

Bedrijfsvoeringsproeven UF Productiestation Jan Lagrand Winterperiode 2002/2003

aan	PT
ter kennisneming aan	archief, Jos Dekker (PTPH), Cees Poel (PTPH), Jack Zwart (PTPH), Harry Buyten (PT), Peer Kamp (OI), Joop Kruithof (OIS)
van	OIP
samenstellers(s)	G. Galjaard, H. Scheerman
opdrachtgever	Jos Dekker, PT (regio Midden/Zuid)
classificatienummer	
datum	10-07-2003
registratienummer	2003007321

SAMENVATTING

De ultrafiltratiestap in de zuivering van Heemskerk (PS Jan Lagrand) ondervindt sinds het opstarten in juni 1999 bedrijfsvoeringsproblemen in de winterperiode. Deze problemen uiten zich in een gestage toename van de trans membraandruk (TMP) over alle acht UF-blokken. De TMP liep gedurende de winterperiode op tot de maximaal toelaatbare TMP. Door deze verhoogde weerstand vielen bovendien de terugspoelpompen regelmatig uit door een te hoge persdruk. Bovenstaande resulteerde in frequente intensieve curatieve reinigingen waardoor de bedrijfsvoering in de winter ging afwijken van de beoogde bedrijfsvoering. De effecten waren direct afhankelijk van de temperatuur en waren op te delen in een aantal mogelijke oorzaken, zijnde:

- een veranderde waterkwaliteit met een hogere vervuilingspotentie;
- invloed temperatuur op effectiviteit enhanced backwash;
- invloed temperatuur op permeabiliteit membraan;

Uit de resultaten van het onderliggende onderzoek blijkt dat de voedingwaterkwaliteit wel verandert in de winter maar dat de vervuilingspotentie voor membranen lager is ten opzichte van de zomer. Gebleken is dat de effectiviteit van de gedoseerde terugspoeling met NaOCl niet de oorzaak is van de instabiliteit van het filtratieproces. De oorzaak ligt in de hoogte van de benodigde druk bij de standaard belasting van het membraan en in de permeabiliteit van het membraan in de winter. Door de stijging van de viscositeit bij afnemende temperaturen neemt de actuele druk toe. Naast de hogere viscositeit is aangetoond dat het membraan bij koudere temperaturen een lager doorstroombaar oppervlak heeft. Vooralsnog wordt aangenomen dat dit circa 7 % bedraagt. In plaats van een flux door de membranen van 113 l/(h.m²) is hierdoor de schijnbare flux 121 l/(h.m²). Door de hogere benodigde actuele drukken en de schijnbaar hogere vuilast (aantal gefiltreerde liters per vierkante meter membraan oppervlak) nemen door de optredende (vervuilings)mechanismen de vervuilingssnelheden toe naarmate de temperatuur lager wordt. Deze vervuilingssnelheid wordt kritisch als de druk binnen een filtratiecyclus zover oploopt dat de spoelingen niet al het vuil meer kunnen verwijderen waardoor in de volgende filtratiecyclus het doorstroombaar oppervlak nog lager wordt. Gevolg is dat de schijnbare flux van de volgende filtratiecyclus hoger en het filtratieproces onstabiel wordt. Deze kritische vervuilingssnelheid is in de winterperiode vastgesteld op 18 kPa/h. Onder de normale bedrijfsvoeringscondities lijkt dit onvermijdbaar, bij temperaturen onder de 5 °C zijn de vervuilingssnelheden bij de standaard bedrijfsvoeringscondities hoger dan 20 kPa/h.

Anders geformuleerd kan gezegd worden dat de hydraulische belasting van 113 l/(h.m²) voor de permeabiliteit van de huidige membranen in de winter te hoog is. De oplossing zit dan ook vooralsnog enkel en alleen in het verlagen van deze hydraulische belasting bij temperaturen onder de 10 °C. Het verhogen van de permeabiliteit van de membranen is een andere optie die pas een rol zal gaan spelen bij een eventuele membraanvervanging. Opgemerkt dient te worden dat de hydraulische belasting van 113 l/(h.m²) niet de oorspronkelijke ontwerpbelasting is geweest. De oorspronkelijke 100 % ontwerpbelasting was 87 l/(h.m²) en de 110 % instelling 96 l/(h.m²). De belasting van 113 l/(h.m²) is tot stand gekomen door minder beschikbaar oppervlak per membraanmodule door een verandering van het binnenwerk rond de realisatie van het productiebedrijf. Daarnaast is in het ontwerp altijd al sprake geweest van het verlagen van de belasting bij koude voedingswatertemperaturen. Deze verlaging zou tegelijkertijd plaats moeten vinden met het verlagen van de capaciteit van de HF-blokken (viscositeitsinvloeden). Dit is echter in de praktijk in Heemskerk nooit uitgevoerd.

Voorstel aanpassing bedrijfsvoering n.a.v. het uitgevoerde onderzoek:

- Wanneer de temperatuur van het voedingswater < 10 °C is geworden, wordt de HF filtraat productie per HF blok ingesteld op 220 m³/h en voeding UF op 320 m³/h. Deze instelling wordt één keer per seizoen uitgevoerd. In geval de temperatuur weer even boven de 10 °C komt, blijft de instelling ongewijzigd.
- Bij een voedingswatertemperatuur hoger dan 10 °C wordt de HF filtraat productie per HF blok ingesteld op 255 m³/h en voeding UF op 380 m³/h.

De theoretische capaciteit van het productiebedrijf in een kalender jaar wordt daarmee maximaal:

- >10 °C: (255x8x24x185) : 9.057.600 m³
- <10 °C: (220x8x24x180) : 7.603.200 m³
- totaal : 16,5 miljoen m³ per jaar

Theoretisch gaat door deze nieuwe bedrijfsvoering de maximale capaciteit van het productiebedrijf 1 miljoen m³ per jaar omlaag. De kans is echter groot dat de daadwerkelijke productie hoger zal liggen dan het gemiddelde van de afgelopen drie jaren (circa 15 miljoen m³). Naast stilstand door vervuiling en reinigingen zullen eveneens minder rietjesbreuken optreden door lagere drukken.

Tevens dient de temperatuurnormalisatie aangepast te worden. Voorheen werd alleen gecorrigeerd voor de viscositeit van het water, nu dient ook de permeabiliteitsafname in de correctie te worden meegenomen. Hiervoor zijn nog wel uitvoerige experimenten nodig van X-flow.

Aandachtspunt is de permeabiliteit van het nieuwe type membranen van X-flow (blok 3). Deze membranen hebben een nog lagere permeabiliteit ten opzichte van de membranen in de overige blokken waardoor deze membranen uitermate ongeschikt zijn voor het behandelen van water onder de 5 °C. Door de altijd hoger liggende benodigde druk treedt bij deze membranen ook meer rietjesbreuk op (info X-flow). Bij eventuele membraanvervanging zal dus een ander type membraan noodzakelijk zijn. Dit is inmiddels al aangekaart bij X-flow en momenteel wordt een nieuwe prototype membraan in Andijk uitgetest met een hogere permeabiliteit (factor 2 hoger ten opzichte van de membranen in blokken 1, 2 en 4 t/m 8 en een factor 3 hoger ten opzichte van de membranen in blok 3). Er moet worden voorkomen dat het type membraan dat zich ook in blok 3 bevindt (de nieuwe membranen van X-flow) gewisseld wordt voor membranen in de overige blokken. Dit komt sporadisch voor bij het repareren van lekkende rietjes door X-flow waarbij modules met meer dan 10 lekkages wel eens worden vervangen voor volledig nieuwe membranen. Dit leidt namelijk direct tot capaciteitsverlies en tot onevenredige flowverdelingen in een blok en of drukvat.

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	4
2. ACHTERGROND.....	5
2.1 PROBLEEMSTELLING	5
2.2 EEN VERANDERENDE WATERKWALITEIT	6
2.3 EFFECTIVITEIT ENHANCED BACKWASH MET NaOCL	6
2.4 TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID PERMEABILITEIT MEMBRAAN.....	7
3. DOELSTELLING	8
4. OPZET	9
4.1 VERANDERENDE WATERKWALITEIT	9
4.2 EFFECTIVITEIT BEDRIJFSVOERING	9
4.2.1 <i>Referentie en vergelijking met winter 2001/2002 (UF-blokken 1+2).....</i>	<i>9</i>
4.2.2 <i>Preventief reinigen met warme NaOCl oplossing (UF-blokken 3+4).....</i>	<i>9</i>
4.2.3 <i>Verlagen brutoflux (UF-blokken 5+6).....</i>	<i>10</i>
4.2.4 <i>Verhogen frequentie enhanced backwash (UF-blokken 7+8).....</i>	<i>11</i>
4.2.5 <i>Overige bepalingen en gewenste data.....</i>	<i>11</i>
4.3 TEMPERATUUR AFHANKELIJK PERMEABILITEIT MEMBRAAN	11
5. RESULTATEN.....	12
5.1 TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID WATERSAMENSTELLING	12
5.2 EFFECTIVITEIT BEDRIJFSVOERING	14
5.2.1 <i>Referentie met vorig jaar (UF-blokken 1+2)</i>	<i>14</i>
5.2.2 <i>Preventief reinigen met warme NaOCl oplossing (UF-blokken 3 + 4).....</i>	<i>17</i>
5.2.3 <i>Verlagen brutoflux (UF-blokken 5+6).....</i>	<i>18</i>
5.2.4 <i>Verhogen frequentie enhanced backwash (UF-blokken 7+8).....</i>	<i>20</i>
5.2.5 <i>Temperatuursafhankelijkheid permeabiliteit membraan.....</i>	<i>25</i>
6. DISCUSSIE	27
6.1 ACHTERGRONDEN ULTRAFILTRATIE	27
6.2 BESCHRIJVING WINTERPROBLEMATIEK	30
7. CONCLUSIES.....	32
8. OVERIGE PUNTEN	33
8.1 ONDERZOEK VERVUILING UF	33
8.2 SPELING UF-MEMBRANEN IN DRUKVAT.....	34
8.3 INTENSIEVE REINIGINGEN MET DE REINIGINGSINSTALLATIE.....	34
9. AANBEVELINGEN	35
10. LITERATUUR	36
11. AANGEPAST BEDRIJFSVOERINGSPROTOCOL	37

1. INLEIDING

De ultrafiltratiestap in de zuivering van Heemskerk (PS Jan Lagrand) ondervindt sinds het opstarten in juni 1999 bedrijfsvoeringsproblemen in de winterperiode. Deze problemen uiten zich in een gestage toename van de trans membraan druk (TMP) over alle acht UF-blokken. De TMP loopt gedurende de winterperiode zover op dat deze in de buurt van de maximaal toelaatbare TMP komt. Door deze verhoogde weerstand vallen bovendien de terugspoelpompen regelmatig uit door een te hoge persdruk. Bovenstaande resulteert in frequente intensieve curatieve reinigingen waardoor de bedrijfsvoering in de winter gaat afwijken van de beoogde bedrijfsvoering.

De beoogde bedrijfsvoering is:

- een brutoflux van 113 l/(h.m²);
- een filtratiecyclus van 18 minuten;
- een enhanced backwash frequentie van 3 maal per etmaal met 150 ppm NaOCl (vrij chloor 100 ppm);
- een inweektijd van 10 minuten.

Deze bedrijfsvoering resulteert in een gemiddelde nettoflux van 96 l/(h.m²).

Opvallend is dat de genormaliseerde TMP-stijging (gecorrigeerd voor de invloed van de temperatuur op de viscositeit) volledig synchroon loopt met de temperatuurdaling. Als aan het einde van de winter de temperatuur weer stijgt, daalt de genormaliseerde TMP zonder uitvoering van intensieve reinigingen. De effecten lijken daardoor direct afhankelijk van de temperatuur en zijn onder te verdelen in een aantal mogelijke oorzaken, zijnde:

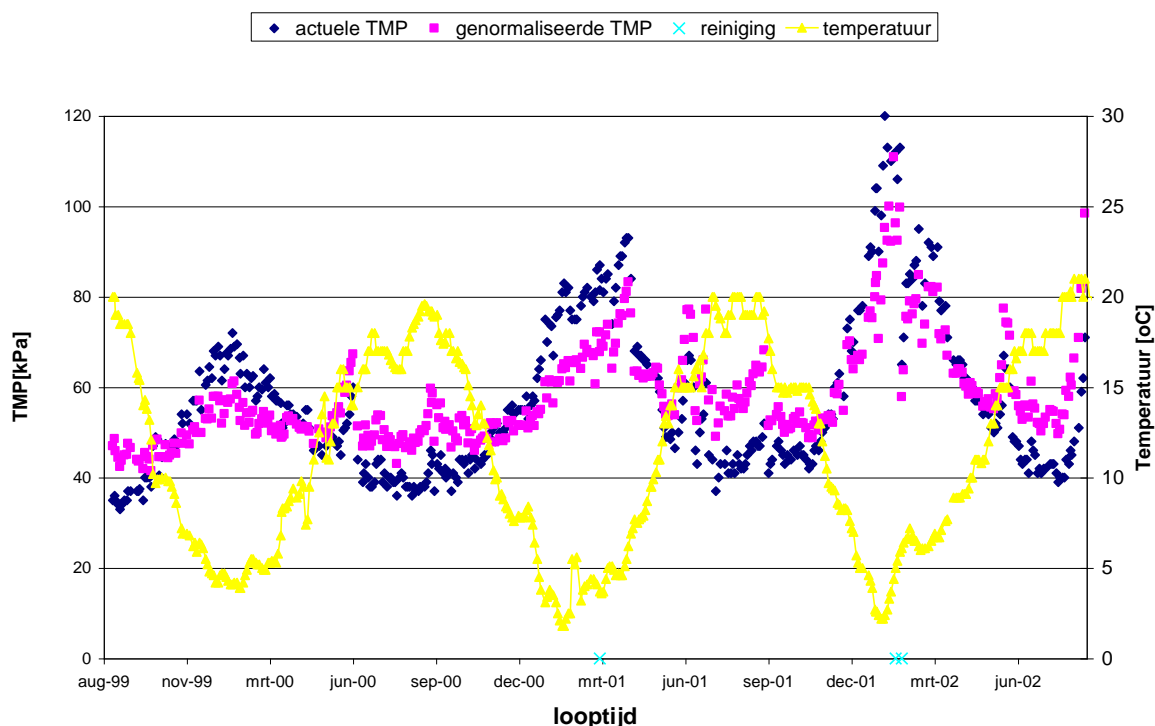
- invloed temperatuur op waterkwaliteit en de vervuilingspotentie;
- invloed temperatuur op effectiviteit enhanced backwash;
- invloed temperatuur op permeabiliteit membraan.

Binnen het project "begeleiding bedrijfsvoering Heemskerk" is nader onderzocht wat de feitelijke oorzaken zijn van de afnemende membraanprestaties in de winterperiode. Onderliggend rapportage beschrijft de resultaten van de uitgevoerde proeven om vervolgens voor de komende winters een protocol op te stellen voor een zo stabiel mogelijke bedrijfsvoering.

2. ACHTERGROND

2.1 PROBLEEMSTELLING

Tijdens de afname van de temperatuur van het IJsselmeerwater neemt de gemiddelde genormaliseerde drukval over de ultrafiltratiemembranen (TMP_{norm}) in Heemskerk gestaag toe. Wanneer de temperatuur onder de 10 °C komt, versnelt deze drukval en onder de 5 °C worden de actuele TMP's dermate kritisch dat de installaties in sommige gevallen afgeschakeld worden ter bescherming van de membranen. In dergelijke gevallen werd het betreffende blok curatief gereinigd met warme chloorbleekloogoplossingen (500 ppm, 35 °C). De TMP werd na een dergelijke reiniging hersteld maar nam zeer snel weer toe, waardoor binnen twee weken wederom de kritische waarde benaderd werd. In figuur 1 is de actuele en genormaliseerde TMP voor blok 1 weergegeven vanaf het opstarten.



Figuur 1 Actuele en genormaliseerde TMP in de looptijd, UF blok 1

In figuur 1 is te zien dat het temperatuureffect zich vanaf het opstarten voordeed en dat het effect elke winter ernstiger werd waardoor de kritische waarde van 100 kPa (voor dit blok voor het eerst in de winter 2001/2002) bereikt werd. Ook is zichtbaar dat de reinigingen, uitgevoerd in de winter van 2001/2002, de TMP verlaagden tot circa 60 kPa, maar dat de drukval snel weer opliep. Opvallend is ook dat naarmate de temperatuur weer toenam de drukval over de membranen weer langzaam afnam. De permeabiliteitsafname is dus niet blijvend.

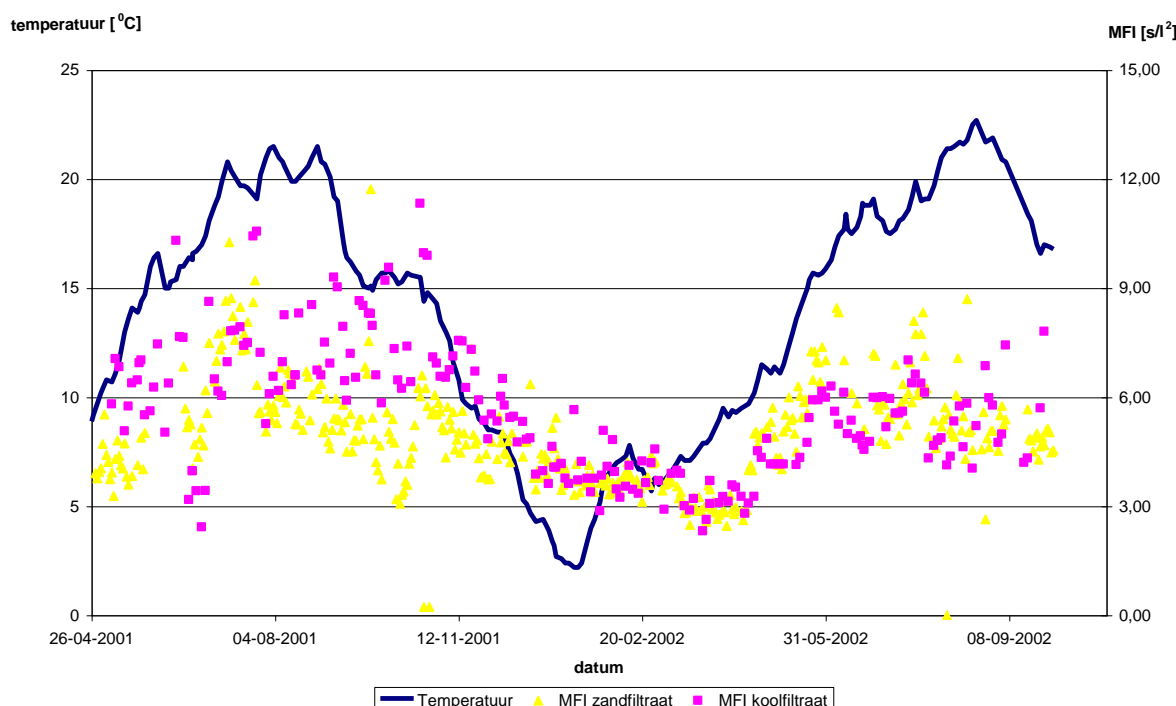
Deze onstabiele bedrijfsvoering is ongewenst omdat het de leveringszekerheid van het productiebedrijf beïnvloedt/bedreigt en tot een te intensieve procesvoering leidt. De mogelijke oorzaken van de TMP stijging betreffen vooralsnog:

- een veranderende temperatuursafhankelijke waterkwaliteit;
- een lager rendement van de periodieke terugspoelingen met chloor (EBW);
- een temperatuursafhankelijke membraanpermeabiliteit.

2.2 EEN VERANDERENDE WATERKWALITEIT

Het is niet uitgesloten dat door een daling van de watertemperatuur van het IJsselmeer de waterkwaliteit verandert en mogelijk tot een hogere vervuilingspotentie van membranen kan leiden. Door afsterving van organisch materiaal in het IJsselmeer, het spaarbekken, in de zuivering van WRK III of de transportleiding naar Heemskerk (algen, bacteriën, brakwaterpoliepen, biofilm e.d.) zou tijdelijk een hogere organische belasting kunnen worden aangevoerd. Daarnaast verandert mogelijk de coagulatiekinetiek bij WRK III waardoor deeltjes van een andere chemische en fysische aard zouden kunnen worden aangevoerd.

Dit werd echter niet aangetoond met behulp van de uitgevoerde MFI-metingen af WRK III (MFI = vervuilingspotentie index voor membranen). In figuur 2 is een overzicht weergegeven van de temperatuurvariaties over 2001-2002 en de bijbehorende MFI-waarden na koolfiltratie.



Figuur 2 Verloop temperatuur en MFI van voedingswater ultrafiltratie

Opvallend is dat de MFI-waarden van het zand- en het koolfiltraat in de winterperiode het laagst waren. In dezelfde periode namen de drukken over de 8-blokken sterk toe. Als de vervuilingspotentie van het water in de winter hoger is dan in de zomer is dit niet meetbaar in de MFI af WRK III. De vervuilingspotentie kan wellicht nog toenemen in de transportleiding naar Heemskerk. In Heemskerk bij binnenkomst zijn onvoldoende MFI metingen uitgevoerd in de betreffende winterperiode. Een andere mogelijkheid is dat de vervuilingspotentie niet aan de MFI-waarde gerelateerd is, maar samenhangt met het gehalte opgeloste organische stoffen.

2.3 EFFECTIVITEIT ENHANCED BACKWASH MET NAOCL

Door de dalende temperatuur van het voedingswater daalt ook de temperatuur van het permeaat van de ultrafiltratiemembranen. Deze daling kan invloed hebben op de effectiviteit van de uitgevoerde automatische reinigingen door:

- een vrij chloorgehalte lager dan 100 ppm bij dosering van 150 ppm NaOCl tijdens een enhanced backwash;
- een lagere oxidatiesnelheid.

In januari 2001 zijn een aantal experimenten uitgevoerd met de blokken 1, 5 en 8. Hierbij zijn verschillende intensieve reinigingen uitgevoerd. Uit deze experimenten kan geconcludeerd worden dat het verwarmen van de chloorbleekloogoplossing naar 35 °C de effectiviteit van de reiniging sterk verbetert. Deze reiniging is echter arbeidsintensief, heeft een grote invloed op de netto-opbrengst (reiniging duurt circa 3 uur) en zal dus met een zo laag mogelijke frequentie dienen te worden uitgevoerd. Het verdient daarom de voorkeur om de bedrijfsvoering in de toekomst preventief aan te passen. Hiertoe zal inzicht moeten worden verkregen in de effectiviteit van zowel de terugspoelingen als de reinigingen gedurende de periode voordat de vervuiling plaatsvindt ten opzichte van de effectiviteit van de terugspoelingen en reinigingen in de winterperiode. Met andere woorden vindt de toename van de TMP plaats door een lagere effectiviteit van de standaard enhanced backwash met chloorbleekloog (effectiviteit reiniging) of komt dit door een hogere vuillast (effectiviteit terugspoeling)? In het laatste geval zou dus ook de bedrijfsvoering kunnen worden aangepast om de vuillast tussen twee spoelingen te verlagen.

2.4 TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID PERMEABILITEIT MEMBRAAN

De temperatuurafhankelijkheid van de permeabiliteit van het membraan wordt volgens de fabrikant van de membranen alleen beïnvloed door een verandering van de viscositeit. Bij een lager wordende watertemperatuur neemt de viscositeit van het water toe. De voedingswatertemperatuur voor de UF in Heemskerk daalt van midzomer naar midwinter ongeveer 20 graden, de invloed op de viscositeit van deze temperatuurwisseling is enorm. De viscositeit verdubbelt van circa 0,001 (bij 20 °C) naar 0,002 (bij 1 °C) kg/m.s. Deze viscositeitsverandering heeft een grote invloed op de benodigde TMP. Ongecorrigeerd zakt de permeabiliteit van het membraan door deze temperatuursverandering van circa 300 l/(h.m².bar) naar circa 170 l/(h.m².bar). Met andere woorden in de zomer filtreert het membraan bij 1 bar drukverschil circa 300 l/h.m² en in de winter slechts 170 l/h.m². Om toch de vervuiling van de membranen zichtbaar te maken worden de TMP's en de permeabiliteit genormaliseerd naar een temperatuur van 10 °C. De normalisatie is alleen gebaseerd op de verandering in de viscositeit. In de winter neemt echter ook de genormaliseerde permeabiliteit af wat duidt op vervuiling. De vraag is of bij hele lage temperaturen de vezels zelf ook niet krimpen waardoor de permeabiliteit extra zou kunnen afnemen. In een dergelijk geval verdient de normalisatie dus een aanpassing.

3. DOELSTELLING

Uiteindelijk doel is de bedrijfsvoering van de UF-blokken in Heemskerk in de winter te stabiliseren en stilstand en curatieve reinigingen zo veel mogelijk te voorkomen. Hiertoe dient de oorzaak van de druktoename in de winter achterhaald te worden om de bedrijfsvoering zo goed mogelijk hierop aan te passen.

Deze bedrijfsvoering zal worden omschreven in hoofdstuk 11.

4. OPZET

4.1 VERANDERENDE WATERKWALITEIT

Om te achterhalen of de waterkwaliteit midwinters anders is dan vóór de winterperiode zijn een aantal monsters genomen. Als de verandering in de waterkwaliteit de oorzaak is, ligt de verandering met name op het organische vlak of is afkomstig uit de transportleiding (bijvoorbeeld afsterving biofilm). Hiertoe zijn op drie locaties, te weten: af WRK III (koolfiltraat), binnenkomst proevenloods en binnenkomst Heemskerk (voeding UF) monsters genomen op 14 november 2002 (tijdens temperatuurdaling bij 10 °C) en vlak voor de koudste periode op 14 januari 2003 (temperatuur onder de 5 °C). Van de monsters zijn de volgende parameters bepaald:

- ATP totaal;
- ATP vrij (maat voor levende bacteriën);
- TDC (totale celtelling, levende en dode bacteriën);
- microscopisch onderzoek;
- DGCE (DNA fingerprint van de in het wateraanwezige dominante biomassa);
- koloniegetal;
- ICP MS (anorganische bestanddelen).

In het voorjaar van 2002 is tevens een onderzoek uitgevoerd naar de aard en de mate van vervuiling op de ultrafiltratiemembranen. Hoewel hier separaat over gerapporteerd zal worden, zullen de globale resultaten en conclusies in deze rapportage worden opgenomen.

4.2 EFFECTIVITEIT BEDRIJFSVOERING

Om de vervuilingssnelheid, de effectiviteit van een terugspoeling en de effectiviteit van de enhanced backwash als functie van de vuillast te bepalen is gekozen om voor de 8-blokken in paren van twee een verschillende bedrijfsvoering toe te passen. Daarnaast heeft op één drukvat van blok 4 een aanpassing plaatsgevonden om uit het drukvat monsters te kunnen nemen om het chloorverbruik tijdens een enhanced backwash (voor en na inweken) vast te stellen.

4.2.1 Referentie en vergelijking met winter 2001/2002 (UF-blokken 1+2)

Van de eerste twee blokken zijn de instellingen ongewijzigd gebleven. Zij fungeerden als referentie voor:

- vergelijking van de standaardbedrijfsvoering ten opzichte van de wijziging in bedrijfsvoering van de overige blokken;
- vergelijking van de membraanprestaties van de winter 2002/2003 ten opzichte van de vorige winter (2001/2002).

Ten opzichte van de vorige winterperiode is de chloordosering aangepast (ontluchtingsproblemen) waardoor mogelijk al een verbetering van de membraanprestaties plaats kon vinden. Blok 1 en 2 zouden bij een TMP boven de 100 kPa curatief moeten worden gereinigd met een warme chloorbleekloogoplossing.

4.2.2 Preventief reinigen met warme NaOCl oplossing (UF-blokken 3+4)

Om de invloed van preventieve reinigingen vast te leggen werden vanaf begin november 2002 twee blokken uit voorzorg maandelijks gereinigd met een warme chloorbleekloogoplossing (500 ppm) met een temperatuur van circa 35 °C. Met preventief wordt bedoeld dat deze reiniging altijd wordt uitgevoerd ongeacht de TMP. Reden voor deze preventieve reiniging was het vermoeden dat biofouling, voornamelijk de accumulatie van afgestorven organisch materiaal op het membraan, een grote oorzaak was van de winterproblematiek. Voordat een permeabiliteitsafname door biofouling optreedt, kan al een grote hoeveelheid organisch materiaal in de membraanmodules aanwezig zijn. Bij een aantoonbare permeabiliteitsafname (door biofouling) is de hoeveelheid organisch materiaal vaak

al te hoog om door middel van een enhanced backwash volledig in oplossing gebracht c.q. geoxideerd te worden en af te voeren.

Bij de uitvoering van de preventieve reinigingen is aanbevolen om voorafgaand aan de intensieve reiniging en tijdens het uitspoelen van de warme reinigungsoplossing de volgende parameters te bepalen om het effect van de preventieve reiniging vast te stellen (chloorverbruik):

- temperatuur;
- vrij chloor gehalte;
- zuurgraad;
- TOC/ DOC en AOC.

Hiermee kan worden vastgesteld of de uitvoering van de preventieve reiniging effect heeft en wanneer de reinigingen gestopt kunnen worden aan het einde van de winterperiode. In blok 4 is in het midden en aan beide uiteinden van één drukvat een aanboring gemaakt om een goede monsterneming mogelijk te maken. In eerste instantie is deze aanboring uitgeprobeerd in Andijk om vervolgens z.s.m. toe te passen in Heemskerk.

4.2.3 Verlagen brutoflux (UF-blokken 5+6)

Om meer inzicht te krijgen in de noodzaak van preventief reinigen en het "controleerbaar maken" van de optredende vervuiling is de brutoflux van twee blokken verlaagd ten opzichte van de standaard bedrijfsvoering. De invloed van de vuillast (l/m^2 membraanoppervlak per filtratiecyclus en per reinigungs-cyclus) kan niet onderzocht worden door de filtratietijd te verkorten. Daarom is de vuillast van twee blokken verlaagd door de brutoflux te verlagen (blok 5 + 6) en van twee anderen is de vuillast tussen twee enhanced backwashes verlaagd door de reinigungs-frequentie te verhogen (blok 7+ 8). Indien blijkt dat een lagere vuillast een beheersbaar proces leidt, kan in een later stadium bijvoorbeeld onderzocht worden wat de optimale filtratietijd is tussen twee spoelingen, bij welke brutobelasting en welke reinigungs-frequentie bij een zo hoog mogelijke netto opbrengst onder een stabiele bedrijfsvoering.

Standaard bedrijfsvoering: 18 minuten filtreren bij een brutoflux van $113 \text{ l/(h.m}^2\text{)}$. Totale vuillast per filtratiecyclus is dan:

$$(18/60) \times 113 = 33,9 \text{ l/m}^2 \text{ membraanoppervlak.}$$

De enhanced backwashes vinden om de 8 uur plaats en worden uitgevoerd na de eerstvolgende terugspoeling. Een filtratiecyclus duurt 18 minuten en wordt gevolgd door een terugspoeling van 25 seconden, sluitings- en openingstijden kleppen inclusief optoeren pompen circa 3 seconden. Aantal filtratiecycli tussen twee reinigingen zijn dan:

$$(480 \times 60) / ((18 \times 60) + 25 + 3) = 26.$$

Totale vuillast tussen twee reinigingen is dan:

$$26 \times 33,9 = 881,4 \text{ l/m}^2 \text{ membraanoppervlak.}$$

Om een idee te krijgen over de invloed van de vuillast is in eerste instantie de vuillast tijdens een filtratiecyclus voor blok 5 en 6 met 20 % verlaagd naar $27,0 \text{ l/m}^2$. Brutoflux bij een filtratietijd van 18 minuten wordt dan:

$$(27/18) \times 60 = 90 \text{ l/(h.m}^2\text{)}.$$

De setpointwaarde van de voedingspomp is hiervoor verlaagd van $380 \text{ m}^3/\text{h}$ naar $300 \text{ m}^3/\text{h}$. De nettoproductie per blok daalde hierdoor van gemiddeld 323 naar $257 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit betekende een nettoverlies t.o.v. de beoogde bedrijfsvoering van $66 \text{ m}^3/\text{h}$.

Indien de actuele TMP ook onder deze instellingen boven de 100 kPa uit zou komen zou eveneens een curatieve reiniging plaatsvinden met warme chloorbleekloog.

4.2.4 Verhogen frequentie enhanced backwash (UF-blokken 7+8)

De totale vuillast tussen twee enhanced backwashes van blokken 5 en 6 (verlaagde bruto flux), bij een brutoflux van 90 l/(h.m²) was:

$26 \times 27 = 702 \text{ l/m}^2$. Voor blokken 7 + 8 werd de brutoflux van 113 l/(h.m²) gehandhaafd bij dezelfde totale vuillast tussen twee reinigingen als de blokken 5 + 6, dus 702 l/m². Dit om de invloed te bepalen van de spoelingen en de reinigingen op de membraanprestaties. Het aantal filtratiecycli werd daardoor:

$$702/33,9 = (20,7) = 21.$$

Tijdsinterval tussen twee reinigingen daarmee dus:

$$(((18 \times 60) + 25 + 3) \times 21) / 60 = 307,8 = 308 \text{ minuten}$$

De "overall" recovery van deze blokken daalde hierdoor van gemiddeld 85 % naar gemiddeld 83 % procent resulterend in een nettoproductie van circa 312 m³/h.

4.2.5 Overige bepalingen en gewenste data

Gedurende de gehele winterperiode zijn van elk blok de volgende gegevens verzameld:

- TMPn voor alle terugspoelingen;
- TMPn na alle terugspoelingen;
- TMPn voor een enhanced backwash;
- TMPn na de enhanced backwash.

Dit waren meer gegevens dan standaard wordt gebruikt. Naast deze gegevens zou regelmatig het vrij chloor gehalte moeten worden vastgesteld tijdens een enhanced backwash. Indien drukvaten open werden gemaakt om bijvoorbeeld lekkages te verhelpen zijn tevens capillairen van willekeurige elementen in willekeurige blokken visueel geïnspecteerd met een 0,5mm endoscoop.

De bedrijfsvoering werd tussentijds afhankelijk van de behaalde resultaten t.o.v. elkaar en t.o.v. de referentieblokken aangepast om een stabiel proces te handhaven.

4.3 TEMPERATUUR AFHANKELIJK PERMEABILITEIT MEMBRAAN

Om naast het effect van de viscositeit op de permeabiliteit tevens de temperatuursafhankelijkheid van de permeabiliteit veroorzaakt door membraankrimp vast te stellen zijn door X-flow permeabiliteitsproeven uitgevoerd met schoon water bij verschillende temperaturen.

5. RESULTATEN

5.1 TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID WATERSAMENSTELLING

Op 14 november 2002 (bij een watertemperatuur van 9 °C) en op 14 januari 2003 (bij een watertemperatuur van 1-2 °C) zijn watermonsters genomen op de volgende locaties: WRK III (na koolfiltratie), proevenloods Andijk (voeding UF installatie P) en op productiebedrijf Jan Lagrand (centrale voeding UF). De resultaten van de analyses zijn opgenomen in tabellen 1 en 2.

Tabel 1: analyses op 14 november 2002

parameter	eenheid	WRK (na AKF)	Andijk: UF (voeding)	Heemskerk: UF (voeding)
watertemperatuur	°C	8,5 ¹	9,5 ¹	nb
MFI	s/l ²	9,9	18 (11)	nb
ATP totaal	ng ATP/l	20,2	21,5	10,9
ATP vrij	ng ATP/l	3,0	9,7	3,3
TDC		$7 \cdot 10^5 \pm 1 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^5 \pm 1 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5 \pm 1 \cdot 10^5$
microscopie	cellen/ml	-	-	-
DGGE			zie figuur 3	
TOC	mg/l	2,2	2,1	2,0
KG R2A	kve/ml	?	?	?

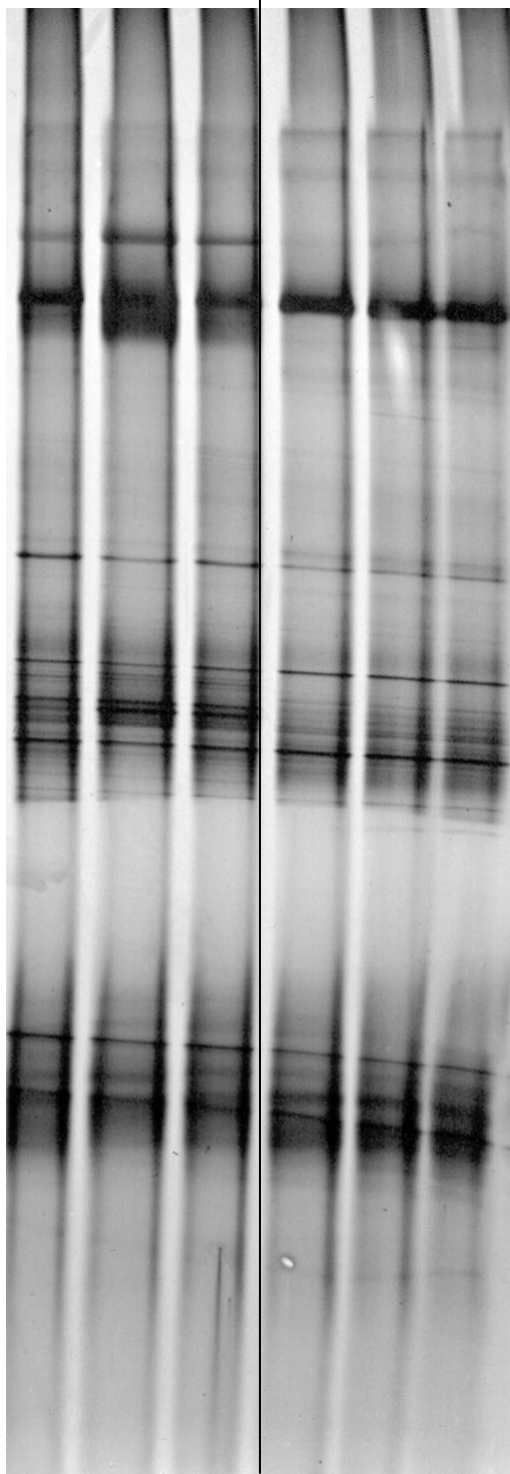
nb: niet bepaald

Tabel 2: analyses op 14 januari 2003

Parameter	eenheid	WRK (na AKF)	Andijk: UF (voeding)	Heemskerk: UF (voeding)
watertemperatuur	°C	1	2	1
MFI	s/l ²	?	?	?
ATP totaal	ng ATP/l	2,1	1,6	1,3
ATP vrij	ng ATP/l	-	-	-
TDC		$8,7 \cdot 10^4 \pm 1,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5 \pm 2,8 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4 \pm 1,2 \cdot 10^4$
microscopie	cellen/ml	-	-	-
DGGE			zie figuur 3	
TOC	mg/l	2,4	2,2	2,4
KG R2A	kve/ml	$3,2 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$

In de tabellen 1 en 2 is te zien dat tussen het water van de afzonderlijke locaties geen significante verschillen zijn waargenomen. Transport over circa 60 km tussen WRK III en productiebedrijf Jan Lagrand had op deze parameters nauwelijks invloed. Het vrij ATP-gehalte van het water (maat voor het aantal levende micro-organismen) is bij een lagere temperatuur significant lager evenals de directe celtelling (levende en dode cellen). Bij lagere temperaturen is dus zoals verwacht de biologische activiteit lager. Deze afname heeft echter niet geleid tot een aantoonbare afsterving van een biofilm laag met het vrijkomen van een groot aantal dode cellen (TDC) en een verhoogd organisch koolstofgehalte (TOC).

Ook in de DNA print van de DGGE-analyse (figuur 3) is geen verschil aangetroffen tussen de verschillende locaties (dominante cultuur is identiek) en er is nauwelijks verschil tussen de twee verschillende periodes.



MK/WRK/AND(2003) HMK/WRK/AND(2002)
14 januari 2003 14 november 2002

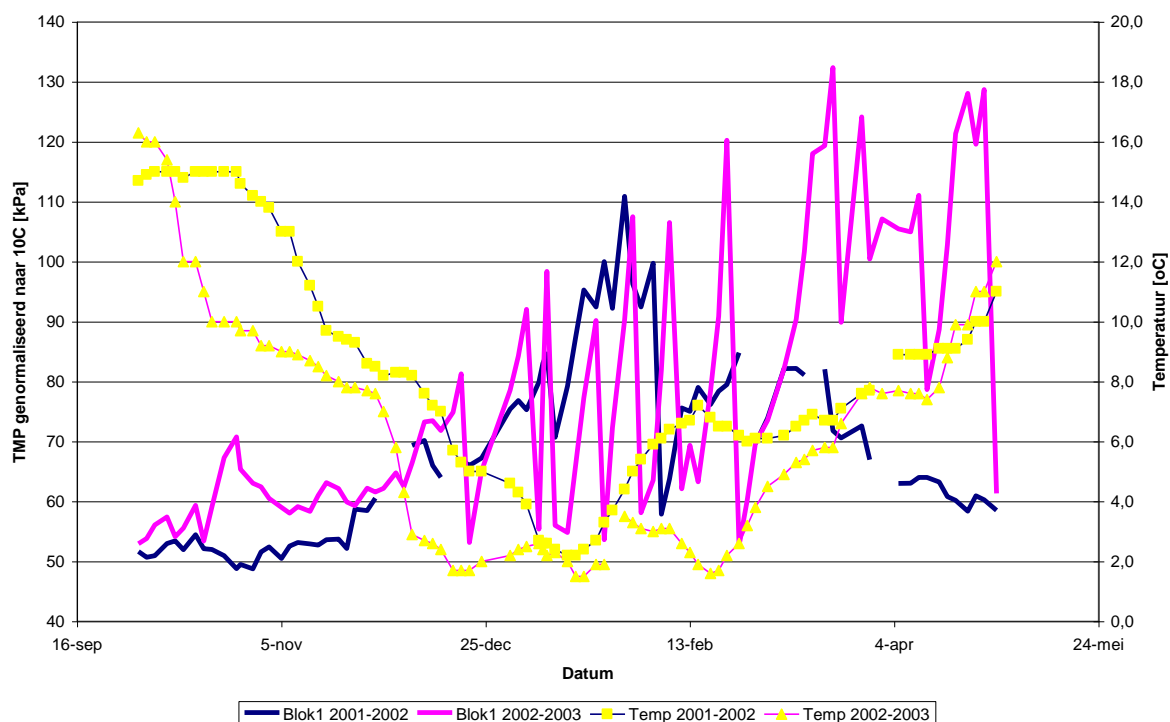
Figuur 3 DNA profiel DGGE analyses

Uit de verschillende analyses lijkt eerder een afvlakking en verlaging van de verschillende parameters tijdens transport dan een toename op te treden. In hoeverre hiervoor sedimentatie verantwoordelijk is, is op dit moment nog onduidelijk maar zeker voor de anorganische bestanddelen aannemelijk. Een tijdelijke toename door opwervelingen tijdens piekleveringen is hierbij niet uit te sluiten. Daarnaast blijkt dat bij lagere temperaturen de organische belasting afneemt en het afsterven van de biofilm niet tot een hogere organische belasting heeft geleid.

5.2 EFFECTIVITEIT BEDRIJFSVOERING

5.2.1 Referentie met vorig jaar (UF-blokken 1+2)

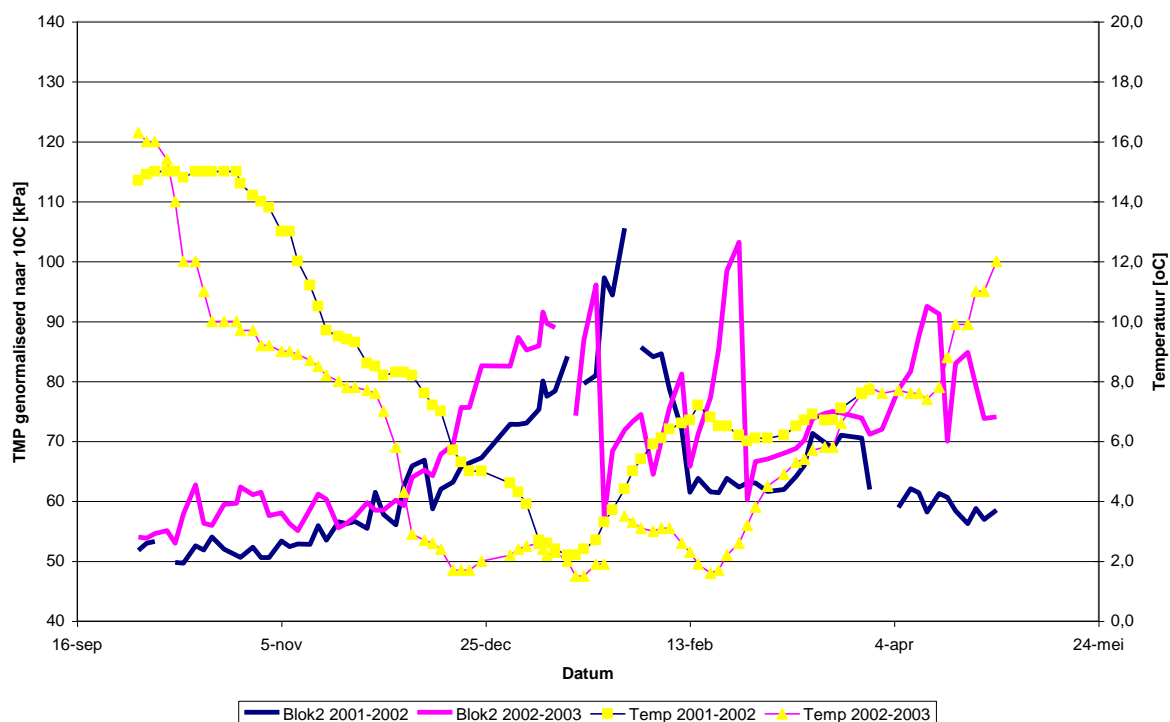
In figuur 4 en 5 is het verschil aangegeven in genormaliseerde drukval tussen winter 2001-2002 en winter 2002-2003 van de blokken 1 en 2. De afgelopen winterperiode (2002-2003) begon eerder dan de winter daarvoor. De kritische temperatuur van 10 °C werd in 2002 al eind oktober bereikt terwijl de winter daarvoor deze temperatuur pas op 22 november werd overschreden. Daarnaast duurde de vorstperiode in de winter van 2002/2003 langer waardoor de temperatuur van het voedingswater van de UF ruim 2 maanden onder de 5 °C verbleef ten opzichte van ongeveer één maand voor de winter 2001-2002.



Figuur 4 Vergelijking Blok1 winter 2001-2002 en winter 2002-2003

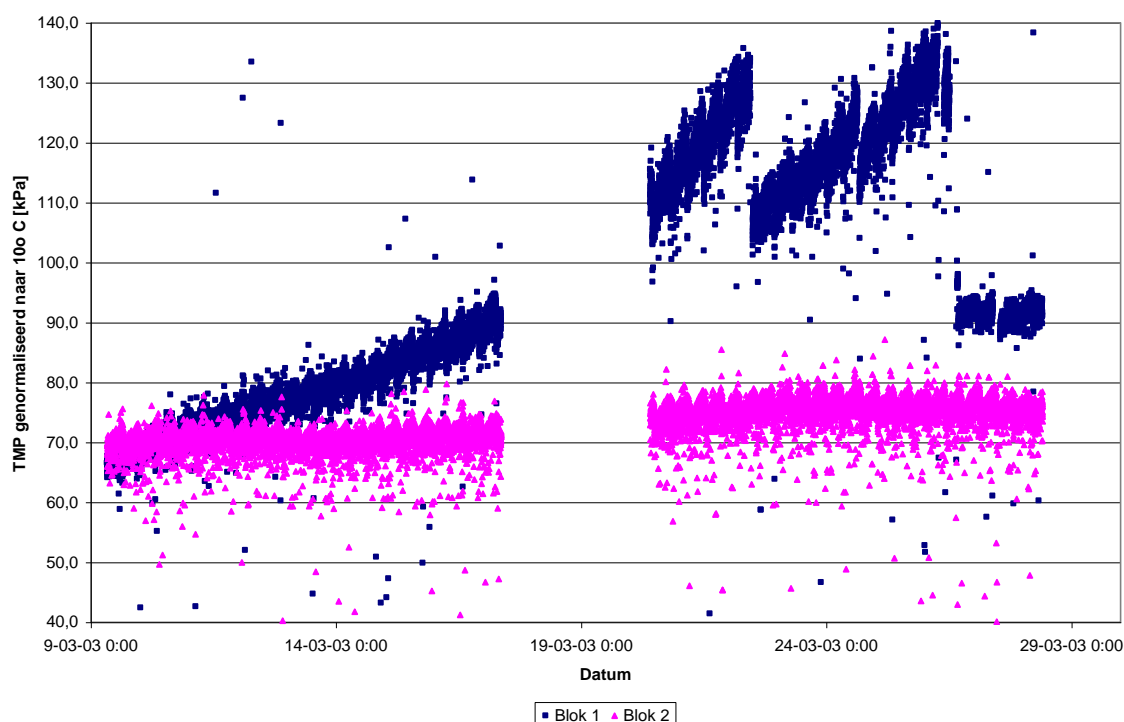
Als gevolg hiervan steeg de genormaliseerde drukval voor blok 1 afgelopen winter eerder. Het verloop van de drukval voor blok 1 winter 2002-2003 verliep vanaf december 2002 zeer onstabiel (hoge TMP), op 8 januari is de voedingsflow van blok 1 hierom verlaagd van 380 naar 340 m³/h. Ook na de verlaging van de belasting stabiliseerde het proces niet. Het blok is in de maanden januari, februari, maart zeer regelmatig curatief gereinigd met een warme chlooroplossing wegens een te hoog oplopende actuele TMP (10 reinigingen).

Ook de bedrijfsvoering van blok 2 verliep de winter van 2002-2003 door de langere aanhoudende koude duidelijk moeizamer dan in de winter van 2001-2002. De TMP nam ook hier eerder toe. Ook voor dit blok is op 8 januari de belasting verlaagd van 380 – 340 m³/h. Vooral nog is duidelijk dat de winter van 2002-2003 ten opzichte van de winter van 2001-2002 tot een zwaardere belasting van de membranen leidde. Een eventuele verbetering in de membraanprestaties door technische aanpassingen in de chloordosering is hierdoor niet direct aantoonbaar.



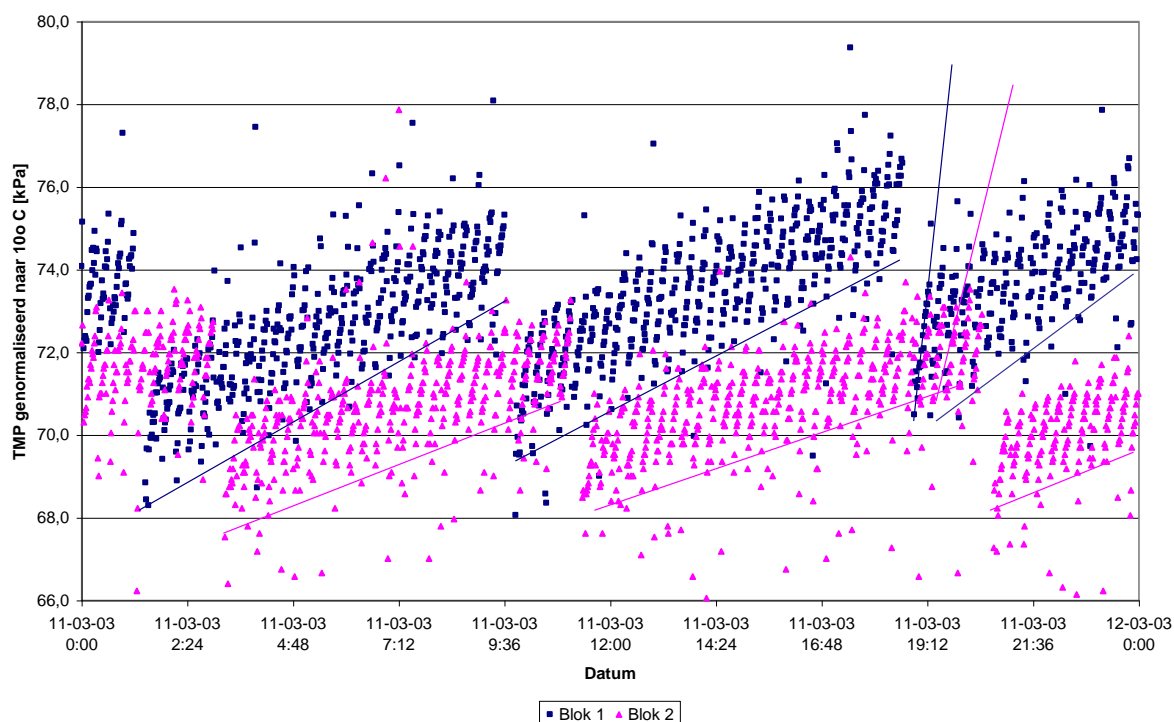
Figuur 5 Vergelijking Blok 2 winter 2001-2002 en winter 2002-2003

Opvallend is wel het verschil tussen blok 1 en 2 met name de afgelopen winterperiode. Blok 1 en 2 hadden theoretisch een identieke bedrijfsvoering toch verliep de TMP van blok 1 grilliger dan de TMP van blok 2. Dit is goed te zien in figuur 6 waarin een detailprofiel is weergegeven van het drukverloop van beide blokken voor een periode van twee weken (week 11 en 12 van 2003).



Figuur 6 *Vergelijking TMP-verloop Blok 1 en 2, detail weekopname*

Het drukverloop van blok 1 week duidelijk af van blok 2 en was onstabiel. De TMP liep zover op dat het blok uiteindelijk gereinigd moest worden. In figuur 7 is van dezelfde periode een gedetailleerder drukverloop weergegeven van de drukopbouw tussen spoelingen en tussen enhanced backwashes van de periode vlak voor het volledig onstabiel worden van blok 1.



Figuur 7 *Vergelijking TMP-verloop Blok 1 en 2, drukopbouw tussen spoelingen*

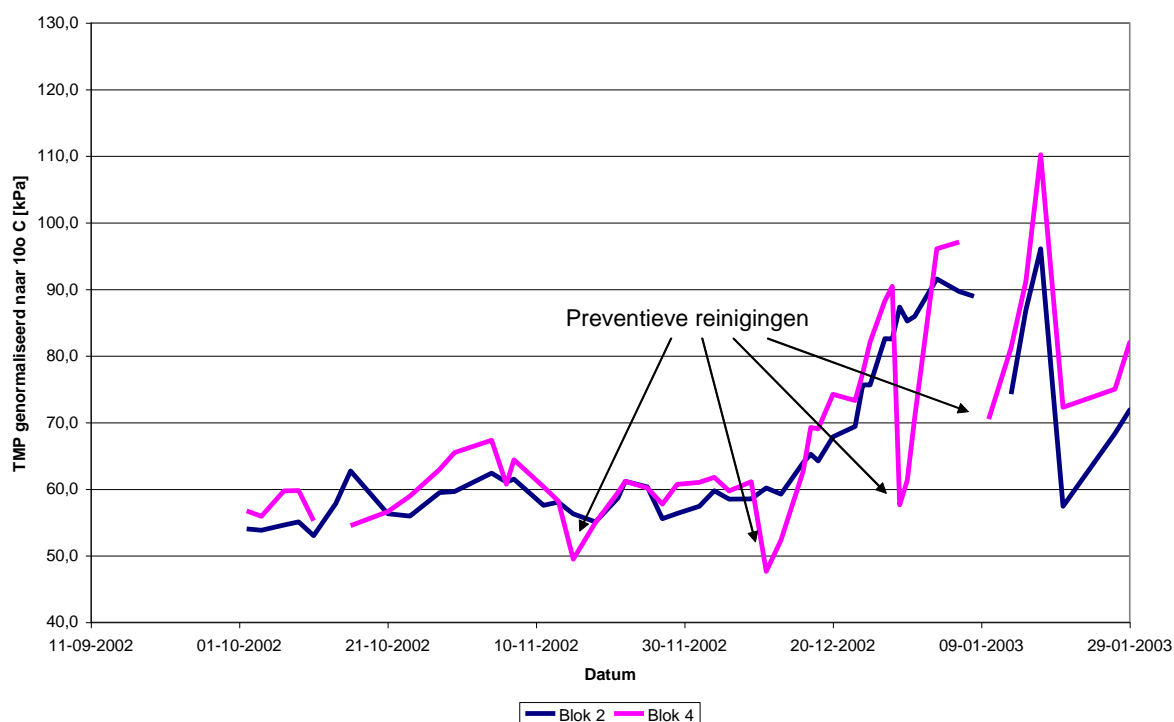
In de figuren 6 en 7 is te zien dat:

- de genormaliseerde druk van blok 1 oorspronkelijk vergelijkbaar was met die van blok 2;
- de gemiddelde genormaliseerde druk van blok 1 ten opzichte van blok 2 sterker toenam;
- het doorstroombaar oppervlak van blok 1 nam dus af;
- dit leidde tot een hogere belasting van het nog beschikbare oppervlak;
- dit leidde tot een hogere vervuilingssnelheid tussen twee spoelingen (grotere richtingscoëfficiënt en hierdoor hogere drukstijging per filtratiecyclus).

In figuur 7 is te zien dat de effectiviteit van de terugspoeling van blok 1 ten opzichte van blok 2 minder was. De richtingscoëfficiënt van de lijn van de onderste punten (TMP na spoelen) van blok 1 verliep steiler. Hierdoor verergerde de situatie; permeabiliteit na een spoeling werd lager, de belasting werd hierdoor hoger, vervuilingssnelheid nam toe. Waar de enhanced backwash bij blok 2 tijdens deze periode nog in staat was om het vuil te verwijderen, werd dit bij blok 1 steeds moeilijker. Gebaseerd op figuur 7 kan gesteld worden dat de terugspoeling bij blok 1 minder effectief is dan de terugspoeling bij blok 2. De oorzaak kan mogelijk zitten in de schakelcyclus van het spoelen.

5.2.2 Preventief reinigen met warme NaOCl oplossing (UF-blokken 3 + 4)

Om de invloed van de preventieve reinigingen vast te leggen zijn vanaf begin november blokken 3 en 4 maandelijks met een warme chloorbleekloogoplossing (500 ppm bij 35 °C) gereinigd. Om het effect hiervan te bepalen zijn in figuur 8 de blokken 2 en 4 met elkaar vergeleken. Dit vanwege het spoelprobleem met blok 1 en de nieuwe membranen met een lagere permeabiliteit in blok 3. In figuur 8 staan de genormaliseerde TMP's van blokken 2 en 4 weergegeven.

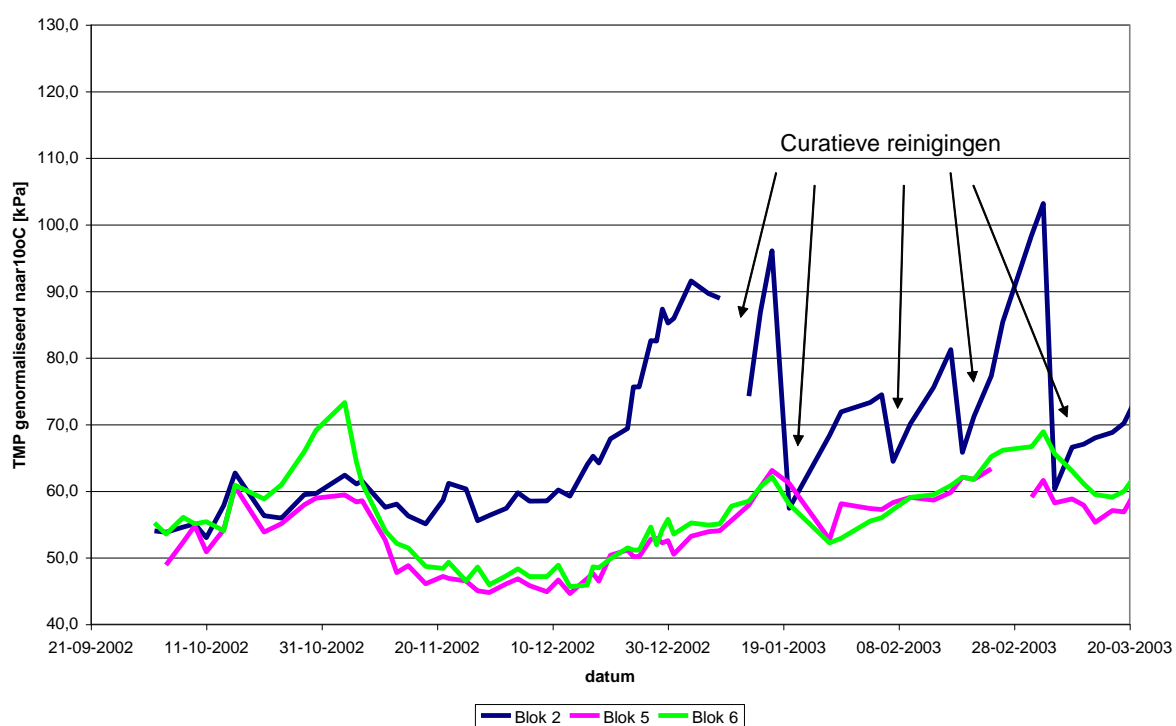


Figuur 8 Vergelijking preventief maandelijks reinigen, blok 2 en 4

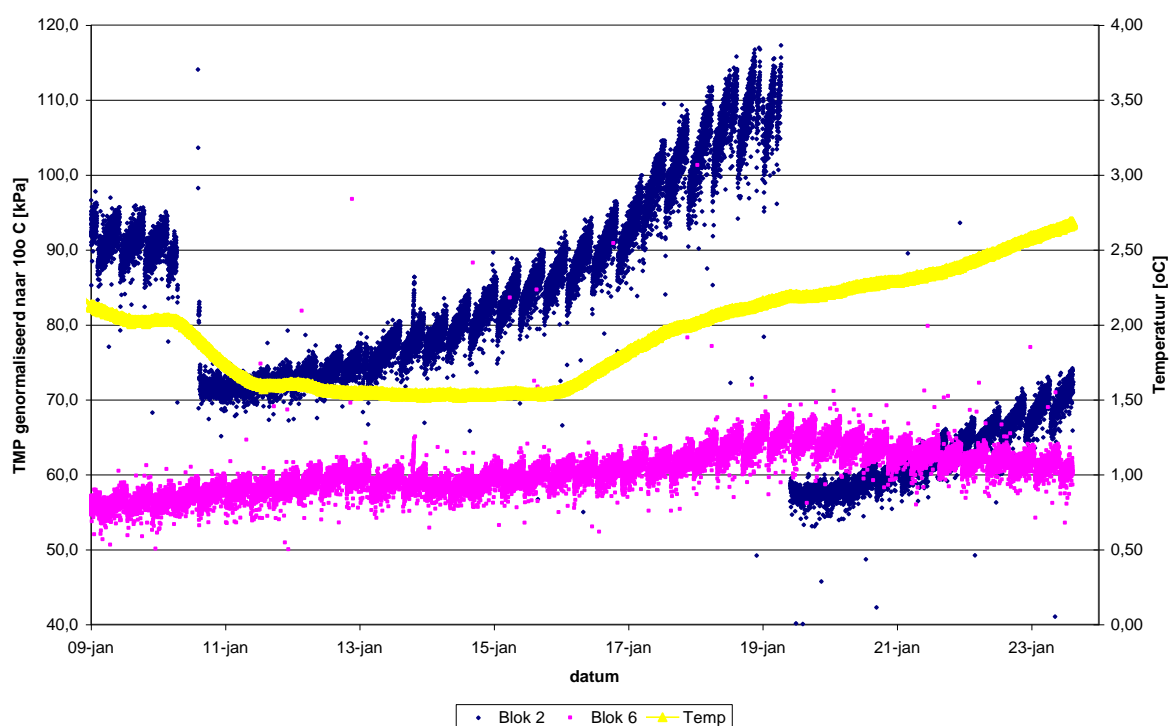
Vanaf half november zijn blokken 3 en 4 maandelijks preventief gereinigd. In figuur 8 is te zien dat de reiniging de genormaliseerde TMP verlaagde maar de TMP zeer snel weer toenam tot vergelijkbare waarden met de TMP van blok 2. Op 8 januari is van blokken 1, 2, 3 en 4 de belasting verlaagd van 380 naar 340 m³/h vanwege te hoge actuele TMP's over alle vier de blokken. Het preventieve reinigen werd daarmee stopgezet. Duidelijk is dat preventief reinigen niet tot een stabiel proces leidt ten opzichte van de referentie.

5.2.3 Verlagen brutoflux (UF-blokken 5+6)

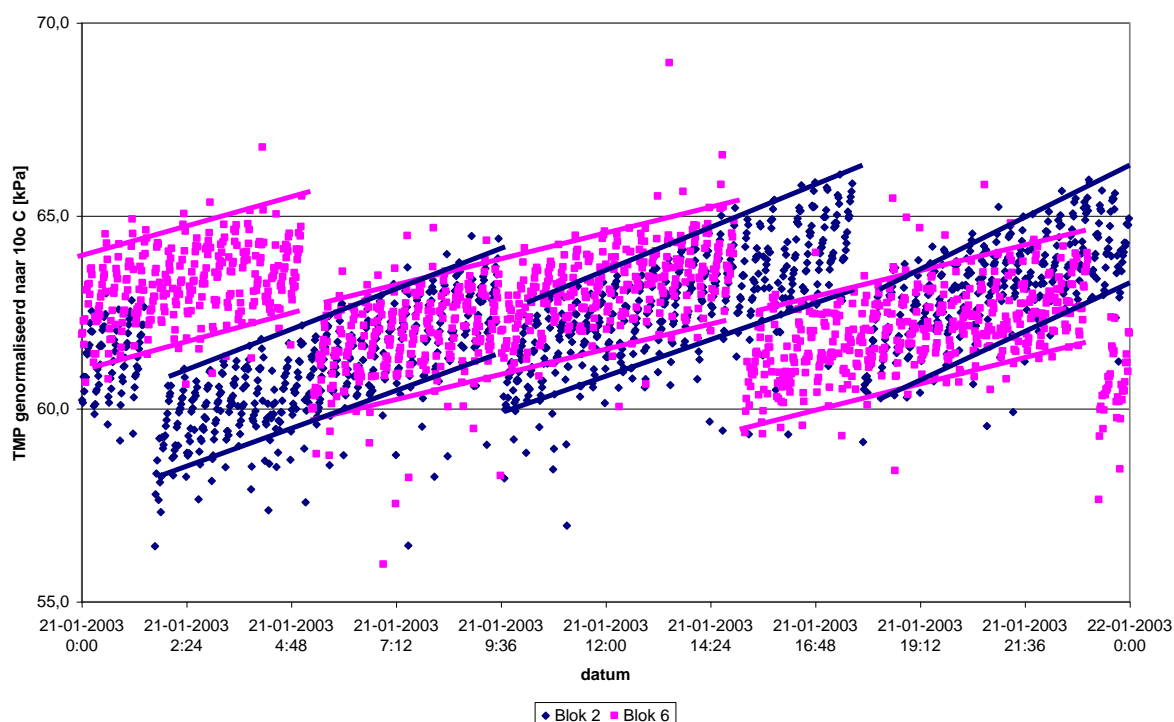
Van de blokken 5 en 6 is de belasting begin november 2002 met 20 % verlaagd van 34 naar 27 l/m² per filtratiecyclus. Dit kwam neer op een verlaging van de voedingsflow van 380 naar 300 m³/h onder dezelfde spoel- en reinigingsfrequentie als de referatieblokken. De gedachte achter deze verlaging was tweeledig. Indien de veranderende waterkwaliteit zou leiden tot een hogere vervuilingssnelheid lag de oplossing in het verlagen van de belasting of mogelijk het preventief reinigen. Of als verlaging van de temperatuur zou leiden tot een lagere permeabiliteit van het membraan ligt de oplossing in het verlagen van de brutobelasting. In figuur 9 zijn de gemiddelde genormaliseerde TMP's weergegeven ten opzichte van referatieblok 2. Op het moment dat de temperatuur ging dalen en de TMP van het referatieblok ging stijgen, stegen de TMP's van blokken 5 en 6 eveneens maar met een zeer lage vervuilingssnelheid. In de lange koude periode in de maanden januari en februari waarin de vier eerste blokken veelvuldig gereinigd werden bleven de actuele TMP's van de blokken 5 en 6 ver beneden de kritische waarde van 100 kPa. In figuur 10 is een detailopname weergegeven van het drukverloop van blok 2 en 6 in de periode rond 19 januari. In deze periode bereikten blokken 5 en 6 de hoogste gemeten TMP onder deze instellingen. De temperatuur bereikte rond deze periode de laagst gemeten waarde. In deze periode was de belasting van referatie blok 2 al verlaagd van 380 naar 340 m³/h resulterend in een brutoflux van 101 l/(h.m²). In figuur 10 is te zien dat het filtratieproces van blok 2 onstabiel verliep. De membranen van blok 2 waren in deze korte periode tot tweemaal toe gereinigd. Bij blok 6 was voor het eerst zichtbaar dat de spoelingen de permeabiliteit van de membranen niet meer volledig konden herstellen. De enhanced backwash was echter nog wel in staat het proces tussen twee enhanced backwashes te stabiliseren. Ook is goed het effect van de temperatuur op de vervuilingssnelheid van blok 6 waarneembaar.



Figuur 9 Vergelijking belastingverlaging door brutoflux verlaging, blok 2, 5 en 6



Figuur 10 Vergelijking brutoflux 101 en 90 l/(h.m²), blok 2 en 6 detailopname



Figuur 11 Vergelijking brutoflux 101 en 90 l/(h.m²), blok 2 en 6, op 21 januari

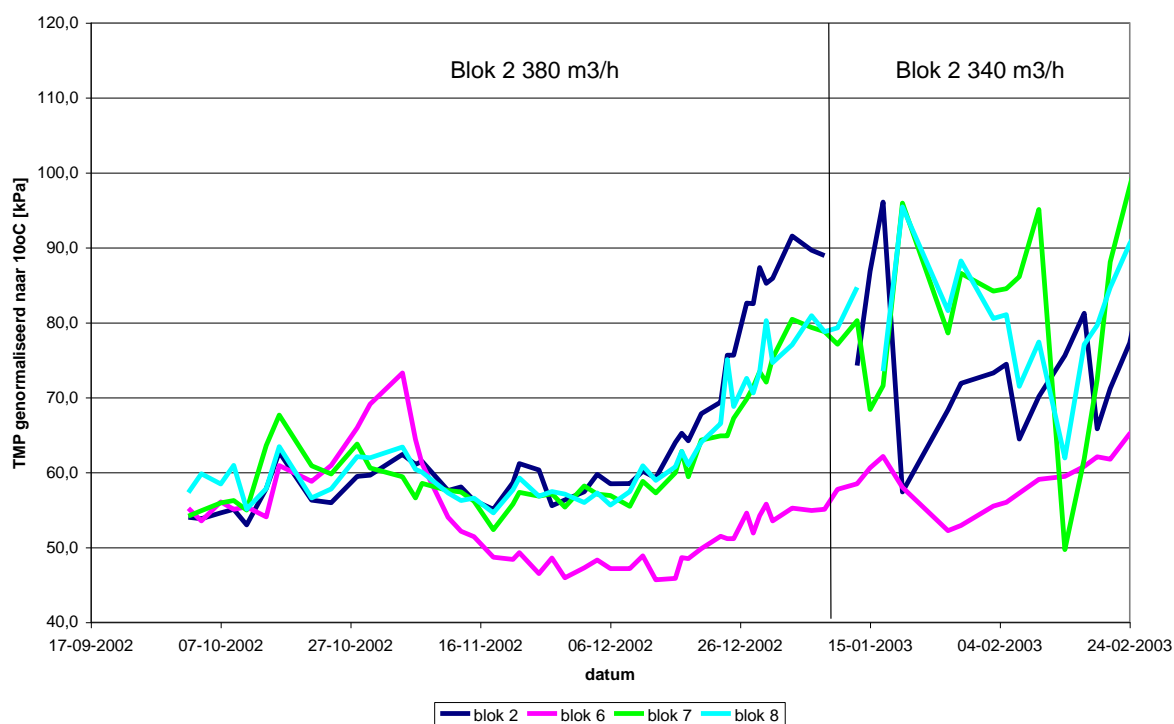
Na de intensieve reiniging van blok 2 op 19 januari herstelde de genormaliseerde TMP zich tot een waarde net onder die van blok 6. Op 21 januari werd deze echter weer gepasseerd. In figuur 11 (de drukopbouw gedurende een filtratiecyclus) is te zien dat de vervuilingssnelheid voor de membranen in blok 2 door de hogere belasting hoger was en dat de effectiviteit van de spoelingen en de enhanced backwashes te laag waren om de TMP van de membranen volledig te herstellen. Waar blok 6 een regelmatig patroon tussen enhanced backwashes liet zien verliep dit patroon onregelmatig bij blok 2. Onduidelijk is nog of de vuillast voor de membranen bij een flux van 100 l/(h.m²) bij deze temperatuur te hoog is of dat de spoelingen en/of de enhanced backwashes niet goed werden uitgevoerd.

Het vroeg in de winter verlagen van de bruto belasting had dus een positief effect op de membraanprestaties en de stabiliteit van het proces. In de hierop volgende paragrafen zal hier verder op worden ingegaan.

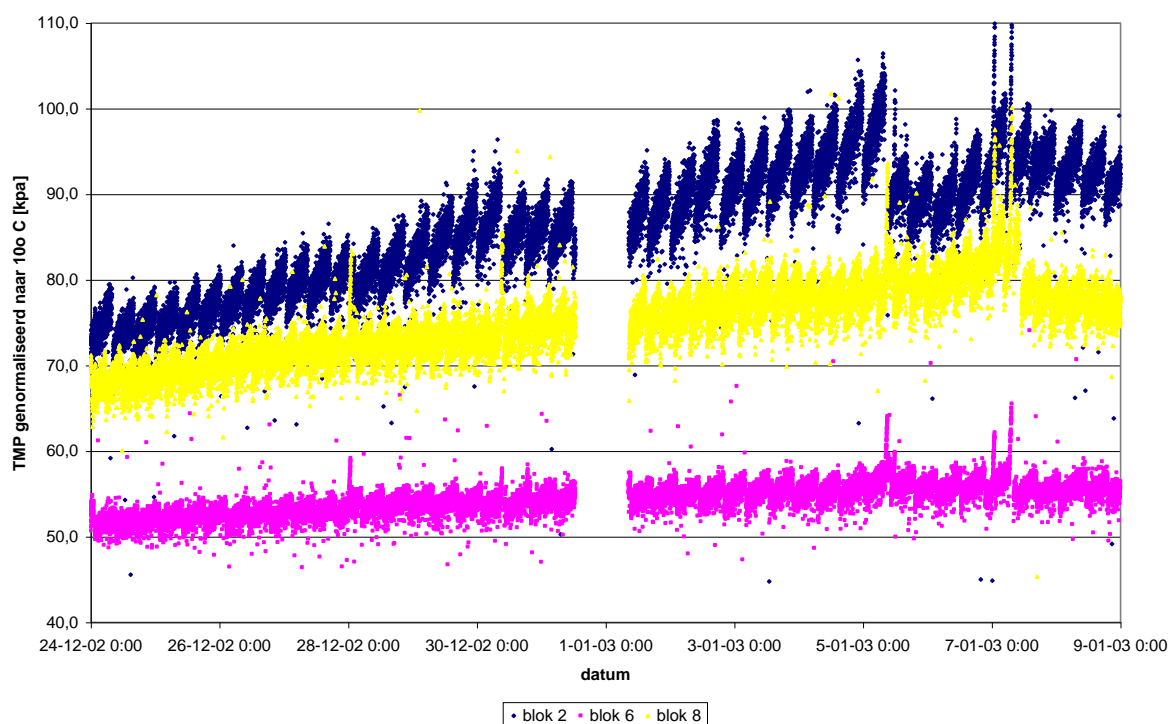
5.2.4 Verhogen frequentie enhanced backwash (UF-blokken 7+8)

Van blokken 7 en 8 is begin november de totale vuillast (aantal gefiltreerde liters per vierkante meter membraanoppervlak) tussen twee enhanced backwashes gelijk ingesteld met die van blok 5 en 6. De brutoflux van blok 7 en 8 is echter gelijk gehouden aan de referentieblokken 1 en 2. Dit resulteerde in een enhanced backwash interval van 6 uur in plaats van 8 uur. In figuur 12 staan de genormaliseerde TMP's van blok 7 en 8 ten opzichte van blok 2 en blok 6 weergegeven.

Ten opzichte van het referentieblok 2 stegen de gemiddelde TMP's van blokken 7 en 8 langzamer. Waar blok 2 begin januari ernstige bedrijfsvoeringsproblemen ondervond bleven blokken 7 en 8 ruim een maand langer functioneren. Op 19 en 24 februari zijn na een aantal curatieve intensieve reinigingen echter ook van blok 7 en 8 de brutobelastingen verlaagd waarbij de TMP's wel herstelden maar snel weer opliepen naar de kritische waarde.



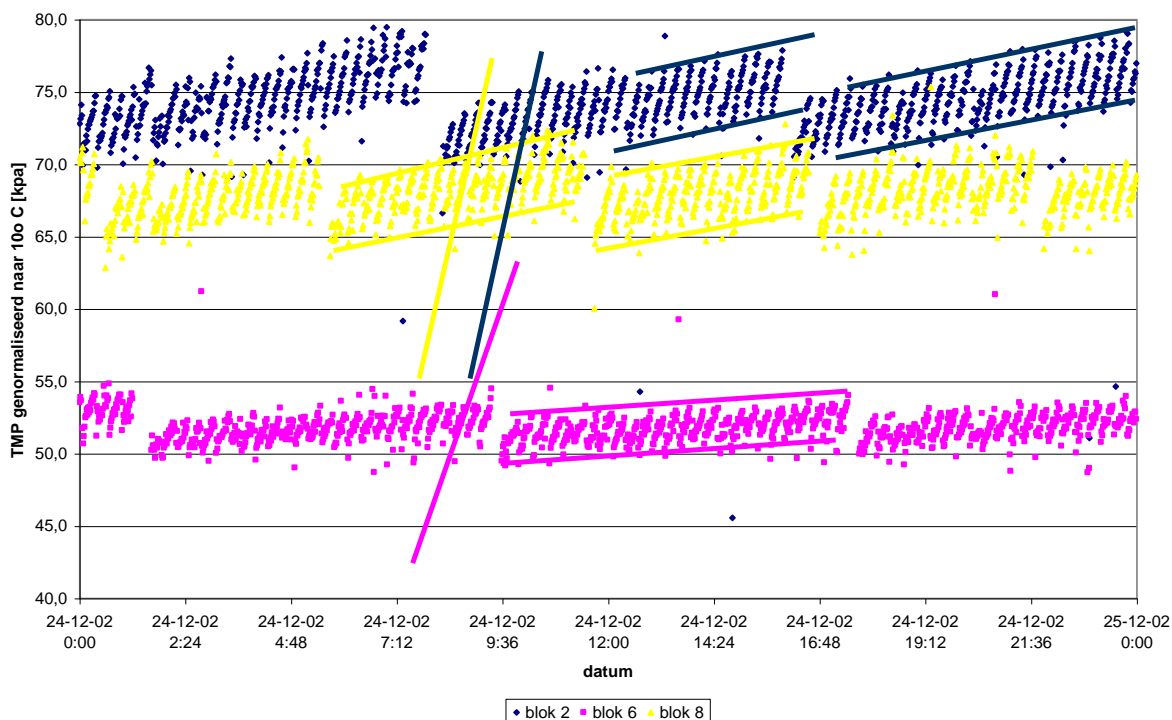
Figuur 12 Vergelijking gemiddelde TMPn blokken 2, 6, 7 en 8



Figuur 13 Vergelijking TMPn blokken 2, 6 en 8, detailopname 24 dec - 9 jan

In figuur 13 is een detailopname weergegeven van de TMP opbouw gedurende het filtratieproces net voor de belastingsverlaging van blok 2 (8 januari). De vuillast tussen twee spoelingen bij de membranen in blok 2 en 8 was identiek, namelijk circa 34 l/m² bij een zelfde bruto belasting van 113 l/(h.m²). Bij een vrijwel gelijke permeabiliteit zal dit binnen een filtratiecyclus dezelfde vervuilingssnelheid moeten opleveren.

Uit figuur 14 (detailopname van figuur 13) blijkt dat de vervuilingssnelheid binnen een filtratiecyclus bij ongeveer gelijke genormaliseerde drukken ook identiek was, circa 13-15 kPa/h. Blok 6 dat belast werd met een lagere brutoflux van 90 l/(h.m²) en een hogere permeabiliteit had op dat moment een vervuilingssnelheid van circa 10-12 kPa/h. Binnen een filtratiecyclus van 18 minuten resulteerde dit in een drukopbouw binnen een filtratiecyclus van 4-5 kPa voor blok 2 en 8 en circa 3-4 kPa voor blok 6.



Figuur 14 Verschil in TMP opbouw blokken 2, 6 en 8

Het herstel in TMP door spoelingen was ook identiek voor blok 2 en 8 resulterend in een drukopbouw tussen twee enhanced backwashes van circa 0,5 kPa/h. Omdat deze cyclus voor blok 2 twee uur langer duurde resulteerde dit in een drukopbouw die bij gelijke genormaliseerde drukken circa 1 kPa hoger lag voor blok 2 ten opzichte van blok 8. Deze hogere druk leidde uiteindelijk tot iets minder herstel na een enhanced backwash, gevolgd door een iets hogere genormaliseerde druk en dus minder beschikbaar oppervlak, daardoor hogere vervuilingssnelheden hogere drukken voor spoelen, slechter herstel na spoelen etc. waardoor het proces steeds sneller onstabiel wordt (zie figuur 13).

De membranen in blok 6 filtreren tussen twee enhanced backwashes net zoveel water als bij blok 8, namelijk 700 l/m². De brutoflux is echter lager en het aantal spoelingen tussen twee enhanced backwashes hoger. De effectiviteit van de enhanced backwash met chloor lijkt dus minder van belang dan het herstel na spoelen. Het herstel na spoelen lijkt volgens de resultaten direct afhankelijk van de permeabiliteit van het membraan en de bruto filtratiesnelheid. Hoe hoger deze snelheid hoe slechter het herstel na spoelen. Een lagere permeabiliteit vertaalt zich ook direct naar een slechter herstel na spoelen. De permeabiliteit is echter theoretisch om te rekenen naar beschikbaar oppervlak onder gelijke filtratiesnelheden.

Voorbeeld:

Blok 2 en 8 worden onder gelijke filtratiesnelheden bedreven, namelijk 113 l/(h.m²). Rond 2 januari is de actuele druk na een enhanced backwash voor blok 2 100 en voor blok 8 90 kPa. De permeabiliteit van het membraan wordt evenals de genormaliseerde druk gecorrigeerd voor de viscositeit van het water en als volgt uitgerekend:

$$\text{Genormaliseerde permeabiliteit} = (Q/(A \times TMP) \times (\eta_t/\eta_{rf}))$$

Hierin is:

- Q de productstroom (l/h)
- A het membraanoppervlak (m²)
- TMP het actuele drukverschil over het membraan (bar)
- η_t de viscositeit van het water bij de actuele temperatuur (kg/m.s)
- η_{rf} de viscositeit van het water bij de referentie temperatuur (kg/m.s)

De viscositeit kan bepaald worden met behulp van de onderstaande vergelijking:

$$\eta = \eta_o / (1 + 0,0337 \times T + 0,000221 \times T^2)$$

Hierin is:

- η_o de viscositeit van water bij 0° C zijnde $1,7799 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s
- T de actuele watertemperatuur in °C

De permeabiliteiten van de membranen in blok 2 en 8 zijn dan, bij de actuele temperatuur van 2,47 °C:

Blok 2: 140 l/(h.m².bar) bij 10 °C

Blok 8: 160 l/(h.m².bar) bij 10 °C

Het schone membraan van beide blokken had bij de opstart in september 1999 een actuele TMP van 38 kPa, bij een actuele temperatuur van 20,0 °C. Dit resulteert in een initiële permeabiliteit van 230 l/(h.m².bar) bij 10 °C. Afname in permeabiliteit is dan:

Blok 2: $(1 - (140/230)) \times 100 \% = 39 \%$

Blok 8: $(1 - (160/230)) \times 100 \% = 30 \%$

Aangenomen dat deze relatieve afname direct te vertalen is naar verlies in doorstroombaar oppervlak is het oppervlak van de membranen in blok 2 op dat moment 9 % kleiner dan het oppervlak van de membranen in blok 8. De schijnbare flux door het beschikbare oppervlak is dus ten opzichte van de initiële permeabiliteit voor blok 2 en 8 niet 113 l/(h.m²) maar:

Blok 2: $113/(1 - 0,39) = 185$ l/(h.m²)

Blok 8: $113/(1 - 0,30) = 161$ l/(h.m²)

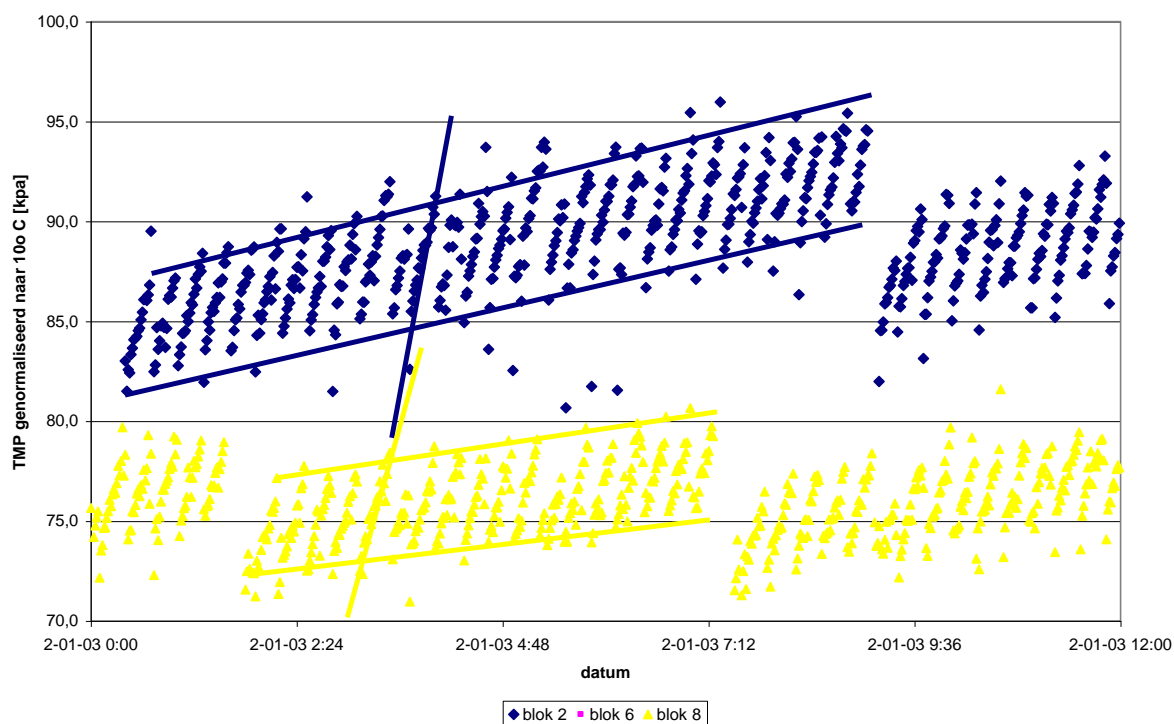
Indien dit het geval is resulteert dit dus in verschillen in vervuilingssnelheden ten opzichte van de periode rond 24 december (figuur 14) en ten opzichte van elkaar. Figuur 15 is een detailopname van het genormaliseerde drukverloop van de periode rond 2 januari. Uit de regressielijnen volgen de volgende vervuilingssnelheden:

Blok 2: 22 kPa/h ofwel circa 6,5 kPa per filtratiecyclus

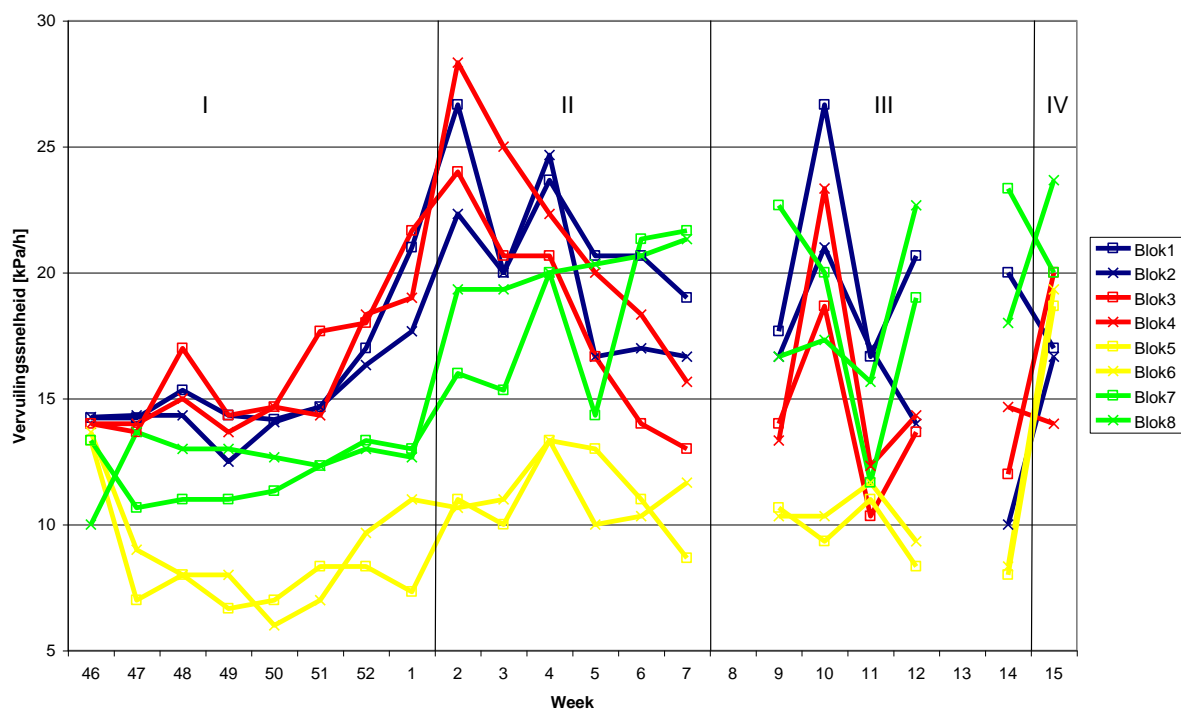
Blok 8: 17 kPa/h ofwel circa 5 kPa per filtratiecyclus

Op 24 december was de vervuilingssnelheid voor beide 13 - 15 kPa/h.

Wellicht is aan de hand van de resultaten een kritische vervuilingssnelheid te benoemen waarboven, bij een goed functionerende terugspoeling en enhanced backwash, het filtratieproces onstabiel gaat verlopen. In figuur 16 staan de gemiddelde vervuilingssnelheden van alle 8 de blokken per week aangegeven. De figuur is onderverdeeld in 4 perioden. De eerste periode verliep volgens de opzet van de proeven. In de tweede periode was de belasting voor blok 1,2,3 en 4 verlaagd van 380-340 m³/h. In de derde periode werd de belasting voor de blokken 7 en 8 eveneens verlaagd naar 340 m³/h. In de vierde periode werd veel gewisseld in de belastingen voor alle 8 de blokken, waarbij tevens van de blokken 5 en 6 het debiet weer werd verhoogd bij een temperatuur die nog lager was dan 10°C.



Figuur 15 Vergelijking drukopbouw blok 2 en 8, 2 januari 2003



Figuur 16 Gemiddelde genormaliseerde vervuilingssnelheden in kPa/h

Kijkend naar de detailopnames van de genormaliseerde drukopbouw wordt het filtratieproces onstabiel bij een vervuilingssnelheid hoger dan 18 kPa/h. Onder de standaard bedrijfsvoering wordt met de huidige membranen deze vervuilingssnelheid bereikt bij een temperatuur van lager dan 5 °C.

De effectiviteit van de spoelingen en de vuillast tussen twee spoelingen lijken vooralsnog belangrijker dan de effectiviteit van de enhanced backwashes en de vuillast tussen twee enhanced backwashes. Dit verklaart niet het effect dat bij koudere temperaturen optreedt. De resultaten van de waterkwaliteitsveranderingen (paragraaf 5.1) lieten zien dat de vervuilingspotentie juist aantoonbaar lager wordt bij lagere temperaturen. De resultaten van de bedrijfsvoeringsproeven laten een duidelijke correlatie zien tussen watertemperatuur en TMP. Ook is aangetoond dat wanneer de permeabiliteit afneemt dit om te rekenen is in een afname van het doorlaatbaar oppervlak en dat dit kan leiden tot een onstabiele bedrijfsvoering indien de kritische vervuilingssnelheid benaderd werd.

5.2.5 Temperatuursafhankelijkheid permeabiliteit membraan

Aangetoond is dat het proces onstabiel werd bij het benaderen van een kritische vervuilingssnelheid van circa 18 kPa/h. Deze vervuilingssnelheid kan tot stand komen door een te hoge vuillast of een drastische verlaging van de permeabiliteit bij een constante belasting waarvan is aangetoond dat deze in feite te vertalen is naar een hogere vervuilingssnelheid. Onbekend is echter nog waarom deze vervuilingssnelheid toeneemt bij lage water temperaturen.

Even terug naar de oorsprong van het probleem aan de hand van een voorbeeld:

Op 4 september 2002 was de actuele TMP van blok 2 bij een temperatuur van 20 °C en een bruto flux van 113 l/(h.m²) circa 60 kPa. Dit resulteert in een genormaliseerde permeabiliteit van 145 l/(h.m².bar) bij 10 °C.

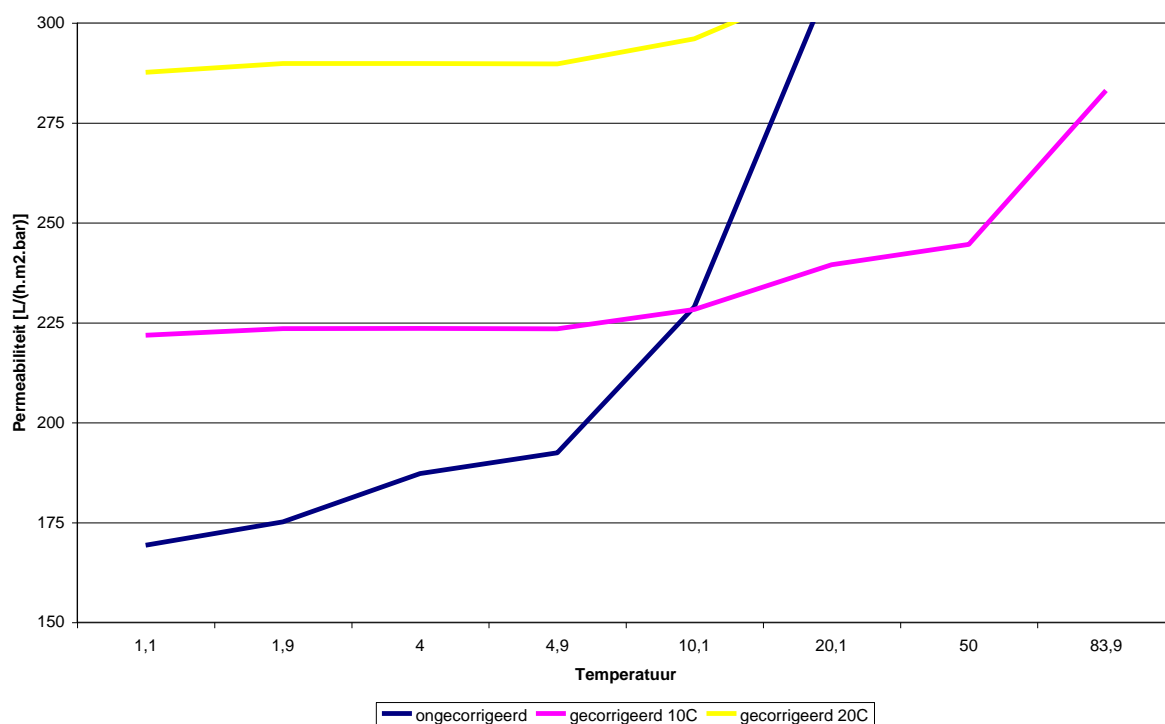
Verlagen we nu de temperatuur naar de circa 1,5 °C met hetzelfde water (gesuspenderde stoffen) en bij dezelfde mate van vervuiling van het membraan dan is een actuele druk nodig van 101 kPa om dezelfde permeabiliteit te handhaven.

Deze berekening is opmerkelijk omdat hieruit blijkt dat de waterkwaliteit in de winter beter is, want de actuele drukken die gemeten worden zijn lager dan 100 kPa. De normalisatie voor viscositeit zou bij een gelijke waterkwaliteit bij een stabiel proces tot een constante waarde voor de genormaliseerde permeabiliteit of TMP moeten leiden. Bij een verbetering in de waterkwaliteit en een verlaging van de temperatuur zou de actuele druk wel moeten stijgen (door de viscositeit) maar zal de genormaliseerde TMP op zijn minst constant moeten blijven of moeten afnemen.

Zoals al eerder is beschreven zou de temperatuurverlaging mogelijk direct de permeabiliteit van het membraan kunnen beïnvloeden. Om dit te onderzoeken heeft X-flow in opdracht een kort testje uitgevoerd met een schoon membraan (nieuw type UFC M5 vergelijkbaar met de membranen in blok 3) en water zonder deeltjes bij verschillende temperaturen. Indien de watertemperatuur alleen de viscositeit van het water beïnvloedt, zal bij wisselende temperaturen de genormaliseerde permeabiliteit constant moeten blijven. In figuur 17 staan de resultaten weergegeven van het experiment.

Hoewel dit slechts één meting betreft zijn de resultaten opmerkelijk. Waar voor de gecorrigeerde permeabiliteit een rechte lijn wordt verwacht neemt deze zichtbaar af. Het verschil tussen de permeabiliteit genormaliseerd voor alleen de viscositeit tussen de zomer (20 °C) en de winter (1 °C) bedraagt 239 – 222 = 17 l/(h.m².bar). Dus bij een schoon membraan neemt de permeabiliteit door in het traject van 20 °C tot 1 °C dus $(17/239) \times 100 \% = 7 \%$ af. De daadwerkelijk gemeten permeabiliteit bij 10 °C bedroeg 229 l/(h.m².bar).

Hoewel deze meting slechts één keer is uitgevoerd met een nieuw type schoon membraan en dus meerdere metingen noodzakelijk zijn, is het interessant om dit percentage eens aan te nemen in een de volgende berekening.



Figuur 17 De genormaliseerde schoonwater permeabiliteit bij verschillende temperaturen

Indien het doorstroombaar membraanoppervlak van midden zomer tot midden winter 7 % afneemt stijgt in feite de belasting per vierkante meter membraanoppervlak van 113 naar een schijnbare belasting van 121 l/(h.m²). Om deze schijnbare belasting aan te passen dient de bruto belasting dus verlaagd te worden naar:

$$113 - (0,07 \times 113) = 105 \text{ l/(h.m}^2\text{)}$$

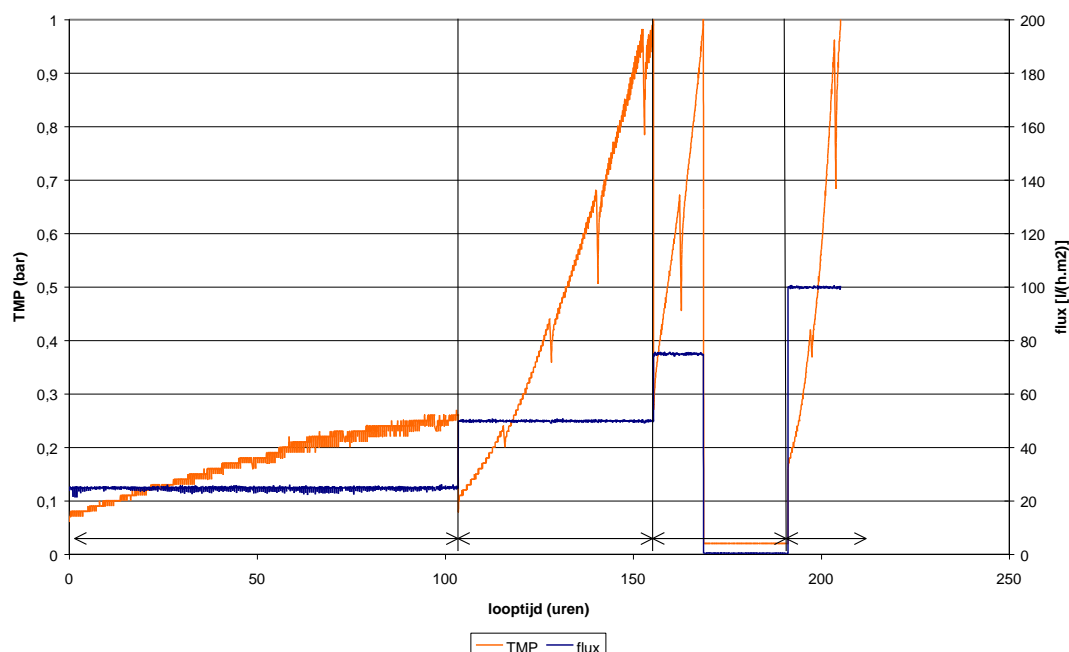
Niet uitgesloten is dat de vezels van het oudere type membranen een andere afwijking hebben bij lagere temperaturen. Daarom verdient het aanbeveling om de proeven te herhalen met de huidige vezels. Dit is inmiddels voorgelegd aan X-flow.

6. DISCUSSIE

6.1 ACHTERGRONDEN ULTRAFILTRATIE

Zoals al eerder is aangegeven is de vervuilingssnelheid (tijdens een filtratiecyclus) direct afhankelijk van de filtratiesnelheid (brutoflux) en de vervuilingspotentie van het voedingwater en wordt weergegeven in een permeabiliteitsafname of in een drukstijging per tijdseenheid. Uit het aantal liters voedingswater met een bepaald gehalte aan colloïdaal en gesuspendeerd materiaal dat per vierkante meter membraanoppervlak gefiltreerd wordt, kan in theorie de vuillast per vierkante meter membraanoppervlak bepaald worden (onder de zomercondities betreft dit 34 l/m² per filtratiecyclus). Bij een verhoging van de filtratiesnelheid met een factor twee neemt bij een gelijke voedingwaterkwaliteit de vervuilingssnelheid dus minimaal een factor twee toe. In de praktijk is deze verhouding echter hoger met name bij organisch belast water zoals oppervlaktewater. In figuur 18 is de trans membraandruk weergegeven bij vier verschillende fluxinstellingen. De brutofluxen zijn constant en de vervuilingssnelheid uit zich dus in een druktoename. In alle vier de gevallen zijn de recovery's gelijk gehouden en wordt er in totaal exact dezelfde hoeveelheid water geproduceerd. Om deze hoeveelheid water te produceren is bij de lage flux een langere tijd nodig dan bij een hoge flux.

Opvallend in figuur 18 is het feit dat dit membraan bij een brutofluxverhoging met een factor 2, van 25 naar 50 l/(h.m²), nog maar net in staat is om de vastgelegde hoeveelheid water te produceren, terwijl dit bij een flux van 25 l/(h.m²) nog relatief eenvoudig was. Volgens een theoretische vuillastberekening zou het membraan bij een flux van 50 l/(h.m²), na de vaste hoeveelheid water te hebben gefiltreerd (2500 l/m²), uit moeten komen op een gelijke drukstijging gecorrigeerd voor de permeabiliteit van het membraan, in dit geval rond de 0,5 bar. Bij het verhogen van de flux met een factor 3 is het membraan zelfs niet meer in staat om de gevraagde hoeveelheid water te produceren, het membraan bereikt voortijdig de maximale ingestelde TMP van 1 bar en heeft in totaal dus minder vuil afgevangen.



Figuur 18 TMP als functie van de brutoflux voor de directe behandeling van Beatrixkanaalwater (ref: Meetprotocol Quick-Scan, Galjaard 1998)

De oorzaak ligt in het hoger worden van de vervuilingssnelheid. Het feit dat de vervuilingssnelheid in verhouding hoger wordt dan de verhouding aangevoerd gesuspendeerd en colloïdaal materiaal komt door een aantal factoren die hierop van invloed zijn, te weten:

- de hoogte van de actuele trans membraan druk;
- de mate van concentratie polarisatie;
- groei van (bio)filmlaag;
- de mate van adsorptie.

De hoogte van de trans membraandruk

In het figuur wordt door het verhogen van de flux de startdruk hoger. Bij bijvoorbeeld voor een permeabiliteit van 200 l/(h.m².bar) bij 10 °C is bij een flux van 25 l/(h.m²) de start TMP circa 0,13 bar. Bij een flux van 100 l/(h.m²) is dit echter 0,50 bar. Een hogere actuele TMP drukt de deeltjes steviger tegen het membraan. Dit heeft invloed op:

- de elasticiteit en de permeabiliteit van de gevormde koek;
- de mate van porieverstopping en
- de spanning tussen de deeltjes onderling en tussen de deeltjes en het membraan (van der Waals krachten en het 'Donnan exclusion effect' ofwel de osmotische druk van een colloïdale oplossing).

Doordat het afgevangen vuil met hogere druk tegen het membraan aan wordt geduwd neemt de permeabiliteit van de gevormde koek af. Gevolg is dat een nog hogere TMP nodig is om dezelfde hoeveelheid water door de koek en het membraan te drukken. Naast het feit dat dit proces exponentieel verloopt, wordt de koek verder ingedrukt dan bij lagere drukken waardoor deze ook lastiger van het membraan te verwijderen is.

Sommige deeltjes zoals oliedruppels, maar ook organismen hebben een zogenaamde capillaire druk. De capillaire druk van een deeltje in een porie van het membraan speelt een belangrijke rol in de rejectie van dit deeltje. Als het membraan hydrofiel is (water aantrekkend) en de capillaire druk van het deeltje is negatief zal de capillaire druk voorkomen dat dit deeltje de porie binnen wil dringen. Wanneer de TMP deze capillaire druk overschrijdt, zal het deeltje vervormen en het membraan indringen. In het geval van micro-organismen betekent dit dat de celwand kapot gaat en het moeilijk van het membraan verwijderbare EPS (Extracellulaire Polymeer Substanties) vrijkomt.

De mate van concentratie polarisatie

De concentratie van deeltjes rond het oppervlak van het membraan is hoger bij een hogere flux en/of TMP. Deze deeltjes vormen een concentratie-polarisatie laag die de permeabiliteit van het membraan verlaagt waardoor een hogere druk nodig is om dezelfde hoeveelheid water te filtreren. Dit effect wordt ook wel verweten aan het Donnan exclusion effect (dichtheidsstromingen). Eenvoudig gezegd betekent dit dat deeltjes net als zouten naar een bepaalde dichtheid willen stromen. Het effect treedt ook wel op bij upflowfilters of onthardingsreactoren die niet willen stratificeren. De dichtheid van de suspensie kan bij bepaalde deeltjes en flowsnelheden boven in de kolom hoger zijn dan onderin. In dit geval worden grotere deeltjes met dezelfde dichtheid hoog in de kolom aangetroffen. Indien dit effect optreedt in de geconcentreerde deeltjeslaag bij ultrafiltratie willen deeltjes bijvoorbeeld uit een bepaalde laag in de concentratie naar een hogere laag bewegen. Hierdoor is meer druk nodig om het water door de verschillende lagen te transporteren. Deze hogere druk komt nog eens bovenop de al hogere benodigde druk veroorzaakt door de permeabiliteit van het membraan.

Groei van (bio)filmlaag

Bovenstaand is aangegeven dat de koek of de concentratie polarisatielaag dichter is bij hogere drukken en/of flowsnelheden. Door de indikking van een groot aantal organische verbindingen met een hoger molecuul gewicht dan de Molecular Weight Cut Off (MWCO) waarde van het membraan kunnen polaire organometaalcomplexen ontstaan die (relatief) snel lange ketens met elkaar kunnen vormen. Zelfs opgeloste stoffen met een lagere MWCO dan het membraan kunnen door de sterke polariteit van deze ketens worden afgevangen. Een dergelijke laag kan in opbouw veel lijken op een biofilm. De vorming van dergelijke ketens vindt echter zo snel plaats (binnen een filtratiecyclus van 20 minuten) dat hier eigenlijk geen sprake kan zijn van natuurlijke vorming. Dit proces is in theorie sterk drukafhankelijk.

De mate van adsorptie

De adsorptie van stoffen aan en in het membraan hangt in sterke mate af van de aard van deze stoffen. Indien deze stoffen in het voedingswater aanwezig zijn in gesuspendeerde of colloïdale vorm worden deze bij een hogere flux geconcentreerder op het membraanoppervlak gebracht. Het is bovendien mogelijk dat adsorberende stoffen in de concentratie polarisatielaag worden gevormd (polymeercomplexen).

De mate van blijvende vervuiling na een reiniging is indirect afhankelijk van de filtratiesnelheid. De blijvende vervuiling na een (terug)spoeling en of (chemische)reiniging is in feite afhankelijk van de effectiviteit van de reiniging op de aanwezige vervuiling. De mate van blijvende vervuiling wordt ook wel aangeduid met de term 'fouling'. In de literatuur zijn drie soorten 'fouling' voor membranen beschreven:

- colloïdale vervuiling;
- biofouling;
- scaling.

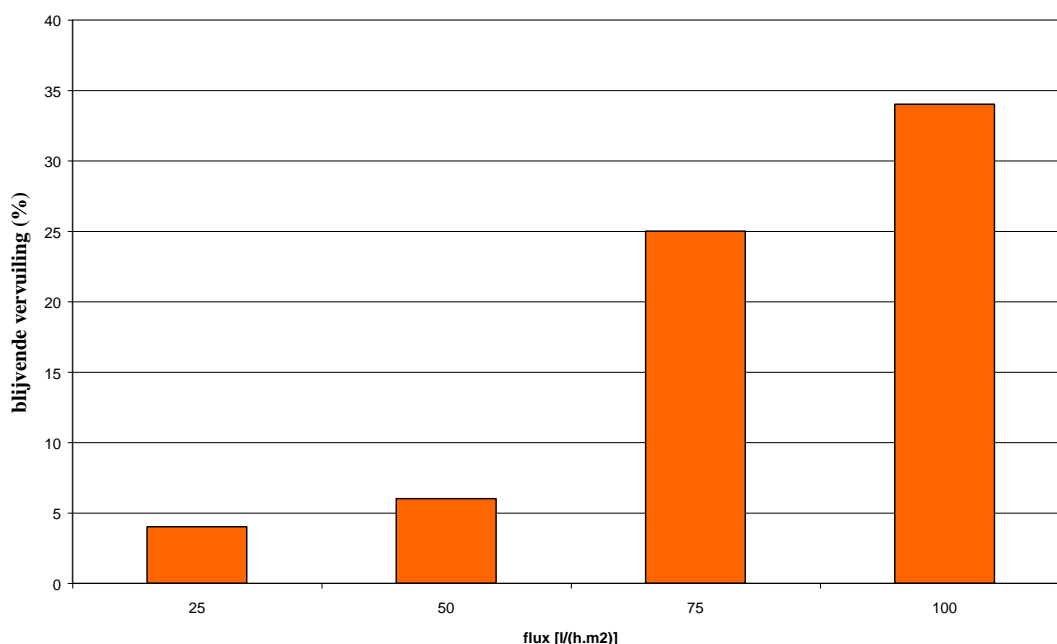
Deze onderverdeling is tot stand gekomen vanuit de ervaringen met omgekeerde osmose. Voor micro- en ultrafiltratie ligt de term 'fouling' iets verfijnder. Zo komt er nagenoeg geen scaling voor (alleen bij onzorgvuldig gebruik van chemicaliën) en vinden biofouling en colloïdale vervuiling aan de voedingszijde tegelijkertijd en altijd plaats. Bij ultrafiltratie wordt de term biofouling specifiek alleen gebruikt bij een biofilmvorming aan de permeaatzijde van de membranen. Een dergelijke biofilm komt in de meeste gevallen door contaminatie van het water waarmee de membranen worden teruggespoeld of door lekkage.

Zoals eerder geschetst heeft de filtratiesnelheid en de hoogte van de actuele TMP invloed op de mate en de aard van de vervuiling. Bij een lagere filtratiesnelheid en een lagere actuele TMP is:

- de mate van porieverstopping minder;
- de gevormde koek elastischer;
- de hoeveelheid (bio)filmvorming minder;
- en de mate van adsorptie minder.

Als een (terug)spoeling en (chemische) reiniging bij een hogere flux niet hierop wordt aangepast, is de mate van blijvende vervuiling na spoeling of reiniging hoger.

In figuur 19 staat de mate van blijvende vervuiling weergegeven na een intensieve chemische reiniging. Deze reinigingen zijn uitgevoerd na afloop van de vier runs van figuur 18. De reinigingen zijn op exact dezelfde wijze uitgevoerd.



Figuur 19 De mate van blijvende vervuiling als percentage van de schoon water permeabiliteit voor aanvang van de run als functie van de flux

In figuur 19 is te zien dat de mate van blijvende vervuiling toeneemt bij een hogere flux. De totale aanvoer van gesuspendeerd en colloïdaal materiaal is gelijk en bij de flux van 75 en 100 l/(h.m²) zelfs

lager, omdat het membraan bij deze flux niet in staat was de gewenste hoeveelheid water te produceren.

Kortom hoe hoger de actuele TMP, brutoflux of vuillast, hoe hoger de vervuilingssnelheid en hoe slechter het herstel na spoelen en reinigen.

6.2 BESCHRIJVING WINTERPROBLEMATIEK

Naar aanleiding van de resultaten van de proeven en de achtergronden van ultrafiltratie kan de huidige winterproblematiek als volgt worden beschreven.

In de functionele procesomschrijving (W+B, maart 2000) wordt onder paragraaf 3.3 de globale bedrijfsvoering omschreven. Hierin worden de volgende seizoensinstellingen gegeven.

- Wanneer de temperatuur van het voedingswater < 5 °C is geworden, wordt de HF-filtraatproductie per HF blok ingesteld op 230 m³/h. Deze instelling wordt één keer per seizoen uitgevoerd. In geval de temperatuur weer even boven de 5 °C komt, blijft de instelling ongewijzigd.
- Bij een voedingswatertemperatuur tussen de 5 en 12 °C wordt de HF-filtraatproductie per HF-blok ingesteld op 255 m³/h.
- Bij een voedingswatertemperatuur > 12 °C wordt de HF-filtraatproductie per HF-blok ingesteld op 280 m³/h.

De volumestromen van de verschillende deelprocessen binnen de UF/HF-straat worden afgeleid van de seizoensinstelling per HF blok en het aantal beschikbare HF-blokken.

Terugrekenend zijn de voedingsstromen voor de UF-blokken momenteel:

Ingestelde recovery HF-blok : 82 %

Overstortbuffer : 2,0 %

Stilstand (schakelingen UF) : 6,1 %

Spoelwaterverbruik : 8,2 %

Overall recovery UF-blok : 83,7 %

Dit betekent dat voor de verschillende seizoensinstellingen de volgende voedingsstromen per UF-blok gelden.

HF-filtraat 230 m³/h

HF-voeding = $(230/82) \times 100 = 280 \text{ m}^3/\text{h}$

UF-voeding = $(280/83,7) \times 100 = 335 \text{ m}^3/\text{h}$

HF-filtraat 255 m³/h

HF-voeding = $(255/82) \times 100 = 311 \text{ m}^3/\text{h}$

UF-voeding = $(311/83,7) \times 100 = 372 \text{ m}^3/\text{h}$

HF-filtraat 280 m³/h

HF-voeding = $(280/82) \times 100 = 341 \text{ m}^3/\text{h}$

UF-voeding = $(341/83,7) \times 100 = 407 \text{ m}^3/\text{h}$

Vanaf de opstart in 1999 zijn wel de setpointwaarden voor de HF-blokken aangepast bij temperaturen onder de 5 °C maar is de voeding voor de UF nooit verlaagd. Daarnaast is gebleken dat de hoge zomerinstelling niet haalbaar is vanwege het optredende vervuilinggedrag van de UF-blokken bij dergelijke hoge fluxen $(407000/3360) = 122 \text{ l}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

De theoretische capaciteit van het productiebedrijf was daarmee maximaal:

- > 5 °C: $(255 \times 8 \times 24 \times 300) : 14.688.000 \text{ m}^3$

- < 5 °C: $(230 \times 8 \times 24 \times 65) : 2.870.400 \text{ m}^3$

totaal : 17,5 miljoen m³ per jaar

Door de viscositeit stijging bij afnemende temperaturen en nam de actuele druk toe. De huidige permeabiliteit van de membranen in alle blokken behalve blok 3 bij 10 °C is gemiddeld circa 200 l/(h.m².bar). Voor aanvang van de winter is bij 10 °C hierdoor ongeveer gemiddeld 60 kPa nodig aan drukverschil om een flux te handhaven van 113 l/(h.m²). In de koudste periode van de winter is theoretisch circa 78 kPa nodig om dezelfde flux te handhaven. Naast een hogere viscositeit is eveneens aangetoond dat het membraan bij koudere temperaturen een lager doorstroombaar oppervlak heeft. Vooralsnog wordt aangenomen dat dit circa 7 % bedraagt. In plaats van 113 l/(h.m²) is hierdoor de schijnbare flux 121 l/(h.m²). Dit betekent dat bij aanvang van de filtratiecyclus de actuele druk niet 78 kPa bedraagt maar circa 84 kPa. Door de hogere actuele TMP en de schijnbaar hogere vuillast nemen door de optredende (vervuiling)mechanismen de vervuilingssnelheden toe naarmate de temperatuur lager wordt (zie ook figuur 16). Deze vervuilingssnelheid wordt kritisch als de drukken binnen een filtratiecyclus zover oplopen dat de spoelingen niet al het vuil meer kunnen verwijderen, waardoor voor de volgende filtratiecyclus het doorstroombaar oppervlak nog lager wordt, de schijnbare fluxen hoger worden en het filtratieproces onstabiel wordt. Deze kritische flux bedraagt in de winterperiode circa 18 kPa/h. Binnen een filtratiecyclus van 18 minuten mag de actuele TMP in de winter met de huidige membranen dus niet meer dan 5,5 kPa toenemen. Onder de normale bedrijfsvoeringscondities lijkt dit onvermijdelijk. Met name bij temperaturen onder de 5 °C zijn de vervuilingssnelheden bij de standaard bedrijfsvoeringscondities hoger dan 20 kPa/h. Oplossing voor de huidige membranen ligt dan ook met name in het verlagen van de actuele druk door het verlagen van de brutoflux. Een andere optie zou zijn het verhogen van de permeabiliteit van de membranen. Het nieuwe type membranen in blok 3 hebben nog grotere problemen in de winterperiode doordat de permeabiliteit lager ligt (circa 150 i.p.v 200 l/(h.m².bar) bij 10 °C). Hierdoor ligt de actuele druk in de winter inclusief de afname van het doorstroombaar oppervlak van 7 % voor de start van een filtratiecyclus al ruim boven de 100 kPa. Voor een eventuele membraanvervanging geldt dus dat de nieuwe membranen een zo hoog mogelijke permeabiliteit moeten hebben. Voor de huidige membranen in de overige blokken geldt dus dat de brutobelasting omlaag moet voordat de watertemperatuur onder de 10 °C zakt. De brutoflux zal hierbij moeten liggen tussen de 90 – 100 l/(h.m²).

Opgemerkt dient te worden dat de hydraulische belasting van 113 l/(h.m²) niet de oorspronkelijke ontwerpbelasting is geweest. De oorspronkelijke 100% ontwerpbelasting was 87 l/(h.m²) en de 110% instelling 96 l/(h.m²). De belasting van 113 l/(h.m²) is tot stand gekomen door minder beschikbaar oppervlak per membraanmodule door een verandering van het binnenwerk rond de realisatie van het productiebedrijf. Daarnaast is in het ontwerp altijd al sprake geweest van het verlagen van de belasting bij koude voedingswatertemperaturen. Deze verlaging zou tegelijkertijd plaats moeten vinden met het verlagen van de capaciteit van de HF-blokken (viscositeitsinvloeden). Dit is echter in de praktijk in Heemskerk nooit uitgevoerd.

7. CONCLUSIES

Uit de resultaten van de proeven kan het volgende geconcludeerd worden.

- De waterkwaliteit verandert bij afnemende temperaturen. De MFI-waarde daalt evenals de organische parameters zoals ATP (maat voor levende bacteriën), TDC (totaal aantal levende en dode cellen) en TOC (totaal organisch koolstofgehalte). Hierdoor neemt de vervuilingspotentie voor UF-membranen in de winter af;
- de gemeten actuele TMP-stijging wordt dus niet veroorzaakt door een hogere vuillast;
- door de veranderde viscositeit stijgt de actuele TMP;
- naast de verandering van viscositeit is aangetoond dat de permeabiliteit van het membraan circa 7 % afneemt bij lager wordende temperaturen;
- de actuele TMP om een flux te handhaven van 113 l/(h.m²) stijgt door de toename van viscositeit de afname van de permeabiliteit in een temperatuurtraject van 10 °C naar 1,5 °C voor aanvang van een filtratiecyclus hierdoor van circa 60 naar 85 kPa;
- bij hogere actuele drukken versnelt een aantal vervuilingsmechanismen, de vervuilingssnelheid neemt hierdoor bij afnemende temperaturen toe;
- de hoogte van de vervuilingssnelheid wordt kritisch als de uitgevoerde spoelingen niet meer in staat zijn om het doorstroombaar oppervlak te herstellen. Deze kritische vervuilingssnelheid in de winter is vastgesteld op 18 kPa/h;
- onder de normale bedrijfsvoeringcondities wordt hierdoor het filtratieproces onstabiel bij temperaturen onder de 5 °C;
- om het filtratieproces met de huidige membranen in de winterperiode stabiel te houden moet de brutoflux verlaagd worden naar een waarde van circa 95 l/(h.m²).

8. OVERIGE PUNTEN

Naast het in deze opzet beschreven onderzoek is in de afgelopen winterperiode een aantal zaken voor- of opgevallen die direct of indirect te maken hebben met de zuivering op productiebedrijf Jan Lagrand. Besloten is om deze punten eveneens in deze rapportage te verwerken.

8.1 ONDERZOEK VERVUILING UF

In het onderzoek dat afgelopen jaar is uitgevoerd in samenwerking met Universiteit Groningen naar de aard en de oorsprong van de vliesjes in de ultrafiltratievezels in productiebedrijf Jan Lagrand worden vooralsnog in de rapportage (Hoogeboezem 2003) drie hypothesen gevormd, te weten:

- het is nog niet volledig uitgesloten dat de vliesjes op het membraanoppervlak ontstaan door polymerisatie van het vlokhuilmiddel Wispro P of hydrolyseproducten van het vlokhuilmiddel;
- gezien de aard en samenstelling van de vliesjes is het echter ook niet uitgesloten dat het vliesje een 'gewone' biofilm is die extra gevoed wordt door de gebruikte Wispro en daardoor extra dik is;
- het vliesje is een gewone biofilm die geen extra groeiimpuls krijgt door het gebruikte Wispro.

In ieder geval lijkt het er sterk op dat het vliesje dezelfde eigenschappen heeft als een biofilm. Deze conclusie wordt gebaseerd op de aanwezigheid van twee soorten sacchariden die lijken te worden gesynthetiseerd in de laag en die niet direct aantoonbaar worden aangevoerd. Daarnaast zijn met acridine-oranje, een kleurstof die het DNA in cellen kleurt, grote aantallen gekleurde bacteriën gevonden waaronder kapseldragende bacteriën (microscopie).

Interessant is het om ook van deze filmlaag een DGGE scan te maken om vast te stellen of de dominante cultuur in de filmlaag dezelfde is als in het aangevoerde water. De aanwezigheid van Wispro op of in de vezels is niet aangetoond maar ook niet uitgesloten.

Een mogelijke andere hypothese die niet direct met biologie te maken heeft, kan de depositie van organisch materiaal betreffen en polymerisatie van organische in combinatie met anorganische stoffen rond het grensoppervlak van het membraan. Door de indikking van een groot aantal organische verbindingen met een hoger molecuulgewicht dan de Molecular Weight Cut Off (MWCO) waarde van het membraan kunnen polaire organometalcomplexen ontstaan. Deze kunnen (relatief) snel lange ketens met elkaar vormen. Zelfs opgeloste stoffen met een lagere MWCO dan het membraan kunnen door de sterke polariteit van deze ketens worden afgevangen. Een dergelijke laag kan in opbouw veel lijken op een biofilm. De vorming van dergelijke ketens vindt echter zo snel plaats (binnen een filtratiecyclus van 20 minuten) dat hier eigenlijk geen sprake kan zijn van natuurlijke vorming. In een dergelijk geval spreekt men dan ook niet over een biofouling maar over NOM-vervuiling (Natural Organic Matter). Hoe sterker de polariteit van de grote moleculen hoe sneller dit plaatsvindt. Deze vorm van ketenvorming wordt versneld door de aanwezigheid van opgeloste metalen zoals ijzer, aluminium en mangaan. Uit de literatuur blijkt dat bij afwezigheid van polaire opgeloste en gesuspendeerde stoffen de filmvorming niet meer optreedt. Ook toevoeging van inerte stoffen (zoals diatomiet) verstoort de ketenvorming waardoor de film niet kan ontstaan. Afhankelijk van de chemische eigenschappen van het membraan kan de film zelfs een chemische verbinding aangaan met het membraanmateriaal. Hierdoor is de film (zelfs chemisch) zeer lastig van het oppervlak te verwijderen. In het huidige X-flow membraan bevindt zich een klein (circa 1 % W) gehalte PVP (polyvinylpyrrolidon). Dit geeft het membraan een hydrofiel (wateraantrekkend) karakter. Het PVP wordt tijdens de fabricage hoofdzakelijk gebruikt om een mooi schuimachtig asymmetrisch membraan te produceren. Na productie van de vezel wordt het merendeel van het PVP uit het membraanmateriaal geoxideerd door het gebruik van chloor (hoge concentraties bij een gecontroleerde pH). Door de asymmetrie van de ontstane vezel en het hydrofiële karakter is een zeer lage trans membraandruk nodig als drijvende kracht. Inmiddels is echter aangetoond dat het PVP een sterk kationisch adsorptief karakter heeft en dus zeer geschikt is om positief geladen stoffen te adsorberen. De kans is dus zeer waarschijnlijk dat het membraan zelf ook een rol speelt bij de filmvorming.

Mede vanuit deze achtergrond wordt voor de UF-proeven op het ruwe IJsselmeerwater die dit jaar zullen starten fundamenteeler gekeken naar de lading en de chemische eigenschappen van de te filtreren suspensie en de interactie met het membraan. Wijzigingen in zowel de lading van de suspensie als van het membraan zullen bovenstaande hypothese nader onderbouwen. Daarnaast zal naar de invloed van opgelost DOC met een laag molecuulgewicht op de vervuiling van membranen

worden gekeken. Hiermee zal de filmvormingshypothese verder worden onderzocht. Eventuele uitkomsten kunnen ook direct van toepassing zijn op productiebedrijf Jan Lagrand hoewel de concentratie van organische stoffen na de voorzuivering van WRK III stukken lager zal zijn dan in het ruwe water.

8.2 SPELING UF-MEMBRANEN IN DRUKVAT

Afgelopen winter werd naar aanleiding van de integriteit van de UF-blokken gevraagd om de speling van de membranen in het drukvat op te meten. Hierbij werden opmerkelijke afwijkingen gevonden ten opzichte van de metingen bij het opstarten. Bovendien werd geconstateerd dat een aantal opvullingen uit de drukvaten verdwenen waren. De oorzaak van het verdwijnen van deze opvullingen ligt zeer waarschijnlijk bij het regelmatig openen van de drukvaten ter reparatie van lekke vezels. Deze onderhoudswerkzaamheden worden uitgevoerd door X-flow waarbij door procesvoering externen worden ingehuurd om de drukvaten te openen en de membranen eruit te halen. Duidelijk is dus dat deze externe medewerkers goed geïnstrueerd moeten worden en dat procesvoering verantwoordelijk is voor de kwaliteitsborging van deze werkzaamheden.

Een ander fenomeen is dat de speling in de winter groter lijkt dan in de zomerperiode. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de uitzetbaarheid van de modules anders is dan die van het drukvat. Bij teveel speling schuiven de modules over de O-ringen van de connectoren wat kan leiden tot integriteitsverlies. Er is afgesproken regelmatig de O-ringen bij onderhoudswerkzaamheden te vervangen en de speling nauwlettend in de gaten te houden en te registreren.

8.3 INTENSIEVE REINIGINGEN MET DE REINIGINGSINSTALLATIE

Bij de eerste uitgevoerde intensieve reinigingen met de daarvoor beschikbaar reinigingsinstallatie werd opgemerkt dat de temperatuur van de reinigungsoplossing in de membranen (UF en RO) niet de gewenste temperatuur haalde. Deze temperatuur werd wel bereikt in de reinigingstank zelf maar daalde snel door de koude temperaturen van de installaties. Daarbij was het niet inzichtelijk wanneer tijdens het verdringen van de reinigungsoplossing met schoonwater dit koude water bij de reinigingstank arriveerde. Hierdoor nam de temperatuur van de reinigungsoplossing nog verder af waardoor voor de tweede inweekperiode de temperatuur nog lager uitviel. De oplossing voor dit probleem is door procesvoering gevonden in het plaatsen van een thermometer in de retourleiding. De verdringing met schoonwater kan nu gestopt worden zodra het schone water uit de installatie komt. Een nadeel is nog wel dat deze exercitie in de kelder moet worden uitgevoerd waarbij handmatig in een open elektrokast relais geactiveerd moeten worden. Het verdient aanbeveling om hier in ieder geval drukknopen voor aan te brengen.

Tevens zijn deze winter voor het eerst de RO-blokken intensief gereinigd. Hoewel de winterproblematiek niet de RO-blokken omvat, is het wel de moeite waard om het geconstateerde aandachtspunt in dit rapport te vermelden. Bij reinigingen met warme oplossingen in een koude periode zijn waarschijnlijk de RO-membranen uitgezet en vervolgens weer gekrompen. Hierdoor ontstonden lekkages bij een aantal O-ringen door afschuifeffecten. De lekkende O-ringen werden in eerste instantie opgemerkt door een resonerend geluid in enkele drukvaten (het zogenaamde "tsjoek tsjoek" geluid) en later door fors toenemende EGV-waarden en sulfaatgehaltes. Aandachtspunt is dus dat na een reiniging met een warme oplossing in een koude periode integriteitsproblemen kunnen ontstaan. Daarnaast verdient het aanbeveling de MTC-waarden en de waterkwaliteitsgegevens nauwlettend in de gaten te houden.

9. AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek wordt het volgende aanbevolen.

Procesvoering

- Op het moment dat de voedingswatertemperatuur onder de 10 °C komt, dient de voeding van de UF-blokken verlaagd te worden van 380 naar 320 m³/h. Als de temperatuur weer boven de 10 °C uitkomt kan de belasting weer verhoogd worden naar 380 m³/h;
- tijdens de winterperiode dient nauwlettend de vervuilingssnelheid van de membranen gedurende een filtratiecyclus in de gaten te worden gehouden. Dit vereist meer data-aquisitie dan momenteel wordt uitgevoerd;
- het verdient voorkeur om de membraanprestaties gedurende het hele jaar nauwlettend in de gaten te houden. Momenteel wordt op een willekeurig tijdstip om de 2 à 3 dagen een datapunt in het logboek weggeschreven. Bovendien is onbekend is of dit datapunt voor of na een spoeling of reiniging is opgenomen. Aanbevolen wordt om in ieder geval na een enhanced backwash dagelijks een datapunt in het logboek op te schrijven. Daarnaast wordt aanbevolen om wekelijks een detail TMP-profiel op te nemen tussen twee enhanced backwashes;
- onderzoek de mogelijkheden waarom blok 1 een lagere spoelefficiëntie heeft ten opzichte van de overige blokken;
- speling van de modules in een drukvat moet te allen tijde voorkomen worden en nauwlettend in de gaten worden gehouden;
- het verdient voorkeur om de O-ringen van een UF-blok preventief te vervangen;
- tijdens onderhoudswerkzaamheden van X-flow en externe medewerkers dient toezicht te worden gehouden door procesvoering met name op het voorkomen van speling;
- het verdient voorkeur om binnen procesvoering één persoon verantwoordelijk te maken voor het monitoren van het filtratieproces;
- de huidige reinigingstank dient aangepast te worden om ook het reinigen van de UF-blokken eenvoudiger te maken. Het verdient bijvoorbeeld aanbeveling om kaarsenfilters te plaatsen in de recirculatieleiding.

Onderzoek

- Onderzoek voordat membraanvervanging plaatsvindt een alternatief voor de huidige en het nieuwe type membranen (blok 3) waarbij het membraan een permeabiliteit dient te hebben hoger dan 400 l/(h.m².bar) bij 10 °C. Bij het gebruik van een dergelijk membraan zou de capaciteit van de UF in de winter omhoog kunnen;
- de normalisatie van de membraanprestaties dient aangepast te worden. Dit kan plaatsvinden nadat X-flow de daadwerkelijke temperatuursafhankelijkheid van de permeabiliteit heeft vastgesteld;
- onderzoek de oorzaken en mogelijke oplossingen voor het huidige integriteitsprobleem. De huidige onderhoudswerkzaamheden aan de verscheidene blokken ter reparatie van de vezels veroorzaakt veel stilstand en dus capaciteitsverlies;
- ontwerp een definitieve spoelwaterbehandeling (koolfiltergebouw) op basis van de nieuwe bedrijfsvoering.

10. LITERATUUR

- [1] Galjaard G., F. Schoonenberg, *Meetprotocol Quick-Scan, Vergelijken van membraanprestaties*, ISBN 90-74741-61-4, Nieuwegein 1998
- [2] Stein H.N., *The preparation of dispersions in liquids* ISBN 0-8247-9674-8, 1996 New York
- [3] Galjaard G., J. van Paassen, P. Buijs, F. Schoonenberg: *Enhanced Pre-Coat Engineering. The Solution for Fouling?*, 2001, Water Science and Technology: Water Supply, Vol 1 no 5/6 151-156
- [4] Kamp P.C., J.C. Kruithof, H.C. Folmer, *UF/RO Treatment plant Heemskerk, from challenge to full-scale application*, Desalination 131, 2000
- [5] Handbook of Chemistry and Physics, 1978
- [6] Reterink A, P.H. Schouten, *Functionele procesomschrijving van productiebedrijf Jan Lagrand UF/HF straat*, WTBW/HOLA/rap01/3071, maart 2000

11. AANGEPAST BEDRIJFSVOERINGSPROTOCOL

Aanpassing binnen de functionele procesomschrijving van productiebedrijf Jan Lagrand wordt onder paragraaf 3.3 van het rapport van W+B beschreven. (zie literatuurlijst onder nr. 6)

De relatie seizoensinstelling met de temperatuur is:

- wanneer de temperatuur van het voedingswater < 10 °C is geworden wordt de HF-filtraatproductie per HF-blok ingesteld op 220 m³/h en voeding UF op 320 m³/h. Deze instelling wordt één keer per seizoen uitgevoerd. In geval de temperatuur weer even boven de 10 °C komt, blijft de instelling ongewijzigd;
- bij een voedingswatertemperatuur hoger dan 10 °C wordt de HF-filtraatproductie per HF-blok ingesteld op 255 m³/h en voeding UF op 380 m³/h.

De theoretische capaciteit van het productiebedrijf wordt daarmee maximaal:

- > 10 °C: (255 x 8 x 24 x 185) : 9.057.600 m³
- < 10 °C: (220 x 8 x 24 x 180) : 7.603.200 m³
- totaal : 16,5 miljoen m³ per jaar

Theoretisch gaat door deze nieuwe bedrijfsvoering de capaciteit van het productiebedrijf circa 1 miljoen m³ per jaar omlaag. De kans is echter groot dat de daadwerkelijke productie hoger zal liggen dan het gemiddelde van de afgelopen drie jaren. Naast stilstand door te hoge vervuiling en reinigingen zullen ook naar alle waarschijnlijkheid minder rietjesbreuken optreden door lagere drukken.