

# HF-procesontwerp Leiduin

## 1. Inleiding

Een van de alternatieve processen voor de toekomstige uitbreiding van de drinkwater productiecapaciteit van Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA) te Leiduin is het hyperfiltratieproces (HF), *veelal Omgekeerde Osmose(OO) genoemd* [1]. De inpassing van hyperfiltratie in de bestaande zuivering van Leiduin is weergegeven in afbeelding 1. De capaciteit van het productiebedrijf Leiduin wordt daarmee vergroot van 70 miljoen tot 83 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.



H. A. VAN DEN BERKMORTEL  
HAB water & milieu BV



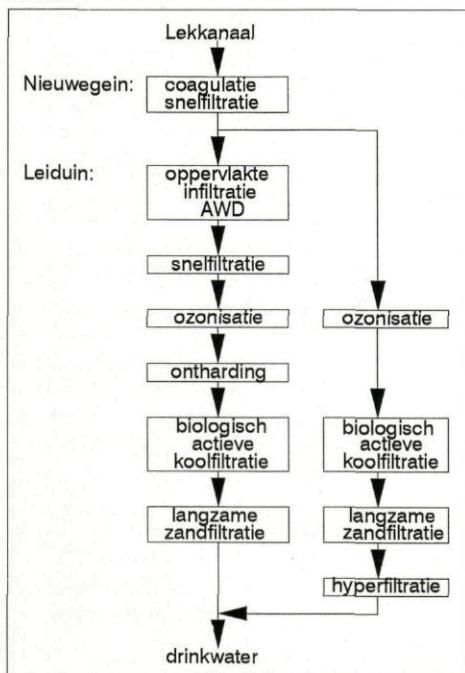
J. P. VAN DER HOEK  
Gemeentewaterleidingen Amsterdam



A. VAN NOORD  
Gemeentewaterleidingen Amsterdam

Een andere mogelijkheid om de capaciteit van productiebedrijf Leiduin te vergroten, diepinfiltratie [2], wordt in dit artikel niet behandeld.

Afb. 1 - Schema mogelijke toekomstige processtappen Leiduin.



## Samenvatting

De verschillende aandachtspunten van het procestechnologisch HF-ontwerp voor de Gemeentewaterleidingen Amsterdam zijn onderbouwd ter ondersteuning van de genomen ontwerpbeslissingen. De onderbouwing is gebaseerd op een ontwerp met alle gangbare membraantypen inclusief de recent op de markt gekomen ultra lage-drukmembranen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een unitcapaciteit van 500 m<sup>3</sup>/u.

Op basis van de doorlopen ontwerpstappen, de vertaling naar een operationele HF-installatie en de hierbij ontwikkelde kostencijfers is een keuze gemaakt voor een voorlopig ontwerp van HF-units met een nominale capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/uur met gebruik van ultra lage-drukmembranen. Het ontwerp is gebaseerd op een drie banken systeem welke recoveries van 80-90% mogelijk maakt.

Voor een maximumcapaciteit van 2000 m<sup>3</sup>/uur zijn minimaal 6 straten nodig, inclusief reservestelling voor voorzien onderhoud of reiniging van de membranen. Bij een reservestelling van een straat voorzien (bijvoorbeeld spoelen) en een straat onvoorzien (storing) uit bedrijf zijn minimaal zeven straten noodzakelijk. Gekozen is voor een ontwerp van zes straten met elk een capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/uur nominaal en 405 m<sup>3</sup>/uur piekbelasting.

De voeding van de installatie zal worden verzorgd door centraal opgestelde pompen. Op basis van dit voorlopig ontwerp is een volledig procestechnologisch ontwerp, proces- en instrumentatiediagram en een basis leidingenschema voor de gehele installatie uitgewerkt. Dit ontwerp komt echter in deze publicatie niet aan de orde.

In opdracht van en in nauwe samenwerking met GWA heeft HAB water & milieu BV het voorlopig ontwerp voor het HF-proces gemaakt.

Ter ondersteuning van de besluitvorming in zowel de werk- als stuurgroep van de Gemeentewaterleidingen Amsterdam, bestond behoefte aan inzicht in de selectie- en keuzecriteria die in een ontwerpproces van een HF-installatie van belang zijn. Deze selectie- en keuzecriteria zullen aan de hand van het HF-ontwerpproces voor de toekomstige uitbreiding van Leiduin worden toegelicht. Op basis van deze keuzen is het voorontwerp van de

HF-installatie afgerond. In de volgende paragrafen zullen de verschillende ontwerpstappen worden toegelicht.

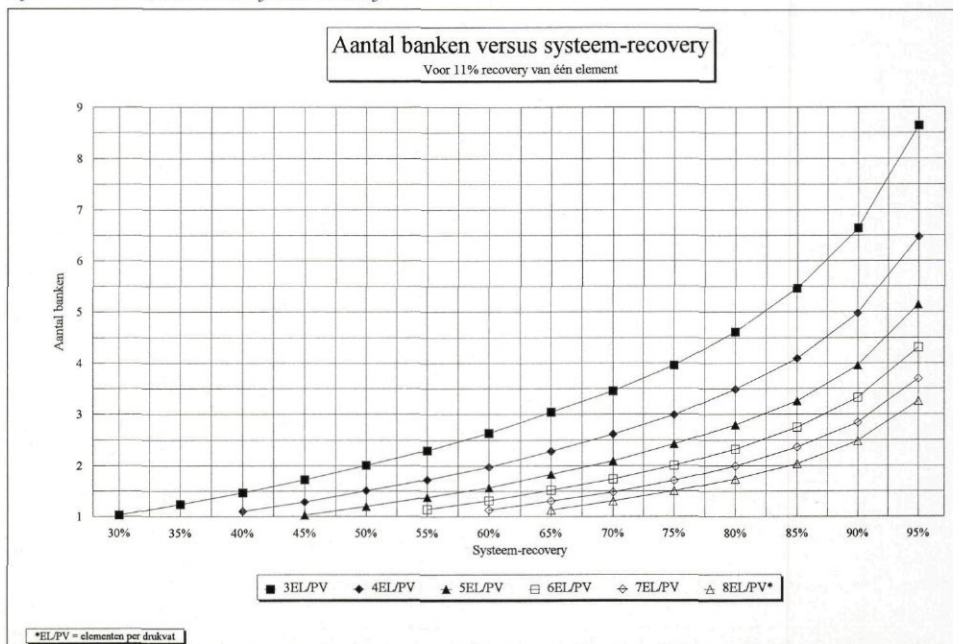
## 2. Procesontwerpstappen

### 2.1 Aantal banken per HF-unit

In afbeelding 2 is voor brakwatermembranen bij een recovery van 11% als gemiddelde recovery per membraanelement en bij een minimale brijn-permeaatverhouding van 5:1 over het membraan-element, het aantal noodzakelijke banken uitgezet bij verschillende HF-systeemrecoveries.

Hieruit blijkt dat bij systeemrecoveries

Afb. 2 - Aantal banken versus systeem-recovery.



\*EL/PV = elementen per drukvat

tussen de 80-90% een drie banken systeem noodzakelijk is.

Op basis van bovenstaande overweging en het feit dat ook de pilotplants te Leiduin (mede op basis van deze overweging) als drie-bankensysteem zijn uitgevoerd [3] is ook het voorlopig ontwerp van de HF-installatie hierop gebaseerd.

## 2.2 HF-unitontwerp

### 2.2.1 Membraankeuze

Met de huidige commercieel beschikbare spiraalgewonden brakwatermembranen, is

Membraanleverancier	Membraantype
TORAY	SU-720L
DOW-Filmtec	BW30-400
HYDRANAUTICS	8040 LSY CPA2 + 8040-UHY-ESPA
UOP (Fluid Systems)	TFC 8822HR + 8821-UPL-400
TRISEP	8040-ACM4-TSA

een voorontwerp gemaakt. Niet spiraalgebonden membranen zijn in de beschouwingen niet meegenomen.

Tabel I geeft een samenvatting van de gemaakte voorontwerpen van de verschillende membranen. De basisontwerpen zijn gemaakt voor een systeemrecovery van 80% en een voorlopig gemiddelde ontwerpcapaciteit per unit van 500 m<sup>3</sup>/h bij een specifiek permeaatdebiet van circa 20-28 l/m<sup>2</sup>·uur. Ook zijn de ontwerpen doorgerekend voor de maximale en minimale gewenste capaciteiten (135 respectievelijk 70% van de gemiddelde capaciteit) bij de opgegeven maximum en minimum temperaturen van 25 en 1°C.

Uit de ontwerpen met de nieuwste serie ultra lage-drukmembranen blijkt dat de toevoerdrücken gemiddeld met circa 9 bar kunnen worden verlaagd. De zoutretentie neemt hierbij bij 25°C af van circa 97,6% tot 96,5%, wat de eindwaterkwaliteit

nauwelijks beïnvloedt. Uit tabel I kan men ook afleiden dat een juiste keuze van het membraantype een flexibele operatie mogelijk maakt, zodanig dat optredende minimum- en maximumbelastingen binnen de HF-unit kunnen worden opgevangen. Dit wil zeggen, de afnamevraag kan glijdend door de HF-product worden gevolgd.

De definitieve membraankeuze zal worden gedaan op het moment dat besloten wordt de HF-installatie te gaan bouwen.

### 2.2.2 Drukbuizen

Bij het ontwerp van de lengte en diameter van de drukbuis is uitgegaan van standaard drukbuizen die door een aantal bekende leveranciers worden geleverd.

Op basis van de vele ontwerpen en gerealiseerde HF-installaties is gekozen voor een drukbuis met een standaardlengte voor 6 elementen. Deze lengte maakt het mogelijk

TABEL I - Membraantypevergelijking-500 m<sup>3</sup>/h.

Membraan type	Element type	Element oppervlak (m <sup>2</sup> /E1)	Aantal elementen *	Capaciteit (m <sup>3</sup> /h)	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar) (3 jaar bedrijf)	Verschildruk (bar) (unit)	Laatste element Product: brine flow = 1:			Product kwaliteit (ppm TDS)
								1e	2e	3e	
Toray	SU-720L	29	642	350 (min)	1°C	15,4	3,0	7,6	8,7	10,8	8,1
					25°C	8,0	2,8	6,8	9,0	15,5	21,0
					1°C	22,2	5,2	7,5	8,7	11,0	5,8
					25°C	11,6	4,7	6,6	8,9	16,2	14,4
					1°C	30,5	8,0	7,4	8,7	11,3	5,2
					25°C	16,1	7,3	6,5	8,9	17,4	10,6
Dow-Filmtec	BW30-400	37	546	350 (min)	1°C	17,3	2,7	5,3	5,8	6,3	9,0
					25°C	8,5	2,5	4,9	5,2	6,1	17,0
					1°C	24,5	5,1	7,5	8,3	19,1	8,0
					25°C	12,0	4,4	7,1	7,5	8,8	13,0
					1°C	33,5	8,5	10,1	11,0	12,0	7,0
					25°C	16,4	7,4	9,4	10,0	11,8	11,0
Fluid Systems	TFC-8822-HR	31	582	350 (min)	1°C	14,4	1,9	4,6	4,7	5,4	5,8
					25°C	7,4	1,8	4,4	4,5	5,4	11,8
					1°C	20,5	3,3	6,6	6,8	7,7	4,3
					25°C	10,5	3,1	6,3	6,4	7,7	8,7
					1°C	27,7	5,1	8,8	9,1	10,5	3,4
					25°C	14,3	4,9	8,5	8,7	10,5	6,7
Fluid Systems	TFC-8821-UPL-400	37	546	350 (min)	1°C	8,4	3,4	4,3	4,8	5,8	12,9
					25°C	4,9	2,9	3,8	4,2	5,8	29,1
					1°C	12,1	5,8	6,1	6,8	8,3	9,2
					25°C	7,1	5,0	5,3	5,9	8,3	21,0
					1°C	16,5	9,0	8,2	9,1	11,2	7,0
					25°C	9,2	7,2	6,8	7,5	10,7	16,7
Hydranautics	8040-UHY-ESPA	37	546	350 (min)	1°C	10,6	3,1	4,4	4,9	5,8	14,2
					25°C	6,0	3,1	3,8	4,1	5,8	32,7
					1°C	15,3	3,2	6,2	7,0	8,3	10,2
					25°C	8,5	3,1	5,4	5,9	8,3	22,9
					1°C	20,4	3,1	8,3	9,3	11,3	7,3
					25°C	11,5	3,1	7,3	7,9	11,3	17,2
Hydranautics	8040-LSY-CPA2	34	546	350 (min)	1°C	20,2	4,6	4,6	4,9	6,3	7,4
					25°C	10,2	4,5	4,3	4,5	6,3	16,8
					1°C	29,0	7,1	6,6	7,0	8,9	5,2
					25°C	14,6	6,9	6,2	6,5	8,9	12,0
					1°C	38,1	11,4	8,9	9,4	12,1	3,7
					25°C	17,6	9,1	8,4	8,8	12,1	9,2
Trisep	8040-ACM4-TSA	36	546	350 (min)	1°C	10,0	3,0	6,3	8,6	16,4	17,4
					25°C	5,4	2,5	5,4	9,4	36,6	40,8
					1°C	14,4	5,0	6,1	8,5	17,2	12,1
					25°C	9,9	5,8	5,3	9,4	42,2	26,5
					1°C	19,8	7,7	6,0	8,5	18,4	9,1
					25°C	13,8	8,9	5,1	9,4	58,9	19,7

\* Ontwerpen zijn gebaseerd op specifiek debiet van gemiddeld: ca. 20-28 l/m<sup>2</sup>·uur, 36% HCl dosering, 80% recovery, geen inhibitor dosering.

de HF-installatie te opereren tussen recovery's van 80-90%, tussen 70-135% van het nominale debiet en binnen de aangegeven temperatuurrange van 1-25°C. Een ontwerp voor vijf of zeven elementen per drukbuis laat een dergelijk brede range niet toe, en is daarom niet mogelijk.

### 2.2.3 Unit ontwerp-grootte

Ter bepaling van de grootte van het HF-unitontwerp zijn voor verschillende capaciteitsgrootten de belangrijkste ontwerpparameters bepaald en zijn de bijbehorende investeringskosten opgesteld. De aanbeveling van de keuze van de unit-grootte van de HF-installatie wordt verder uitgewerkt in paragraaf 5.

### 2.3 Kaarsenfilter(s)

Kaarsenfilters worden bij het hyperfiltratieproces toegepast om te voorkomen dat verontreinigingen, die de membranen in sterke mate kunnen beschadigen en/of vervuilen, de hyperfiltratieunit binnendringen.

Op grond van de volgende overwegingen worden in deze HF-installatie de kaarsenfilters achterwege gelaten:

1. De voorzuivering levert een waterkwaliteit ( $MFI < 0,5 \text{ s/l}^2$ ,  $DOC < 1 \text{ mg/l}$  en een  $AOC < 10 \mu\text{g/l}$ ) [4] die de kans op aanvoer van water met een deeltjesgrootte groter dan  $10 \mu\text{m}$  vrijwel uitsluit. Alleen in geval van een calamiteit is dit mogelijk. De aanwezige troebelheidsmeetapparatuur zal deze echter direct detecteren. Bovendien is het aangevoerde water biologisch stabiel. Het water is daarmee geschikt om direct te worden verpompt naar de HF-units zonder kaarsenfilters.

2. Kaarsenfilters zijn ook een veel voorkomende bron van bacteriologische vervuiling en uit dien hoofde ongewenst.

3. Besparing van een pomptrap. De voeding van de hoge drukpompen kan direct uit de bufferkelder voor de HF-installatie worden betrokken.

Het laten vervallen van de kaarsenfilters levert een aanmerkelijke besparing op aan investerings- en operationele kosten, ruimtebesparing, en vermijdt de noodzaak van een extra pompstap voor de hoge drukpompen van de HF-installatie.

### 2.4 Voedingpompen

De keuze van de voedingpompen wordt in eerste instantie bepaald door de hydraulische condities van NPSH, persdruk en capaciteit. De eisen voor de variatie in persdruk en capaciteit zijn van dien aard dat gekozen moet worden voor hogedruk centrifugaalpompen om met een acceptabel rendement te kunnen draaien.

In principe kunnen twee routes worden gevolgd bij de keuze van centrifugaal-

pompen. Men kan kiezen voor een centrifugaalpompe per HF-straat, of voor een onafhankelijke centrale pompvoorziening. Deze keuze is afhankelijk van de capaciteit van de installatie, het aantal straten, het pomptype, het aantal pompen, de pompopstelling, de bedrijfscondities waaronder de pompen moeten opereren en de kosten.

### Watertemperatuur

Oppervlaktewater (in dit geval WRK-1 water uit het Lekkanaal) heeft gedurende het jaar een watertemperatuur die varieert van circa 0°C tot circa 25°C. Voor een HF-installatie betekent dit, dat bij nominaal debiet de membraantoevoerdruk varieert van circa 7 tot 22 bar. Hierbij is geen rekening gehouden met het optreden van vervuiling en is uitgegaan van een gelijkblijvende permeaatcapaciteit. De druk bij minimaal debiet en maximale temperatuur en maximaal debiet en minimale temperatuur varieert van circa 5 bar tot circa 38 bar (zie tabel I), afhankelijk van de membraankeuze.

### Afnamepatroon

Het afnamepatroon van de 24-uurs dagleveringen te Leiduin laten zien dat de waterafname van Leiduin voor het grootste deel (< 90% van de tijd) varieert tussen 90% en 110% van de daggemiddelde waterafname. Het werkgebied van de pompen zal danook voor het grootste deel van het jaar circa 10% om de daggemiddelde vraag variëren.

Bovenstaande variabelen zijn uitgangspunt van het pompontwerp. Het betekent dat de pompen een groot werkgebied moeten

kunnen bestrijken, waarbij de energieconsumptie zoveel mogelijk op het maximale efficiëncypunt moet worden gehouden.

In afbeelding 3 is aangegeven wat dit betekent voor de geschetste situatie. In paragraaf 5 zal de kostenevaluatie van de twee mogelijke keuzen verder worden uitgewerkt.

### 2.5 Additionele voorzieningen

#### 2.5.1 Chemicaliëndoseringen: Centraal of per HF-unit

De chemicaliën zoutzuur of zwavelzuur en indien vereist antiscalent kunnen centraal in de voedingsleiding of in de individuele voedingsleiding van elke HF-unit worden gedoseerd. Menging van de chemicaliën en het zuur geschiedt met een statische menger.

De noodzaak voor een individuele dosering per HF-unit is niet aanwezig. Terwijl er wel redenen zijn om te kiezen voor centrale dosering, namelijk:

- aanmerkelijk geringer aantal doseerpompen;
- geringer aantal controles en controlemetingen;
- lagere investeringskosten;
- lagere operationele kosten;
- betrouwbaarder systeem (kans op fouten geringer).

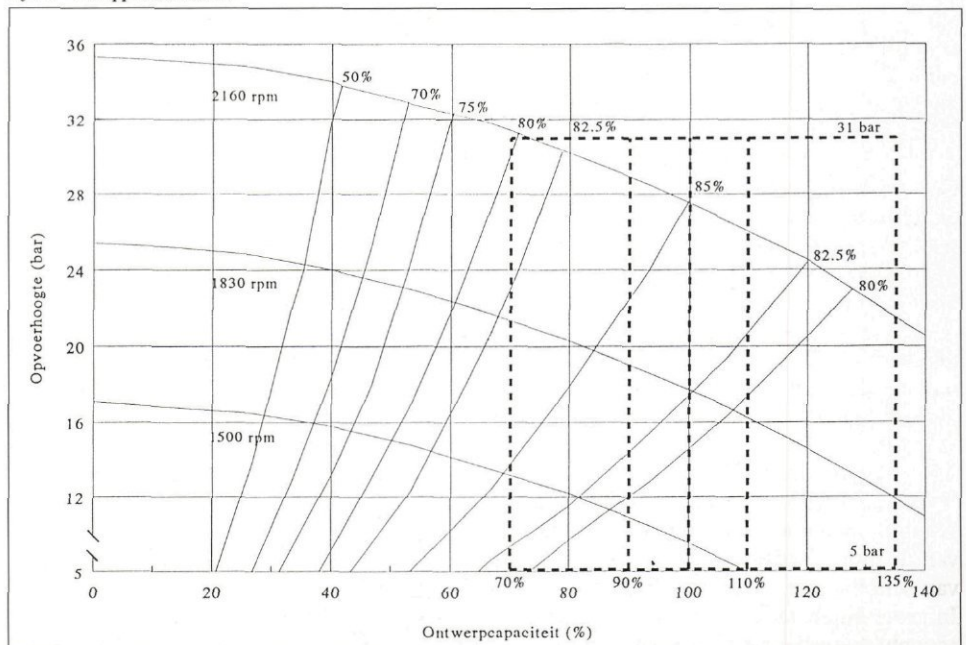
Om bovenstaande redenen is gekozen voor een centrale dosering van de chemicaliën bij het voorgestelde ontwerp.

#### 2.5.2 Chemicaliënopslag

De volgende chemicaliën worden gedoseerd in de HF-installatie:

- zoutzuur of zwavelzuur;

Afb. 3 - Pompprestatiecurve.



TABEL II - Zuur en Flocon 100 verbruiken.

Membraan type: Toray SU-720L	Voedingsdebiet (m <sup>3</sup> /h)	Capaciteit (m <sup>3</sup> /h)	Zuur dosering (m <sup>3</sup> /dag)	Zuur dosering (m <sup>3</sup> /maand)	Flocon 100 dosering (m <sup>3</sup> /maand)	Zuuropslag 14 dagen + 1 aanvoereenheid	Zuuropslag 7 dagen + 1 aanvoereenheid	Flocon 100 opslag 14 dagen + 1 aanvoereenheid	Flocon 100 opslag 7 dagen + 1 aanvoereenheid
CASE I* Geen inhibitor 36% HCl-dosering 80% recovery/LSI = 0	2500 (max)	2025 (max)	9,5	285	geen	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
	1875 (gem)	1500 (gem)	7,1	213	geen	200	100	geen	geen
	1313 (min)	1050 (min)	5	150	geen				
CASE II-a* Flocon 100, 2 mg/l 96% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -dosering 90% recovery/LSI = 2	2250 (max)	2025 (max)	0,7	22	2,7				
	1667 (gem)	1500 (gem)	0,6	18	2,0	18	9	1,9	0,9
	1167 (gem)	1050 (min)	0,5	12	1,4				
CASE II-b* Flocon 100, 1,5 mg/l 36% HCl-dosering 90% recovery/LSI = 2	2250 (max)	2025 (max)	2,4	73	2,0				
	1667 (gem)	1500 (gem)	1,8	54	1,5	52	26	1,4	0,7
	1167 (gem)	1050 (min)	1,2	38	1,0				

\* Temperatuur = 25°C in alle gevallen!

TABEL III - Volumebepaling chemicaliënopslagtanks.

Aantal chemische opslagtanks	Voedings- debiet (m <sup>3</sup> /h)	Opslagtanks voor zuur 14 dagen + 1 aanvoereenheid	Opslagtanks voor zuur 7 dagen + 1 aanvoereenheid	Opslagtanks voor Flocon 100 14 dagen + 1 aanvoereenheid	Opslagtanks voor Flocon 100 7 dagen + 1 aanvoereenheid
CASE I Geen inhibitor 36% HCl-dosering, 80% recovery	1875 (gem)	3 x 70 m <sup>3</sup>	3 x 35 m <sup>3</sup>	geen	geen
CASE II-a Flocon 100 96% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -dosering, 90% recovery	1667 (gem)	2 x 10 m <sup>3</sup>	2 x 5 m <sup>3</sup>	2 x 2 m <sup>3</sup>	2 x 1 m <sup>3</sup>
CASE II-b Flocon 100 36% HCl-dosering, 90% recovery	1667 (gem)	2 x 30 m <sup>3</sup>	2 x 15 m <sup>3</sup>	2 x 1,5 m <sup>3</sup>	2 x 1 m <sup>3</sup>

- antiscalent (indien wordt gewerkt met een recovery &lt; 85%);

- natriumbisulfit (NaHSO<sub>3</sub>) ter conservering.

Voor de verschillende condities zoals opgegeven in de opdrachtdefinitie zijn de hoeveelheden berekend en samengevat in tabel II. Voor de capaciteitsbepaling van de opslagtanks wordt uitgegaan van de meest ongunstige situatie dit wil zeggen 80% recovery en geen inhibitor dosering. Gebaseerd op de berekende hoeveelheden en de operationele eis dat een werkvoorraad van twee weken noodzakelijk is en met de aanname dat een trucklading onderweg is, wordt de grootte van de opslagtanks zoals samengevat in tabel III. Om tanks te kunnen reinigen en/of repareren is gekozen voor minimaal twee tanks per chemicalie.

### 2.5.3 Schoonmaaktank

Voor de reiniging van de HF-units is een schoonmaaktank noodzakelijk. Het volume van de tank wordt bepaald door de wijze van schoonmaken van de HF-units. In grote lijnen zal de werkwijze worden aangehouden die op dit moment in de

pilotplant van het technologisch laboratorium wordt toegepast.

Voor de reiniging van een gehele HF-unit van 500 m<sup>3</sup>/uur is het noodzakelijk de banken 1 en/of 2+3 afzonderlijk te reinigen. Tabel IV geeft aan dat de ontwerpcapaciteit van de tank minimaal 21 m<sup>3</sup> moet bedragen voor de reiniging van de eerste bank. In totaal is dus circa 40 m<sup>3</sup> aan schoonmaaktankvolume noodzakelijk (spoelen bank 1 en bank 2 plus 3).

### 2.6 Concentraatvoer

De concentraatvoer via een leiding vanaf productiebedrijf Leiduin naar de Noordzee, is gebaseerd op de capaciteiten zoals gegeven en doorgerekend door Gemeentewaterleidingen Amsterdam. Hieruit blijkt dat een minimale transportdruk beschikbaar moet zijn van 3 bar bij een watertemperatuur van 2°C. De aanwezige concentraatdruk zal hiervoor worden gebruikt.

TABEL IV - Volumebepaling schoonmaaktanks.

Schoonmaaktank	642 elementen	336 elementen	306 elementen
Volume van de tank (m <sup>3</sup> )	38	21	20
	bank 1+2+3	bank 1	bank 2+3

## 3. Besturing van de HF-installatie

### 3.1 Meetinstrumenten HF-units

In afbeelding 4 zijn de noodzakelijke meetinstrumenten aangegeven die een goed beheersbare controle van de HF-units mogelijk maken. De controle door de meetinstrumenten berust op het beheersen van de ingangswaterkwaliteit, de hydraulische omstandigheden van de HF-unit en de wateruitgangskwaliteit (permeaat) van de HF-unit.

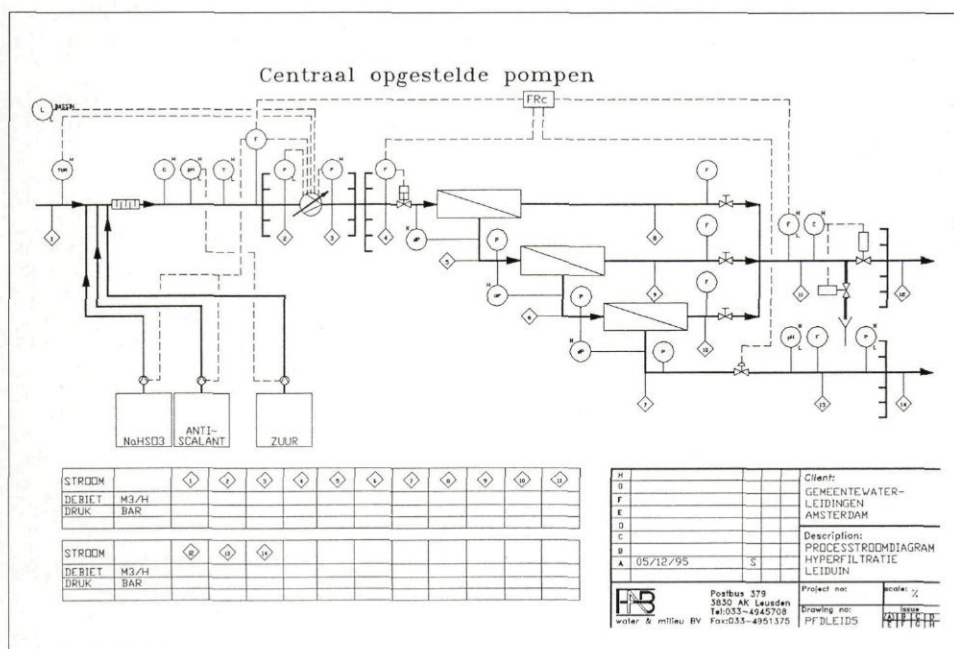
In principe betekent dit het registreren van de troebelheid, temperatuur, geleidbaarheid, pH, ingangsdruk, waterdebiet van het influent, de drukverschillen over de banken, het permeaatdebiet per bank, de totale permeaatflow, de geleidbaarheid van het permeaat, de pH van het concentraat, de druk van de concentraat en de verhouding van de permeaat- en de ruwwatertoevoerflow. Bovendien is nog een aantal instrumenten nodig ter beveiliging van de plant zoals minimumdruk van de ruwwatertoevoer en minimumdruk van de concentraatvoer. Verder zal een aantal van deze metingen worden gebruikt voor (voor)alarmering.

Ook zullen de doseerpompen worden aangestuurd en/of beveiligd door de voedingsflowmeter en de pH van de voeding.

### 3.2 Besturingsfilosofie

#### 3.2.1 Algemeen

Voorlopig is het idee om de besturing van de HF-installatie met de hulpstoffen te laten doen met PLC's. De regeling en besturing zullen worden gevisualiseerd via een 'supervisory control and data



Afb. 4 - Processtroom diagram Leiduin.

acquisition' systeem. Dit wil zeggen alle belangrijke data van de HF-units en van de hulpinstallaties zullen worden weergegeven op PC schermen. Wijzigingen van setpoints en handmatig sluiten van afsluiters kan van hieruit worden geregeld.

### 3.2.2 Regeling HF-units

De besturing van een RO installatie onder de te verwachten procesomstandigheden is aangegeven in afbeelding 4.

In principe geschiedt de regeling van een HF-unit op basis van de regeling van de voedingsflow en van de recovery.

De verhouding van de debieten van het permeaat en de voeding is de zogenaamde recovery van de HF-unit. De maximaal bereikbare recovery is afhankelijk van en wordt bepaald door de chemische samenstelling van het ruwe water, de dosering van neerslagbeheersende inhibitoren en de dosering van zuur ter voorkoming van hardheidneerslagvorming.

De regeling van de HF-unit geschiedt met een master-slave regeling; dit wil zeggen dat de voedingsflow wordt geregeld en ingesteld op een vaste waarde en dat aan de hand van het gekozen en ingegeven recovery setpoint de concentraatflow door een verhoudingsregelaar wordt berekend en via de PLC geregeld.

Bij de gekozen ontwerpconfiguratie wordt de voedingsflow per HF-unit bepaald door controle van een regelklep in de voedingsleiding van de HF-unit. De toerenregeling van de centraal opgestelde pompen wordt bepaald op basis van de afnamevraag en geregeld op niveau.

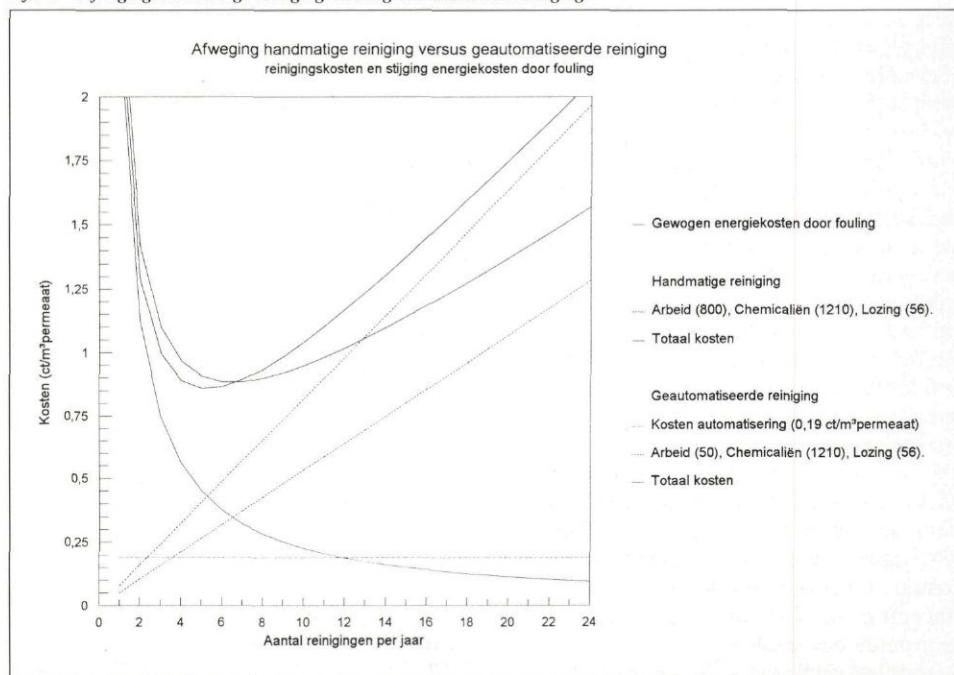
De regeling via de voedingsklep zal nauwelijks leiden tot een verhoogd

energieverbruik als men accepteert dat een HF-unit na schoonmaken tijdelijk een hogere permeaatflow levert. Belangrijk bij deze regeling wordt het criterium waarbij de membranen worden gespoeld. Hoe geringer het verschil met de genormaliseerde druk hoe minder druk hoeft te worden weggesmoord door de regelklep of er treedt in het geheel geen smoring op als men de unit meer laat produceren.

### 3.2.3 Regeling van het schoonmaken van de membranen van de HF-units

Het schoonmaken van de membranen van

Afb. 5 - Afweging handmatige reiniging versus geautomatiseerde reiniging.



de HF-units in geval van een of andere vorm van vervuiling zal gebeuren met chemicaliën. De schoonmaakchemicaliën zullen worden aangemaakt in de schoonmaaktank. Dit wordt handmatig geïnitieerd door de operator. De procesafhandeling wordt geregeld middels de PLC (niveaus, hoeveelheden, recirculatie debiet etc.). Zodra de voorbereidingen zijn voltooid start de operator de schoonmaakprocedure. Deze verloopt automatisch via de PLC. Is de procedure voltooid dan wordt de HF-unit automatisch weer on-line gezet.

### 3.2.4 Overige regelingen

Alle overige noodzakelijke regelingen zoals persluchtvoorzieningen, concentraatvoer met eventuele waterslagvoorzieningen, niveauregelingen in tijdelijke opslagreservoirs voor de vervuilde reinigingsvloeistof, airconditioning, niveaubewakingen van voorraadtanks etc. zal met de PLC en het visualiseringssysteem worden geregeld en bewaakt.

## 4. Optimalisatie reinigingsfrequentie HF-units

Bij de bedrijfsvoering van een HF-unit zal door vervuiling de voedingsdruk stijgen om een constante permeaatproductie te kunnen handhaven. Na verloop van tijd zal de HF-unit moeten worden gereinigd. De stijgende voedingsdruk leidt tot een hoger energieverbruik en dus tot hogere bedrijfsvoeringskosten. Met het reinigen van een HF-unit zijn echter ook kosten gemoeid [5].

Op basis van de energie-, manuur- en chemicaliënkosten is afbeelding 5 opgesteld.

Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Bij handmatige reiniging leidt een looptijd van circa twee à drie maanden tot de geringste totale kosten (reinigingskosten + *gezwogen* toename energiekosten). In geval van geautomatiseerde reiniging ligt het kostenminimum bij een looptijd van twee maanden.

2. Bij een looptijd korter dan twee maanden is een geautomatiseerde reiniging te prefereren. In de praktijk treden periodiek sterkere vervuilingen op en dus snellere stijgingen van energiekosten.

Op basis van bovenstaande wordt in het voorlopig ontwerp uitgegaan van een geautomatiseerde reiniging.

### 5. Bepaling van de optimale HF-unit-grootte en pomconfiguratie

De belangrijke componenten van investeringskosten van HF-units zijn geraamd om te bepalen wat de optimale HF-unit-grootte zou moeten zijn.

Voor de capaciteiten van een HF-unit van 200, 300, 400, 500, en 600 m<sup>3</sup>/u zijn ontwerpen gemaakt op basis van het gebruikte membraan in de pilotplants, nl. het TORAY SU-720L type.

Van de verschillende ontwerpen zijn de investeringskosten voor de benodigde pompen, membranen, drukvaten, racks, flowmeters, kleppen en benodigd vloeroppervlak geschat per unit. Verder is onderscheid gemaakt tussen een pomp-opstelling per straat en een centrale pompopstelling.

De investeringskosten van deze verschillende alternatieven staan vermeld in de tabellen V tot en met X. In tabel V, VI en VII zijn de investeringen vermeld met een vaste pomp per straat opgesteld en in tabel VIII, IX en X is uitgegaan van centraal opgestelde pompen bij verschillende zekerheidstellingen van HF-units.

Uit de tabellen kan worden geconcludeerd dat de investeringskosten binnen de nauwkeurigheid van de kostenbeschouwing (ca. 15% voor de beschouwde componenten) voor de verschillende unitgroottes niet duidelijk verschillen.

Op basis van een effectieve capaciteit gelijk aan de maximum uurcapaciteit ligt het optimum bij een capaciteit van 500 m<sup>3</sup>/uur (tabel VII en X); echter rekening houdend met de gekozen uitgangspunten voor de leveringszekerheid, verdient een kleinere unitgrootte van 300 m<sup>3</sup>/uur de voorkeur. Centraal opgestelde pompen leiden bij grote capaciteiten per straat tot hogere kosten. Naarmate de reservehoeveelheid afneemt neemt het voordeel van centraal opgestelde pompen toe. Bovendien is duidelijk dat door het anders

TABEL V – *Voldoet wel/niet aan criterium > 1500 m<sup>3</sup>/u (n-1: wel; n-2: wel).*

Case (m <sup>3</sup> /h)	200	300	400	500	600
Aantal straten	10	7	6	5	5
Max. capaciteit (nom. m <sup>3</sup> /h x 135%)	2700	2835	3240	3375	4050
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.365.000	1.368.000	1.601.000	1.659.000	1.970.000
Racks	1.031.000	1.083.000	1.237.000	1.289.000	1.418.000
Kleppen	470.000	392.000	402.000	460.000	460.000
Flowmeters	590.000	466.000	438.000	438.000	438.000
Vloeroppervlak m <sup>2</sup> *NLG/m <sup>2</sup>	1.248.000	1.238.000	1.373.000	1.404.000	1.976.000
Pompen per straat	2.695.000	2.400.000	2.555.000	2.700.000	3.990.000
Subtotaal	7.399.000	6.947.000	7.606.000	7.950.000	10.252.000
Membranen	4.176.000	4.186.000	4.898.000	5.078.000	6.027.000
<i>Totaal</i>	<i>11.575.000</i>	<i>11.133.000</i>	<i>12.504.000</i>	<i>13.028.000</i>	<i>16.279.000</i>
Vloeroppervlak/straat in m <sup>2</sup>	192	272	352	432	608
Kosten gebouw in NLG/m <sup>2</sup>	650				
Pompprijs (ongemont.) NLG	245.000	300.000	365.000	450.000	665.000
					(2 pompen)

TABEL VI – *Voldoet wel/niet aan criterium > 1500 m<sup>3</sup>/u (n-1: wel; n-2: niet).*

Case (m <sup>3</sup> /h)	200	300	400	500	600
Aantal straten	9	6	5	4	4
Max. capaciteit (nom. m <sup>3</sup> /h x 135%)	2430	2430	2700	2700	3240
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.228.000	1.172.000	1.334.000	1.328.000	1.576.000
Racks	928.000	928.000	1.031.000	1.031.000	1.134.000
Kleppen	423.000	336.000	335.000	368.000	368.000
Flowmeters	531.000	399.000	365.000	350.000	350.000
Vloeroppervlak m <sup>2</sup> *NLG/m <sup>2</sup>	1.123.000	1.061.000	1.144.000	1.123.000	1.581.000
Pompen per straat	2.450.000	2.100.000	2.190.000	2.250.000	3.325.000
Subtotaal	6.683.000	5.996.000	6.399.000	6.450.000	8.334.000
Membranen	3.759.000	3.588.000	4.082.000	4.063.000	4.822.000
<i>Totaal</i>	<i>10.442.000</i>	<i>9.584.000</i>	<i>10.481.000</i>	<i>10.513.000</i>	<i>13.156.000</i>

TABEL VII – *Voldoet wel/niet aan criterium > 1500 m<sup>3</sup>/u (n-1: niet; n-2: niet).*

Case (m <sup>3</sup> /h)	200	300	400	500	600
Aantal straten	8	5	4	3	3
Max. capaciteit (nom. m <sup>3</sup> /h x 135%)	2160	2025	2160	2025	2430
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.092.000	977.000	1.067.000	996.000	1.182.000
Racks	825.000	773.000	825.000	773.000	851.000
Kleppen	376.000	280.000	268.000	276.000	276.000
Flowmeters	472.000	333.000	292.000	263.000	263.000
Vloeroppervlak m <sup>2</sup> *NLG/m <sup>2</sup>	998.000	884.000	915.000	842.000	1.186.000
Pompen per straat	2.205.000	1.800.000	1.825.000	1.800.000	2.660.000
Subtotaal	5.968.000	5.047.000	5.192.000	4.950.000	6.418.000
Membranen	3.341.000	2.990.000	3.265.000	3.047.000	3.616.000
<i>Totaal</i>	<i>9.309.000</i>	<i>8.037.000</i>	<i>8.457.000</i>	<i>7.997.000</i>	<i>10.034.000</i>

TABEL VIII – *Voldoet wel/niet aan criterium > 1500 m<sup>3</sup>/u (n-1: wel; n-2: wel).*

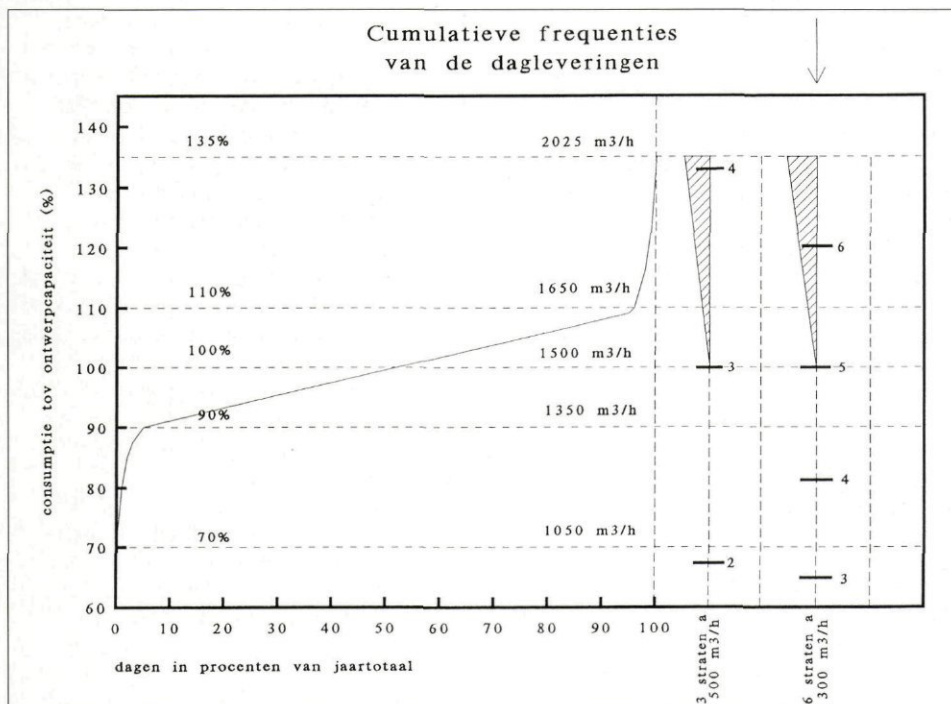
Case (m <sup>3</sup> /h)	200	300	400	500	600
Aantal straten	10	7	6	5	5
Max. capaciteit (nom. m <sup>3</sup> /h x 135%)	2700	2835	3240	3375	4050
Aantal pompen	5	5	6	6	7
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.365.000	1.368.000	1.601.000	1.659.000	1.970.000
Racks	1.031.000	1.083.000	1.237.000	1.289.000	1.418.000
Kleppen	470.000	392.000	402.000	460.000	460.000
Flowmeters	590.000	466.000	438.000	438.000	438.000
Vloeroppervlak m <sup>2</sup> *NLG/m <sup>2</sup>	1.248.000	1.238.000	1.373.000	1.404.000	1.976.000
Pompen centraal opgesteld	2.250.000	2.250.000	2.700.000	2.700.000	3.150.000
Subtotaal	6.954.000	6.797.000	7.751.000	7.950.000	9.412.000
Membranen	4.176.000	4.186.000	4.898.000	5.078.000	6.027.000
<i>Totaal</i>	<i>11.130.000</i>	<i>10.983.000</i>	<i>12.649.000</i>	<i>13.028.000</i>	<i>15.439.000</i>
Vloeroppervlak/straat in m <sup>2</sup>	192	272	352	432	608
Kosten gebouw in NLG/m <sup>2</sup>	650				
Pompprijs (ongemont.) NLG	450.000				
					(POMPCAP. 715 m <sup>3</sup> /u, 28 bar)

TABEL IX - Voldoet wel/niet aan criterium  $> 1500 \text{ m}^3/\text{u}$  (n-1: wel; n-2: niet).

Case ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	200	300	400	500	600
Aantal straten	9	6	5	4	4
Max. capaciteit (nom. $\text{m}^3/\text{h} \times 135\%$ )	2430	2430	2700	2700	3240
Aantal pompen	5	5	5	5	6
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.228.000	1.172.000	1.334.000	1.328.000	1.576.000
Racks	928.000	928.000	1.031.000	1.031.000	1.134.000
Kleppen	423.000	336.000	335.000	368.000	368.000
Flowmeters	531.000	399.000	365.000	350.000	350.000
Vloeroppervlak $\text{m}^2 \cdot \text{NLG}/\text{m}^2$	1.123.000	1.061.000	1.144.000	1.123.000	1.581.000
Pompen centraal opgesteld	2.250.000	2.250.000	2.250.000	2.250.000	2.700.000
Subtotaal	6.483.000	6.146.000	6.459.000	6.450.000	7.709.000
Membranen	3.759.000	3.588.000	4.082.000	4.063.000	4.822.000
Totaal	10.242.000	9.734.000	10.541.000	10.513.000	12.531.000

TABEL X - Voldoet wel/niet aan criterium  $> 1500 \text{ m}^3/\text{u}$  (n-1: niet; n-2: niet).

Case ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	200	300	400	500	600
Aantal straten	8	5	4	3	3
Max. capaciteit (nom. $\text{m}^3/\text{h} \times 135\%$ )	2160	2025	2160	2025	2430
Aantal pompen	4	4	4	4	5
Investeringskosten (NLG)					
Drukbuizen	1.092.000	977.000	1.067.000	996.000	1.182.000
Racks	825.000	773.000	825.000	773.000	851.000
Kleppen	376.000	280.000	268.000	276.000	276.000
Flowmeters	472.000	333.000	292.000	263.000	263.000
Vloeroppervlak $\text{m}^2 \cdot \text{NLG}/\text{m}^2$	998.000	884.000	915.000	842.000	1.186.000
Pompen centraal opgesteld	1.800.000	1.800.000	1.800.000	1.800.000	2.250.000
Subtotaal	5.563.000	5.047.000	5.167.000	4.950.000	6.008.000
Membranen	3.341.000	2.990.000	3.265.000	3.047.000	3.616.000
Totaal	8.904.000	8.037.000	8.432.000	7.997.000	9.624.000



Afb. 6 - Cumulatieve frequenties van de dagleveringen.

omgaan met de zekerheidstelling belangrijke besparingen kunnen worden bereikt. Spelen we met de bedrijfsvoering hierop in dan moet een geringere zekerheidstelling van 1 unit uit bedrijf (voor onderhoud en/of een unit in spoeling) voldoende kunnen zijn.

In afbeelding 6 is grafisch de frequentieverdeling van het afnamepatroon uitgezet en is grafisch het aantal lijnen uitgezet behorende bij een bepaalde capaciteit per lijn. Gelet op de grotere flexibiliteit, de hogere energie-efficiency en de mogelijke opstel-

ling van centraal opgestelde pompen in een aparte ruimte waardoor gemakkelijker aan geluidsnormen kan worden voldaan is gekozen voor centraal opgestelde pompen. De unitgrootte voor het voorlopig ontwerp wordt mede op basis van flexibiliteit, reservestelling en kosten bepaald op  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## 6. Evaluatie

Uitgangspunt voor het verdere ontwerp is zes units van  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$ , voorzien van centraal opgestelde pompen. Gebruik zal worden gemaakt van ultra lage-drukmembranen. Om een recoverybereik mogelijk te maken van 80-90% wordt vooralsnog uitgegaan van een drie-bankensysteem. Als uit het lopende onderzoek blijkt, dat de maximale recovery beperkt blijft tot 84% als geen antiscalent wordt gebruikt, wordt de toepassing van een twee-bankensysteem aantrekkelijk.

## Literatuur

- Hoek, J. P. van der, Bonn , P. A. C., Spijkerman, E. en Rossum, W. J. M. van (1996). *Verwijdering van bromaat door hyperfiltratie membranen*. *H<sub>2</sub>O* (29) 1996, nr. 1, p. 24-26.
- Olsthoorn, T. N. (1994). *Praktijktest diepinfiltratie bij Gemeentewaterleidingen*. *H<sub>2</sub>O* (27) 1994, nr. 9, p. 255-258.
- Hoek, J. P. van der, Bonn , P. A. C., Soest, E. A. M. van and Graveland, A. (1995). *Application of hyperfiltration at the Amsterdam Waterworks: effect of pretreatment on operation and performance*. Proceedings of the American Water Works Association Membrane Technology Conference, August 13-16, 1995, Reno, Nevada, pp. 277-294.
- Hoek, J. P. van der, Bonn , P. A. C., Soest, E. A. M. van and Graveland, A. (1995). *Fouling control of hyperfiltration membranes*. Proceedings of the IWSA-Workshop 'Membranes in Drinking Water Production', March 27-29, 1995, Paris, France, pp. 107-111.
- Hoek, J. P. van der, Berkmortel, H. A. van den en Bonn , P. A. C. (1996). *Optimalisatie reinigingsfrequentie hyperfiltratie-units*. Rapport Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Vogelenzang, januari 1996.

## Cursus 'Drinkwaterbereiding en afvalwaterbehandeling met membranen'

Op 29 en 30 september 1997 wordt een cursus 'Drinkwaterbereiding en afvalwaterbehandeling met membranen' gehouden, bij de Universiteit van Bath in Engeland. In deze cursus wordt ingegaan op het gebruik van membranen voor de drinkwaterproductie en het verwerken van afvalwater. De lezingen worden verzorgd door mensen die veel ervaring hebben met het op industri le schaal gebruiken van membranen. Nadere inlichtingen: G. H. Koops, Universiteit Twente, telefoon 053-489 29 50, fax 053-489 46 11, e-mail: g.h.koops@ct.utwente.nl.