grootte en die tyd wat dit geneem het om die lesing te neem. Die groottegebied waaroor die lesings geneem word, word in 256 gelyke dele ingedeel en die aantal deeltjies in elkeen van die dele word dan in 'n afsonderlike kanaal gestoor. Die data in elke kanaal word nou uitgedruk saam met die grafiek. Die data sluit in die kanaalnommer, die gemiddelde diameter van die deeltjies en die aantal deeltjies wat getel is. Enige verdere berekeninge wat verlang word, kan nou met die data uitgevoer word.

3.2) Zeta-Potensiaalmeter

Die Zeta-potensiaalmeter wat gebruik is, is 'n "Particle Micro-electrophoresis Apparatus Mark II". Die apparaat is vervaardig deur "Rank Brothers" in Engeland. Die drie hoofkomponente van die apparaat is 'n mikrometer, ligbron en elektroforese-sel.

Die ligbron is agter op die apparaat gemonteer en die intensiteit van die lig kan verstel word tot op die vlak wat vir 'n spesifieke geval verlang word. Die ligstraal moet deur die sel skyn, in die mikrometer in. Om dit reg te kry, is dit moontlik om die hoogte en die horisontale posisie van die ligbron te stel met twee stelskroewe. Die duidelikheid van die beeld kan ook

geoptimiseer word deur die lig vorentoe en agtertoe te skuif op 'n spoor wat daarvoor voorsien is. Die verskuiwing word uitgevoer met dieselfde stelskroef wat vir die horisontale instelling gebruik word.

Die mikrometer bestaan uit 'n mikroskoop wat op die apparaat gemonteer word en wat die beeld wat hy ontvang na 'n televisie-monitor stuur. Fyn hoogte-instellings van die mikrometer is moontlik om te sorg dat die ligstraal direk in hom inskyn, om die beste beeld op die monitor te verseker. Die hoogte van die sel kan ook verstel word sodat die ligstraal deur hom beweeg op sy pad na die mikrometer. Die helderheid en kontras van die beeld op die televisie-monitor moet ook so gestel word dat die beeld op sy duidelikste is. Op die televisie-monitor word daar indelings van 'n bekende grootte vertoon. Deur die tyd te meet wat 'n partikel neem om oor een indeling te beweeg, kan bereken word wat die snelheid van die deeltjie is.

Vir die neem van 'n lesing word die oplossing wat bestudeer word, met 'n bekende hoeveelheid elektroliet gemeng, sodat die konsentrasie na menging bekend is. Die sel word nou met die mengsel van vloeistof en elektroliet gevul. Voorsorg moet getref word dat daar nie lugborrels in die sel vorm tydens skinking nie, want as so 'n borrel oor die ligstraal geleë is, kan daar niks gesien word nie. Ondervinding het geleer dat die vorming van borrels voorkom kan word deur die sel skuins te hou terwyl die vloeistof geskink word.

Die apparaat bevat twee elektrodes wat in die sel inpas en wat gekoppel is met beide 'n milli- en mikroampere- en 'n voltmeter. Met behulp van die twee elektrodes en 'n reostaat kan 'n spanning van bekende grootte oor die oplossing geplaas word. Voorsorg moet met die keuse van 'n spanning getref word dat die waarde nie so groot is dat die stroomvloei hoër is as wat die ammeter kan lees nie, anders sal die meter beskadig word. Die

kolloïde in die oplossing beweeg nou as gevolg van die spanning en die feit dat ladings van teenoorgestelde teken mekaar aantrek. Die beweging van die kolloïde kan nou op die monitor gevolg word.

Die stophorlosie wat gebruik word om die lesings te neem is saam met die meetapparaat gemonteer. Die apparaat bevat ook 'n handskakelaar om die rigting van die stroom wat oor die sel geplaas word om te keer indien nodig en die knoppe vir die beheer van die stophorlosie is ook op die eenheid gemonteer. Daar moet voorsorg getref word dat daar nie te lank met een monster gewerk word nie, aangesien lugborrels by die elektrodes vorm. As die lugborrels ontsnap affekteer dit die lesings deurdat dit turbulensie veroorsaak in die sel. Die houer waarin die sel geplaas word, moet ook met water gevul word om die temperatuur konstant te hou. Daar is ook 'n verwarmmer wat sorg dat die temperatuur nie daal nie. 'n Goeie temperatuur om te kies is 25°C aangesien waardes vir konstantes by die temperatuur redelik vrylik beskikbaar is. Die rede waarom die temperatuur konstant gehou moet word, is dat die hitte wat van die ligbron afkomstig is termiese effekte veroorsaak wat lei tot onegalige beweging van kolloïde en wat die effek van die elektriese ladings teenwerk.

Uit die tyd wat dit die kolloïed neem om 'n bekende afstand te beweeg, kan die snelheid van die deeltjie by 'n bekende spanning bereken word. Die snelheid van die deeltjie is direk eweredig aan die ladings op die oppervlak van die deeltjie en die waarde word gebruik om die zeta-potensiaal te bereken.

3.3) Ander Apparaat

Vir roertoetse is 'n laboratoriumroerapparaat gebruik. Dit was 'n "Phipps and Bird" roerder. Die roerder het ses plat en reghoekige roerspane, wat met 'n ratstelsel en 'n gemeenskaplike kragbron aangedryf word, sodat al ses pane teen dieselfde spoed roteer. Die roerspoed kan verstel word tussen nul en honderd

omwentelings per minuut, sodat beide flitsmenging en stadige menging op dieselfde stuk apparaat gesimuleer kan word. Die apparaat is ook voorsien van 'n neonlig wat agter die roerders geleë is, sodat die vorming van vlokke maklik waargeneem kan word. Laastens is dit nodig om ses ewe groot bekere te kry vir die roerapparaat sodat die lesings vergelyk kan word.

Om filtrasie te simuleer, is klein sandfilters gemaak. Vir die doel is ses ewe groot mediese spuite gebruik. Gate is aan die onderkant van die spuite gemaak vir die water om te dreineer en die gate is met sif oorgetrek om te verhoed dat enige sand deurspoel. 'n Klein hoeveelheid fyn gruis is onder in die spuite geplaas, gevolg deur growwe sand van c. 1mm diameter en fyn sand van c. 0.3 mm diameter. Die monsters wat filtreer moes word, is bo in die spuite gesink en het dan deur die sand beweeg.

Die volgende stuk apparaat wat gebruik is, is 'n troebelheidsmeter. Die model wat gebruik is, is 'n "Hach Model 2100 A Turbidimeter". Die ligbron skyn van onder die houër, deur die watermonster en die lig wat gedeflekteer word, word gemeet. Die sein word dan na elektriese energie omgeskakel en op die instrumentepaneel as 'n lesing aangedui.

pH-bepalings is met 'n konvensionele pH-meter gedoen wanneer dit nodig was.

3.4) Eienskappe van die Flokkulante

Die flokkulante van sewe verskillende vervaardigers is getoets vir hul effektiwiteit in kolloïedverwydering uit die uitvloeisel van die geaktiveerdeslykproses wat vir die suiwering van die afvalwater van die Sasol-aanleg gebruik word. Die hoeveelheid inligting in verband met die flokkulante wat van die verskillende maatskappye ontvang is, het gewissel in volledigheid van maatskappy tot maatskappy. Die sewe maatskappye wie se pro-

dukte evalueer is, is in alfabetiese volgorde :

- 1) Allied Colloids
- 2) Anikem
- 3) Cyanamid
- 4) Floccotan
- 5) NCP (Ultrafloc)
- 6) Protea Water Management
- 7) Zetachem.

Die inligting oor die flokkulante wat van die verskillende maatskappye ontvang is, word vervolgens bespreek.

3.4.1) Allied Colloids

Die flokkulante wat deur Allied Colloids versprei word, is volgens hul brosjure opgebou uit 'n poliakriëlamiedbasis met verskillende groepe daarop wat dit óf kationies, óf anionies, óf nie-ionies maak. Die hoeveelheid vrye akriëlamied (monomeer) is minder as 0.05%. Die ioniese karakter van die flokkulante wat getoets is, is as volg:

- LT 25 - anionies
- LT 26 - anionies
- LT 27 - anionies
- LT 30 - anionies
- LT 20 - nie-ionies
- LT 24 - kationies
- LT 31 - kationies
- LT 35 - kationies.

Spesifieke inligting in verband met die onderskeie flokkulante is slegs van LT 31 en LT 35 ontvang.

1) LT 31

Die volgende fisiese inligting is verskaf :

Digtheid = $1160 \pm 20 \text{ kg/m}^3$
 pH = 3 - 4

Viskositeit = 400 - 600 cp

Vriespunt = -2 °C

2) LT 35

Die volgende fisiese data is ontvang :

Digtheid = 1090 ± 20 kg/m³

pH = 6.5 ± 0.5

Viskositeit = 800 - 1300 cp

Vriespunt = -2 °C

3.4.2) Anikem

Die flokkulante wat van Anikem ontvang is, is in die vorm van emulsies waarvan die samestelling nie bekend gemaak is nie. Geen ander inligting in verband met die flokkulante is ontvang nie.

3.4.3) Cyanamid

Volgens Cyanamid is hulle Superfloc C flokkulante kationies, Superfloc A is anionies en Superfloc N is nie-ionies. Daar is ook 'n reeks Superfloc S flokkulante wat nog in 'n eksperimentele fase van ontwikkeling is, maar die flokkulante is wel beskikbaar gestel vir toetsing. Volgens toetse wat deur Cyanamid uitgevoer is en waarvan die resultate beskikbaar gestel is, is die Superflocreeks van flokkulante farmakologies baie inert, beide akute en chroniese toksisiteit ontbreek en kontak met die flokkulante lei nie tot irritasie van die menslike vel nie.

Die flokkulante wat uit poliamiene opgebou is, het laer molmassas (10×10^3 - 0.5×10^6) en die ladingsdigtheid op die polimeer ketting is baie hoog. Die flokkulante word as gekonsentreerde oplossings verskaf. Kationiese akriëlamiede is ook beskikbaar teen verskillende vlakke van kationiese ladings en met

hoër molmassas ($2 - 6 \cdot 10^6$) as die poliamiene. Hierdie flokkulante word versprei as droë poeiers of emulsies.

3.4.4) Floccotan

Floccotan het die mees volledige inligting in verband met hul flokkulante verskaf. Die flokkulante wat ontvang is, is die volgende :

1) Catfloc B

Dit is 'n helder, kleurlose tot liggeel, viskose kationiese polielektroliet. Die fisiese eienskappe is die volgende:

digtheid = $1\,010\text{ kg/m}^3$
 viskositeit = $2\,000\text{ cp}$ by $25\text{ }^\circ\text{C}$
 pH = 3.3 ± 0.5
 flitspunt = $93\text{ }^\circ\text{C}$
 vriespunt = $-3\text{ }^\circ\text{C}$

2) FB 50

Oorspronklik is Floccotan se flokkulante uit tannien vervaardig. FB 50 is 'n donkerbruin vloeistof wat 'n mengsel is van die oorspronklike Floccotan flokkulant en dimetiel-dialliel ammoniumchloried en is kationies. Dit is dus 'n kombinasie van 'n lae en hoë molmassa polielektroliet. Die digtheid van die mengsel is $1\,095\text{ kg/m}^3$. Beide flokkulante is nie toksies nie.

3) TE 1740

Die flokkulant is kationies en is 'n bruin vloeistof wat vervaardig word van tannienekstrak. Dit is nie brandbaar nie, die digtheid is $1\,050\text{ kg/m}^3$ en die viskositeit is $\pm 13\text{ cp}$.

4) WT 2640

Die poliëlektroliet is kationies en is 'n kleurlose vloeistof. Fisiese eienskappe is die volgende :

digtheid = 1 095 kg/m³
 pH = 6.8
 viskositeit = 40 000 cp by 25 °C

5) WT 4407

Dit is ook 'n kationiese, viskose poliëlektroliet. Die fisiese eienskappe is :

digtheid = 1 025 kg/m³
 pH = 9.5
 viskositeit = 10 000 cp by 25 °C
 flitspunt = 93 °C
 vriespunt = - 3 °C

'n Nadeel van die flokkulant is dat dit oogirritasies veroorsaak en voorsorg moet getref word dat kontak met die oog vermy moet word.

6) WT 7240

Die flokkulant is kationies en word in die droë vorm versprei. WT 7240 is in die poeiervorm en het 'n witterige kleur. Dit het 'n middelmatige kationiese karakter en by 'n konsentrasie van 0.5 g/l is die viskositeit van die oplossing 630 cp.

3.4.5) NCP (Ultrafloc)

NCP bemark beide anorganiese flokkulante en poliëlektroliete in hul Ultrafloc reeks. Geen data is beskikbaar oor Ultrafloc se U 5000 wat hier gebruik is nie.

In verband met die ferrichloried wat gebruik is soos dit deur NCP versprei word, is die volgende data beskikbaar :

digtheid	= 1 471 kg/m ³ by 20 °C
% Fe Totaal	= 14.82 % m/m
% Fe ³⁺	= 14.8 % m/m
% Fe ²⁺	= 0.02 % m/m
% Cl ⁻	= 28.31 % m/m
% HCl	= 0.22 % m/m

3.4.6) Protea Water Management

Hulle is vervaardigers van polialuminiumchloried (PAC) wat hulle versprei as beide 'n sout en 'n oplossing. Hulle versprei ook 'n aantal mengsels van PAC en poliëlektroliete. Die P 30 oplossing bevat ongeveer 35% aktiewe vastestowwe en is 'n oplossing van PAC. By die konsentrasie kan die PAC vir lang periodes gestoor word, maar as dit verder verdun word, is dit verkieslik dat die oplossing op 'n daaglikse basis aangemaak word en dan opgebruik word, anders kan dit verval.

3.4.7) Zetachem

Die flokkulante wat van Zetachem ontvang is, is van twee tipes. Eerstens is daar die gewone poliëlektroliete en dan is daar 'n reeks poliëlektroliete wat beide kationiese en neutrale groepe op die ketting het. Die idee is dat die kationiese deel die kolloïde verwyder en dat die nie-ioniese groepe die ketting swaar maak sodat besinking vinniger kan plaasvind.

3.4.8) Anorganiese Flokkulante

Twee ander flokkulante wat getoets is, is ferrisulfaat en aluminiumsulfaat. Chemiese suiwer chemikalieë wat vir laboratoriumgebruik bedoel is, is gebruik om die oplossings wat gedoseer is op te maak.

3.5) Eksperimentele Metodes

Veral by apparaat soos die zeta-potensiaalmeter en die Coulterteller is dit belangrik dat daar baie akkuraat gewerk moet word, aangesien die geldigheid van die resultate grootliks afhanklik is van hoe skoon die apparaat is. By die roertoetse is dit ook belangrik dat die resultate onder eenderse toestande verkry word, om sinvolle vergelykings tussen die resultate te kan tref.

3.5.1) Partikeltellings

Tydens die gebruik van die Coulterteller is dit van uiterse belang om met skoon apparaat te werk, aangesien enige stofdeeltjies wat in die finale monster teenwoordig mag wees die lesing sal affekteer en selfs die meetbuis se opening kan verstop. Vir die doel moet "Isoton", 'n elektrolitiese oplossing met baie min kolloïde daarin, gebruik word. Die "Isoton" word deur "Coulter Electronics" verkoop en is suiwerder as gedistilleerde water. Enige apparaat wat gebruik word moet nou voor gebruik deeglik met "Isoton" uitgespoel word om stofdeeltjies en aanpaksels te verwyder. Eers dan kan die apparaat gebruik word.

In die groottegebied waarin daar gewerk was, was dit eerstens nodig gewees om die water te filtreer om groter deeltjies te verwyder, om verstopping van die meetbuis van die Coulterteller te voorkom. Vir die doel is 'n 8 mikron membraanfilter gebruik. Die massa van die filter voor filtrasie en na filtrasie en droging is bepaal, om vas te stel hoeveel kolloïde in die groottegebied verwyder is.

Water bevat 'n groot hoeveelheid kolloïde, en as 'n groot aantal kolloïde gelyktydig deur die opening beweeg, vind verstopping maklik plaas. Om die rede is dit nodig om die rouwater te verdun voor gebruik. Weereens word "Isoton" gebruik. Die spesi-

fieke water is so ryk aan kolloïde dat dit duisend maal verdun moet word. Om dit te bewerkstellig sonder oormatige gebruik van "Isoton" is daar eers 2 ml rouwater gepipeteer. By die water is 18 ml "Isoton" gevoeg. 2 ml van die oplossing is nou weer afgemeet en nog 18 ml "Isoton" is bygevoeg. 'n Verdere 2 ml van die laaste oplossing is afgemeet en nog 18 ml "Isoton" is bygevoeg. Dit gee 'n verdunning van 1000 maal. Voor elke afmeting is die pipette en houters deeglik met "Isoton" uitgespoel.

Die meetbuis is in die monster geplaas en lesings is geneem. Daar is besluit om 'n buis met 'n $30\mu\text{m}$ opening te gebruik. Die volume wat gebruik is om die deeltjies daarin te tel is 0.05 ml. Die data wat so verkry is, is uitgedruk as 'n normaalverspreiding en die resultate is verder verwerk.

3.5.2) Zeta-Potensiaalmeting

Die eerste stap by die gebruik, van die zeta-potensiaal-meter is om die ligbron korrek in te stel. As die instelling een keer korrek is, behoort dit korrek te bly, as dit onversteurd gelaat word. Die temperatuur word konstant gehou deur die watermantel met water te vul en dan op die verlangde temperatuur te stel. Die beeld op die monitor moet ook eers gefokus word.

Om die monster voor te berei vir die neem van lesings is die volgende nodig: Eerstens moet daar 'n 0.1 N oplossing van KCl opgemaak word om as elektroliet te dien. 'n Bekende volume van die oplossing word nou by 'n bekende volume rouwater gevoeg, sodat die konsentrasie elektroliet in die finale monster bekend is. Die mengsel word nou in die sel geskink.

Dit is belangrik dat die sel skoon moet wees en dat daar geen aanpaksel op die glas is nie. Om die rede is dit nodig om die sel na gebruik in chroomsuur te plaas om aanpaksels te verwyder. Voor gebruik, word die sel dan deeglik afgespoel om die

oorblywende suur te verwyder. Die mengsel van rouwater en elektroliet word dan in die sel geskink en dit word dan in die apparaat geplaas. Die twee elektrodes word nou in die sel geplaas en die spanning word op 'n geskikte waarde gestel. Die verlangde aantal tydlesings word nou geneem en die pole word dan omgekeer om lesings te neem in die teenoorgestelde rigting. Die rede hoekom lesings in beide rigtings geneem word, is om die effek van enige eksterne faktore wat die spoed van beweging in een rigting kan affekteer uit te skakel. Uit hierdie data kan die zeta-potensiaal bereken word soos in die resultate uiteengesit.

3.5.3) Roertoetse

Eerstens is daar gekyk na roertoetse met verheldering deur besinking. Vervolgens is die effek van stadige menging, hersirkulasie van vlokke en die gebruik van nie-ioniese flokkulante en PAC as flokkulasiehulpmiddels evalueer. 'n Baie belangrike wysiging was die gebruik van sandfiltrasie in plaas van besinking vir verheldering. Die effek van twee kleitipes, te wete kaolien en bentoniet, is vervolgens as flokkulasiehulpmiddels evalueer. Alhoewel anorganiese soute ongewens is, is drie tipes evalueer, nl. ferrichloried, aluminiumsulfaat en kalk. 'n Laaste flokkulasiehulpmiddel wat evalueer is, is 'n anioniese polielektroliet. Laastens is daar gekyk na die effek van voor-osonering en mikro-flokkulasie op die flokkulantdosis.

Alhoewel die basiese tegniek van roertoetsing deurgaans dieselfde gebly het, was daar klein veranderinge nodig met die doel om verskillende moontlikhede te toets. Die wysigings het na vore gekom namate daar besef is watter aspekte van belang is. Daar is egter deurgaans gebruik gemaak van ses 600 ml bekere waarin daar 'n 200 ml monster afgemeet is. Verskillende dosisse flokkulant is dan in die bekere afgemeet.

3.5.3.a) Roertoetse met Besinking

Oorspronklik het die roertoets bestaan uit twee minute vinnige menging, gevolg deur vyf minute stadige menging. Vinnige menging is teen 100 opm uitgevoer, terwyl stadige menging teen 40 opm uitgevoer is. Na menging voltooi is, is tien minute vir besinking toegelaat. Na besinking is die troebelheid van die bo-water bepaal.

3.5.3.b) Stadige Menging

Daar is ook gekyk of beter flokkulasie verkry kan word deur 'n geleidelike afname in roerspoed. Die verwagting was dat die geleidelike verlaging in afskuifkragte sal lei tot laer flokkulantdosisse om dieselfde mate van suiwering te kry. Menging is in drie stappe gedoen, nl. 2 minute vinnige menging teen 100 rpm, 2 minute matige menging teen 60 rpm en 5 minute stadige menging teen 30 rpm. Tien minute is toegelaat vir besinking en die troebelheid van die water is bepaal.

3.5.3.c) Hersirkulasie van Vlokke

Die volgende aspek wat aandag ontvang het, is die effek van die hersirkulasie van vlokke op die waterkwaliteit. In die praktyk word die vlokke in die slyk gehersirkuleer en die resultate mag 'n beter aanduiding gee van die werklike dosis wat benodig word. Die effek daarvan is geëvalueer deur eerstens die roertoets soos aanvanklik beskryf uit te voer. Na besinking is die helfte van die bowater afgegooi en vervang met nuwe water. Die roertoets is nou weer herhaal teen die helfte van die dosisse wat aanvanklik gebruik is. Die hele prosedure is dan weer herhaal en die vlokke is dan toegelaat om te besink. Die troebelheid van die bo-water is dan bepaal.

3.5.3.d) Nie-ioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddel

Vervolgens is gekyk na die effek van die byvoeging van 'n nie-ioniese flokkulant met die doel om die vlok swaarder te maak en om sodoende beter besinking te kry. Die tegniek wat gebruik is, is om eers flitsmenging soos voorheen toe te pas. Na die twee minute flitsmenging, is die nie-ioniese flokkulant, teen dieselfde dosis in al die bekere toegevoeg en nog een minuut flitsmenging is toegelaat. Na vyf minute stadige menging is tien minute besinktyd toegelaat en die troebelheid van die bo-water is bepaal.

3.5.3.e) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel

PAC is bestudeer, aangesien dit minder anione in die water sou nalaat as konvensionele anorganiese soute. Die eksperimentele metode wat gebruik is, is dieselfde as die wat met die nie-ioniese poliëlektroliet gebruik is.

3.5.3.f) Sandfiltrasie

Weens swak besinking is daar besluit om eerder sandfiltrasie te gebruik vir verheldering. Die roertoets is steeds op dieselfde wyse uitgevoer, maar met die gebruik van sandfilters is die water direk na stadige menging gefiltreer sonder enige besinking. Die water is direk in sandfilters gegiet om sodoende met vlokke wat te klein is vir besinking, maar voldoende is vir filtrasie te kan verwyder. Sodoende is die flokkulantdosis verlaag.

3.5.3.g) Kleie as Flokkulasiehulpmiddels

Twee tipes klei is geëvalueer, nl. kaolien en bentoniet. Die verwagting is dat die verhoogde troebelheid wat deur die klei veroorsaak word, sal lei tot beter flokkulasie. Verder veroorsaak die klei swaarder vlokke wat beter besink. Beide die kao-

lien en bentonietdosisse is konstant gekies en die dosisse van die flokkulante is gewissel om die effek van die kleie waar te neem. Tydens die toetsing van bentoniet is eers 'n bentoniet suspensie opgemaak. Die roerapparaat is gebruik om die water vinnig te vermeng en ewe veel bentoniet is in elke beker gedoseer. Daarna is die roertoets uitgevoer soos in die vorige paragraaf beskryf is. Die hele toets is dan weer herhaal met 'n nuwe bentonietdosis en sodoende is die optimum bepaal. Die toetse van kaolien is op dieselfde wyse gedoen.

3.5.3.h) Anorganiese Soute

Tydens die toetsing van anorganiese koagulante met die gebruik van polielektrolitiese flokkulante as flokkulasiehulpmiddels is daar soos volg te werk gegaan. Eerstens is flitsmenging en stadige menging by wisselende primêre koagulantdosisse uitgevoer. Na flitsmenging is 'n klein hoeveelheid polielektroliet bygevoeg en 'n verdere minuut van flitsmenging is uitgevoer, gevolg deur stadige menging. Daar is ook gekyk na die effek van gelyktydige dosering van die twee flokkulante.

3.5.3.i) Elektrolitiese Toevoeging van Yster

As 'n elektriese spanning oor ysterplate geplaas word, stel dit ysterione vry wat as koagulant kan dien. Die dosis van koagulant is direk eweredig aan die tydsduur van die stroom wat oor die plate geplaas word. 'n Stroom word dus gekies en die tydsduur benodig om 'n sekere dosis tot gevolg te hê word dan bereken. 'n Monster van die water word dan geneem en die roertoets word dan soos voorheen op die water uitgevoer en die troebelheid van die water word na besinking en sandfiltrasie gemeet.

3.5.3.j) Kombinasies van Flokkulante

Vervolgens is gekyk na die effek van die gelyktydige dosering van flokkulante met die hoop om beter flokkulasie te verkry. Na dosering is die roertoets soos tevore uitgevoer en die water is gefiltreer. Die troebelheid van die gefiltreerde water is bepaal.

3.5.3.k) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddels

Die roertoets is uitgevoer soos in die geval van nie-ioniese flokkulante, maar na besinking is filtrasie uitgevoer. Die rede waarom besinking toegelaat is, is om die belading van die filters te verlaag sodat hulle langer bedryf kan word. Die hele eksperiment is dan weer herhaal by 'n nuwe flokkulasiehulpmiddelkonsentrasie, om sodoende vergelykbare resultate te verkry.

3.5.3.l) Voor-osonering

Dit is 'n bekende feit dat die gebruik van osoon dikwels die benodigde flokkulantdosis verlaag en daar is besluit om aandag aan die aspek te gee. Met die toetsing van die effek van voorosonering, is die water eers geosoneer en daarna is die roertoets uitgevoer. Vervolgens is 'n nuwe watermonster geosoneer by 'n ander konsentrasie en die hele proses is herhaal.

3.5.3.m) Mikroflokkulasie

Die toepassing van mikroflokkulasie is ook geëvalueer. Mikroflokkulasie is die voorafdosering van 'n baie lae dosis flokkulant, om baie klein vlokke te vorm. Die zeta-potensiaal van die water is bepaal om te sien of enige koagulasie plaasvind. Die water word vervolgens filtreer om die klein vlokke wat vorm te verwyder. Daarna word die gefiltreerde water geflokkuleer, soos gewoonlik, en weer gefiltreer. Die troebelheid van die

gefiltreerde water word dan bepaal.

3.6) Proefaanlegtoetse

Die watersuiweringsaanlegte in Secunda word aanleg 52 en 252 genoem. 'n Skaalmodel van die aanleg is opgerig, juis met die oog op navorsing en dié fasiliteite is gebruik om die proefaanlegtoetse uit te voer. Die deel van die proefaanleg waar flokkulasie plaasvind is van die res van die aanleg afgesluit om wisselinge weens eksterne faktore tot 'n minimum te beperk en water is van die besinktenk van die watersuiweringsaanleg na die proefaanleg gepomp. Die water het reeds bentoniet bevat in die konsentrasie wat deur Sasol gedoseer word, maar geen flokkulant nie.

Die voertempo tot die proefaanleg is eerstens op 'n vaste waarde gestel. In die geval is 600 l/h gebruik. 'n Peristaltiese pomp is gebruik om die flokkulant tot die flitsmengingstap te voer. By die instelling op die pomp wat gebruik is, was die voertempo 1.58 l/h. Met hierdie waardes bekend kon daar bereken word hoeveel flokkulant in elke geval afgeweeë moes word om die verlangde dosisse te verkry. Twee liter flokkulant is dan aangemaak en tot die flitsvermengingstenk gevoer.

Die flitsvermengingstenk se volume was 15 l. Die tenk is voorsien van 'n menger. Ongelukkig was die menger se omwentelingspoed nie verstelbaar nie en 'n optimum mengspoed in die flitsvermenging kon nie vasgestel word nie. Die vermoede bestaan egter dat die menging te hewig was en tot opbreking van gevormde vlokke kon aanleiding gee. 'n Pyplyn het die water van onder in die flitsmengstenk na die stadige mengingstap gevoer. Die pyplyn was voorsien van 'n klep wat met die hand verstel kon word om te voorkom dat die water te vinnig van die flitsmengstap na die volgende tenk vloei en sodoende veroorsaak dat die flitsmengstenk leeg loop. Op die pyplyn is 'n koppelstuk aangebring met 'n

voerpypp wat aan 'n tweede peristaltiese pomp gekoppel was. Tydens die toetsing van die effek van flokkulasiehulpmiddels is die tweede pomp gebruik om die flokkulasiehulpmiddels te doseer.

Die volgende tenk was 'n kombinasie stadige menging en besinktenk. Die stadige mengingstenk is binne die besinktenk geleë en sy oorloop vloei direk in die besinktenk in. Weereens kon die mengspoed nie gestel word nie, maar hier was menging wel stadig en goeie vlokvorming het plaasgevind. Die besinktenk was voorsien van 'n skrapper om die aanpak van vlokke op die wande van die tenk te voorkom. Die gesamentlike volume van die stadige menging en besinktenks was 623 l. Water kon die tenk op een van drie maniere verlaat. Eerstens is die stadige mengstap voorsien van 'n uitvloeipyp met 'n klep, met die doel dat enige vlokke wat so swaar was dat hulle reeds in die tenk besink van tyd tot tyd verwyder kon word, om sodoende verstopping van die voerpypp te voorkom. Tweedens is die besinktenk ook voorsien van 'n afleipyp onder in die tenk vir vlokverwydering tydens bedryf en dreinerings as die tenk uit bedryf gehaal word. Derdens en belangrikste vir die projek is die tenk voorsien van 'n oorloop aan die bokant sodat die helder bowater daar kan uitvloei na die volgende suivering wat in die geval die sandfilters was.

Drie sandfilters is in serie gebruik. Glaskolomme is gebruik as filters. Die kolomme was oorspronklik gebruik vir die toetsing van ioonuitruilharse en was van die regte grootte vir die doel. Die eerste twee kolomme is gevul met growwe sand met 'n diameter van 3 tot 4 mm. Die doel van die deel van die filter was om enige vlokke en groot deeltjies soos stof te verwyder. Die derde kolom is met fyn sand gevul. Die diameter van die sanddeeltjies was c. 1 mm en dit is gebruik om mikrovlokke te verwyder. Monsters van die uitvloeisel van die sandfilter is geneem om die effektiwiteit van flokkulasie te bepaal.

Die effektiwiteit van flokkulasie is geëvalueer deur die troebelheid van die uitvloeisel van die sandfilter te meet en deur die konsentrasie van gesuspendeerde stowwe in die water te bepaal.

Hoofstuk 4 : Resultate

In die afdeling word daar eerstens aandag gegee aan die resultate wat verkry is tydens die karakterisering van die kolloïde, met klem op die grootteverspreiding en zeta-potensiaal van die deeltjies. Die grootste deel van die hoofstuk word egter in beslag geneem deur die koagulant- en flokkulantdosisse soos met die roertoetse bepaal. Laastens is daar die resultate wat tydens die proefaanlegtoetse verkry is.

Aanvanklik is monsters twee maal per dag geneem om verteenwoordigende waardes vir die grootteverspreiding en die zeta-potensiaal te kry. Vir die roertoetse is watermonsters geneem wat ooreenstem met die gemiddelde bedryfstoeestande, om sodoende sinvolle flokkulantdosisse te kry. Met die aanvanklike neem van monsters is die volgende wisselinge waargeneem:

Temperatuur : 31 - 33 °C, maar meestal 'n waarde van 32 °C

suurstofkonsentrasie : 3 - 3.5 mg/l

Die bedryfstoeestande het ook gewissel van goed tot skuimvorming en met vlokke in die uitvloeisel. Skuimgeneigdheid het van geen tot hoog gewissel. Die hoeveelheid vlokke in die water het ook van laag tot hoog gewissel. Daar kan dus gesien word dat lesings oor 'n wye spektrum van bedryfstoeestande geneem is.

4.1) Grootteverspreiding

Die gesuspendeerde deeltjies is vir die doel van evaluering in drie groottegebiede verdeel, nl. a) > 1 mm, b) 8 µm tot 1 mm en c) < 8 µm.

4.1.1) Deeltjies > 1 mm

Tydens filtrasie met 'n 8 µm filter is daar waargeneem dat 'n fraksie van die gesuspendeerde stowwe voorwerpe soos blare, stokkies en gronddeeltjies was wat tydens monsterneming in die

water beland het. Tydens filtrasie het die onsuierhede gelei tot massas wat hoër is as die werklike gesuspendeerde vastestowwe. As van die stowwe teenwoordig was, was die massa van die filtreerpapier na droging tot 10 mg/l hoër as wanneer hulle nie teenwoordig was nie. Vir die doel van die berekening van die aantal deeltjies in die groottegebied is aanvaar dat die digtheid van die deeltjies $1\,200\text{ kg/m}^3$ is. Verder is daar met die doel om konserwatief te wees, aanvaar dat die diameter van die deeltjies 1 mm is. As daar nou aanvaar word dat daar gemiddeld 5 mg/l van die fraksie was, is daar c. 8 deeltjies/l teenwoordig.

4.1.2) Deeltjies tussen $8\,\mu\text{m}$ en 1 mm

Na inagneming van die massa van die deeltjies wat groter as 1 mm is, was die massa van die gesuspendeerde vastestowwe tussen $8\,\mu\text{m}$ en 1 mm ongeveer 3 mg/l. Met die digtheid dieselfde as bo en 'n diameter van $8\,\mu\text{m}$ is die berekende aantal deeltjies c. 9.3×10^6 deeltjies/l.

4.1.3) Deeltjies $< 8\,\mu\text{m}$

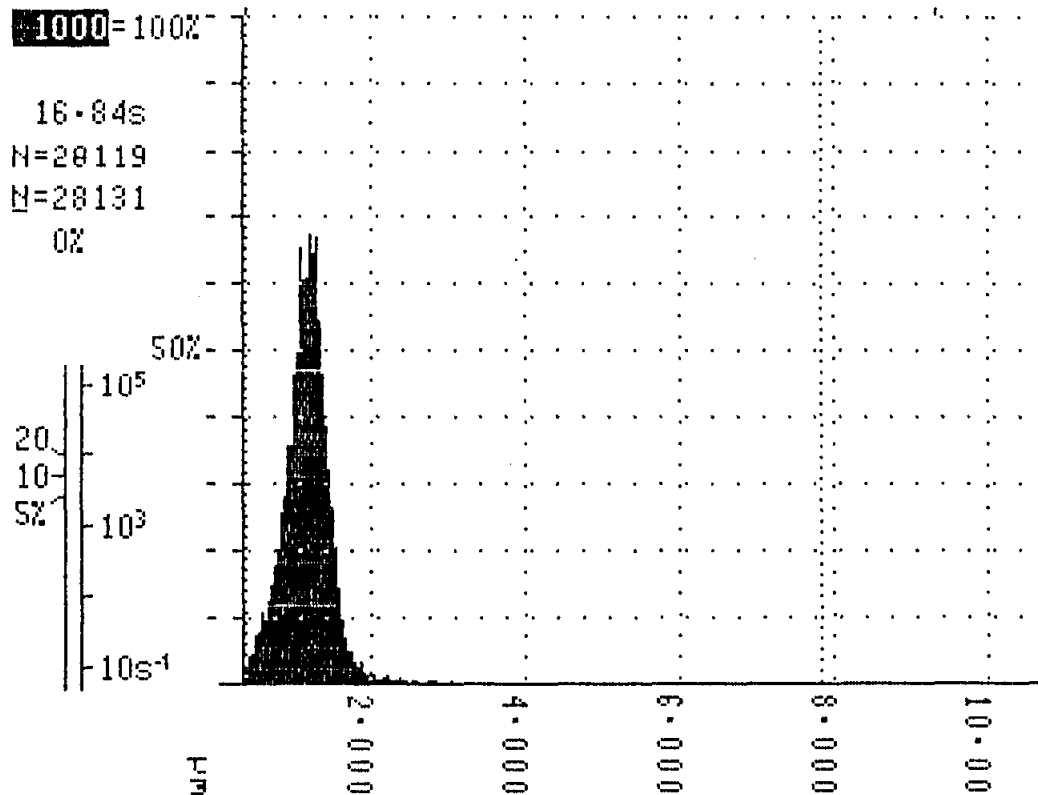
Uit die data wat saam met die normaalverspreiding uitgedruk word, kan daar bereken word wat die gemiddelde diameter van die kolloïde in elke monster is. Uit hierdie waardes kan nou weer eens 'n gemiddelde waarde bereken word. Die gemiddelde waardes wat so bereken is, word in Bylae 1 ingesluit.

Die gemiddelde partikeldiameters wat met die Coulterteller bepaal is, het gewissel tussen 0.7106 en $1.0100\,\mu\text{m}$, maar die kleinste waarde, nl. $0.7106\,\mu\text{m}$ was duidelik 'n uitskiet waarde, aangesien die tweede kleinste waarde $0.8015\,\mu\text{m}$ is. Die gemiddelde grootte wat bereken is, is $0.92\,\mu\text{m}$. 'n Tipiese uitdruk soos deur die Coulter teller uitgedruk word, is in Figuur 4.1.1 op die volgende bladsy ingesluit. Die gemiddelde aantal deeltjies wat kleiner is as $8\,\mu\text{m}$, is 86 092 per 0.05 ml rouwater wat

1 000 maal verdun is, oftewel $1.7 \cdot 10^{12}$ deeltjies/l. Die aanname dat die aantal deeltjies wat deur filtrasie verwyder word relatief klein is, in vergelyking met al die kolloïde in die water, is duidelik geldig.

Figuur 4.1.1
Grootteverspreiding

SAMPLE: 7 256 CHANNEL FULL RANGE COULTER®
X-AXIS(ACC.LAW): Lin Dia. MULTISIZER
Y-AXIS(DISPLAY): Number Diff 27/05/88
BLANK SUBTRACT: No



µm 009=0.334µm
 Δl=31

Σ=10150

188=7.852µm
 Δu=1

DATA ACCUMULATED WITH CHANNELS SPACED LIN. BY DIA.

CHAN.	SIZE-um	COUNTS	SIZE-um	COUNTS	SIZE-um	COUNTS
1	0.000 -	0	0.041 -	0	0.083 -	0
4	0.125 -	0	0.167 -	0	0.208 -	0
7	0.250 -	0	0.292 -	0	0.334 -	31
10	0.375 -	41	0.417 -	47	0.459 -	72
13	0.501 -	79	0.542 -	111	0.584 -	99
16	0.626 -	124	0.668 -	150	0.710 -	176
19	0.751 -	202	0.793 -	258	0.835 -	283
22	0.877 -	356	0.918 -	356	0.960 -	466
25	1.002 -	499	1.044 -	654	1.085 -	607
28	1.127 -	611	1.169 -	674	1.211 -	645
31	1.252 -	670	1.294 -	544	1.336 -	464
34	1.378 -	384	1.420 -	322	1.461 -	267
37	1.503 -	207	1.545 -	146	1.587 -	99
40	1.628 -	68	1.670 -	50	1.712 -	51
43	1.754 -	34	1.795 -	25	1.837 -	32
46	1.879 -	17	1.921 -	13	1.963 -	18
49	2.004 -	12	2.046 -	6	2.088 -	7
52	2.130 -	11	2.171 -	12	2.213 -	5
55	2.255 -	7	2.297 -	6	2.338 -	9
58	2.380 -	7	2.422 -	6	2.464 -	2
61	2.505 -	5	2.547 -	5	2.589 -	2
64	2.631 -	3	2.673 -	3	2.714 -	4
67	2.756 -	6	2.798 -	5	2.840 -	3
70	2.881 -	1	2.923 -	1	2.965 -	3
73	3.007 -	4	3.048 -	2	3.090 -	2
76	3.132 -	2	3.174 -	1	3.216 -	3
79	3.257 -	2	3.299 -	2	3.341 -	3
82	3.383 -	0	3.424 -	0	3.466 -	2
85	3.508 -	1	3.550 -	2	3.591 -	1
88	3.633 -	1	3.675 -	2	3.717 -	1
91	3.758 -	1	3.800 -	3	3.842 -	1
94	3.884 -	1	3.926 -	3	3.967 -	0
97	4.009 -	1	4.051 -	2	4.093 -	1
100	4.134 -	1	4.176 -	0	4.218 -	1
103	4.260 -	0	4.301 -	0	4.343 -	1
106	4.385 -	0	4.427 -	1	4.468 -	1
109	4.510 -	1	4.552 -	0	4.594 -	1
112	4.636 -	0	4.677 -	1	4.719 -	1
115	4.761 -	1	4.803 -	0	4.844 -	0
118	4.886 -	0	4.928 -	0	4.970 -	1
121	5.011 -	0	5.053 -	0	5.095 -	0
124	5.137 -	0	5.179 -	0	5.220 -	0
127	5.262 -	0	5.304 -	0	5.346 -	0
130	5.387 -	1	5.429 -	1	5.471 -	0
133	5.513 -	0	5.554 -	0	5.596 -	1
136	5.638 -	0	5.680 -	1	5.721 -	0
139	5.763 -	0	5.805 -	0	5.847 -	0
142	5.889 -	0	5.930 -	0	5.972 -	0
145	6.014 -	0	6.056 -	1	6.097 -	0
148	6.139 -	0	6.181 -	2	6.223 -	0
151	6.264 -	0	6.306 -	0	6.348 -	0
154	6.390 -	0	6.432 -	1	6.473 -	0
157	6.515 -	0	6.557 -	0	6.599 -	0

160	6.640 -	0	6.682 -	0	6.724 -	0
163	6.766 -	0	6.807 -	0	6.849 -	0
166	6.891 -	1	6.933 -	0	6.974 -	0
169	7.016 -	1	7.058 -	0	7.100 -	0
172	7.142 -	0	7.183 -	1	7.225 -	0
175	7.267 -	0	7.309 -	0	7.350 -	0
178	7.392 -	0	7.434 -	0	7.476 -	0
181	7.517 -	0	7.559 -	0	7.601 -	0
184	7.643 -	0	7.684 -	0	7.726 -	0
187	7.768 -	0	7.810 -	1	7.852 -	0
190	7.893 -	0	7.935 -	0	7.977 -	0
193	8.019 -	0	8.060 -	0	8.102 -	0
196	8.144 -	0	8.186 -	0	8.227 -	0
199	8.269 -	0	8.311 -	1	8.353 -	0
202	8.395 -	0	8.436 -	0	8.478 -	0
205	8.520 -	0	8.562 -	0	8.603 -	0
208	8.645 -	0	8.687 -	0	8.729 -	0
211	8.770 -	0	8.812 -	0	8.854 -	0
214	8.896 -	0	8.937 -	0	8.979 -	0
217	9.021 -	0	9.063 -	0	9.105 -	0
220	9.146 -	0	9.188 -	0	9.230 -	0
223	9.272 -	0	9.313 -	0	9.355 -	0
226	9.397 -	0	9.439 -	0	9.480 -	0
229	9.522 -	0	9.564 -	0	9.606 -	0
232	9.648 -	0	9.689 -	0	9.731 -	0
235	9.773 -	0	9.815 -	0	9.856 -	0
238	9.898 -	0	9.940 -	0	9.982 -	0
241	10.02 -	0	10.06 -	0	10.10 -	0
244	10.14 -	0	10.19 -	0	10.23 -	0
247	10.27 -	0	10.31 -	0	10.35 -	0
250	10.39 -	0	10.44 -	0	10.48 -	0
253	10.52 -	0	10.56 -	0	10.60 -	0

4.2) Zeta-Potensiaal

Die zeta-potensiaal was deurgaans redelik konstant en 'n monsterberekening word vervolgens getoon.

Eerstens moet die term $K \cdot a$ bereken word. a is die diameter van die partikel en K is 'n konstante.

Vir water by 25°C is die waarde van $K = 1 \cdot 10^6 \text{ cm}$.

Uit die grootteverspreiding, soos met die Coulter teller bepaal, is die waarde van $a = 0.91 \mu\text{m}$

$$= 9.1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

dus $K \cdot a = 91$

Waardes vir $f(K*a)$ vir sekere $K*a$ waardes, is in 'n tabel in die bedryfsinstruksies vir die zeta-potensiaalmeter ingesluit.

Deur interpolasie is $f(K*a) = 0.4526$

Vir $K*a > 0.1$ is:

$$\frac{6\pi\epsilon u}{\epsilon} = \epsilon (1 + f(K*a))$$

ϵ is die permittiwiteit van die vloeistof en μ is die viskositeit van die vloeistof.

Vir water by 25°C is :

$$\epsilon = 6.937 * 10^{-10} \text{ en}$$

$$\mu = 8.903 * 10^{-4}$$

$u = V/E$, waar V die snelheid van die deeltjie is en E die spanning is. V is verder die afstand deur die deeltjie beweeg (x) gedeel met die tyd (t) wat dit die deeltjie neem om die afstand te beweeg.

$$u = x/t * E$$

$$x = 104 * 10^{-6} \text{ m}$$

Beide E en t wissel. E word gekies in elke geval en die gemiddeld van 'n aantal t -waardes word bereken.

Beskou nou die geval waar $t = 7.11 \text{ s}$ en $E = 46 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{(6)(\pi)(8.903*10^{-4})(104*10^{-6})(1.4526)}{(6.937*10^{-10})(7.11)(46)} \\ &= -11.17 \text{ mV} \end{aligned}$$

'n Volledige reeks zeta-potensiaal waardes, vir 'n week se watermonsters is in Bylae 2 ingesluit en wys dat die waardes redelik konstant is. Die gemiddelde waarde is -13.9 mV . Meeste van die waardes lê tussen -11 en -16 mV . Daar is egter een uitskietwaarde wat kleiner as -10 mV is.

Die gebruik van 'n verskeidenheid flokkulante van veral organiese oorsprong is vervolgens ondersoek.

4.3) Roertoetse

Die resultate van die verskillende evaluerings wat in afdeling 3.3.3 uiteengesit is, word hier getoon.

Die flokkulante wat die beste gewerk het, word in die afdeling grafies met mekaar vergelyk in terme van flokkulantdosis en die koste per volume-eenheid. 'n Volledige lys van al die flokkulante wat in elke geval getoets is, is in Bylae 3 ingesluit.

4.3.1) Roertoets en Besinking

Die eerste aspek waarna gekyk is, is die flokkulantdosis nodig om vlokke te vorm wat groot en swaar genoeg is om te besink. Die flokkulantdosisse is op Figuur 4.3.1 aangedui en die koste per kubieke meter op Figuur 4.3.2. Die volledige lys van flokkulante is as Tabel 3.1 in Bylae 3 bygevoeg.

4.3.2) Stadige Menging

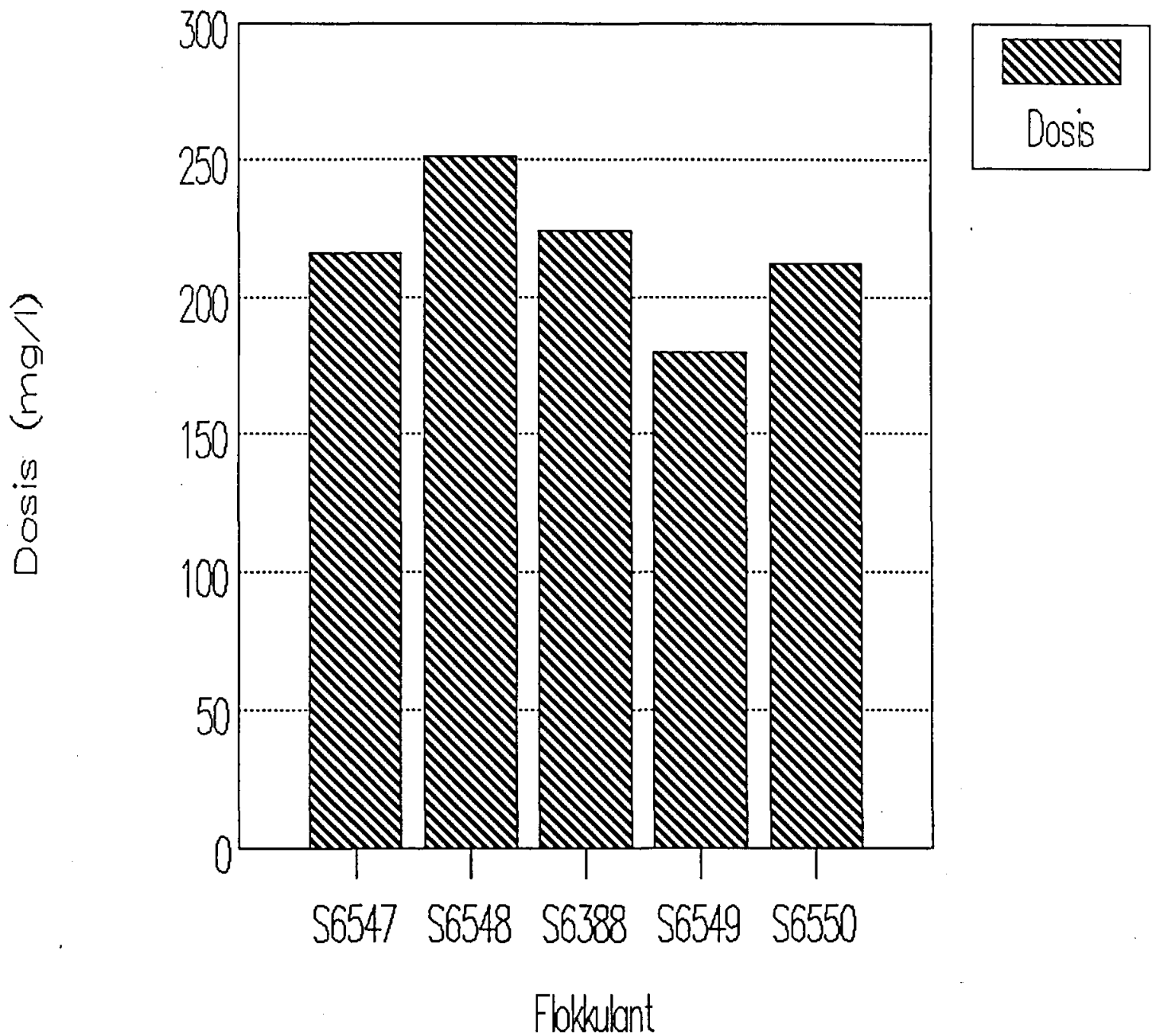
Vervolgens is gekyk na die effek van stadiger menging op die flokkulantdosisse en kostes. Die dosisse sonder en met stadiger menging is ingesluit in Bylae 3 in Tabel 3.2, saam met die flokkulantkoste met stadiger menging. Die vergelykende grafieke van flokkulantdosis en -koste is as Figure 4.3.3 en 4.3.4 ingesluit.

4.3.3) Hersirkulasie van Vlokke

Die effek van hersirkulasie op die flokkulantdosis en -koste word ook in Bylae 3, Tabel 3.3 weerspieël. Vergelykende figure vir dié geval en die eerste geval is ook opgestel en is as Figure 4.3.5 en 4.3.6 ingesluit.

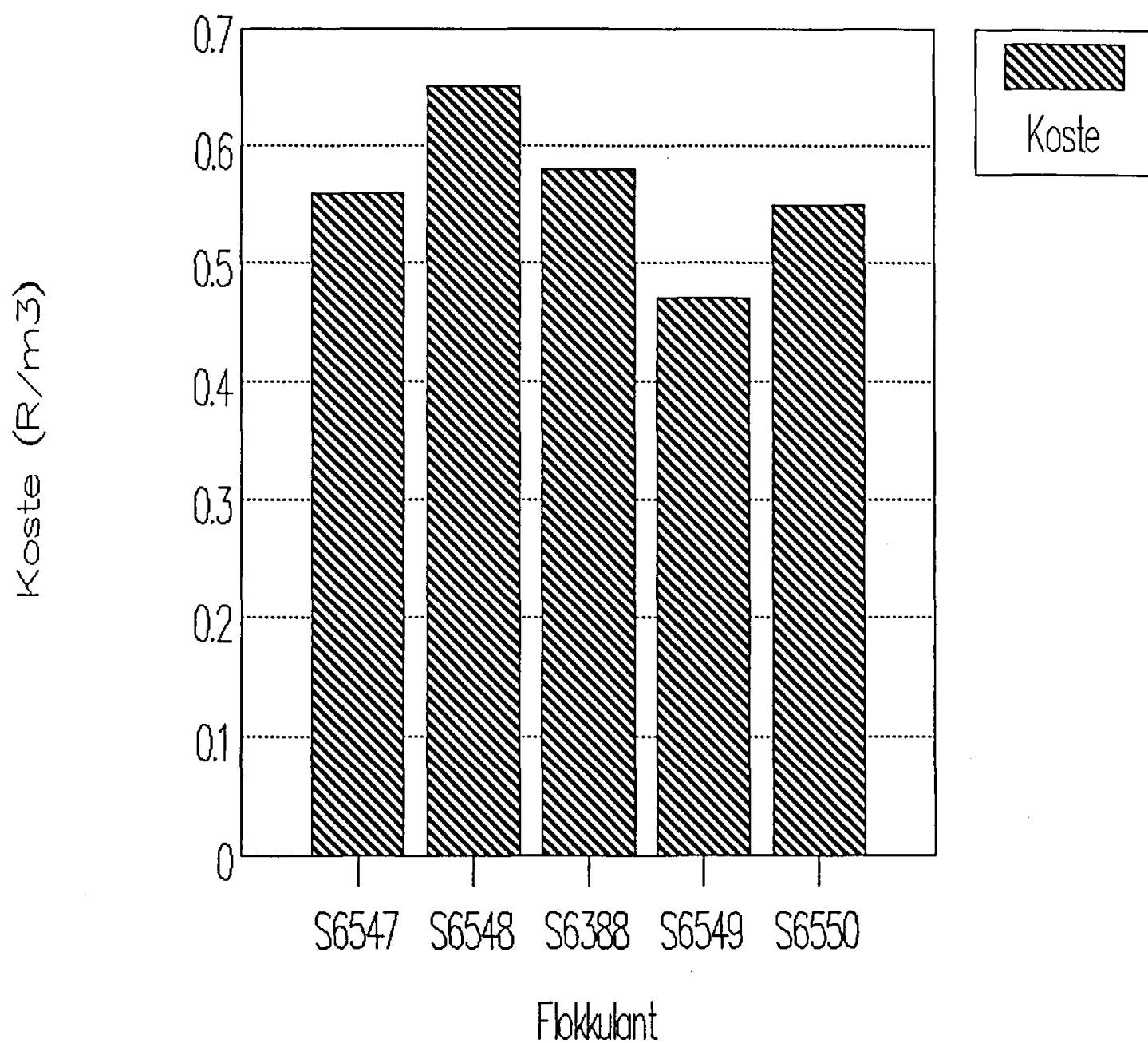
Figuur 4.3.1

Flokkulantdosis met Besinking



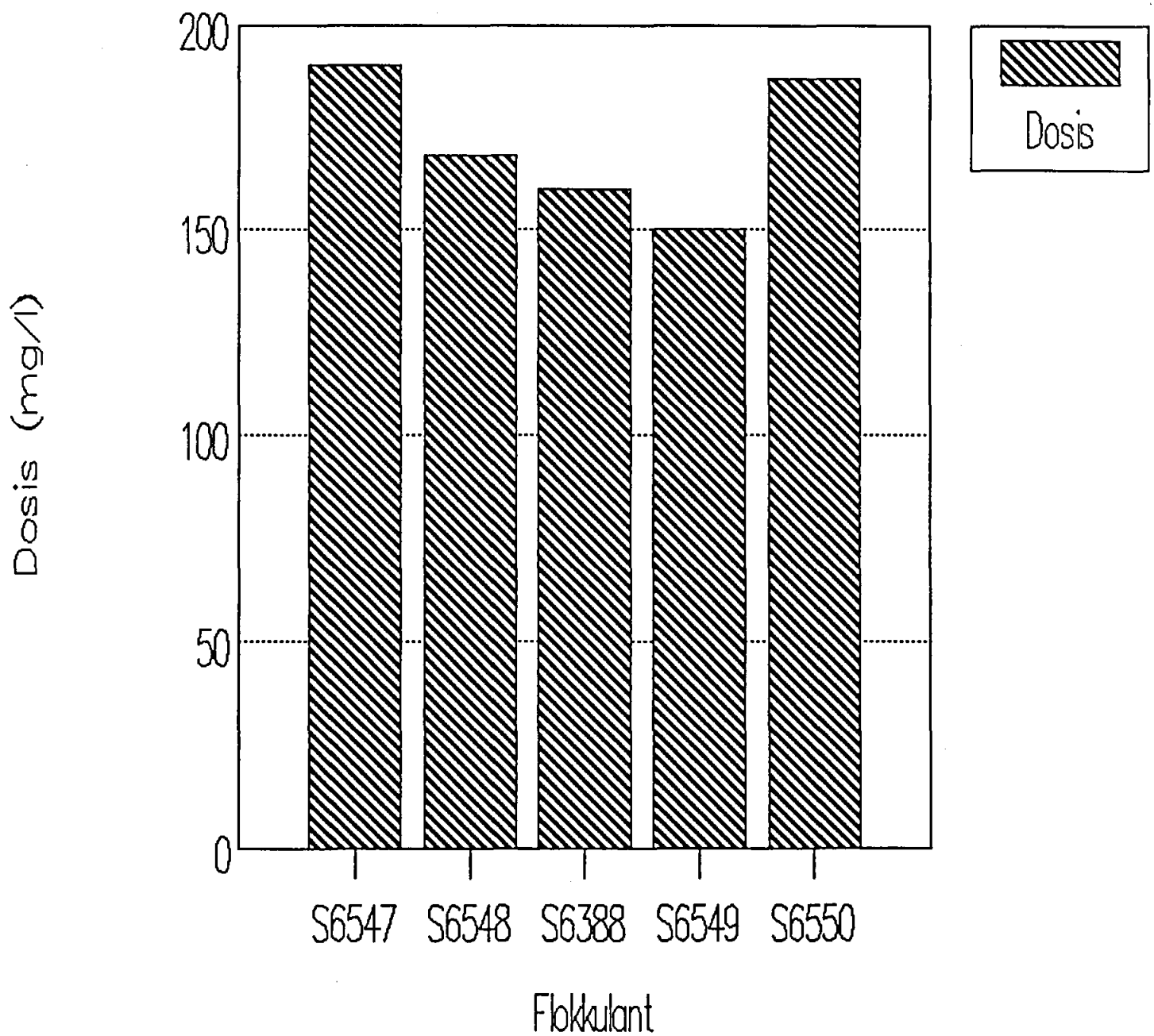
Figuur 4.3.2

Flokkulantkoste met Besinking



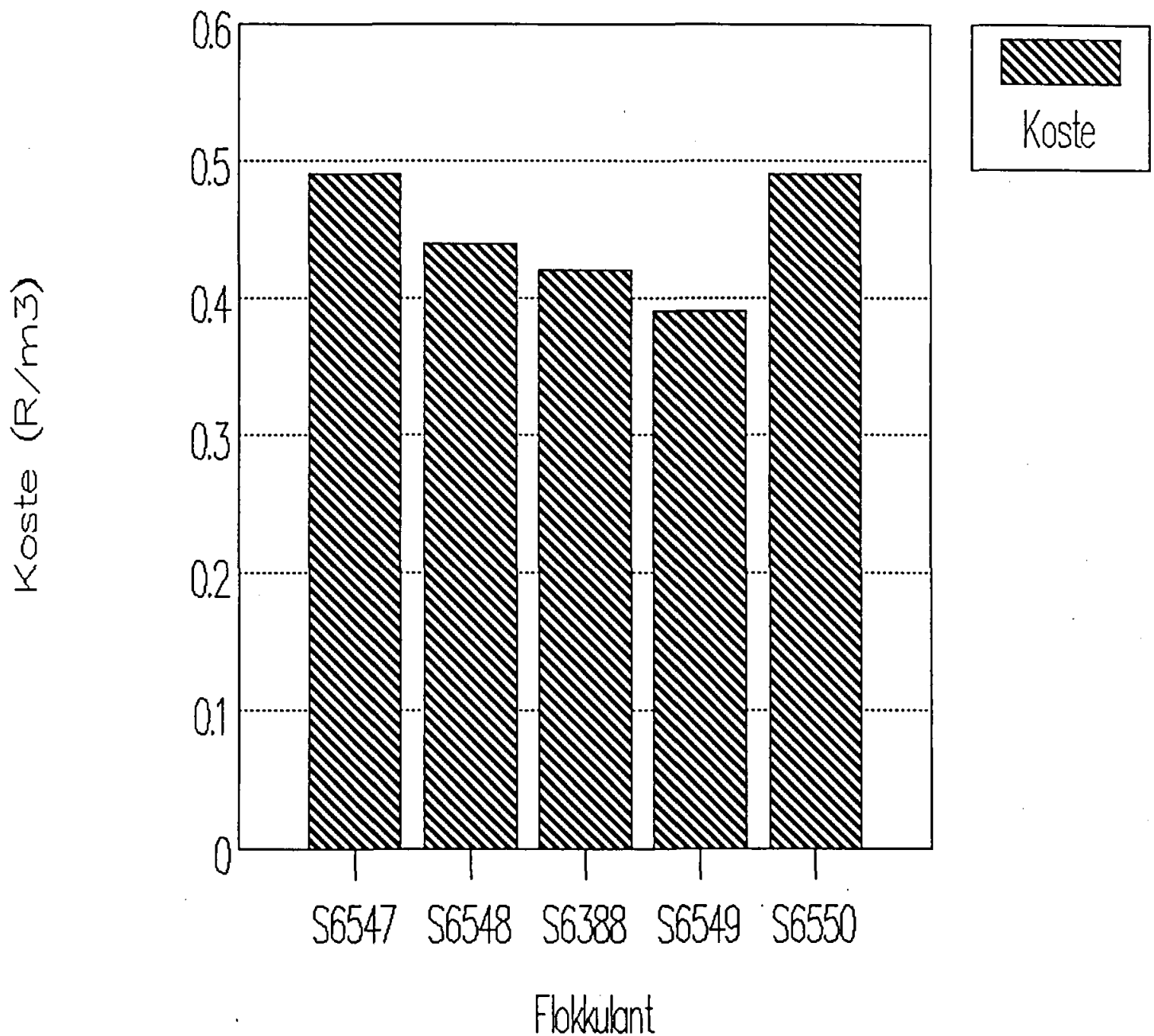
Figuur 4.3.3

Flokkulantdosis met Stadige Menging



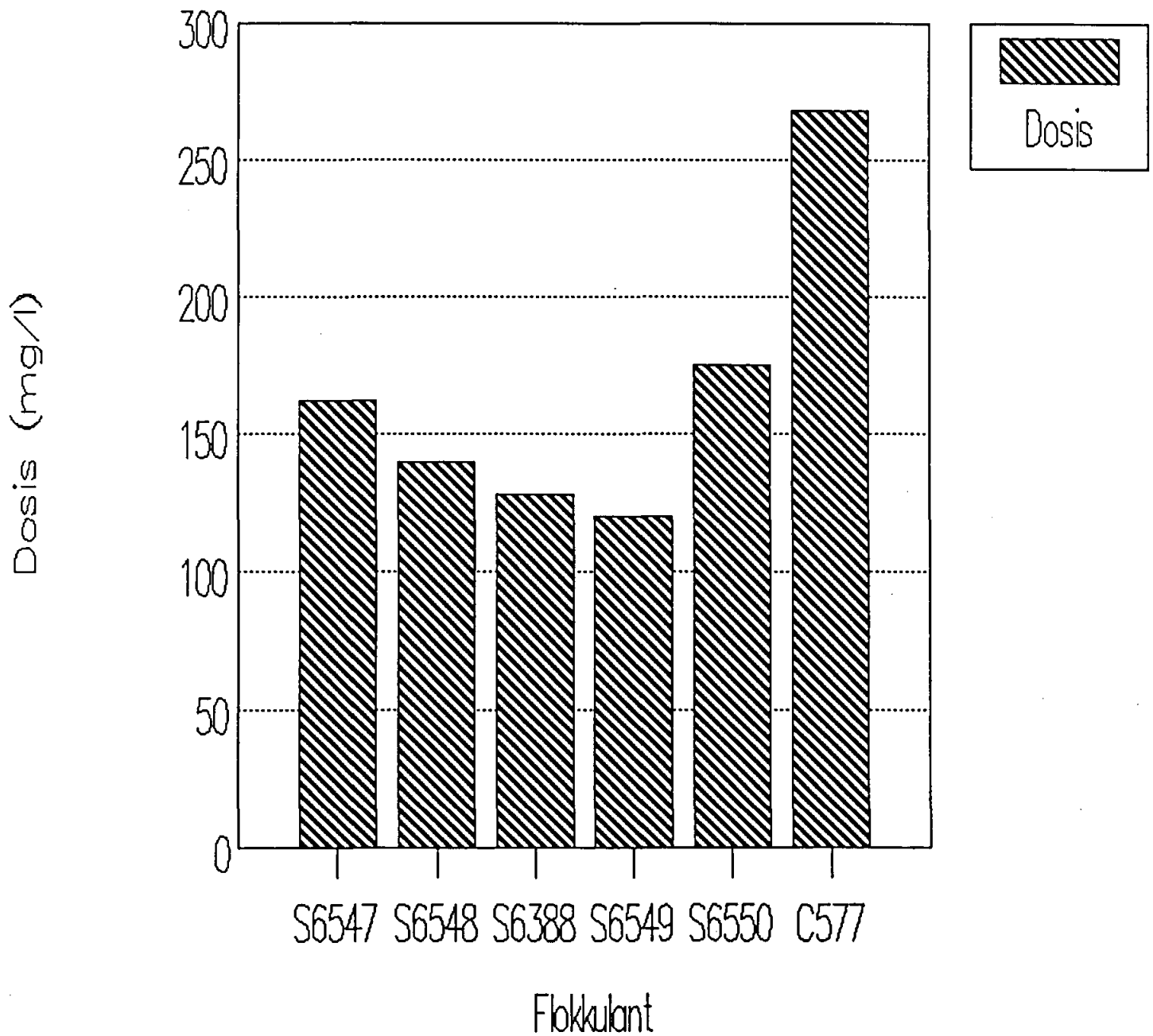
Figuur 4.3.4

Flokkulantkosten met Stadige Menging



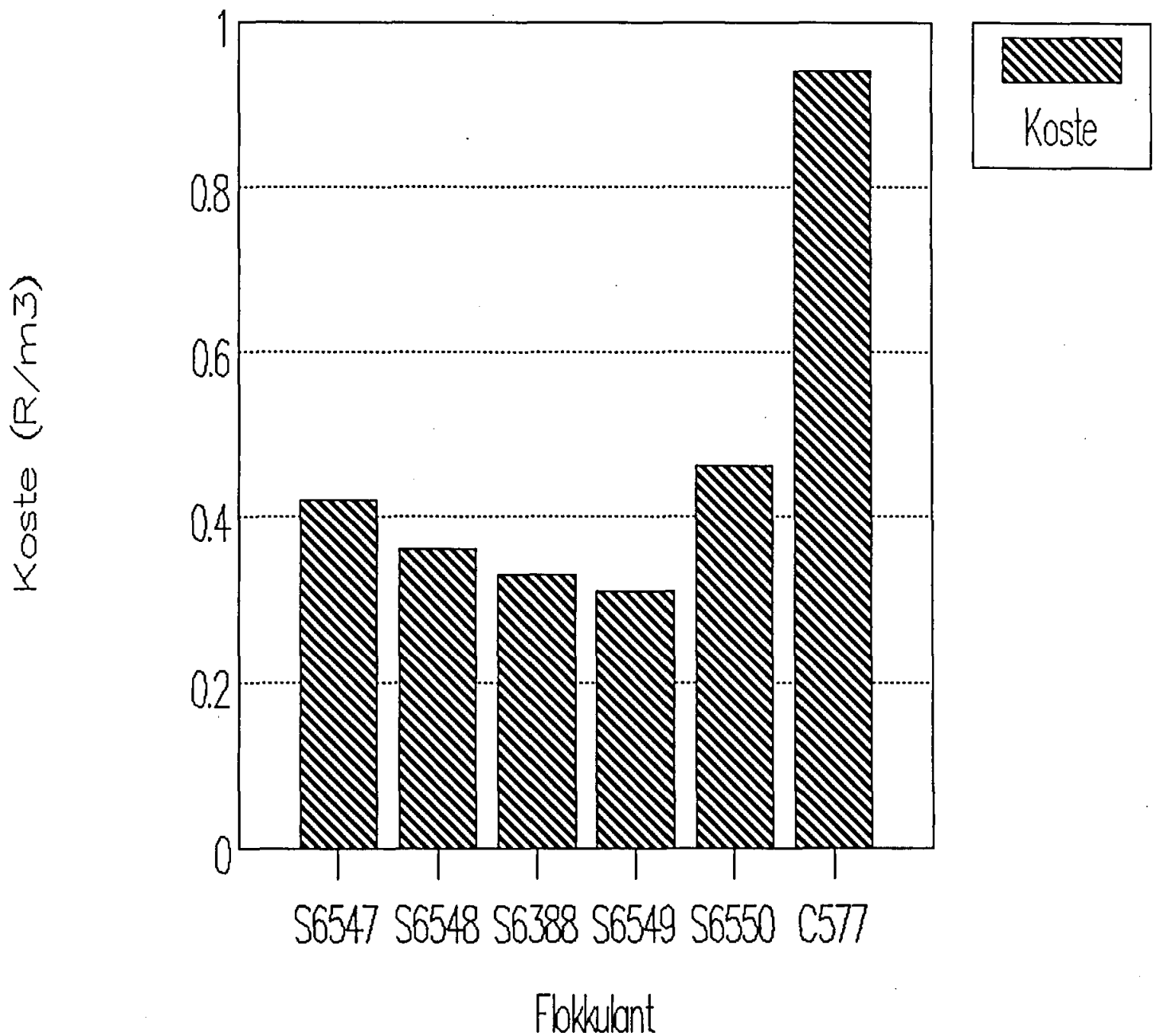
Figuur 4.3.5

Flokkulantdosis met Vlokhersirkulasie



Figuur 4.3.6

Flokkulantkoste met Vlokhersirkulasie



4.3.4) Nie-ioniese Flokkulant as Flokkulasiehulpmiddel

Die effek van die byvoeging van die nie-ioniese flokkulant op die koste en die verbruik van kationiese flokkulant word in Tabel 3.4 in Bylae 3 aangedui. Die effek word ook grafies voorgestel op Figure 4.3.7 en 4.3.8 op latere bladsye.

4.3.5) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel

Die gebruik van Polialuminiumchloried (PAC) is vervolgens bestudeer, beide as 'n primêre flokkulant en as flokkulasiehulpmiddel. Die resultate is in Tabel 3.5 in Bylae 3 opgesom en die grafiese voorstelling is as Figure 4.3.9 en 4.3.10 geplot.

4.3.6) Sandfiltrasie

'n Groot verskeidenheid flokkulante is op die manier wat in die eksperimentele deel beskryf is, ondersoek en in alle toetse wat hierop volg is die sandfilters gebruik. Die resultate van die belangrikste flokkulante is op Figure 4.3.11 en 4.3.12 geplot en die numeriese waardes is in Tabel 3.6 in Bylae 3 uiteengesit.

4.3.7) Klei as Flokkulasiehulpmiddel

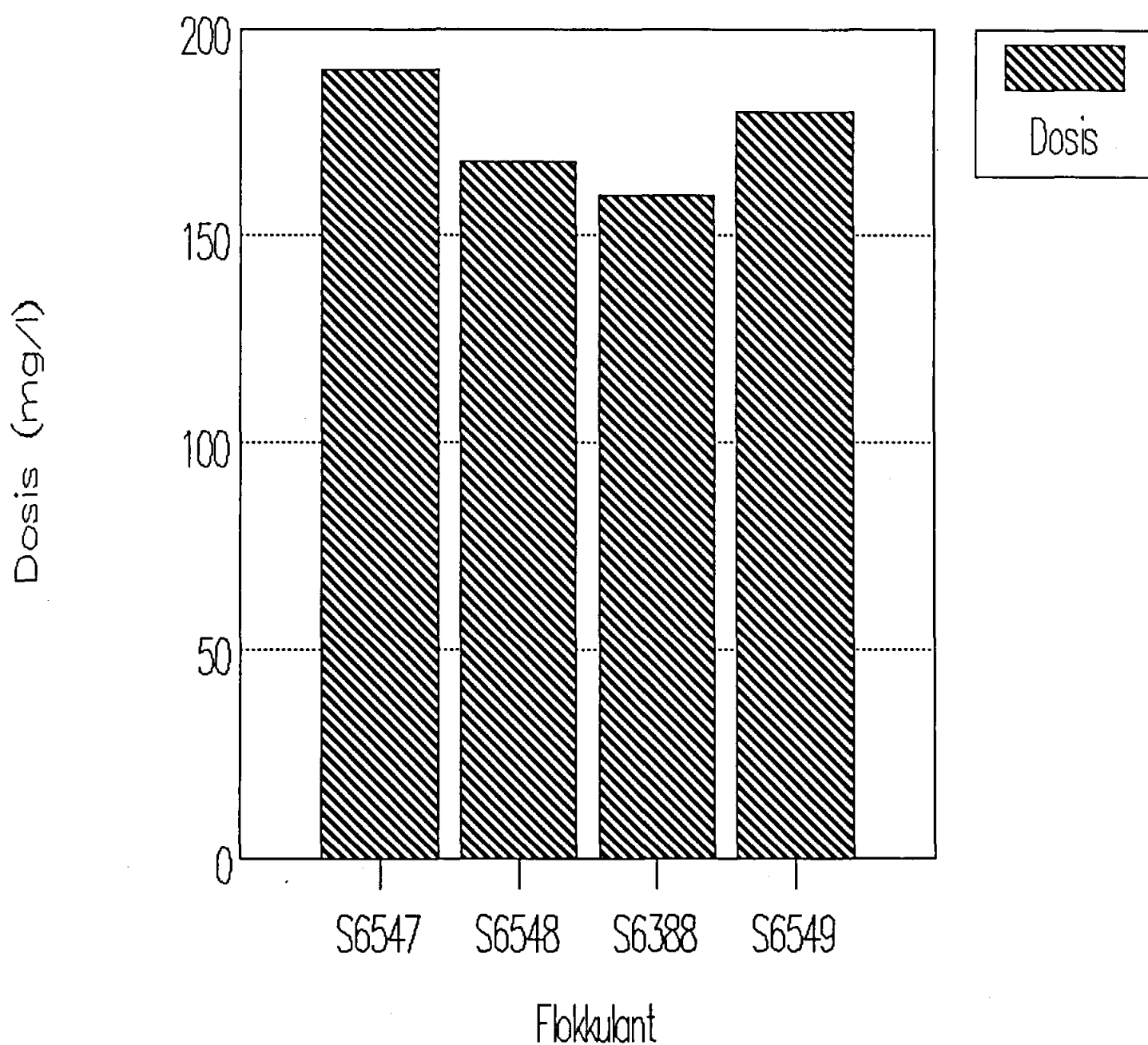
Die volgende aspek wat bestudeer is, is die effek van die byvoeging van kleie op die flokkulantdosis. Die effek van kaolien word in Tabel 3.7 in Bylae 3 aangedui, terwyl die effek van bentoniet in Tabel 3.8 in Bylae 3 en in Figure 4.3.13 en 4.3.14 aangedui word.

4.3.8) Anorganiese Soute

Die volgende koagulant wat bestudeer is, as beide 'n primêre koagulant en as 'n flokkulasiehulpmiddel, is aluminiumsulfaat.

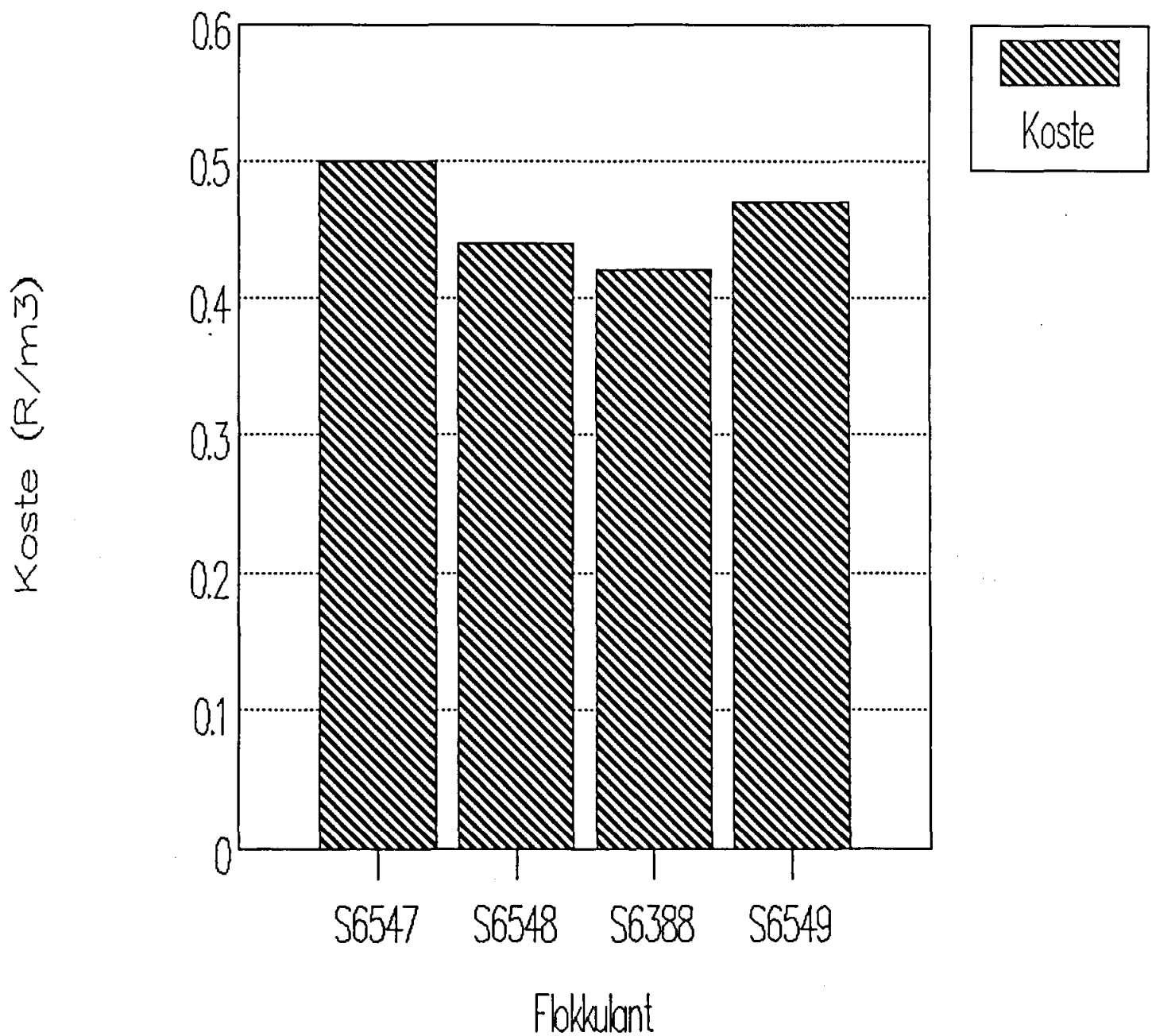
Figuur 4.3.7 Dosis

Nie-ioniese Flokkulasiehulpmiddel



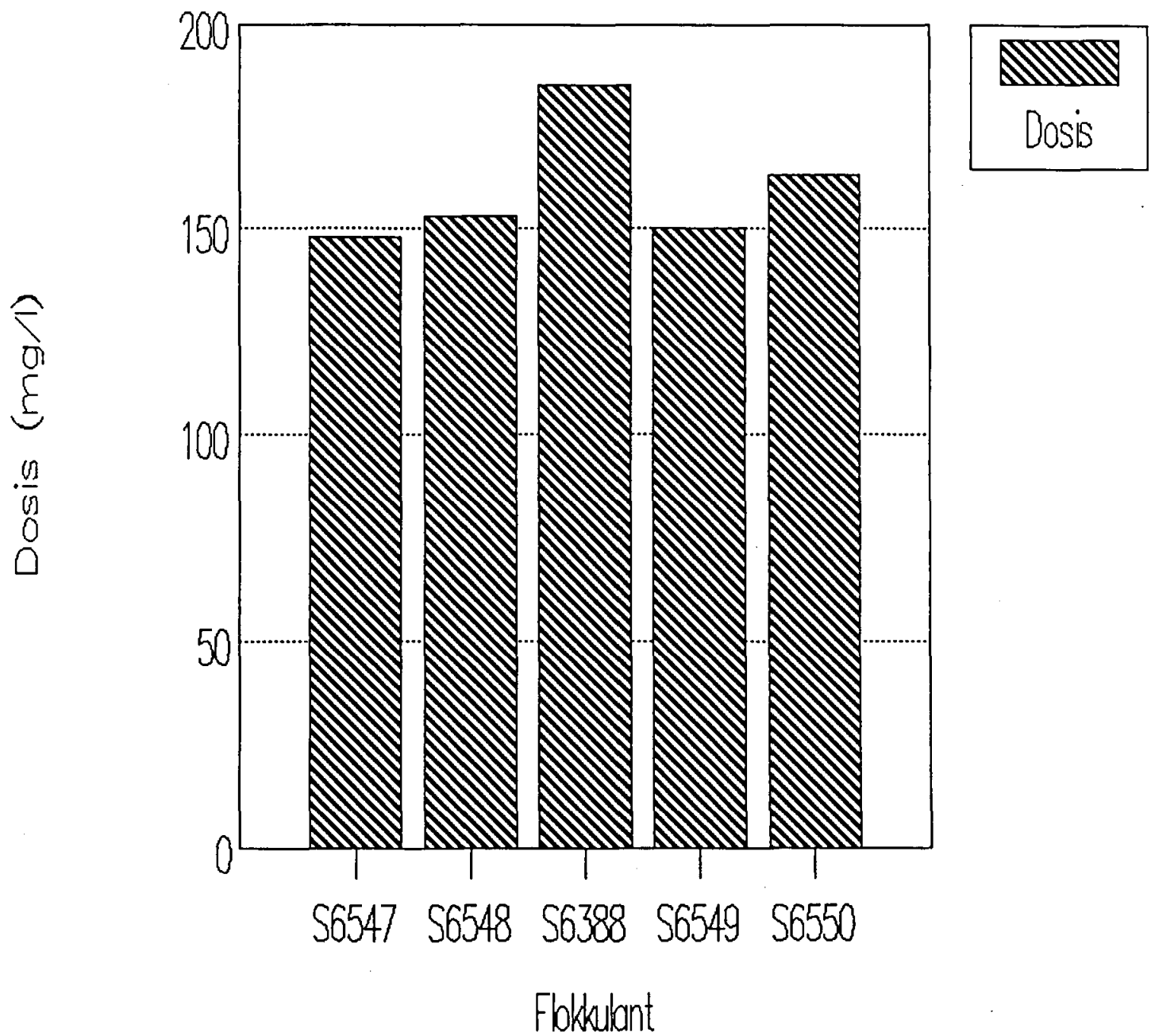
Figuur 4.3.8 Koste

Nie-ioniese Flokkulasiehulpmiddel



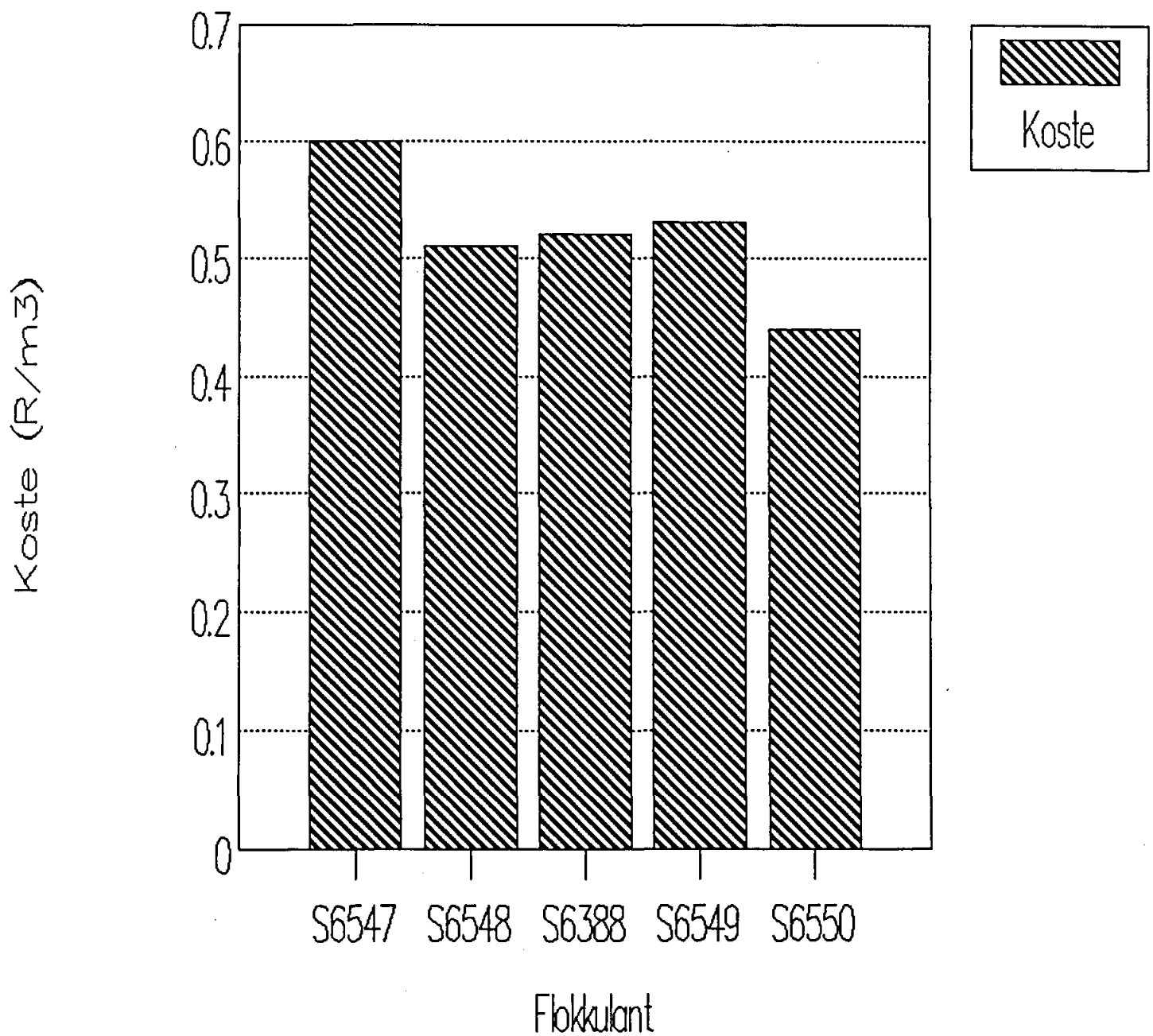
Figuur 4.3.9

Flokkulantdosis met PAC as Hulpmiddel



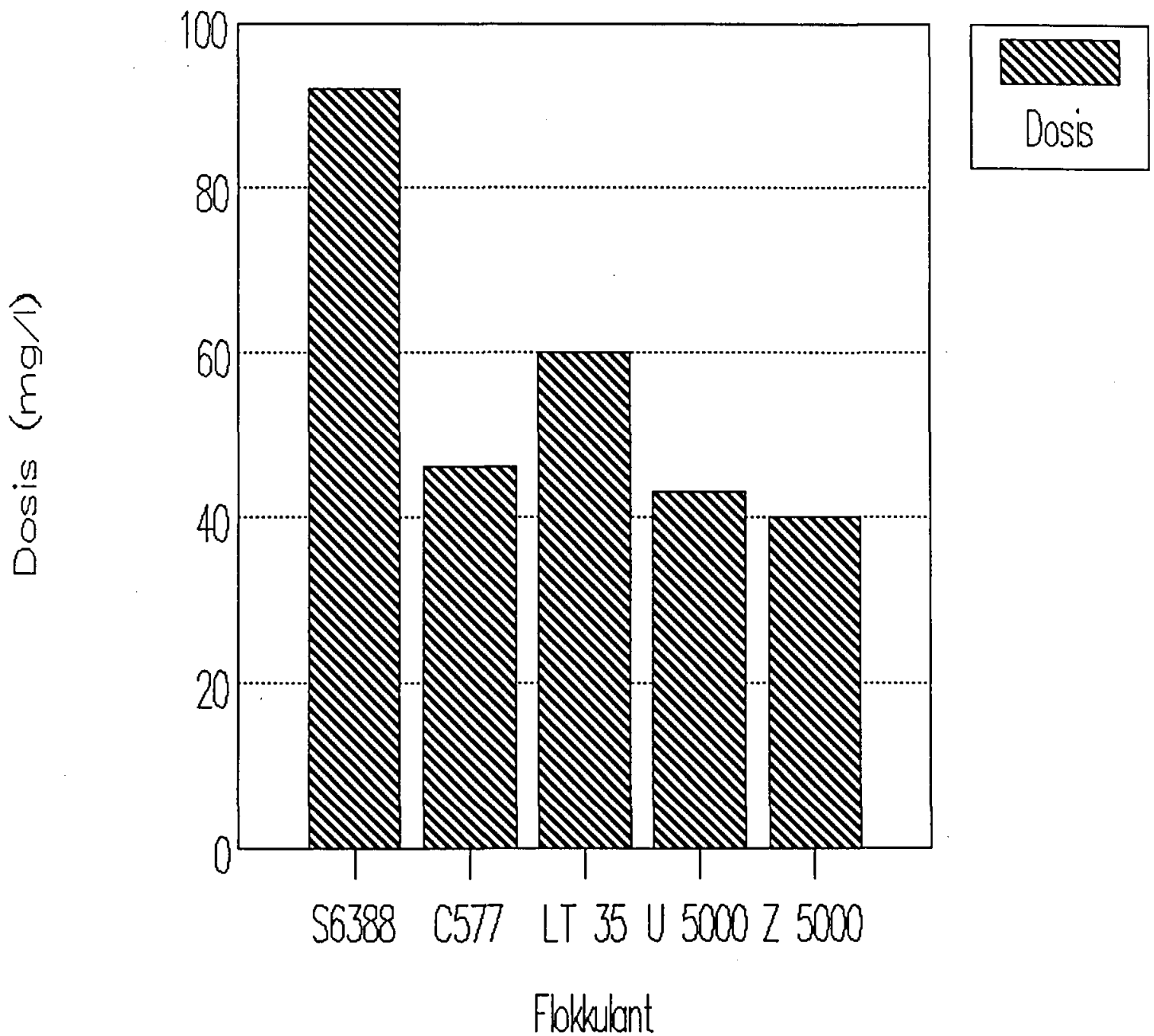
Figuur 4.3.10

Flokkulantkoste met PAC as Hulpmiddel



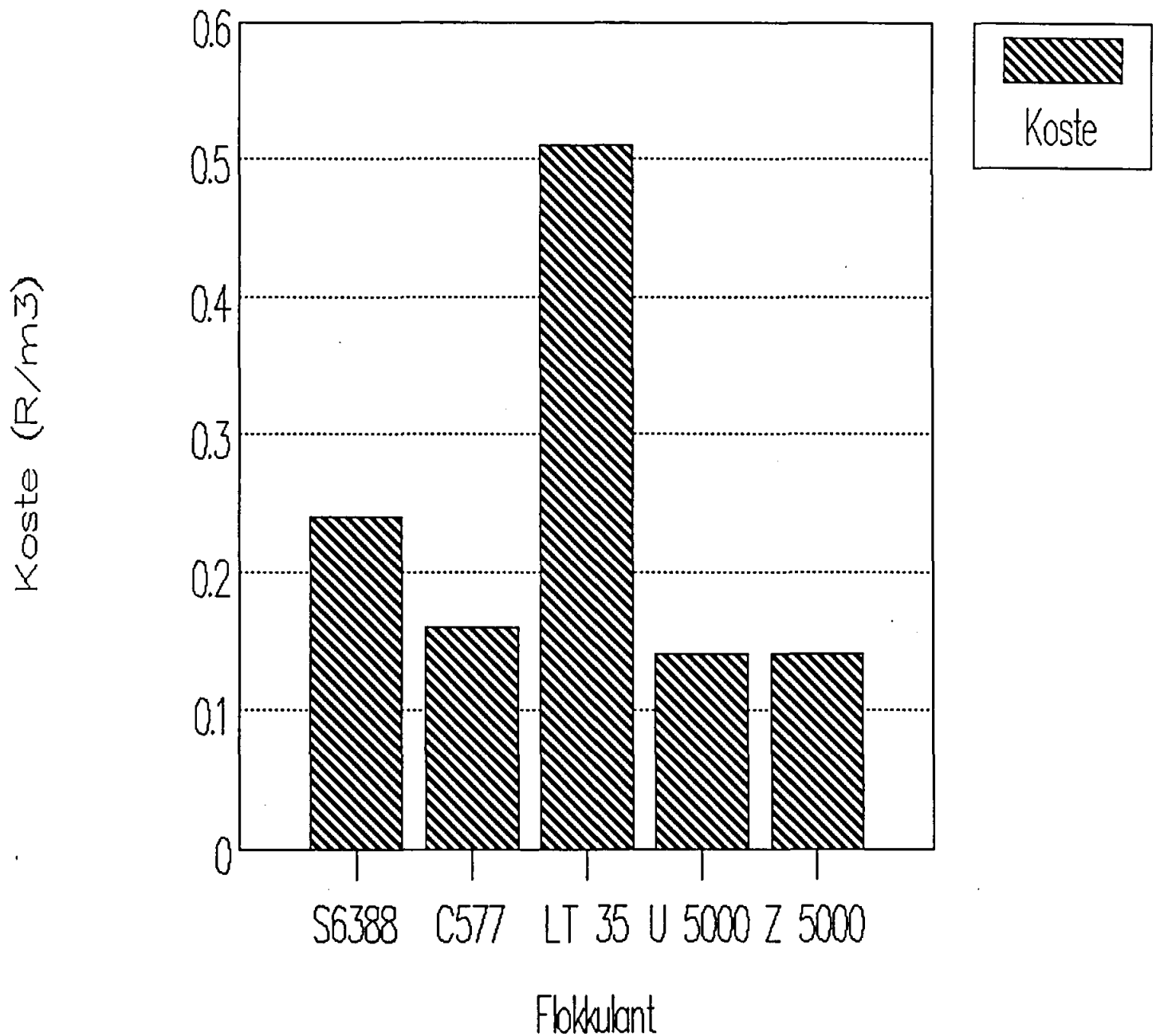
Figuur 4.3.11

Flokkulantdosis met Sandfiltratie



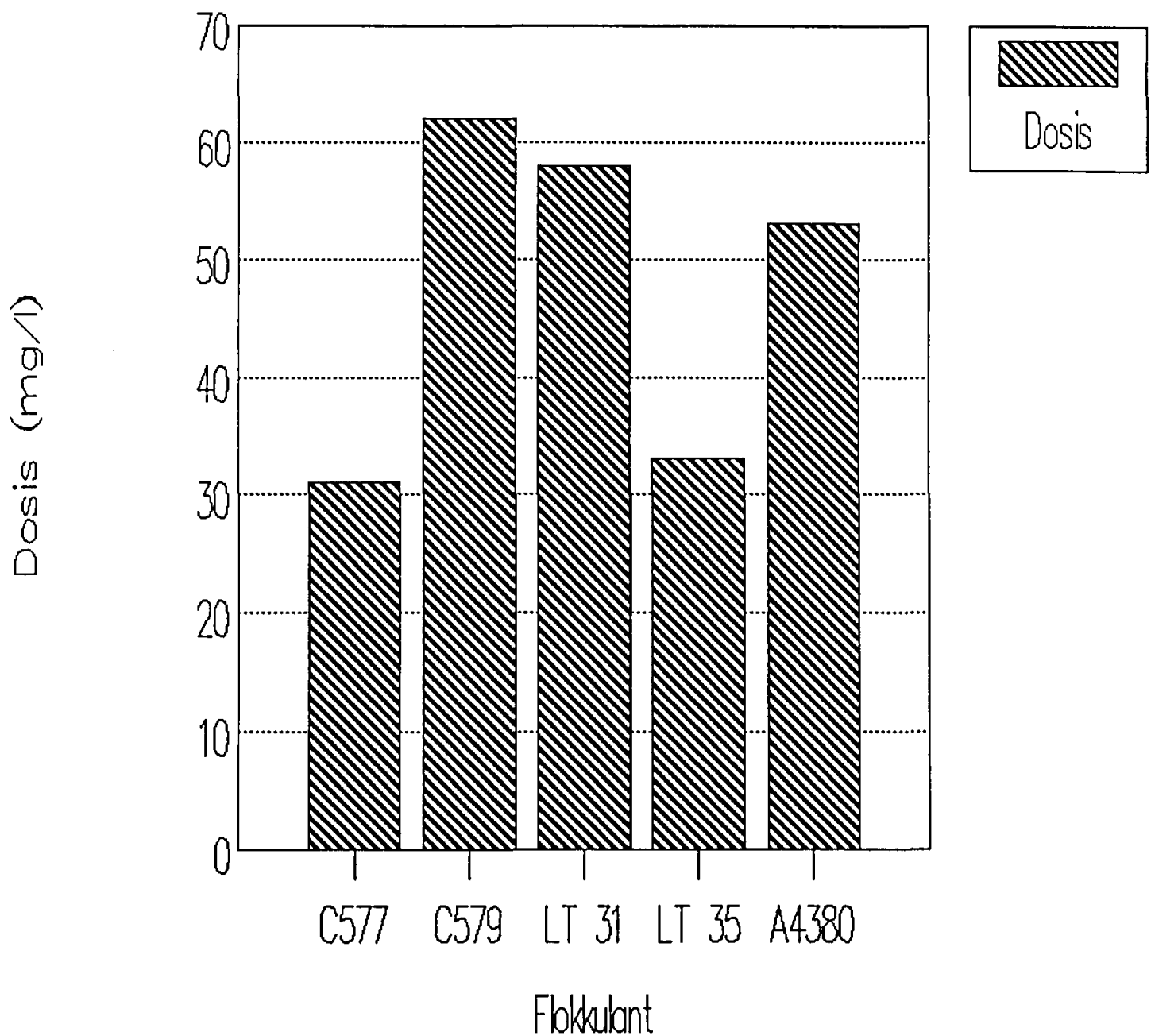
Figuur 4.3.12

Flokkulantkoste met Sandfiltrasie



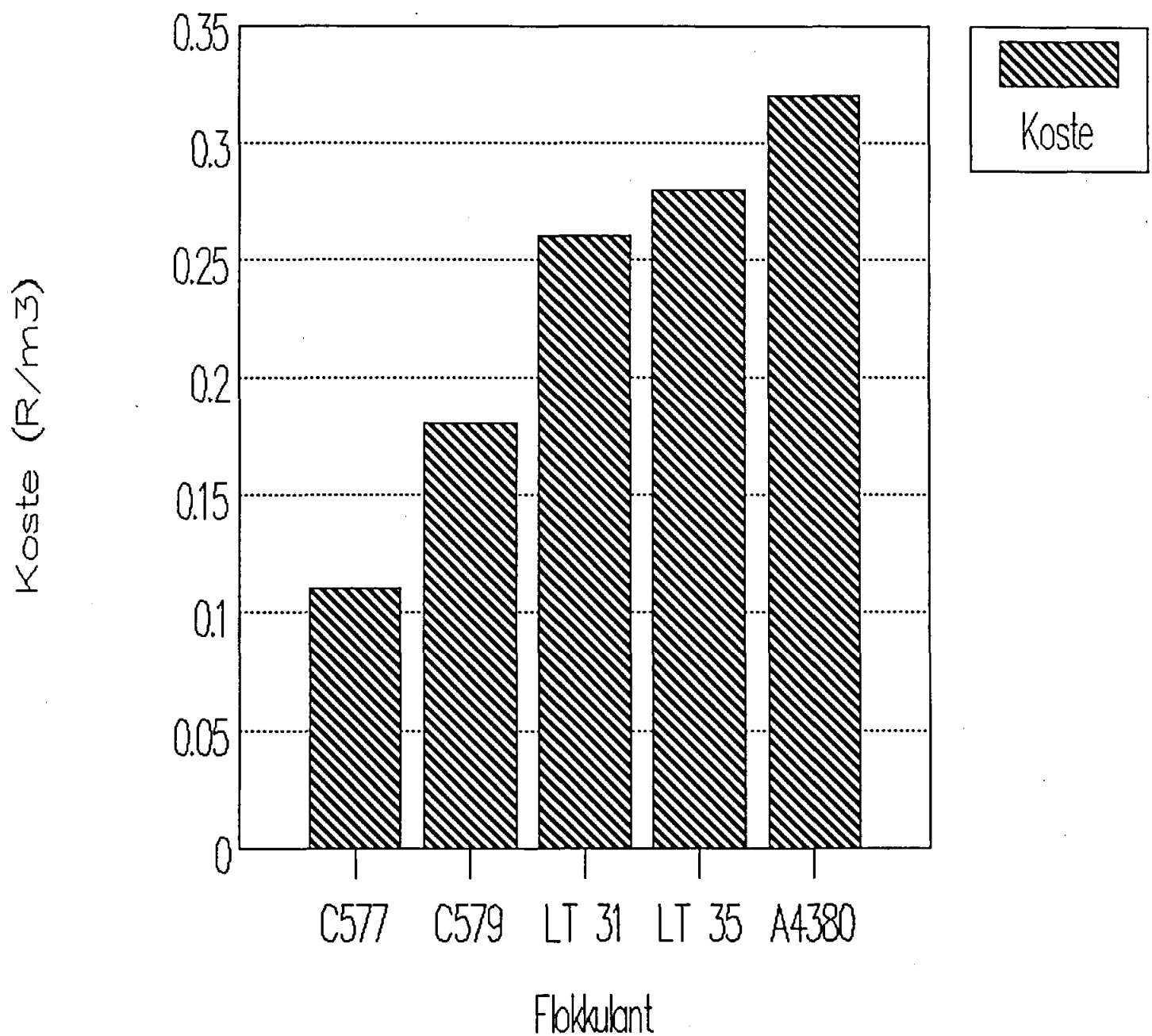
Figuur 4.3.13

Flokkulantdosis met Bentoniet



Figuur 4.3.14

Flokkulantkoste met Bentoniet



Aangesien die aluminiumsulfaat onsuksesvol as koagulant en flokkulasiehulpmiddels was, is die werking van ystersoute bestudeer. Eerstens is die ystersout en die polielektroliet gelyktydig tot die monster gedoseer. Die resultate is in Bylae 3 in Tabel 3.9 opgesom en die grafiese voorstelling is in Figure 4.3.15 en 4.3.16 gedoen. Daarna is die ystersout en die polielektroliet apart gedoseer. Die resultate is in Tabel 3.10 in Bylae 3 saamgevat en in Figure 4.3.17 en 4.3.18 getoon.

'n Derde anorganiese koagulant wat getoets is, is kalk, maar dit was onsuksesvol.

4.3.9) Elektrolitiese Toevoeging van Yster

Selfs dosisse van tot 50 mg Fe^{2+} /l het feitlik geen verbetering in waterkwaliteit tot gevolg gehad nie. Die resultate word dus nie verder bespreek nie.

4.3.10) Kombinasies van Flokkulante

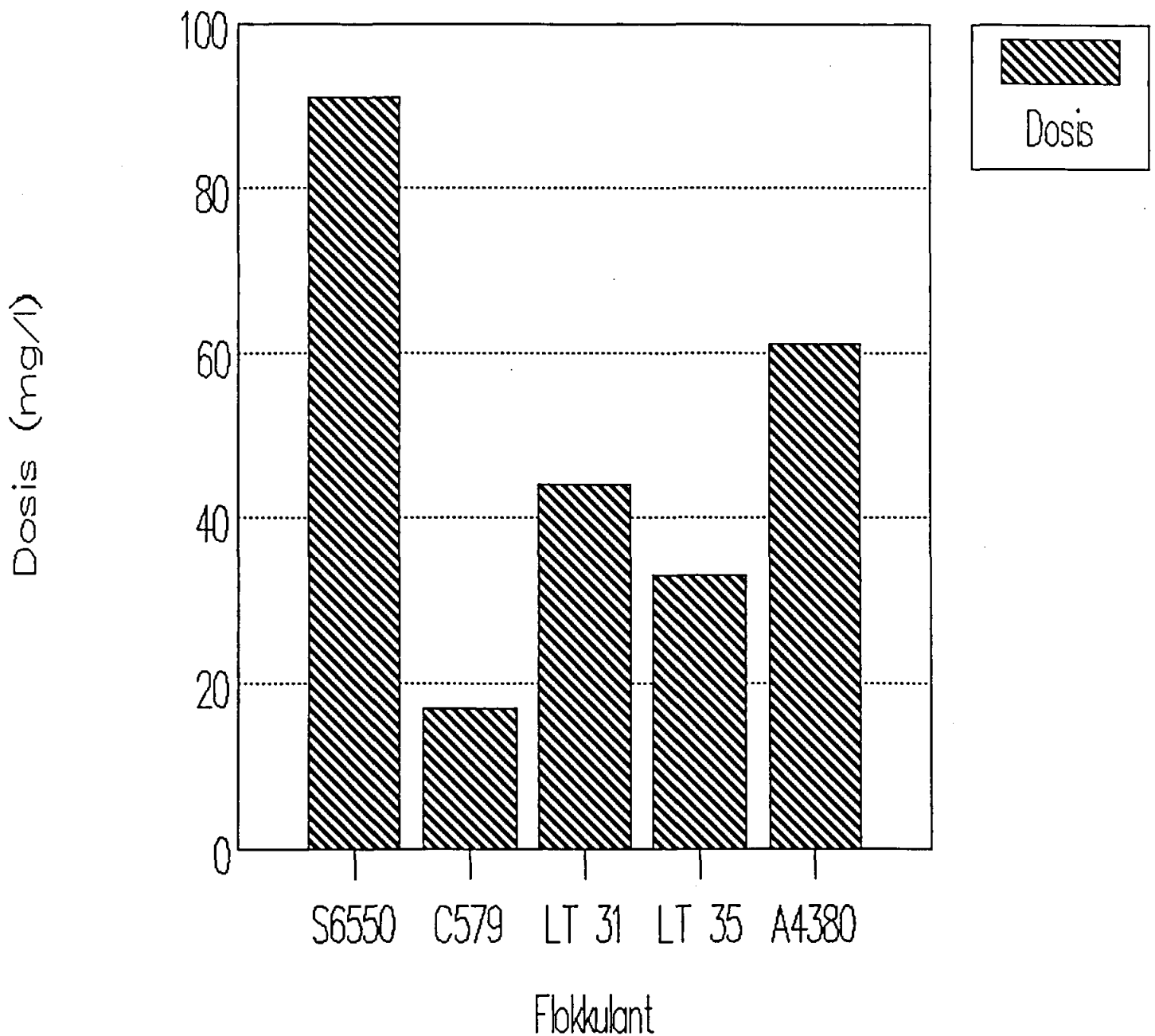
Die gelyktydige dosering van flokkulante was uiters onsuksesvol en dit is nie eers die moeite werd om die resultate te rapporteer nie.

4.3.11) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddels

Die resultate van die toetse is in Tabel 3.11 in Bylae 3 ingesluit en die belangrikste tendense word in Figure 4.3.19 en 4.3.20 uitgebeeld. Die anioniese flokkulant wat gebruik is, is LT 27.

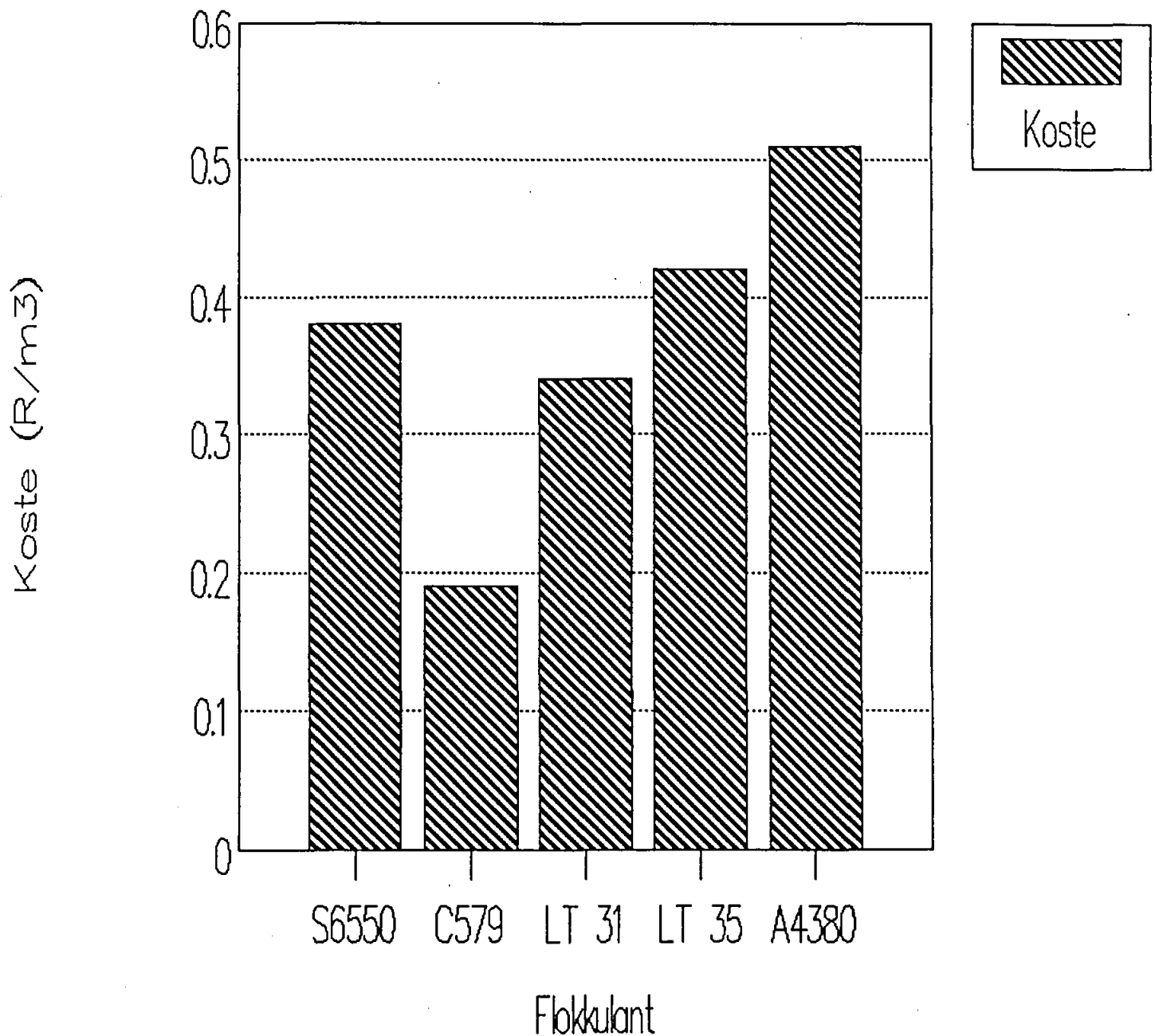
Figuur 4.3.15 Dosis

50 mg/l yster en Polimeer gelyktydig



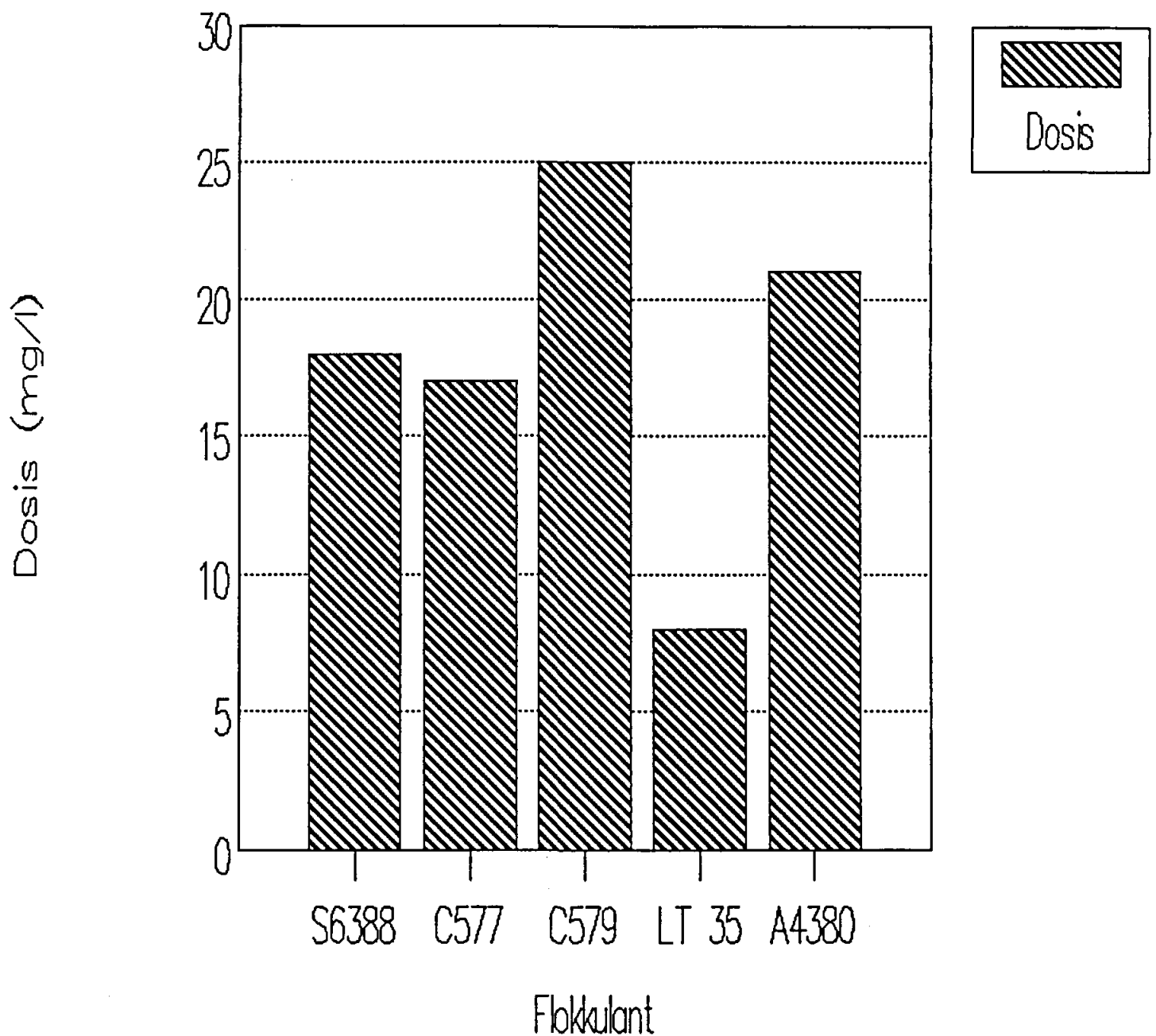
Figuur 4.3.16 Koste

50 mg/l yster en Polimeer gelyktydig



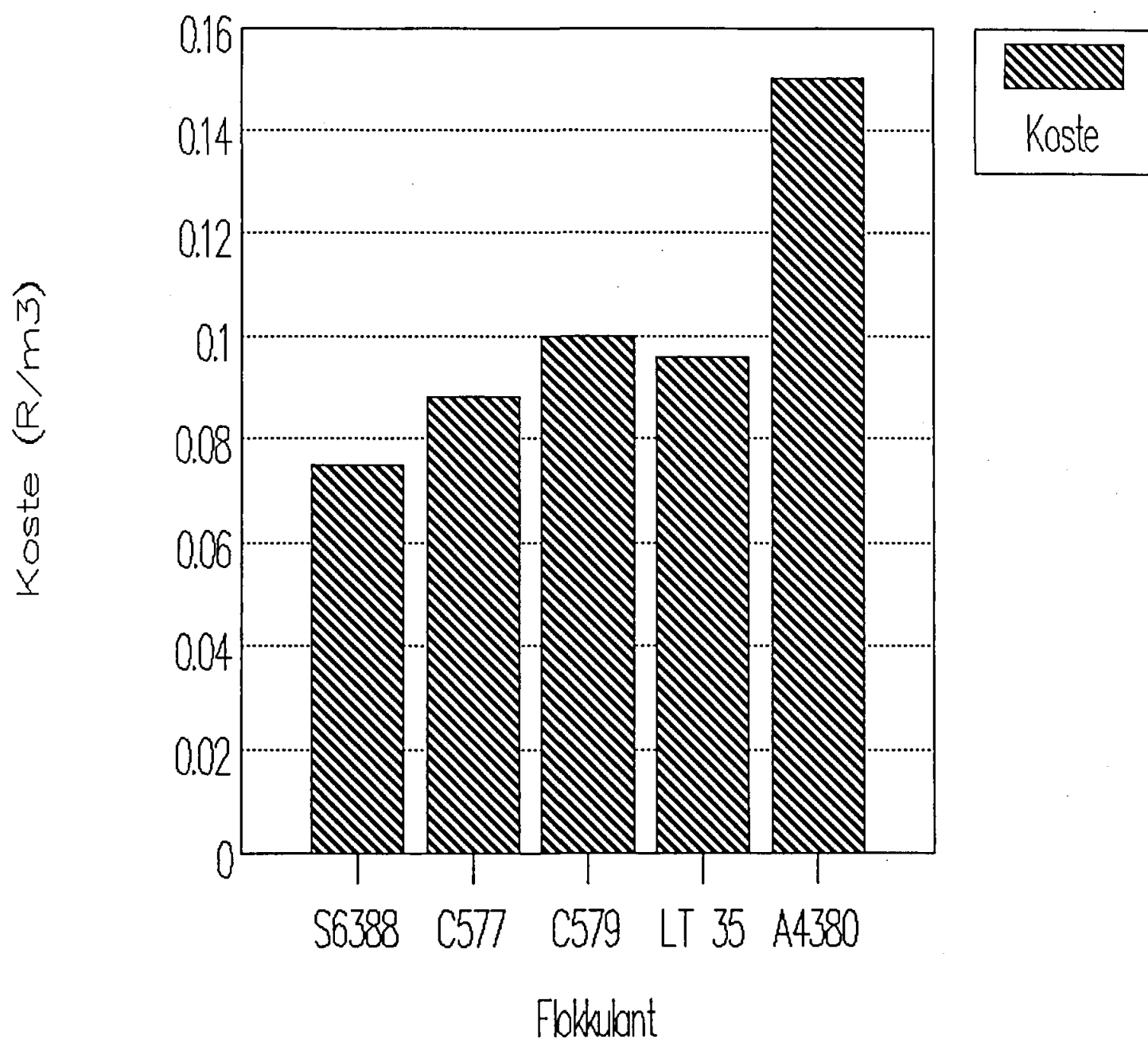
Figuur 4.3.17 Dosis

10 mg/l Yster voor Polimeer



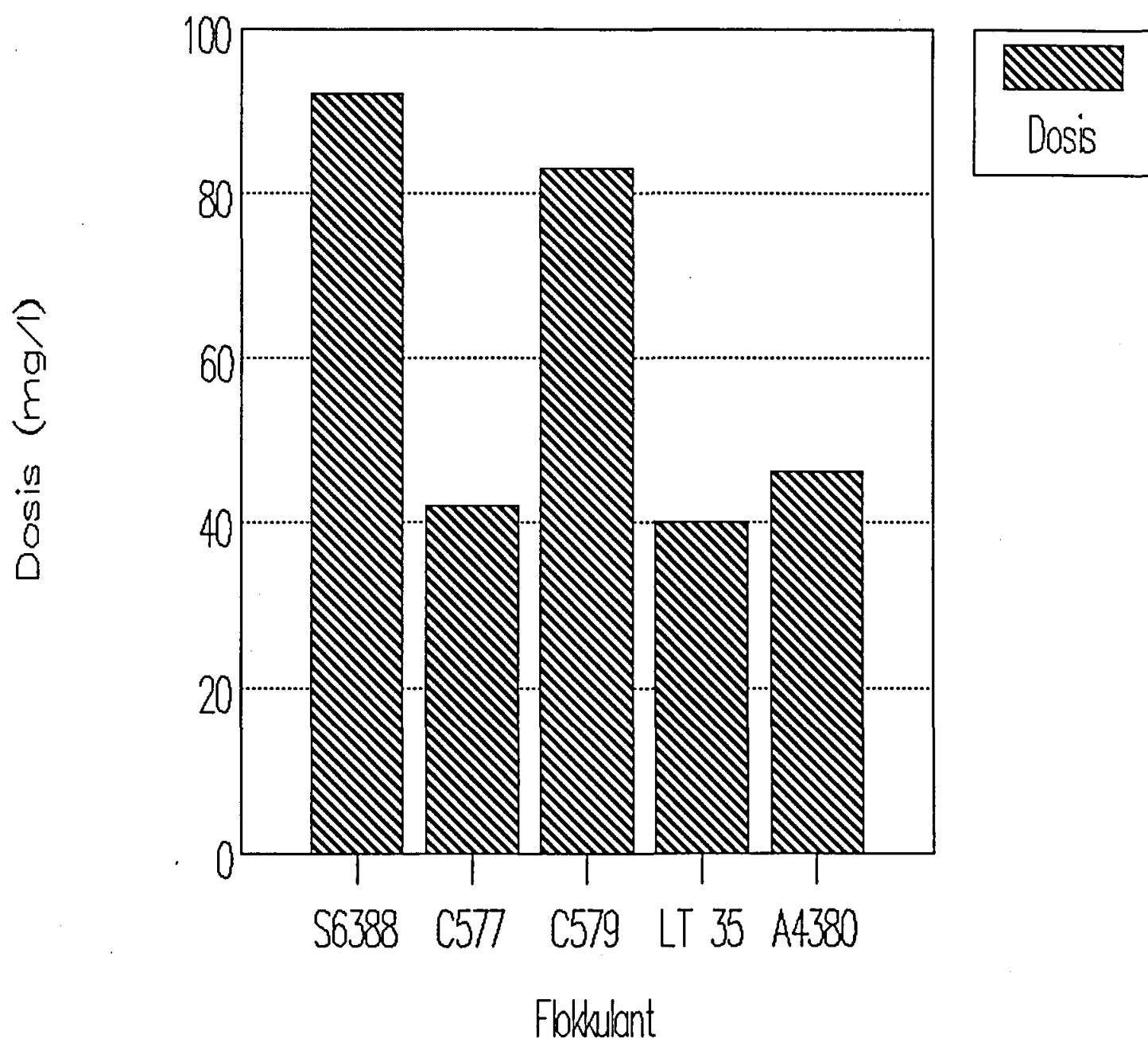
Figuur 4.3.18 Koste

10 mg/l Yster voor Polimeer



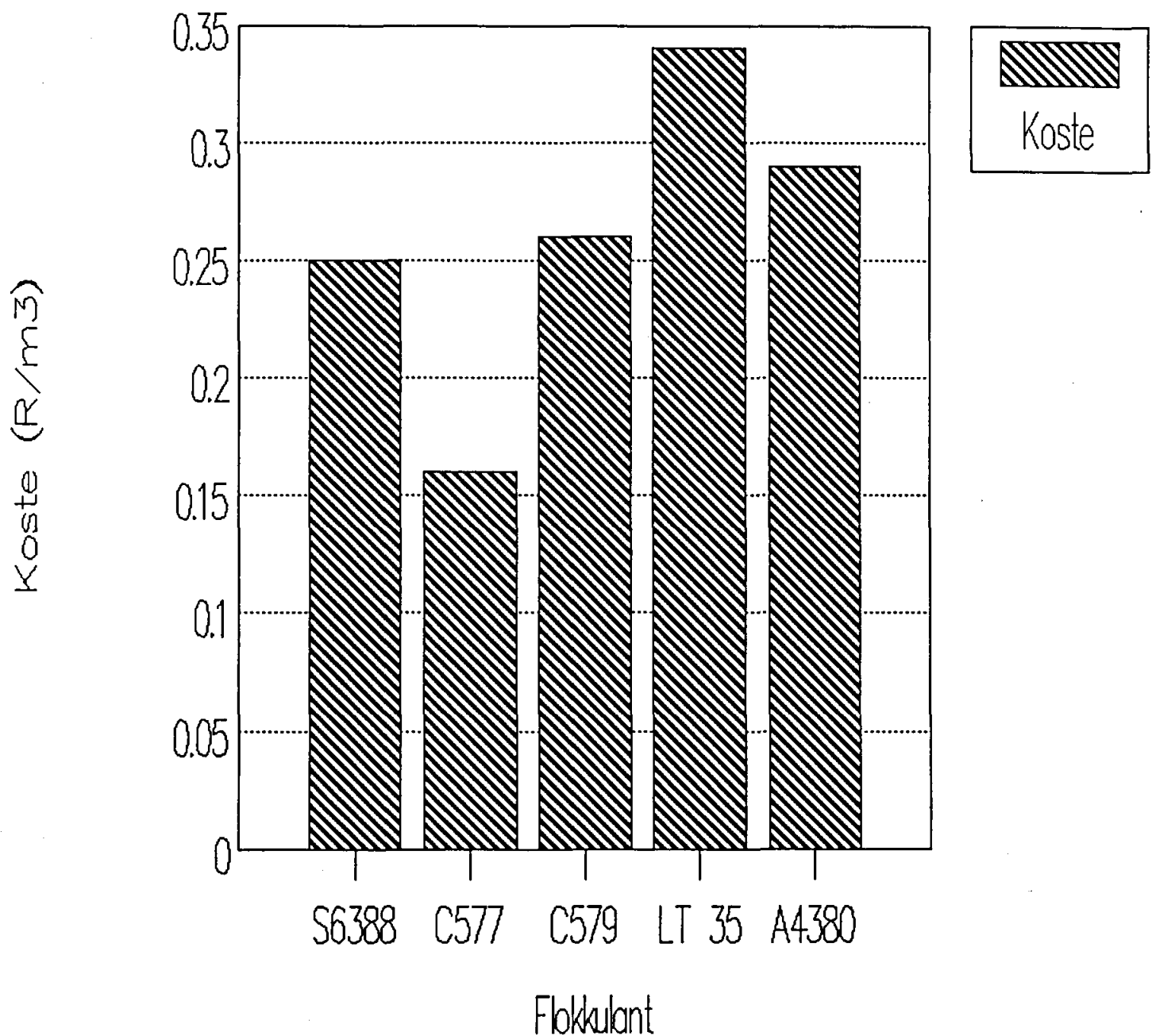
Figuur 4.3.19

Anioniese Flokkulasiehulpmiddel



Figuur 4.3.20

Anioniese Flokkulasiehulpmiddel



4.3.12) Voor-osonering

Die dosisse van die mees suksesvolle flokkulante by drie verskillende osoondosisse is ingesluit. Die resultate is in Tabel 3.12 in Bylae 3 en in Figure 4.3.21 en 4.3.22 weerspieel.

4.3.13) Mikroflokkulasie

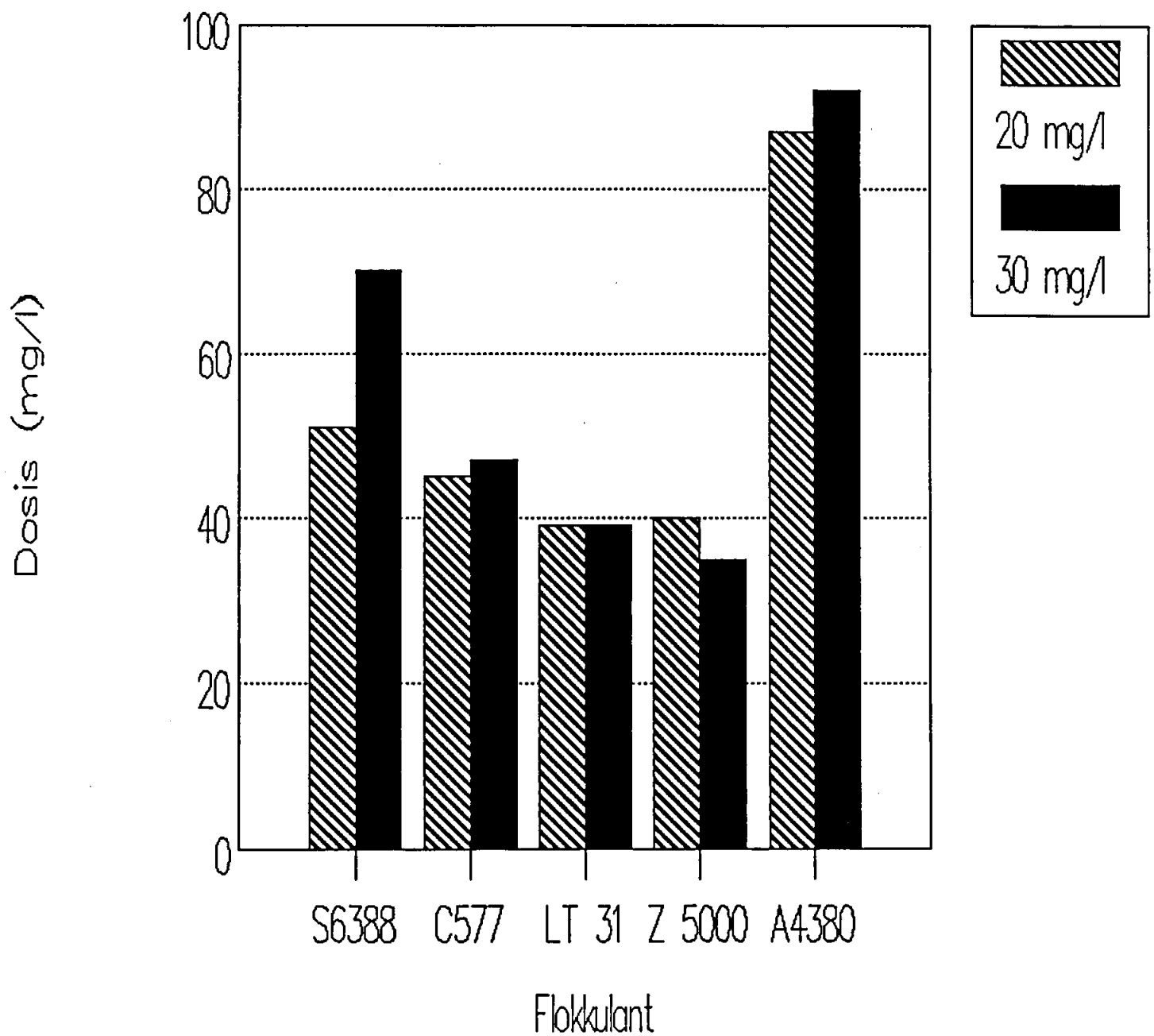
Die vier flokkulante wat die meeste sukses behaal het, is hiervoor getoets. Die resultate is in Tabel 3.13 en in Figure 4.3.23 en 4.3.24 opgesom. Met die byvoeging van 1 mg/l C577 is die zeta-potensiaal verlaag van 'n gemiddeld van -13.59 mV na -5.7 mV.

4.4) Proefaanlegresultate

Die proefaanlegtoetse is uitgevoer soos in die eksperimentele prosedure beskryf en die resultate word vervolgens evalueer. Die verskillende flokkulantdosisse en die troebelhede daarmee verkry, is in Tabel 4.1 in Bylae 4 opgesom, saam met die koste per kubieke meter. Die grafiese voorstellings van die data is gedoen in Figure 4.4.1 vir die dosis en 4.4.2 vir die kostes. Die gesuspendeerde vastestowwe in sekere van die gevalle is in Tabel 4.2 in Bylae 4 en Figuur 4.4.3 opgesom.

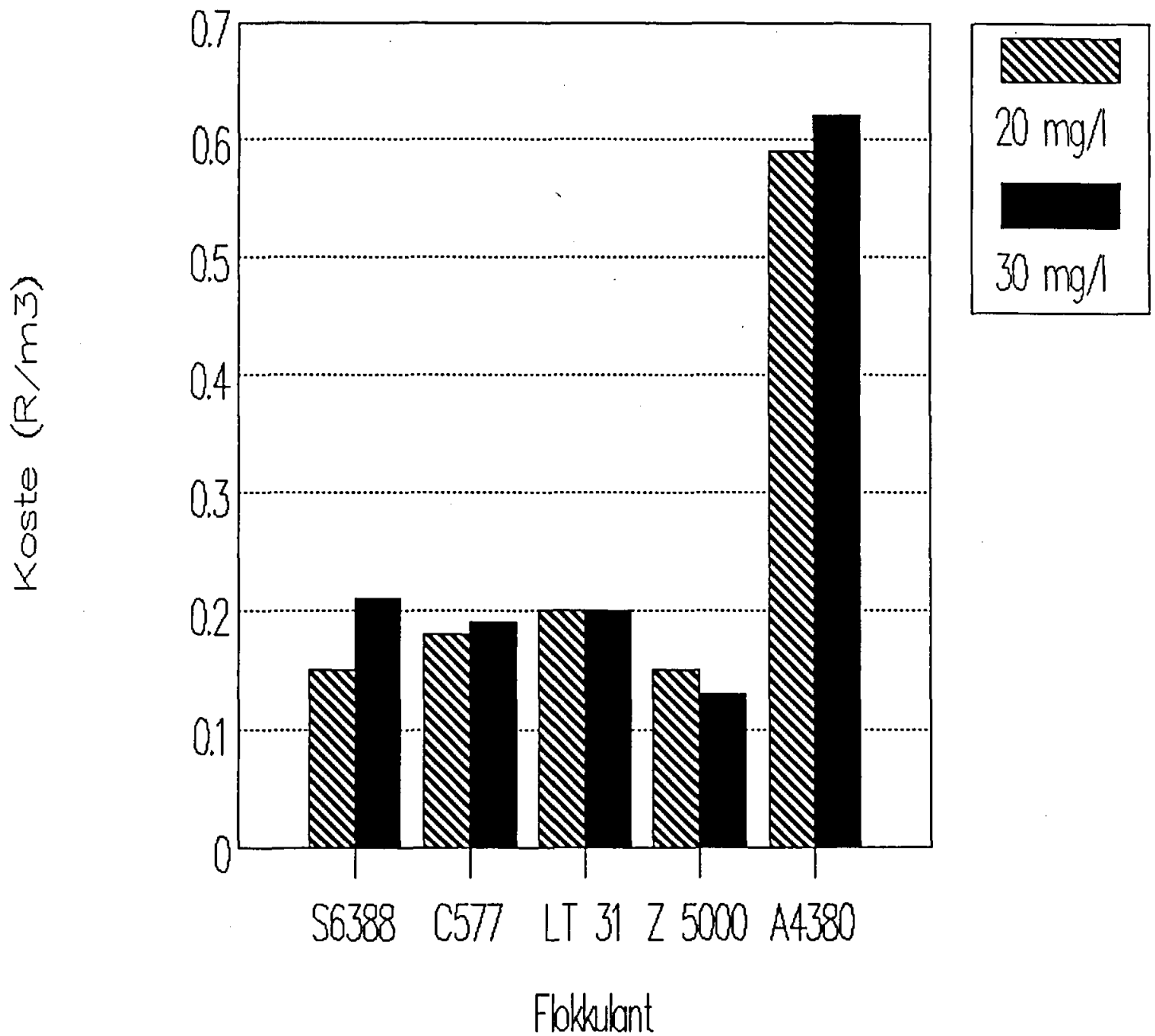
Figuur 4.3.21

Flokkulantdosis met Osonering



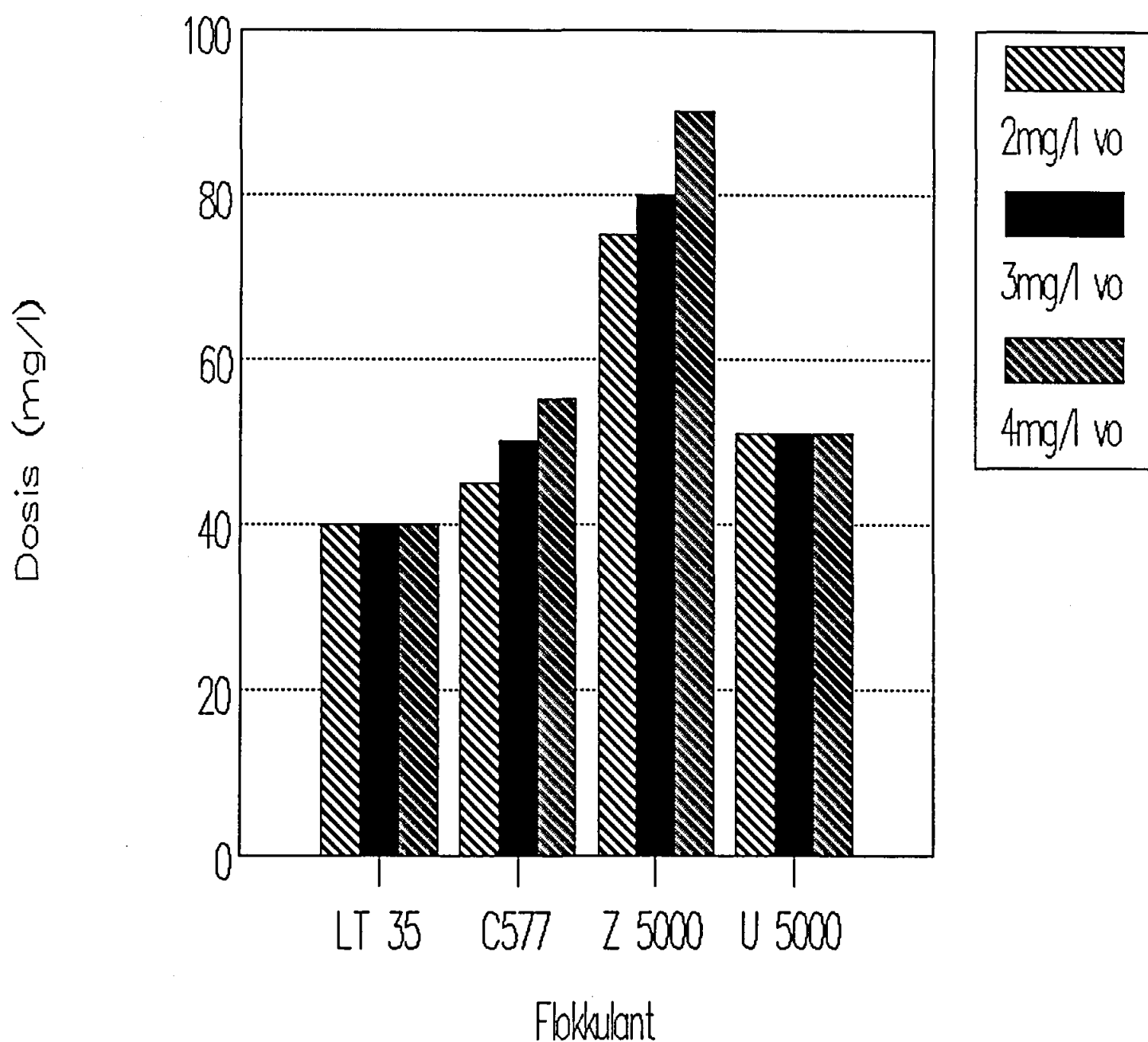
Figuur 4.3.22

Flokkulantkoste met Osonering



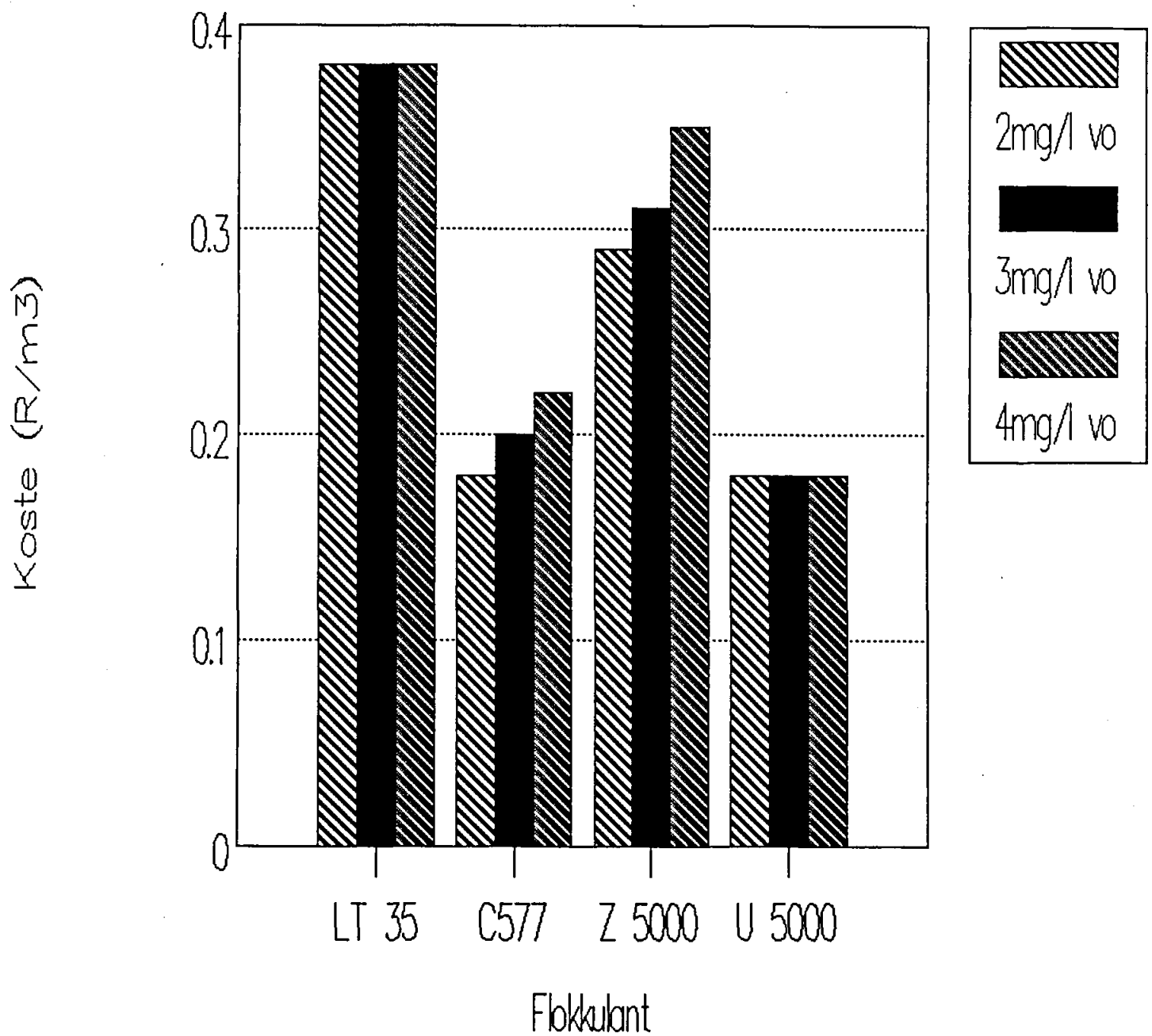
Figuur 4.3.23

Flokkulantdosis met Mikroflokkulasie



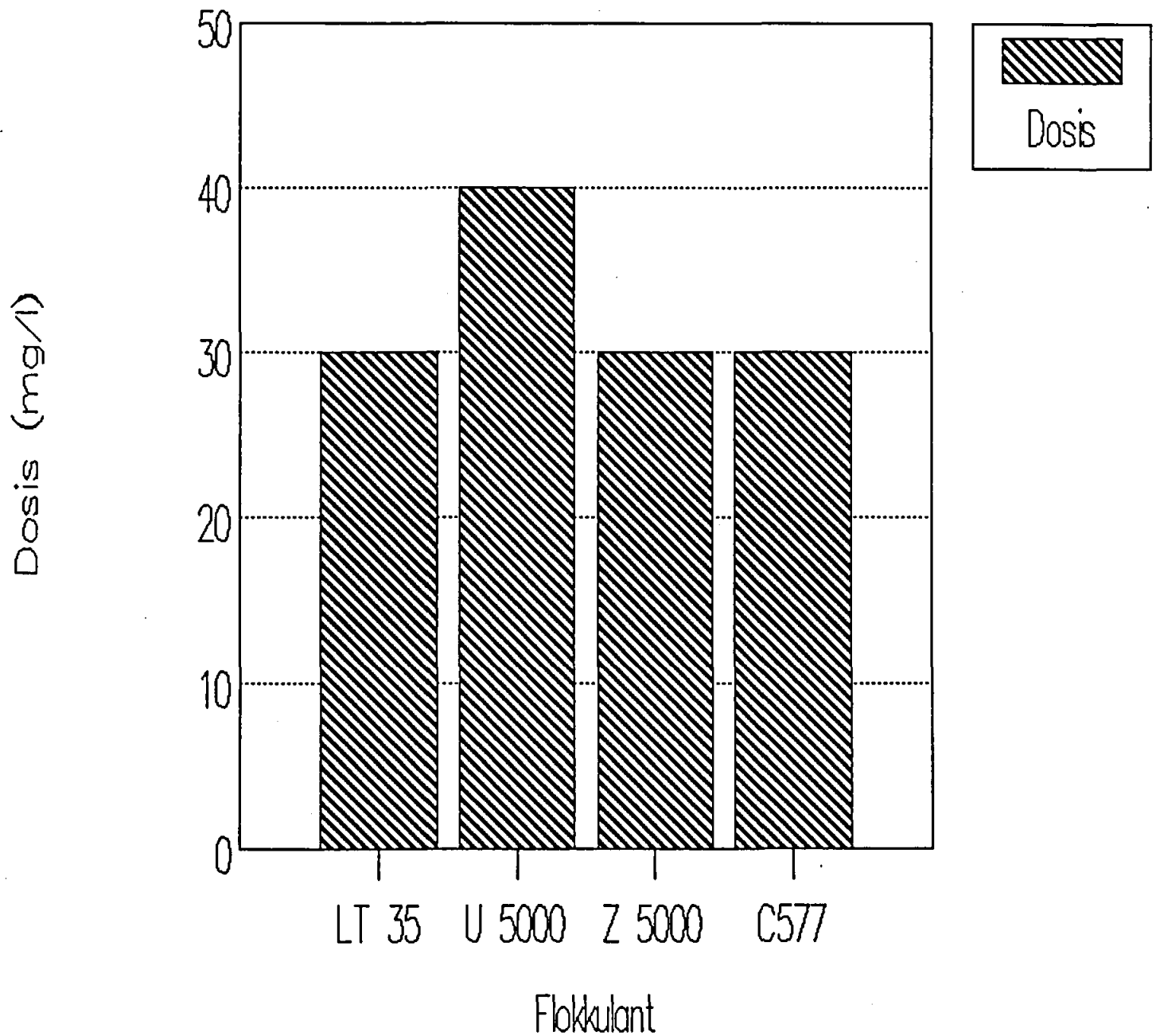
Figuur 4.3.24

Flokkulantkoste met Mikroflokkulasie



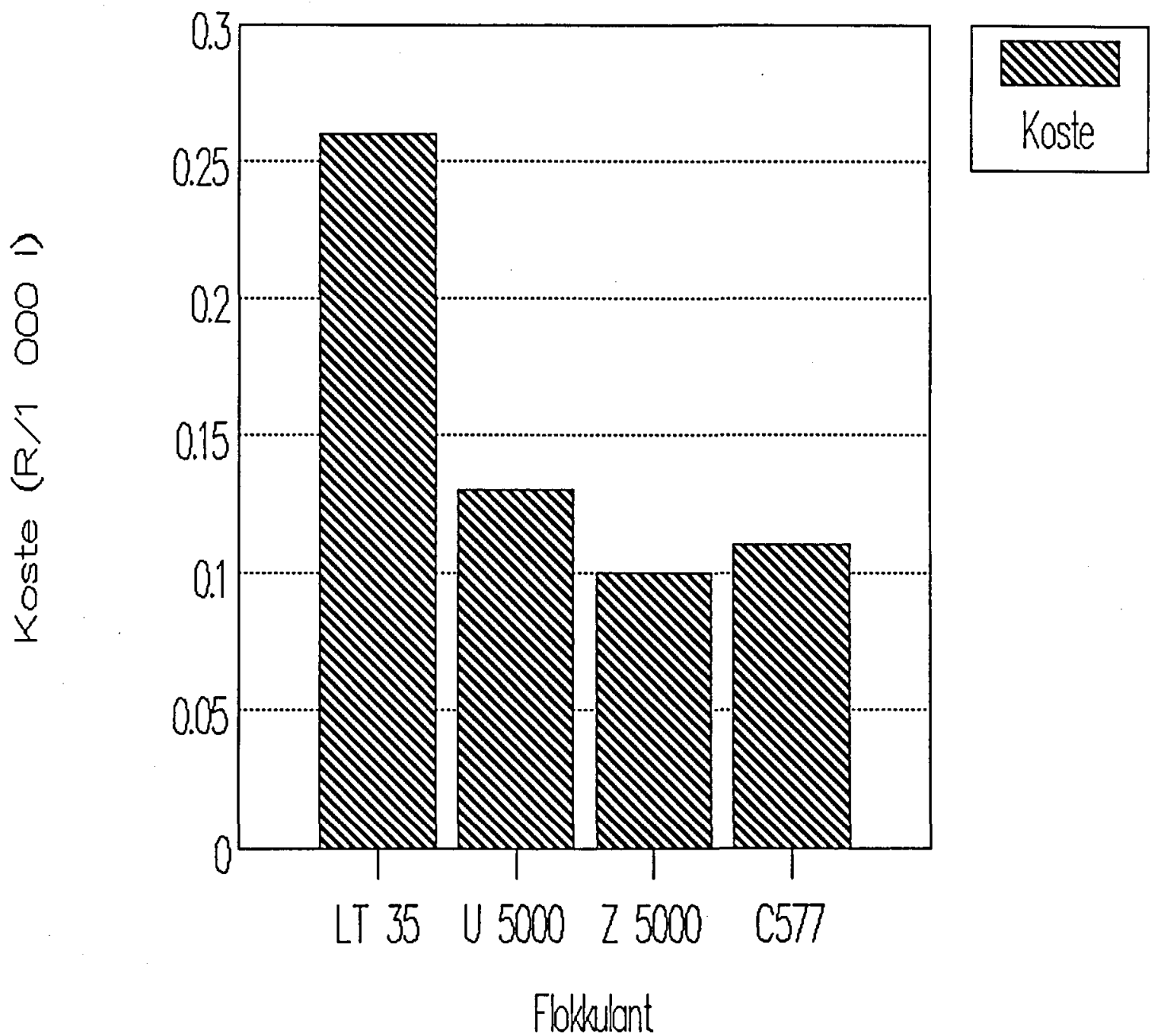
Figuur 4.4.1

Flokkulantdosis met Proefaanleg



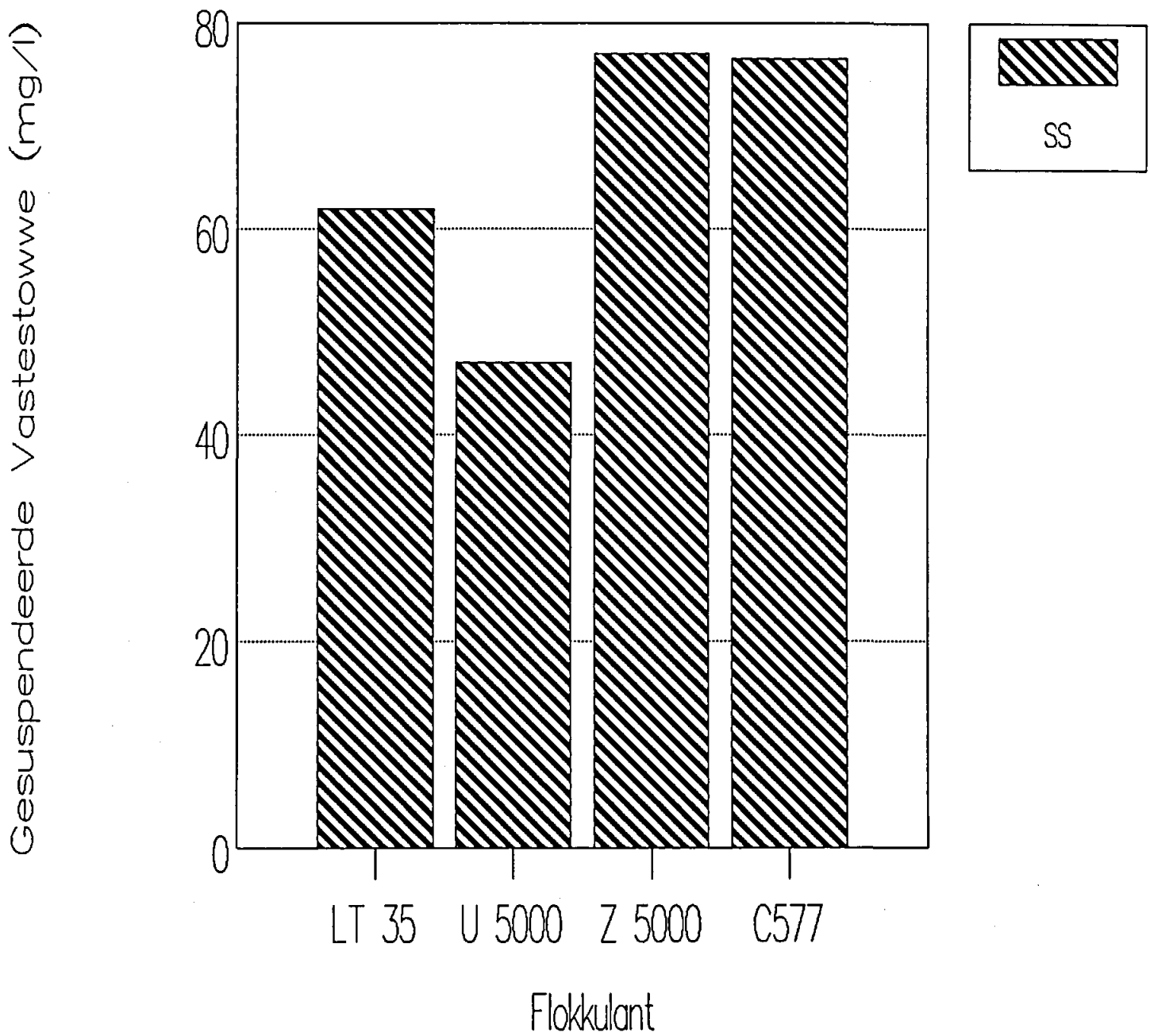
Figuur 4.4.2

Flokkulantkoste met Proefaanleg



Figuur 4.4.3

Gesuspendeerde Vastestowwe



Hoofstuk 5 : Bespreking

Die herhaalde siklusse van hergebruik lei daartoe dat die afvalwater hoogs besoedeld is. 'n Verskeidenheid besoedelingstowwe is in die water teenwoordig en dit maak die behandeling van die water soveel moeiliker. Aangesien flokkulante spesifiek is in die tipe bindings wat hulle verwyder, is sekere flokkulante beter vir kleurverwydering en ander is beter vir die verwydering van kolloïde. Dit is egter moeilik om goeie verwydering te bewerkstellig by die tipe flokkulantdosisse wat gewoonlik gebruik word, aangesien die dosis te laag is vir die uitvloeisel.

Die resultate wat met die verskillende eksperimente verkry is, word vervolgens bespreek.

5.1) Partikeltellings

Die grootteverspreiding van die gesuspendeerde stowwe is in drie dele verdeel, maar die aantal deeltjies in die kategorieë groter as 1 mm en groter as $8\mu\text{m}$ is respektiewelik $2 \cdot 10^{11}$ maal en 10^5 maal minder as die aantal deeltjies kleiner as $8\mu\text{m}$. Die effek van die deeltjies kan dus geïgnoreer word in die bepaling van die gemiddelde diameter.

Alhoewel die grootte van die kolloïde 'n belangrike oorweging is tydens flokkulasie, is die grootteverspreiding in die uitvloeisel redelik konstant in die orde van $0.92\mu\text{m}$. Die waarde is in die tipiese groottegebied wat deur die literatuur aangegee word as die grootte van kolloïde. Weens die konstante grootte van die kolloïde in die water, is die wisseling van kolloïedgrootte dus nie 'n belangrike faktor in die bepaling van die flokkulantdosis nie.

5.2) Zeta-potensiaal

Die zeta-potensiale van die monsters wat geneem is, is in dieselfde orde en dit is dus nie hier so 'n goeie beheerparameter vir outomatiese bepaling van die flokkulantdosis soos in ander gevalle in die literatuur gerapporteer is nie. Soos met meeste kolloïdale materiaal wat in water aangetref word, is die zeta-potensiaal van die deeltjies in die water wat behandel word negatief. Deeltjies met 'n negatiewe zeta-potensiaal benodig meestal 'n kationiese koagulant. Dit was ook hier die geval. Die gemiddelde zeta-potensiaal in die geval is -13.88 mV wat groter as 10 mV is en dit dui daarop dat 'n flokkulant nodig sal wees vir flokkulasie (Schwoyer, 1981). Die klein wisselinge in die zeta-potensiaal kon ook nie met enige aspekte waaraan aandag gegee is, soos temperatuur, tyd van die dag of suurstofinhoud van die water gekorreleer word nie en dit kom voor of die zeta-potensiaal 'n intrinsieke eienskap van die kolloïde is.

5.3) Roertoetse

Die verskillende aspekte van die roertoets wat evalueer is se resultate word in die deel bespreek.

Die flokkulasietoetse is uitgevoer tot 'n troebelheid van 4 NTU bereik is. Alhoewel die waarde hoog klink as daar aan drinkwatersuiwering gedink word, is die samestelling van die uitvloeisel so kompleks dat dit moeilik is om beter troebelhede te kry. Die flokkulantdosisse wat nodig was om die troebelheid te verlaag tot by 4 NTU, word in die bespreking en in die tabelle in die bylae genoem en die berekende kostes is ook op die waardes gebaseer.

'n Ander verklaring vir die hoë flokkulantdosisse wat benodig word, is die feit dat die besinktenks van die geaktiveerde-slykproses oneffektief is. Die water bevat dus redelike groot

hoeveelhede mikroörganismes wat in die water bly. Soms het die slyk tot die helfte van die volume van die monsters beslaan. Dit mag dus die moeite werd wees vir Sasol om die ontwerp van die besinktenks te herevalueer as hulle sou belangstel om flokkulasie te gebruik om die water te verhelder. Verder is daar volgens Van Leeuwen (1989) ook probleme met zoogeleale slykuitdying, wat aanleiding gee tot minder effektiewe besinking van die slyk. Soos vroeër genoem verwyder die kationiese polielektroliete mikroörganismes uit die water en die teenwoordigheid van die organismes veroorsaak 'n onnodige hoë flokkulantdosis. Die water wat ontvang was, was egter oor die algemeen van 'n tipiese kwaliteit soos aangevra, en behoort 'n redelike aanduiding te gee van die gemiddelde dosisse wat werklik in die aanleg benodig sal word met wisselinge in die waterkwaliteit.

5.3.1) Roertoets en Besinking

Die hoë dosisse van die flokkulant benodig om flokkulasie so ver te voer dat die vlokke swaar genoeg is om vanself te besink, het die vermoede dat die komplekse samestelling van die water flokkulasie sal bemoeilik, bevestig. Op die stadium het S6549 na een van die beter flokkulante gelyk met 'n dosis van 180 mg/l teen 'n koste van R 0.47 /m³. As aanvaar word dat die vloeitempo 20 Ml/dag is, sal dit 'n totale koste van in die orde van R 3.9 miljoen per jaar tot gevolg hê na die byvoeging van algemene verkoopsbelasting. Dit is duidelik nie prakties uitvoerbaar om flokkulasie teen so 'n hoë koste toe te pas nie. Daar is egter alreeds op die stadium waargeneem dat die groot probleem geleë is in die besinking van die vlokke en nie in die vorming van vlokke nie. By baie laer dosisse is daar reeds sigbare vlokke gevorm, maar die vlokke wou nie besink nie. Alle ander totale kostes wat hierna genoem word sluit AVB in en slegs chemikalie-kostes is bereken. Geen kapitaal- en bedryfskoste is by die waardes ingereken nie.

5.3.2) Stadige Menging

Die waarneming dat die vlokke stadig besink, het die vermoede laat ontstaan dat die vlokke nie dig en sterk is nie en dat hoë snelheidsgradiënte die vlokke kan laat opbreek. Daar is toe ook gevind dat die flokkulantdosis en die koste verlaag kan word deur menging stadiger uit te voer. Dit bevestig die vermoede dat die vlokke self nie sterk is nie en dat onnodige hoë snelheidsgradiënte vermy moet word. Weereens is die beste resultate met S6549 verkry, nl. 'n dosis van 150 mg/l en 'n koste van R 0.39 /m³. Dit bring 'n besparing van ongeveer R 0.65 miljoen per jaar mee, maar die koste van R3.2 miljoen per jaar is nog steeds so buitensporig hoog dat dit nie prakties sal wees om flokkulasie te gebruik nie.

5.3.3) Hersirkulasie van Vlokke

Die vorige resultate is sonder die hersirkulasie van vlokke verkry. Volskaalse slykhersirkulasie sorg dat die vlokke gehersirkuleer word en as kerne kan dien vir verdere flokkulasie. Die aspek het dus ook aandag ontvang. Dit het 'n redelike groot besparing tot gevolg gehad. S6459 was steeds die beste met 'n dosis van 120 mg/l en die koste was R 0.31 /m³. Die totale koste was nou net oor R 2.5 miljoen per jaar. Die koste dui op 'n besparing van ongeveer 38% van die koste wat oorspronklik genoem is. Alhoewel dit 'n groot besparing is, is die totale koste steeds te hoog en ander aspekte wat moontlik flokkulasie kan verbeter en sodoende 'n kostebesparing tot gevolg kan hê, is ook geëvalueer.

5.3.4) Nie-ioniese Flokkulant as Flokkulasiehulpmiddel

Die doel van die gebruik van nie-ioniese flokkulant is dat die flokkulant die vlokke, wat gevorm het met die kationiese flokkulant, verder sal flokkuleer. Die vlokke wat so vorm is dus

groter en swaarder en besink dus beter. By laer dosisse is die vlokke dan ook groot genoeg om na die byvoeging van nie-ioniese flokkulant beter te besink. Alhoewel die gebruik van nie-ioniese flokkulant as flokkulasiehulpmiddel in die geval die besinking van die vlokke drasties verbeter het, het dit 'n baie geringe effek op die flokkulantdosis gehad en besparing was maar in die orde van R 0.05 /m³. Daar sal egter 'n baie laer las op enige filters wat mag volg geplaas word, aangesien meeste van die vlokke verwyder is. Minder gereelde terugwas van filters sal dus nodig wees. Besinking is verder baie vinnig met verwydering van die meeste vlokke onder een minuut, met die gevolg dat 'n klein besinktenk nodig sal wees en die konstruksiekoste sal dus ook laer wees.

5.3.5) Polialuminiumchloried as Flokkulasiehulpmiddel

Alhoewel dit ongewens is om anorganiese koagulante en flokkulante te gebruik, sal poli-aluminiumchloried nie soveel anione in die water vrystel nie en is die beswaar teen anorganiese koagulante en flokkulante sodoende uitgeskakel. Om die rede is PAC as beide 'n primêre- en sekondêre flokkulant bestudeer. PAC het egter geen verbetering tot gevolg gehad nie.

5.3.6) Sandfiltrasie

As gevolg van die geringe besparings wat chemies bewerkstellig kon word, is daar besluit om na fisiese skeidingsmetodes te kyk in die vorm van sandfilters. Veral flokkulante wat klein en moeilik besinkbare vlokke gevorm het, is deur die gebruik van sandfilters bevoordeel. Die onnodige byvoeging van flokkulant net om besinking te bewerkstellig, is uitgeskakel met die gepaardgaande afname in flokkulantbehoefte. Die gebruik van sandfilters het die flokkulantdosis oor die algemeen verlaag, maar veral drie tipes flokkulante het hier goed vertoon, nl. C577 met 'n dosis van 46 mg/l en 'n koste van R 0.16 /m³ of R 1.3 miljoen

per jaar, U 5000 met 'n dosis van 43 mg/l en 'n koste van R 0.14 /m³ of R 1.2 miljoen per jaar en Z 5000 met 'n dosis van 40 mg/l en ook 'n koste van R 0.14 /m³ of R 1.2 miljoen per jaar. Alhoewel die koste van CAT-B goed vergelyk met die hierbo genoem, is die benodigde dosis baie hoog, nl. 101 mg/l. So 'n hoë flokkulantdosis is ongewens weens die grootte van die doseringstoerusting en die volumes wat gestoor moet word en sal dus nie prakties toegepas word nie, ten spyte van die lae koste. Die hoë dosisse wat benodig word, was 'n algemene probleem met die flokkulante wat van Floccotan ontvang is.

5.3.7) Kleie as Flokkulasiehulpmiddels

Dit is verder algemene praktyk om klei by te voeg met die doel om flokkulasie te vergemaklik, die dosis van flokkulant te verlaag en om die vlokke te verswaar vir makliker besinking. Veral in gevalle waar die flokkulant beter werk in die teenwoordigheid van groot hoeveelhede kolloïde is kleie nuttig. Die kleie dien as kerne vir flokkulasie om plaas te vind en hul groot massa lei tot beter besinking. Twee tipes klei is hier geëvalueer, nl. kaolien en bentoniet. Kaolien het geen verbetering tot gevolg nie, maar bentoniet is wel 'n geskikte flokkulasiehulpmiddel vir sekere van die flokkulante. Veral C577 se dosis word verlaag deur die byvoeging van 10 mg/l bentoniet. Die benodigde dosis word dan 31 mg/l teen 'n koste van R 0.11 /m³ of R 0.8 miljoen per jaar. Dit lei tot 'n kostebesparing van ongeveer 80% in vergelyking met die koste van flokkulasie en besinking soos aanvanklik bestudeer.

5.3.8) Anorganiese Soute

Alhoewel die dosering van metaalsoute as flokkulant ongewens is, as gevolg van die konsentrering van anione in herhaalde siklusse van hergebruik, is daar wel besluit om aandag te gee aan die aspek, veral met inagname van die feit dat Sasol op die sta-

dium die gebruik van tru-osmose oorweeg het en dit die anione sou verwyder. Die gebruik van aluminiumsulfaat was egter uitsers onsuksesvol. Selfs by baie hoër dosisse is die flokkulasie baie swak en min kolloïedverwydering vind plaas. Dit is ten spyte van die feit dat die pH van die water binne die optimum gebied vir flokkulasie met aluminiumsulfaat val. Verder het die gebruik van aluminiumsulfaat as flokkulasiehulpmiddel gelei tot die gebruik van hoër dosisse poliëlektroliet om dieselfde mate van suiwering te kry. Net soos by die ander flokkulasiehulpmiddels was die werking van die yster selektief en is die dosisse van slegs sekere flokkulante verlaag. Die besparing was in sulke gevalle drasties. Die ysterchloried is as primêre koagulant gebruik en die poliëlektroliet is later bygevoeg. Afsonderlike dosering het beter flokkulasie tot gevolg gehad as gelyktydige dosering. So byvoorbeeld is die dosis van C577 deur die byvoeging van 10 mg/l yster as Fe^{3+} na 17 mg/l verlaag. Die gesamentlike koste van die twee flokkulante is dan R 0.09 /m³ of R 0.6 miljoen per jaar. Dit is 'n kostebesparing van 84%. Alhoewel dit 'n groot besparing op flokkulantkoste is, is 'n volledige kosteanalise nodig om die geskiktheid twee toedieningsisteme te evalueer.

5.3.9) Elektrolitiese Toevoeging van Yster

'n Verklaring vir die feit dat daar in die geval by 50 mg/l yster feitlik geen flokkulasie plaasvind nie, maar wel by 50 mg/l FeCl_3 as yster is die feit dat die yster in die geval slegs 'n lading van +2 het en nie +3 soos in die geval van ferrichloried nie. Die mate van koagulasie wat met dieselfde flokkulantdosis verkry word, is dus laer.

5.3.10) Kombinasies van Flokkulante

Die gebruik van 'n mengsel van twee flokkulante met die doel om beter flokkulasie te verkry, is uitsers onsuksesvol en word nie aanbeveel nie. Daar is gehoop dat die goeie eienskappe van beide

die flokkulante telkens behoue sou bly, maar die resultate was elke keer swakker as die van die individuele flokkulante.

5.3.11) Anioniese Flokkulante as Flokkulasiehulpmiddel

Die doel van die gebruik van anioniese flokkulant is soortgelyk aan die van nie-ioniese flokkulante. Met die gebruik van 'n anioniese flokkulant is weereens gemengde sukses behaal. Die doel van die byvoeging van anioniese flokkulant is om die klein vlokke te aggregeer tot groter vlokke. Die meeste sukses is weereens behaal met C577, waar die dosis verlaag is tot 42 mg/l, maar geen koste besparing is bewerkstellig nie, weens die hoë koste van die anioniese flokkulant.

5.3.12) Voor-sonering

Osoon reageer met sekere van die organiese bindings in die water. Soos vroeër genoem is die flokkulante redelik selektief in die bindings wat hulle verwyder en met onsonering kan daar dalk bindings vorm wat beter verwyder kan word as die oorspronklike bindings. Die gebruik van onsonering om die flokkulantdosis te verlaag het dus gemengde sukses behaal. Onsonering is egter duur en die addisionele koste vir die opwekking sal hoër wees as die besparing in flokkulantkoste. Waar besparing bewerkstellig is, is dit tipies in die orde van 5 mg flokkulant per liter.

5.3.13) Mikroflokkulasie

Die toepassing van mikroflokkulasie het ook gemengde sukses behaal. Twee flokkulante se dosisse is verlaag en twee se dosisse is verhoog. In die gaval van LT 35 is die dosis van 48 mg/l na 40 mg/l verlaag deur die vooraf byvoeging van 2 mg/l flokkulant. Die koste val van R 0.41 na R 0.36 /m³. By C577 was die besparing groter. Die dosis is verlaag vanaf 65 mg/l na 45 mg/l deur die vooraf byvoeging van 2 mg/l, dit is 'n verlaging in

koste van R 0.23 na R 0.17 /m³.

Daar is verder gevind dat slegs 'n klein flokkulantdosis nodig is om die zeta-potensiaal te verlaag tot onder 10 mV. Dus vind koagulasie vinnig plaas, maar flokkulasie is moeilik en die meeste van die flokkulant word gebruik om vlokke te vorm. Hoe fyner die sand in die sandfilter is, hoe makliker word kleiner vlokke verwyder en hoe laer is die benodigde flokkulantdosis. 'n Ekonomiese evaluering tussen koste van die bedryf van die sandfilter en die flokkulantkoste om groter vlokke te vorm, is dus nodig om 'n optimum balans te kry.

5.4) Proefaanlegtoetse

Die proefaanlegtoetse het bevestig dat die laboratorium-resultate 'n goeie aanduiding van die praktyk gegee het. Die optimumdosisse was in dieselfde orde as die wat in die laboratorium bepaal is, maar die troebelhede was effens hoër as die wat in die laboratorium verkry is. Dit kan toegeskryf aan ander sandfiltereienskappe as die wat in die laboratorium gebruik is. Daar is weereens gevind dat C577, U 5000, Z 5000 en LT 35 die beste flokkulante is. Yster(III)chloried het weereens van die laagste kostes opgelewer, en alhoewel Sasol teen die gebruik van anorganiese soute vir koagulasie en flokkulasie is, moet die aspek dalk wel verdere aandag ontvang, aangesien 'n dosis van 20 mg/l as Fe³⁺ 'n goeie mate van flokkulasie bewerkstellig teen 'n koste van slegs R 0.06 /m³ of R 410 000 per jaar. Die flokkulante van Floccotan se koste is ook relatief laag, maar net soos in die laboratoriumtoetse is redelike hoë dosisse gewoonlik nodig.

Hoofstuk 6 : Gevolgtrekkings

Die geaktiveerdeslykuitvloeiisel in die waterherwinningsstelsel se kwaliteit ten opsigte van die volgende is ondersoek en daar is die volgende bevind :

Die deeltjies is meestal in die kolloïdale groottegebied en dit bevestig dat verwydering sonder flokkulasie moeilik sal wees.

Die kolloïde het 'n negatiewe zeta-potensiaal en dit dui daarop dat kationiese koagulante benodig word.

Die zeta-potensiaal van die kolloïde verlaag teen 'n lae flokkulantdosis tot 'n waarde wat kleiner is as die kritieke waarde van 10 mV.

Daar kan nie net op flokkulasie en besinking vertrou word om voldoende kolloïedverwydering te bewerkstellig nie.

Die snelheidsgradiënt moet laag gehou word, aangesien te vinnige menging tot die opbreek van vlokke aanleiding gee.

Hersirkulasie van vlokke is nodig aangesien die vlokke as kerne vir verdere flokkulasie dien en sodoende die benodigde flokkulantdosis verlaag.

Dit is noodsaaklik om filtrasie van die geflokkuleerde water uit te voer en dit lei tot groot besparings in flokkulantdosis.

Die byvoeging van bentoniet lei ook tot 'n afname in flokkulantdosis, sonder enige merkwaardige effek op koste.

Hoofstuk 7 : Aanbevelings

Die bespreking en gevolgtrekkings kan afgelei word dat die beste metode van flokkulasie waarskynlik die byvoeging van bentoniet, gevolg deur flokkulantdosering sal wees. Die mees geskikte flokkulante is U5000, Z5000 en C577. Enige van die drie kan gebruik word en die besluit moet gebaseer word op betroubaarheid van aflewering. Hersirkulasie van vlokke sal ook toegepas word. Die besinktenk moet dan met 'n reeks sandfilters opgevolg word vir die verwydering van klein vlokke wat moeilik besink.

Dit mag ook moontlik die moeite werd wees om te kyk na die gebruik van FeCl_3 , omdat die koste daaraan verbonde baie laag is en moontlik kan kompenseer vir die hoër las op die anioonuitruilhars.

Hoofstuk 8 : Verwysings

- 1) Ali, W., O'Melia, C.R. en Edzwald, J.K.; Colloidal Stability of Particles in Lakes: Measurement and Significance; Water Science and Technology; Vol. 17; 1984; bl. 701 - 712
- 2) Allen, T.; Hoofstuk 13 The Electrical Sensing Zone: Method of Particle Size Distribution Determination (The Coulter Principle); Particle Size Measurement; 3 de Uitgawe; Chapman and Hall; Power Technology Series; London; 1981; bl. 301 - 313
- 3) Argaman, Y. en Kaufman W.J.; Turbulence and Flocculation; Journal of the Sanitation Engineering Division American Society of Civil Engineers (New York); Vol. 95; 1970; bl. 223 - 241
- 4) Axberg, C., Wennerburg, A.M. en Stenius, P.; Flocculation of Waste Emulsions Using Polyelectrolytes; Progress in Water Technology (Oxford); Vol. 12; no. 6; 1980; bl. 371 - 384
- 5) Bachman, F.; Fundamentals of Water Treatment; Journal of the American Water Works Association; Vol. 31; no. 10; 1939; bl. 1691
- 6) Baran, A.A. en Solomentseva, I.M.; The Flocculation of Disperse Systems of Water-Soluble Polymers and its Application in Water Purification; Soviet Journal of Water Chemistry and Technology (New York); Vol. 5; no. 2; 1983; bl. 28 - 49
- 7) Barnes, S., Cheng D.C.-H. en Yarde, H.R.; The Analysis of Coulter Counter Data; British Journal of Applied Physics; Vol. 17; 1966; bl. 1501 - 1506
- 8) Benedek, A. en Bancsi, J.J.; Laboratory Evaluation of Polymeric Flocculants; Journal of the Environmental Engineering Division American Society of Civil Engineers (New York); Vol. 102; no. 1; 1976; bl. 17 - 28
- 9) Black, A.P., Buswell, A.M., Eidsness, F.A. en Black, A.L.; Review of the Jar Test; Journal of the American Water Works Association; Vol. 49; 1957; bl. 1414 - 1424
- 10) Botha, J.L. en De Wet, H.; Die Sasol Twee watersisteme-Ekonomiese implikasies van waterkwaliteit; Vaal River Catchment Ass.; 1984; bl. 1-14

- 11) Brosset, C., Biedermann, G. en Sillén, L.G.; Studies on the Hydrolysis of Metal Ions : XI The Aluminium Ion Al^{3+} ; Acta Chem. Scand.; Vol. 8; 1954; bl. 1917 - 1926
- 12) Burdick, C.H.; Experiments in Application of Alum in Coagulation; Water Works Engineering; 1929; bl. 1629
- 13) Cohen, J.M.; Improved Jar Test Procedure; Journal of the American Water Works Association; Vol. 49; 1957; bl. 1425 - 1431
- 14) Cohen, J.M., Rourke, G.A. en Woodward R.L.; Natural and Synthetic Polyelectrolytes as Coagulant Aids; Journal of the American Water Works Association; Vol. 50; 1958; bl. 463- 478
- 15) Culp, G.L. en Culp R.L.; New Concepts in Water Purification; 1 ste Uitgawe; Van Nostrand Reinhold Company; Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series; New York; 1974; bl. 109 - 117, 129 - 134
- 16) Deebie, B.; Cationic Polyamines as Primary Coagulants; Institution of Water Engineering and Sciences Journal; Vol. 30; 1976; bl. 138 - 146
- 17) Departement van Waterwese; Bestuur van die Waterhulpbronne van die Republiek van Suid-Afrika; Pretoria; 1986; bl. 5-23
- 18) Ellis, H.A., Utah, S.I., Ogunrinde, A. en Ogedengbe, M.O.; Preparation of Some Cationic Starches as Flocculants for Water; Water Research (Oxford/New York); Vol. 16; no. 9; 1982; bl. 1433 - 1435
- 19) Fiessinger, F.; Coagulation and Flocculation Part 1 : Coagulation; 12 th Congress of the International Water Supply Association, Proceedings, Kyoto 2 - 6 October 1978; 1978; bl. E5, E8 - E10, E11 - E17
- 20) Fitch, B.; Sedimentation of Flocculent Suspensions: State of the Art; American Institute of Chemical Engineers Journal (New York); Vol. 25; no. 6; 1979; bl. 913 - 930
- 21) Gandurina, L.V., Butseva, L.N. en Selezneva, L.V.; Zeta Potential in Optimizing the Flocculation of Industrial Effluent Soviet Journal of Water Chemistry and Technology (New York); Vol. 8; no. 1; 1986; bl. 34 - 38

- 22) Gilman, K., Trattner, R. en Cheremisinoff, P.N.; Flocculants Ease Costs, Raise Quality of Wastewater: Part 1; Water and Sewage Works (Chicago); Vol. 126; no. 7; 1979; bl. 58 - 59
- 23) Gilman, K., Trattner, R. en Cheremisinoff, P.N.; Flocculants Ease Costs, Raise Quality of Wastewater: Part 2; Water and Sewage Works (Chicago); Vol. 126; no. 8; 1979; bl. 54 - 57
- 24) Goppers, V. en Straub, C.P.; Polyelectrolyte Persistence in a Municipal Water Supply; Journal of the Water Works Association; Vol. 68; 1976; bl. 319 - 321
- 25) Gregory, J.; Flocculation Test Methods; Effluent and Water Treatment Journal (London U.K.); Vol. 23; no. 5; 1983; bl. 199 - 200, 202 - 205
- 26) Gregory, J.; Rates of Flocculation of Latex Particles by Cationic Polymers; Journal of Colloid and Interface Science; Vol. 42; 1973; bl. 448 - 456
- 27) Gregory, J.; Stability and Flocculation of Colloidal Particles; Effluent and Water Treatment Journal (London); Vol. 17; no. 10; 1977; bl. 515 - 521
- 28) Healey, K.J., Richards, W.N. en Smith, B.N.T.; The Use of Organic Polymers as Primary Coagulants in Water Treatment and the Role of Bentonite as a Coagulant Aid; Proceedings of the Biennial Conference and Exhibition of the IWPC Southern African Branch; Port Elizabeth; 12 - 15 May 1987; 1987
- 29) Hoffman J.R.; Flocculants and Water Purification; Municipal Engineer; Vol. 7; no. 5; 1976; bl. 69 - 72
- 30) Hudson H.E. Jr.; Flocculation and Flocculation Aids; Journal of the American Water Works Association; Vol. 49; 1957; bl. 242 - 250
- 31) Hunter, R.J.; Some Effects of a Dissolved Salt on Flocculant Performance; Filtration and Flocculation (Purley, England); Vol. 19; no. 4; 1982; bl. 289 - 291
- 32) Ishibashi, T.; Coagulation Mechanisms: An Electron Microscopic Study Using Aluminum Sulphate; Journal of the American Water Works Association (New York); Vol. 72; no. 9; 1980; bl. 514 - 518

- 33) Kashiki, I. en Suzuki, A.; On a New Type of Flocculant; Industrial and Engineering Chemistry Research (Washington DC); Vol. 25; no. 1; 1986; bl. 120 - 125
- 34) Kawamura, S.; Considerations on Improving Flocculation; Journal of the American Water Works Association (New York); Vol. 68; no. 6; 1976; bl. 328 - 336
- 35) Kim, R.P.; Selecting Polymeric Flocculants for Water Treatment; Public Works (Ridgewood NJ); Vol. 116; no. 9; 1985; bl. 108 - 111
- 36) Lai, R.J., Hudson, H.E. en Singley, J.E.; Velocity Gradient Calibration of Jar Test Equipment; Journal of the American Water Works Association; Vol. 67; 1975; bl. 553 - 557
- 37) La Mer, V.K. en Smellie, R.H.; Flocculation, Subsidence and Filtration of Phosphate Slime; Journal of Colloid Science; Vol. 11; 1956; bl. 704 - 709
- 38) Langelier, W.F., Ludwig, H.F. en Ludwig R.G.; Flocculation Phenomena in Turbid Water Clarification; Transactions of the American Society of Civil Engineers; Vol. 118; 1953; bl. 147
- 39) Licskó, I.; Micro Processes in Coagulation; Water Research (Oxford/New York); Vol. 10; no. 2; 1976; bl. 143 - 147
- 40) Luthy, R.G., Selleck, R.E. en Galloway, T.R.; Removal of Emulsified Oil with Organic Coagulants and Dissolved Air Flotation; Journal of the Water Pollution Control Federation; Vol. 50; 1978; bl. 331 - 346
- 41) Luthy, R.G., Selleck, R.E. en Galloway, T.R.; Surface Properties of Petroleum Refinery Waste Oil Emulsions; Environmental Science and Technology; Vol. 11; 1977; bl. 1211 - 1217
- 42) Mallevialle, J., Bruchet, A. en Fiessinger, F.; How Safe are Organic Polymers in Water Treatment; Journal of the American Water Works Association; Vol. 77; 1984; bl. 87 - 93
- 43) Miyanami, K., Tojo, K., Yokota, M., Fujiwara, Y. en Aratani T.; Effect of Mixing on Flocculation; Industrial and Engineering Chemistry Research Fundamentals (Washington); Vol. 21; no. 2; 1982; bl. 132 - 135

- 44) Neuman, W.E.; Optimizing Coagulation with Pilot Filters and Zeta Potential; Journal of the American Water Works Association (New York); Vol. 73; no. 9; 1981; bl. 472 - 475
- 45) Packham, R.F.; The Coagulation Process I: Effect of pH and the Nature of the Turbidity; Journal of Applied Chemistry; Vol. 12; 1962; bl. 556 - 564
- 46) Packham, R.F.; The Laboratory Evaluation of Polyelectrolyte Flocculants; British Polymer Journal; Vol. 4; 1972; bl. 305 - 315
- 47) Polasek, P. en Van Duuren, F.A.; Orthokinetic Flocculation; Somerskool 1979; Watersuiweringswerke: Ontwerp en Bedryf; Universiteit van Pretoria Tak van Ingenieurswese; Januarie 1979; Persklaar gemaak deur Garlipp, K.P.
- 48) Pressman, M.; Cationic Polyelectrolytes as Prime Coagulants in Natural Water Treatment; Journal of the American Water Works Association; Vol. 59; 1967; bl. 169 - 181
- 49) Rank Brothers; Operating Instructions and Manual for the Particle Microelectrophoresis Apparatus Mark II; Cambridge
- 50) Riddick, T.M.; Zeta Potential and its Application to Difficult Waters; Journal of the American Water Works Association; Vol. 53; 1961; bl. 1007 - 1030
- 51) Schwoyer, W.L.K.; Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment; ; 1 ste Uitgawe; CRC Press Inc.; Boca Raton, Florida; 1981; bl. 2 - 39, 74 - 80, 107 - 120
- 52) Stumm, W. en Morgan, J.J.; Aquatic Chemistry; 2 de Uitgawe; Wiley Interscience; New York; 1981; bl. 659
- 53) Stumm, W. en Morgan, J.J.; Chemical Aspects of Coagulation; Journal of the American Water Works Association; Vol. 54; 1962; bl. 971 - 992
- 54) Stumm, W. en O'Melia, C.R.; Stoichiometry and Coagulation; Journal of the American Water Works Association; Vol. 60; 1968; bl. 514 - 539
- 55) Surcek, J.G. en Tutein, T.R.; Simplified Method Determines Cost Performance of Polymeric Flocculants; Water and Sewage Works (Chicago); Vol. 123; no. 1; 1976; bl. 37 - 39

- 56) Swope, H.G.; Zeta Potential Measurement; Water and Sewage Works (Chicago); Vol. ref.; 1977; bl. 64 - 67
- 57) Sylvester, N.D., Byeseda, J.J. en Yadeta, B.; Polyelectrolyte Flocculation of Oil-water Emulsions; Industrial and Engineering Chemistry Research (Washington); Vol. 18; no. 1; 1979; bl. 57 - 61
- 58) Sylvester, N.D. en Toure, M.P.; Effect of Shear on Polymer Aided Flocculation of Suspensions; Industrial and Engineering Chemistry Research (Washington); Vol. 17; no. 4; 1978; bl. 347 - 350
- 59) Te Kippe, R.J. en Ham, R.K.; Coagulation Testing: A Comparison of Techniques; Journal of the American Water Works Association; Vol. 62; 1970; bl. 594 - 602
- 60) Treweek, G.P. en Morgan, J.J.; Determination of Flocculant Effectiveness in Aggregating Suspended Particulate Matter; Journal of the Water Pollution Control Federation (Washington); Vol. 51; no. 7; 1979; bl. 1859 - 1877
- 61) Van Duuren, F.A.; Ortokinetiese Flokkulasie en Sedimentasie; Somerskool in Waterbenuttingsingenieurswese; Universiteit van Pretoria; Departemente Siviele en Chemiese Ingenieurswese; Januarie 1970; bl. 141 - 155
- 62) Van Duuren, F.A., Potgieter, F.J. en Du Preez, J.F.; Fokus op die Vaal; Referate van 'n Simposium gehou in Pretoria op 13 Maart 1980; Die Vereniging vir die Vaalrivieropvanggebied; 1980; bl. 3 - 16
- 63) Van Leeuwen, J.; Waterbenuttingstrategie WAS 710; Deel 5; Universiteit van Pretoria; Departement Chemiese Ingenieurswese; 1988; bl. 1 - 2
- 64) Van Leeuwen, J.; Ozonation for non-filamentous Bulking Control in an Activated Sludge Plant Treating Fuel Synthesis Waste Water; Water S.A.; Vol. 15; no. 2; 1989; bl. 127 - 132
- 65) Van Puffelen, J.; New and Improved Measuring-methods for Coagulation and Flocculation Processes; H₂O (Rotterdam); Vol. 15; no. 2; 1982; bl. 36 - 39

Bylae 1

Die bylae bevat die gemiddelde diameter van kolloïde soos gemeet met die Coulter teller, asook die gemiddeld wat finaal bereken is.

Tabel 1.1
Gemiddelde Diameter van Kolloïde

Monster nommer	Diameter van Kolloïed (μm)
1	0.9202
2	0.9627
3	0.8015
4	0.9438
5	0.8481
6	0.7106
7	0.9040
8	0.9537
9	0.9687
10	1.0100
11	0.8722
12	0.9909
13	0.8873
14	0.8911
15	0.9150
16	0.8742
17	0.9196
18	0.8791
19	0.8923
20	0.8910
21	0.9505
22	0.9507
23	0.9572
24	0.9337
<u>25</u>	<u>0.9451</u>
gemiddeld	0.9109

Die standaardafwyking is 0.0626.

Daar is besluit dat enige waarde wat verder as twee standaardafwykings vanaf die gemiddeld is, nie meer geldig is nie en punt 6 verval dus.

Die nuwe gemiddeld is dan $0.9193 \mu\text{m}$

Bylae 2

Die bylae bevat die waardes van zeta-potensiaal van 'n aantal monsters wat gemeet is, asook die gemiddeld van die waardes.

Tabel 2.1
Zeta-Potensiale

Monster nommer	Zeta-Potensiaal(mV)
1	-11.05
2	-11.17
3	-13.93
4	- 9.60
5	-13.29
6	-16.34
7	-14.76
8	-16.52
9	-12.78
10	-14.81
11	-14.43
12	-14.98
13	-11.77
14	-14.67
<u>15</u>	<u>-13.78</u>
gemiddeld	-13.59

Die standaardafwyking is 1.99.

Punt 4 verval dus en die nuwe gemiddeld is - 13.88 mV.

Bylae 3

Hierdie tabel bevat al die flokkulantdosisse en indien toepaslik die kostes van die dosisse as die flokkulant gebruik word om flokkulasie tot so 'n punt te voer dat die vlokke onder gravitasie besink.

Tabel 3.1Flokkulantdosisse en Koste vir Besinking

Flokkulant	Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
S6547	216	0.56
S6548	251	0.65
S6388	224	0.58
S6549	180	0.47
S6550	212	0.55
C577	> 300	> 1
C579	> 300	> 1
LT 31	> 300	> 1
LT 35	> 300	> 1

Tabel 3.2Flokkulantdosisse en Koste met Stadige Menging

Flokkulant	Dosis met Vinnige Menging (g/m ³)	Dosis met Stadige Menging (g/m ³)	Koste (R/m ³)
S6547	216	190	0.49
S6548	251	168	0.44
S6388	224	160	0.42
S6549	180	150	0.39
S6550	212	187	0.49
C577	> 300	> 300	> 1
C579	> 300	> 300	> 1
LT 31	> 300	> 300	> 1
LT 35	> 300	> 300	> 1

Tabel 3.3

Flokkulantdosisse en Koste met Hersirkulasie van Vlokke

Flokkulant	Dosis sonder Hersirkulasie (g/m ³)	Dosis met Hersirkulasie(g/m ³)	Koste (R/m ³)
S6547	216	162	0.42
S6548	251	140	0.36
S6388	224	128	0.33
S6549	180	120	0.31
S6550	212	175	0.46
C577	> 300	268	0.94
C579	> 300	> 300	> 1
LT 31	> 300	278	1.25
LT 35	> 300	> 300	> 1

Tabel 3.4

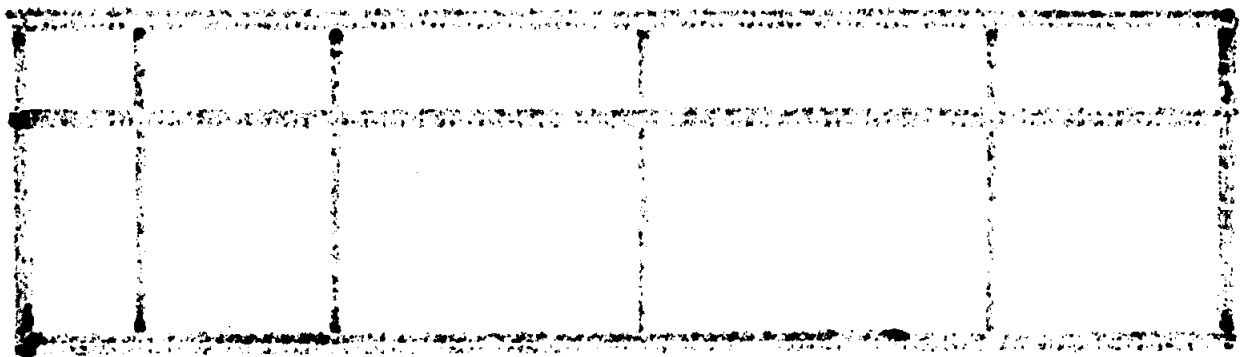
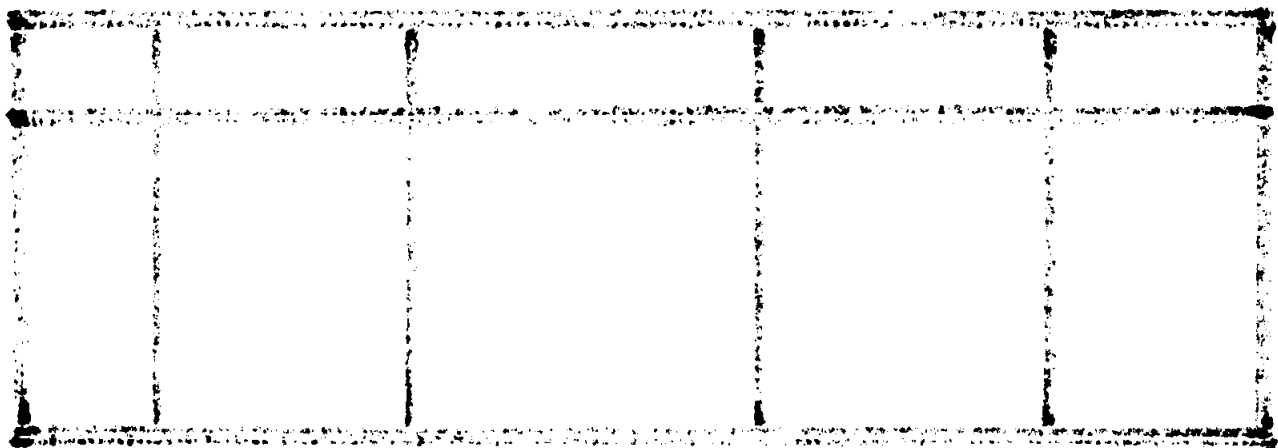
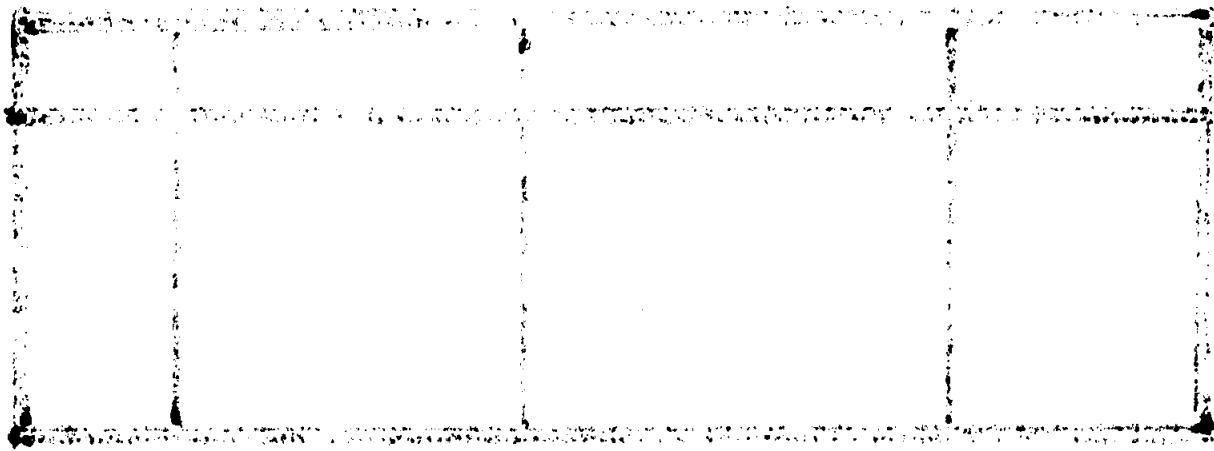
Die Effek van die Gebruik van Nie-ioniese Flokkulante

Flokkulant	Sonder nie-ionies (g/m ³)	Met nie-ionies (g/m ³)	Dosis nie-ionies(g/m ³)	Koste (R/m ³)
S6547	216	190	0.4	0.50
S6548	251	168	0.2	0.44
S6388	224	160	0.2	0.42
S6549	180	180	0.2	0.47
S6550	212	GEEN VERBETERING		
C577		GEEN VERBETERING		
C579		GEEN VERBETERING		
LT 31		GEEN VERBETERING		
LT 35		GEEN VERBETERING		

Tabel 3.5

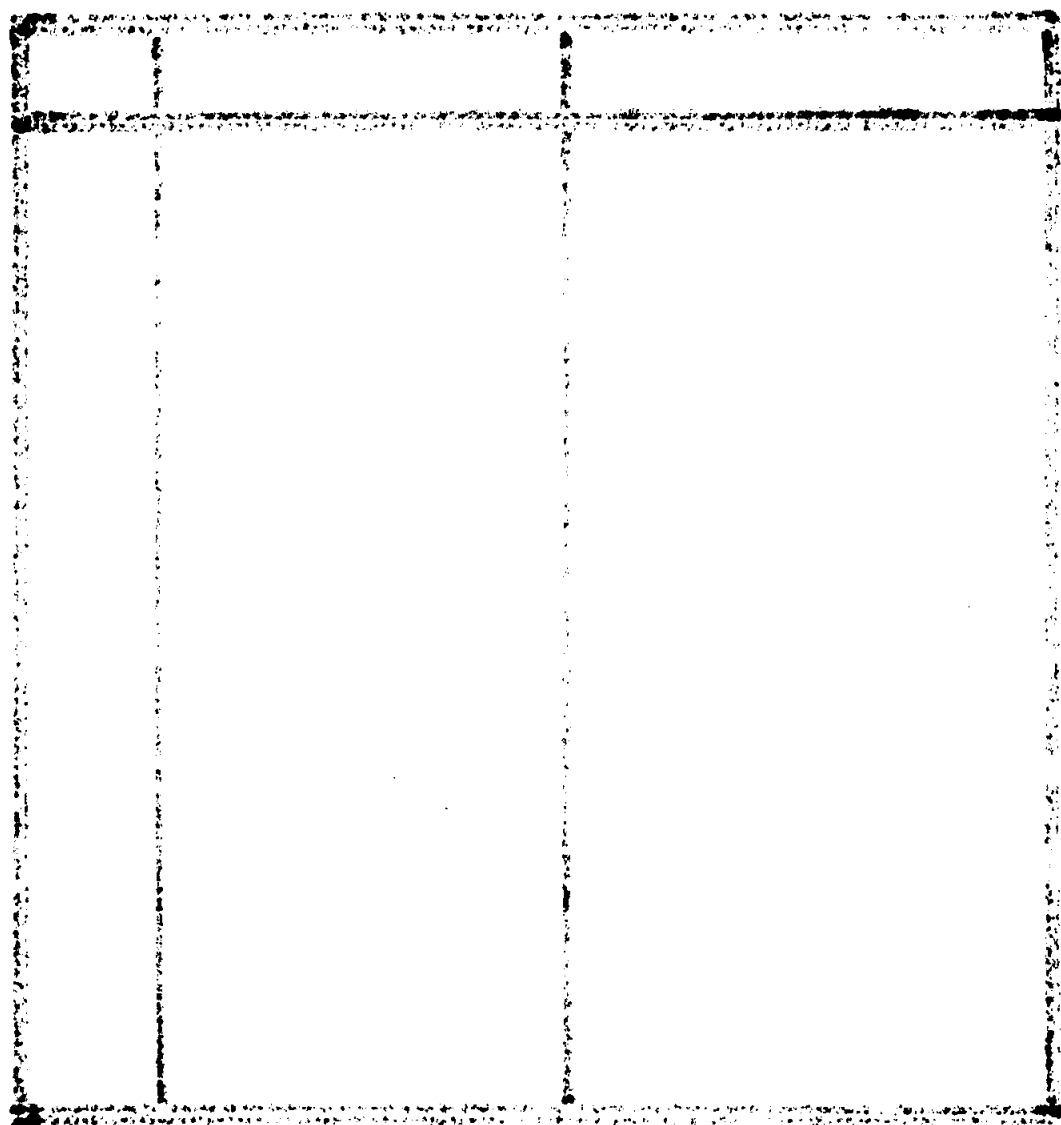
Die Effek van PAC as Flokkulasiehulpmiddel

Flokkulant	Dosis van Flokkulant (g/m ³)	Dosis Flokkulant met PAC	Dosis PAC (g/m ³)	Koste (R/m ³)
PAC			800	2.88
S6547	246	148	60	0.60
S6548	179	153	30	0.51
S6388	216	185	10	0.52
S6549	210	150	40	0.53
S6550	> 300	163	4	0.44



Tabel 3.6
Flokkulasie en Sandfilters

Flokkulant	Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
6 ANI 89	GEEN FLOKKULASIE	
S6547	178	0.46
S6548	152	0.40
S6388	92	0.24
S6549	125	0.33
S6550	122	0.32
C577	46	0.16
C579	156	0.46
ANI 4114	TAAI VLOKKE	
ANI 7125	TAAI VLOKKE	
ANI 4380	46	0.28
P 30 (PAC-oplossing)	274	HOOG
C303	154	HOOG
C310	242	HOOG
C330	152	HOOG
D100	96	HOOG
LT 31	73	0.33
LT 35	60	0.51
FB 50	121	0.36
WT 2640	TAAI VLOKKE	
WT 2640 L	92	0.23
TE 1740	116	0.23
CAT-B	101	0.16
U 5000	43	0.14
Z 226	55	
Z 5000	40	0.14
Z 604	BAIE HOOG	
Z 406	GEEN FLOKKULASIE	
Z 30	140	
Z 802	BAIE HOOG	

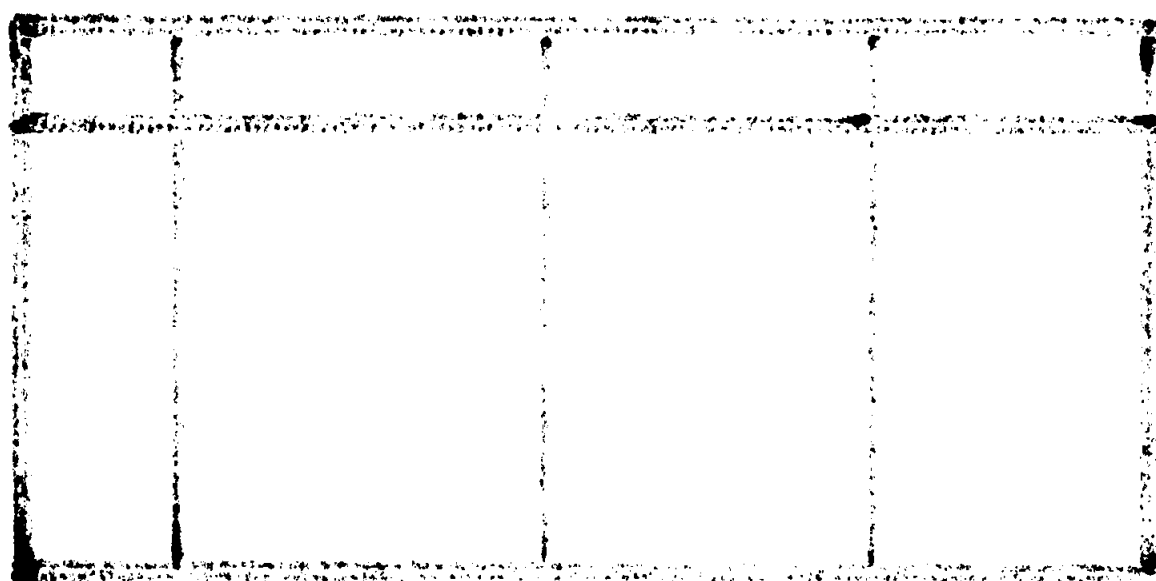
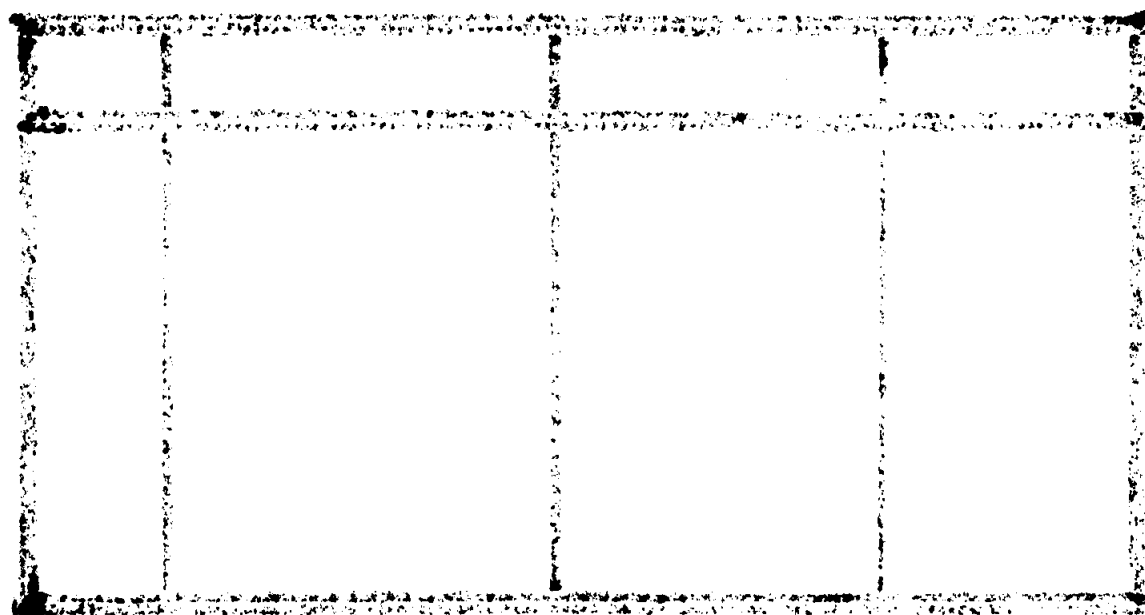


Tabel 3.7Die Effek van Kaolien op Flokkulasie

Flokkulant	Kaolien Dosis (g/m ³)	Flokkulant Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	10	76	0.46
C 330	10	GEEN VERBETERING	
P 30	10	GEEN VERBETERING	
D 100	10	GEEN VERBETERING	
LT 31	10	73	0.33
LT 35	10	60	0.51
S6547	10	GEEN VERBETERING	
S6548	10	GEEN VERBETERING	
S6388	10	GEEN VERBETERING	
S6549	10	125	0.32
S6550	10	91	0.24
C577	10	GEEN VERBETERING	
C579	10	104	0.30
Aluin	10	GEEN VERBETERING	

Tabel 3.8Die Effek van Bentoniet op Flokkulantdosisse

Flokkulant	Bentoniet Dosis (g/m ³)	Flokkulant Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	10	53	0.32
C 330	10	91	
P 30	10	GEEN VERBETERING	
D 100	10	84	
LT 31	10	58	0.26
LT 35	10	33	0.28
S6547	10	GEEN VERBETERING	
S6548	10	GEEN VERBETERING	
S6388	10	GEEN VERBETERING	
S6549	10	125	0.32
S6550	10	GEEN VERBETERING	
C577	10	31	0.11
C579	10	62	0.18



Tabel 3.9

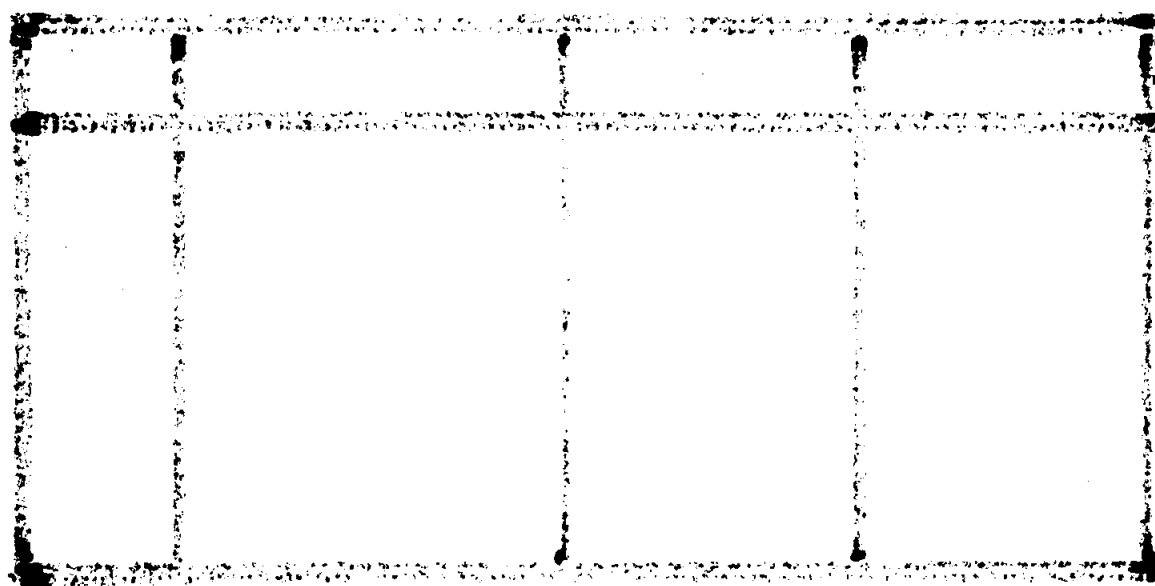
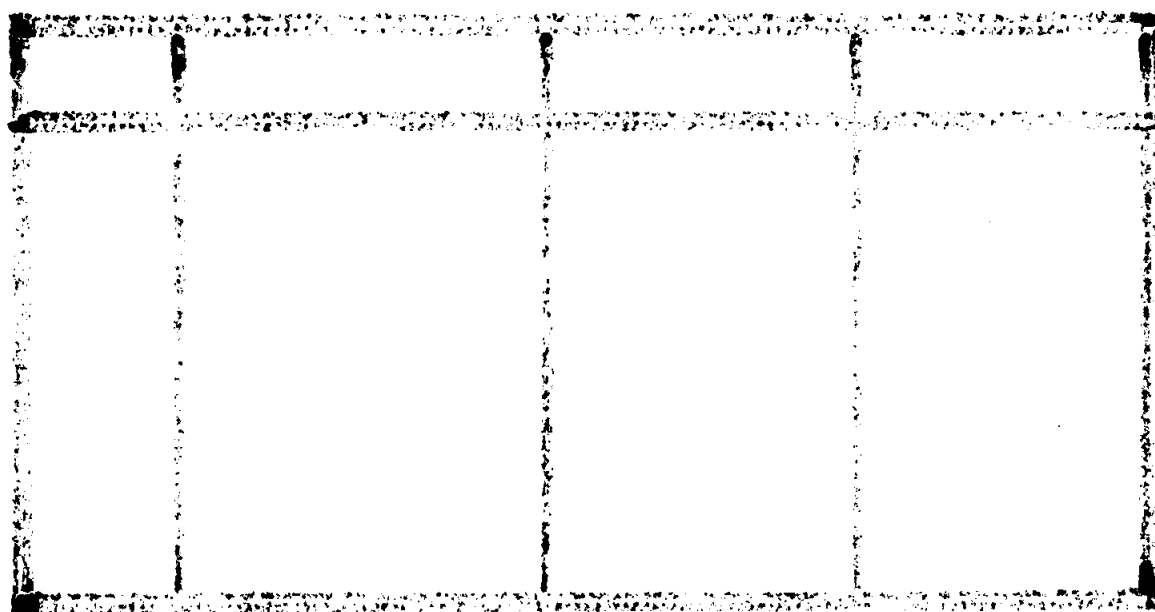
Gelyktydige Dosering van Ystersout en Poliëlektroliet

Flokkulant	Ystersout Dosis(g/m ³ Fe ³⁺)	Flokkulant Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	50	61	0.51
C 330	50	GEEN VERBETERING	
P 30	50	GEEN VERBETERING	
D 100	50	48	
LT 31	50	44	0.34
LT 35	50	33	0.42
S6547	50	107	0.42
S6548	50	101	0.40
S6388	50	128	0.47
S6549	50	103	0.41
S6550	50	91	0.38
C577	50	73	0.40
C579	50	17	0.19
C579	20	8	0.080

Tabel 3.10

Aparte Dosering van Ystersout en Poliëlektroliet

Flokkulant	Ystersout Dosis(g/m ³ Fe ³⁺)	Flokkulant Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	10	21	0.15
C 330	10	43	
P 30	10	GEEN VERBETERING	
D 100	10	24	
LT 31	10	15	0.096
LT 35	10	8	0.096
S6547	10	GEEN VERBETERING	
S6548	10	GEEN VERBETERING	
S6388	10	18	0.075
S6549	10	GEEN VERBETERING	
S6550	10	GEEN VERBETERING	
C577	10	17	0.088
C579	10	25	0.10



Tabel 3.11

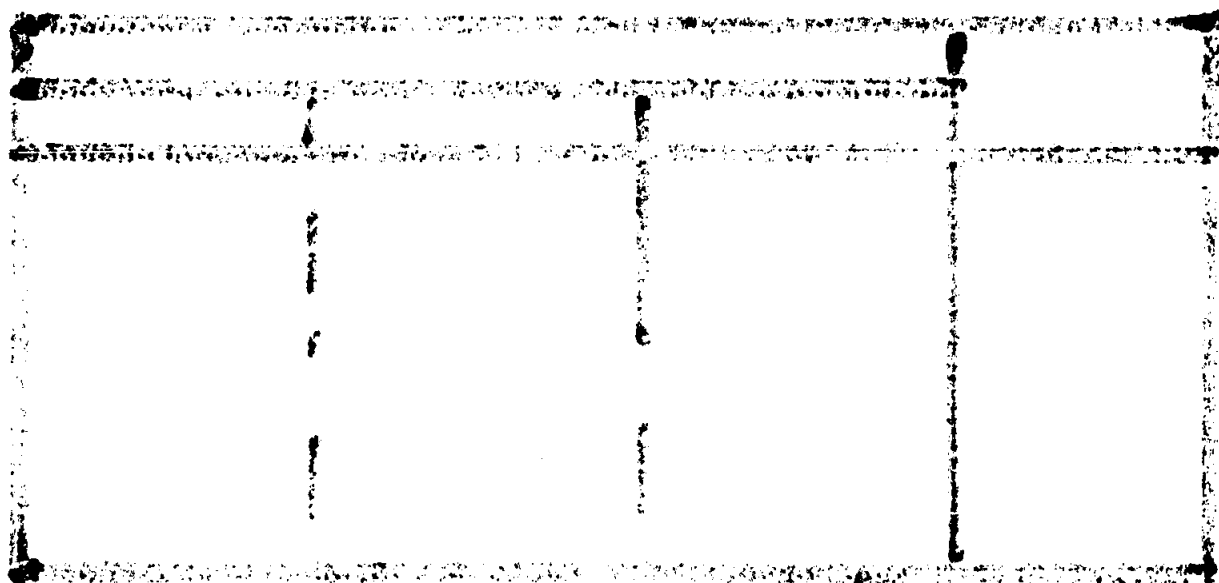
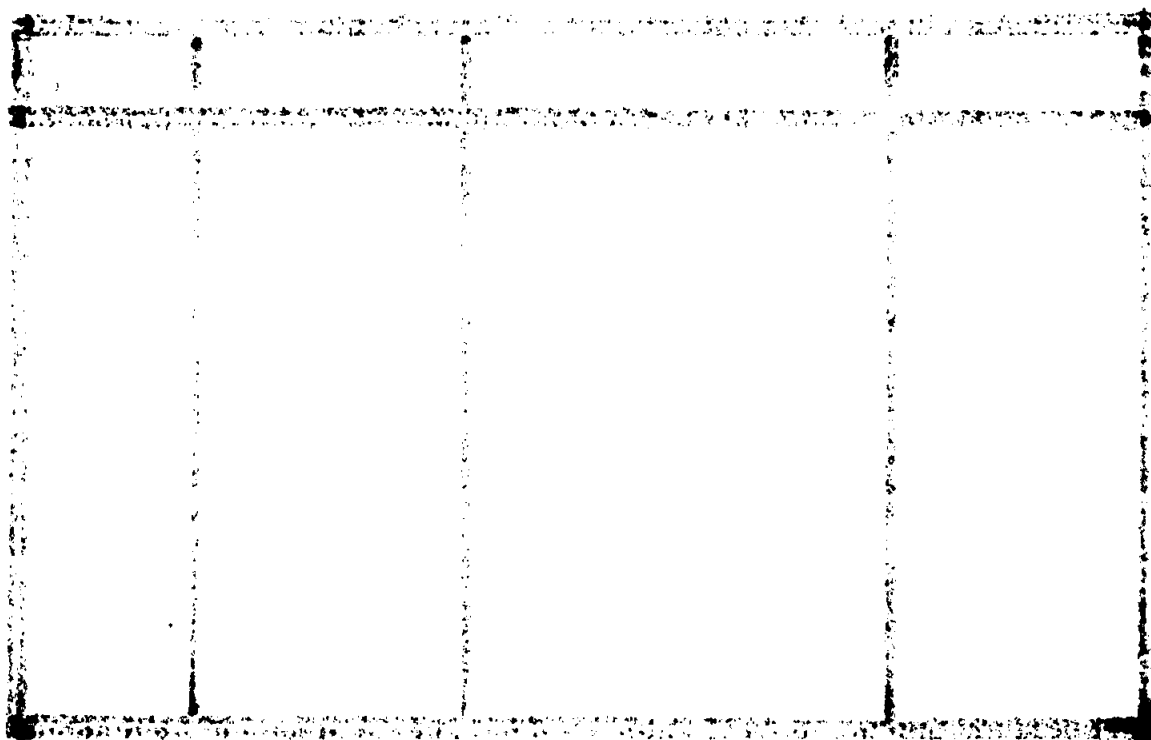
Die Effek van die Dosering van Anioniese Polielektroliet

Flokkulant	Anionies Dosis (g/m ³)	Flokkulant Dosis (g/m ³)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	1.46	46	0.29
C 330	1.46	91	
P 30	0.49	95	
P 30	2.43	57	
D 100	GEEN VERBETERING		
LT 31	2.43	58	0.28
LT 35	0.49	40	0.34
S6547	1.46	89	0.25
S6548	GEEN VERBETERING		
S6388	0.97	92	0.25
S6549	1.46	104	0.28
S6550	1.95	76	0.20
C577	1.46	42	0.16
C579	1.95	83	0.26
FB 50	0.97	112	0.35
WT 2640 L	0.49	72	0.19
TE 1740	GEEN VERBETERING		
CAT-B	GEEN VERBETERING		

Tabel 3.12

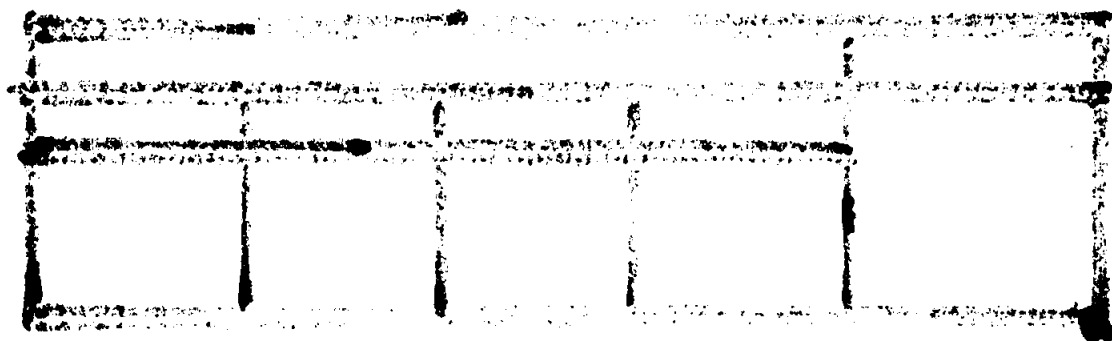
Die Effek van Osonering op Flokkulantdosis

Flokkulant	Flokkulantdosis		
	0 mg/l·h O ₃	20 mg/l·h O ₃	30 mg/l·h O ₃
Z 226	55	SWAKKER FLOKKULASIE	
Z 5000	40	40	35
LT 31	44	39	39
C577	40	45	47
U 5000	44	SWAKKER FLOKKULASIE	
S6388	72	51	SWAK
TE 1740		GEEN VERBETERING	
C 330	61	GEEN FLOKKULASIE	
P 30	121	121	121
D 100	109	130	130
ANI 4380	61	87	92
CAT-B		GEEN VERBETERING	



Tabel 3.13Effek van Mikroflokkulasie op Flokkulantdosis

Flokkulant	Voorafdosering			
	0 g/m ³	2 g/m ³	3 g/m ³	4 g/m ³
C577	65	45	50	55
Z 5000	78	75	80	90
U 5000	55	51	51	51
LT 35	48	40	40	40

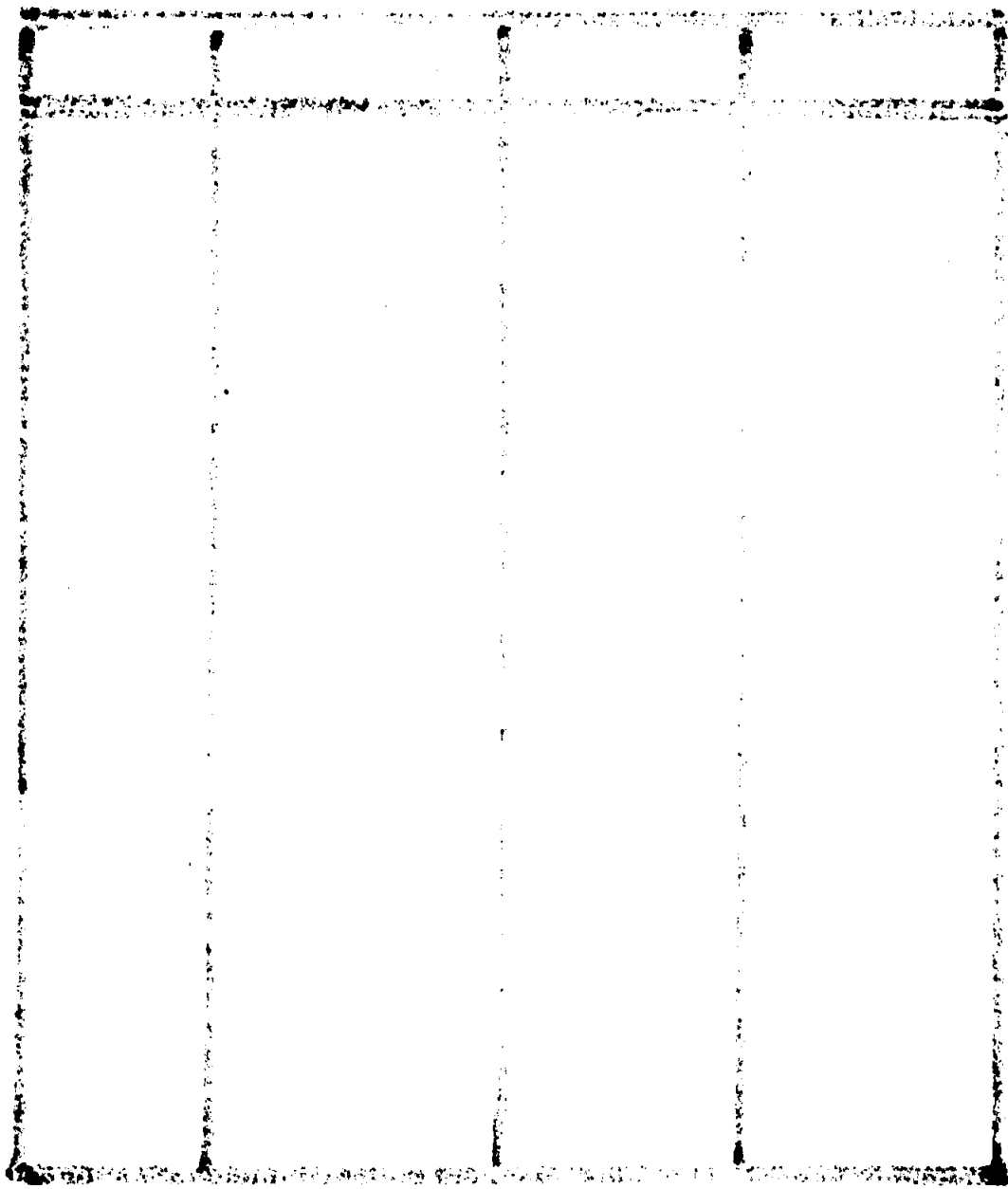


Bylae 4

Die bylae bevat die data wat verkry is gedurende die proef-aanlegtoetse.

Tabel 4.1
Flokkulasietoetse

Flokkulant	Dosis (g/m ³)	Troebelheid (NTU)	Koste (R/m ³)
ANI 4380	50.4	6.7	0.30
P 30	276	3.5	
D 100	50.7	5.2	
TE 1740	202	5.7	0.40
CAT-B	31.0	5.7	0.05
FB 50	50.3	5.7	0.15
	200	2.8	0.60
WT 2640 L	30.1	5.2	0.08
Al ₂ (SO ₄) ₃	50 as Al ³⁺	4.6	
FeCl ₃	20 as Fe ³⁺	5.7	0.06
+ LT 35	50 as Fe ³⁺		
	+ 10.1	8.2	0.23
+ C577	50 as Fe ³⁺		
	+ 10.0	7.3	0.18
+ U 5000	50 as Fe ³⁺		
	+ 10.3	> 10	0.17
LT 31	50	5.6	0.23
LT 35	39.9	4.4	0.34
	30.1	4.3	0.26
+ LT 27	40.0 + 0.5	5.4	0.34
+ N 300	40.4 + 1.0	3.6	0.35
U 5000	40.0	4.4	0.13
	30.3	5.5	0.10
+ LT 27	40.1 + 0.5	5.6	0.13
+ N 300	40.0 + 1.0	4.4	0.14
S6388	50.2	4.2	0.13
S6550	50.2	4.3	0.13
C577	40.1	5.1	0.14
	30.0	4.2	0.11
+ LT 27	37.8 + 0.5	5.9	0.14
+ N 300	40.0 + 1.0	7.1	0.15
C579	50.3	7.5	0.15
Z 5000	40.0	5.5	0.14
	30.0	4.4	0.10



Tabel 4.2
Gesuspendeerde Vastestowwe

Flokkulant	Dosis (g/m ³)	Gesuspendeerde Vastestowwe (mg/l)
Voer		125
FB 50	200	32.5
LT 35	39.9	49.5
	30.1	62
U 5000	40.0	47
	30.3	63
S6550	50.2	63
C577	30.0	76.5
Z 5000	40.0	57
	30.0	77

